

101-96-1315
MOTC-IOT-100-PEB011

高快速公路收費站、隧道及坡度 路段容量及車流特性研究(2/3)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 7 月

ISBN 978-986-03-3127-1

ISBN 條碼

GPN : 1010101443

定價 270 元

101-96-1315
MOTC-IOT-100-PEB011

高快速公路收費站、隧道及坡度 路段容量及車流特性研究(2/3)

著者：蘇振維、鄭嘉盈、呂怡青、林豐博、曾平毅、
楊信毅、黃昶斌、張筱瑜

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 7 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性研究. (2/3) / 蘇振維等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民101. 07
面 ; 公分
ISBN 978-986-03-3127-1(平裝)

1. 公路管理 2. 交通流量 3. 運輸規劃

557.33

101013844

高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性研究(2/3)

著 者：蘇振維等

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 101 年 7 月

印 刷 者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：270 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓・電話：(02)25180207

GPN：1010101443 ISBN：978-986-03-3127-1 (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：高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性研究(2/3)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-3127-1(平裝)	政府出版品統一編號 1010101443	運輸研究所出版品編號 101-96-1315	計畫編號 100-PEB011
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：蘇振維 計畫主持人：蘇振維 研究人員：鄭嘉盈、呂怡青 聯絡電話：(02)23486808 傳真號碼：(02)25450428	合作研究單位：中華民國運輸學會 計畫主持人：林豐博、曾平毅 研究人員：楊信毅、黃昶斌、張筱瑜 地址：333 桃園縣龜山鄉大崗村樹人路 56 號 聯絡電話：(03)3282321ext 4619		研究期間 自 100 年 2 月 至 100 年 11 月
關鍵詞：容量，市區地下道，高速公路，自由車流速率，坡度路段，服務水準，停等車疏解車距，公路隧道，流率與速率關係，模擬			
摘要： <p>本所於2010年開始進行一為期3年的研究計畫，探討高速公路收費站、公路隧道及公路坡度路段之車流特性。本計畫今年為第2年期，計有4項工作。第1項是使用車輛偵測器資料，分析國道5號之公路隧道車流特性。第2項工作是利用前項工作之成果，研提臺灣公路容量手冊新的章節：公路隧道，用於探討公路隧道之容量與服務水準分析。第3項工作係探討可能受市區地下道影響之自由車流速率與停等車疏解特性，現場資料將用於修改目前容量手冊關於市區地下道的分析方法論。最後一項工作是繼續蒐集高速公路坡度路段之自由車流速率資料，並用於測試與微調速率模擬(TSS)模式。TSS模式為一完整的模擬模式，可用以分析坡度路段交通作業。今年度的工作成果包括界定了國道5號在不同地點之容量及流率與速率關係特性，依據隧道內流率與速率關係以及在高速公路主線與進口匝道匯流處所產生的衝擊波，發展出公路隧道交通作業之分析方法。現場資料顯示，市區地下道會影響下游號誌路口之運作效率。因此，有必要發展出新的市區地下道分析方法。最後，TSS模式被證實能真實反映大車在長與短坡度路段之自由速率特性。本報告詳細說明了上述各項工作的研究結果。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101 年 7 月	336	270	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。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：1.本研究之結論與建議不代表交通部之意見。 2.本研究係使用交通部公路總局經費辦理。			

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

TITLE: Traffic Flow Characteristics of Toll Plazas, Tunnels, and Upgraded Segments on Freeways and other Roadways (2/3)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-03-3127-1 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010101443	IOT SERIAL NUMBER 101-96-1315	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-100-PEB011
DIVISION: Planning Division DIVISION DIRECTOR: Cheng-Wei Su PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng-Wei Su PROJECT STAFF: Chia-Ying Cheng, Yi-ching Lu PHONE: 886-2-23486808 FAX: 886-2-23450428			PROJECT PERIOD FROM February 2011 TO December 2011
RESEARCH AGENCY: Institute of Transportation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Feng-Bor Lin and Pin-Yi Tseng PROJECT STAFF: Xin-Yi Yang, Wei-Zhijia Wu, Xiao-Yu Chang ADDRESS: 56 Shuhren Rd., Dahgang, Kueishan, Taoyuan, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-3-3282321 ext. 4619			
KEY WORDS: Capacity; Depressed urban streets; Freeway; Free-flow Speed; Grade Sections; Level-of-Service; Queue Discharge Headway; Road Tunnels; Speed-flow Relationship; Simulation.			
ABSTRACT: <p style="text-indent: 40px;">In 2010, the Institute of Transportation initiated a three-year project to investigate the traffic flow characteristics at toll plazas, road tunnels, and freeway grade sections. Phase 2 of this project involves four tasks. The first uses detector data to analyze the traffic flow characteristics of the road tunnels on National highway 5. Based on the findings of the first task, the second task will develop a new chapter for inclusion in the Taiwan Highway Capacity Manual (HCM) to facilitate capacity and level-of-service analysis of road tunnels. The third task focuses on exploring the characteristics of free-flow speeds and queue discharge headways that may be affected by the presence of short depressed street sections. The data collected under this task will be used to revise the HCM methodology being used for analyzing depressed urban streets. The final task is an extension of the ongoing effort to collect free-flow speed data on freeway grade sections. In Phase 2, such data are used to test and calibrate the Traffic Speed Simulation (TSS) model. The TSS model can be incorporated into a full-fledged model for analyzing traffic operations on grade sections. Phase 2 of the project identifies the capacities and the characteristic speed-flow relationships at various locations along National Highway 5. It develops a methodology for analyzing traffic operations in road tunnels based on the speed-flow relationships in tunnels and the propagation of shockwaves generated at the junctions between freeway main lines and on-ramps. Field data reveal that depressed urban streets can affect the operating efficiencies of downstream signalized intersections. Therefore, a new methodology for analyzing depressed urban streets needs to be developed. Finally, the TSS model is found to be able to realistically duplicate the free-flow characteristics of large vehicles on long and short grade sections. This report details the findings of the aforementioned tasks.</p>			
DATE OF PUBLICATION July 2012	NUMBER OF PAGES 336	PRICE 270	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
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 was contributed by Directorate General of Highways, M.O.T.C.			

目 錄

第一章 緒論	1
1.1 背景	1
1.2 第二期計畫研究範圍與對象	2
1.3 本報告內容	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 公路隧道安全	5
2.2 隧道管理	10
第三章 國道 5 號高速公路隧道群及車輛偵測器資料	15
3.1 國道 5 號高速公路研究對象	15
3.2 偵測器資料	16
3.3 偵測器資料之測試	17
3.3.1 隧道路段偵測站流量估計值之一致性	17
3.3.2 流量估計值的正確性	23
3.3.2.1 雪山隧道路段	23
3.3.2.2 石碇及彭山隧道路段	28
3.3.2.3 隧道之間流量估計值的合理性	28
3.3.3 佔有率估計值之合理性	32
第四章 國道 5 號高速公路車流特性	39
4.1 一般性車流特性	39
4.1.1 流率型態	39
4.1.2 流量之方向性	45
4.1.3 尖峰小時流量係數(peak-hour volume factor)	48
4.1.4 尖峰小時係數(peak-hour factor)	49
4.1.5 大客車比例	50
4.1.6 車流之車道分布	52
4.1.7 壅塞程度	54

4.2	自由旅行速率	70
4.3	易壅塞路段	77
4.3.1	北上路段	78
4.3.2	南下路段	98
4.3.3	小結	112
4.4	流率與速率關係及容量	113
4.4.1	隧道進出口及中點附近	116
4.4.1.1	流率與速率關係之基本型態	116
4.4.1.2	2011 年北上流率與速率關係	118
4.4.1.3	2011 年南下流率與速率關係	122
4.4.1.4	南北向流率與速率關係之比較	128
4.4.1.5	容量與速限的關係	128
4.4.2	主線與進口匝道匯流路段	135
4.5	佔有率與流率的關係	139
第五章	容量手冊新章「公路隧道」的編定	143
5.1	分析架構	143
5.2	輸入資料	144
5.3	訂定欲進入隧道之車流的流率，車種組成及車道分布	145
5.4	分析隧道	148
5.5	分析下游主線與匝道匯流區	157
5.6	評估隧道服務水準	162
第六章	都市地下道資料蒐集與初步分析	167
6.1	基本說明	167
6.2	市區地下道資料蒐集	168
6.3	市區地下道資料分析	175
6.3.1	直行車疏散車距	175
6.3.2	直行大車之直行小當量	181
6.3.3	綠燈時段與疏散車數之關係	182

6.3.4	地下道出口路段之自由速率	185
6.3.5	幾何設計與平均自由速率、疏解率關係	186
第七章	高速公路坡度路段車流特性	189
7.1	背景	189
7.2	北上 149K+773 及 147K+950 之間的平均自由速率	190
7.3	南下 146K+948 及 154K+000 之間的平均自由速率	192
7.4	南下 136K+400 及 137K+200 之間縱切線上自由速率	194
7.5	北上 136K+400 及 137K+250 之間縱切線上自由速率	186
7.6	測試及微調 TSS 模式	197
第八章	結論與建議	203
8.1	結論	203
8.2	建議	205
	參考文獻	207
附錄 A	國 5 隧道內之速率與流率關係	A-1
附錄 B	公路容量手冊第 20 章「公路隧道」初稿	B-1
附錄 C	貨車速率模擬模式 (TSS 模式) 原始碼	C-1
附錄 D	期中座談會會議記錄	D-1
附錄 E	期末審查會議之意見與回應說明	E-1

表目錄

表 2.1	個別國家有關隧道之法規、標準或規範	8
表 2.2	聯合國及民間團體制訂之標準或規範	9
表 2.3	隧道速率限制之樣本	11
表 3.1	國道 5 號之各隧道長度	15
表 3.2	國道 5 號各設施里程資料表	15
表 3.3	民國 96 年 9 月 17 日偵測器所估計之全天南下流量	20
表 3.4	民國 96 年 9 月 2 日偵測器所估計之全天北上流量	21
表 3.5	民國 99 年 4 月 4 日偵測器所估計之全天北上流量	22
表 3.6	頭城收費站 30 天流量統計表	24
表 3.7	2010 年南下隧道之間預期全天流量與偵測流量之比較	29
表 3.8	2010 年北上隧道之間預期全天流量與偵測流量之比較	30
表 3.9	2011 年南下隧道之間預期全天流量與偵測流量之比較	31
表 3.10	2011 年北上隧道之間預期全天流量與偵測流量之比較	32
表 4.1	2010 年平常工作日及週末之大約平均每日流量	46
表 4.2	2010 年清明節假期每日流量大約值	46
表 4.3	2010 年母親節假期每日流量大約值	46
表 4.4	2011 年元旦假期每日流量大約值	47
表 4.5	2011 年農曆春節假期每日流量大約值	47
表 4.6	尖峰小時流量係數參考值	49
表 4.7	尖峰小時係數參考值	50
表 4.8	石碇、彭山及雪山隧道中內車道流率占總流率百分比之代表值	54
表 4.9	分析自由速率所用之偵測器資料	71
表 4.10	平均自由速率高出速限之大約值	71
表 4.11	北上內車道在不同地點之容量及臨界速率	131
表 4.12	北上外車道在不同地點之容量及臨界速率	132
表 4.13	南下內車道在不同地點之容量及臨界速率	132
表 4.14	南下外車道在不同地點之容量及臨界速率	133

表 5.1	隧道類型	149
表 5.2	國道 5 號公路隧道作業功能較差地點之自由速率	156
表 5.3	隧道內自由速率與速限之代表性關係	156
表 5.4	進口匝道上游主線內外車道流率之關係	157
表 5.5	根據 V/C 比之服務水準等級劃分標準	163
表 5.6	根據速限與速率差距之服務水準等級劃分標準	164
表 6.1	復興北路地下道往北之停等車疏散車距	175
表 6.2	復興北路地下道往南之停等車疏散車距	176
表 6.3	基隆路路地下道往北之停等車疏散車距	177
表 6.4	忠孝東路地下道往東之停等車疏散車距	178
表 6.5	直行快車道類型劃分	178
表 6.6	地下道之疏散率(輛/小時)	180
表 6.7	大車平均疏散車距	182
表 6.8	直行快車道 N_{gvi} (小車)之估計模式	183
表 6.9	各地下道直行車道小車疏散率與基準疏散率(S1 與 S5)之比值	184
表 6.10	市區地下道停止線上游 50 公尺之直行小車自由速率	186
表 6.11	地下道基本特性比較分析	186
表 7.1	三義路段北上車輛在 148K+173 及 147K+950 之平均自由速率	191
表 7.2	三義路段貨車在 147K+950 (坡度：-3.175%) 之自由速率	191
表 7.3	三義附近南下之上下坡路段平均自由速率	193
表 7.4	苗栗交流道附近南下 136K+400 及 137K+200 之間上坡 (坡度 5%) 縱切線上自由速率	195
表 7.5	北上 136K+400 及 137K+250 之間下坡 (坡度 5%) 縱切 線上自由速率	197
表 7.6	臺灣公路上大車質重及馬力範圍	198
表 7.7	北上從 155K+200 到 148K+173 外側車道大型車 (貨車和 聯結車) 自由速率觀測與模擬比較	199
表 7.8	南下從 146K+948 到 154K+000 外側車道大型車 (貨車和 聯結車) 自由速率觀測與模擬比較	199

表 7.9	南下 136K+400 和 137K+200（坡度 5%）之間觀測與模擬平均自由速率比較	200
表 7.10	北上 136K+400（坡度-5%）外車道自由速率觀測值與模擬值比較	200

圖目錄

圖 3-1	國道 5 號高速公路南下交流道及特殊地點偵測器位置示意圖	18
圖 3-2	國道 5 號高速公路北上交流道及特殊地點偵測器位置示意圖	18
圖 3-3	雪山隧道路段南下偵測器全天流量估計值與收費站統計數據之比值	25
圖 3-4	雪山隧道路段北上偵測器全天流量估計值與收費站統計數據之比值	25
圖 3-5	雪山隧道路段南下偵測器全天大客車流量估計值與收費站統計數據之比值	27
圖 3-6	雪山隧道路段北上偵測器全天大客車流量估計值與收費站統計數據之比值	27
圖 3-7	偵測器配置	32
圖 3-8	南下內車道佔有率與密度的關係 (2010 年 4 月 3 日、4 日及 5 月 8 日資料)	35
圖 3-9	南下外車道佔有率與密度的關係 (2010 年 4 月 3 日、4 日及 5 月 8 日資料)	35
圖 3-10	北上內車道佔有率與密度的關係 (2010 年 4 月 4 日、5 日及 5 月 9 日資料)	36
圖 3-11	北上外車道佔有率與密度的關係 (2010 年 4 月 4 日、5 日及 5 月 9 日資料)	36
圖 4-1	石碇、彭山與雪山隧道之車流型態比較	40
圖 4-2	雪山隧道在 2010 年週一(Monday)的車流型態	40
圖 4-3	雪山隧道在 2010 年週三的車流型態	41
圖 4-4	雪山隧道在 2010 年週五的車流型態	41
圖 4-5	雪山隧道在 2010 年平常日(weekday)的車流型態	42
圖 4-6	雪山隧道在 2010 年週六的車流型態	42
圖 4-7	雪山隧道在 2010 年週日的車流型態	43
圖 4-8	雪山隧道在 2010 年清明節(4/2~4/5)的車流型態	43

圖 4-9	雪山隧道在 2010 年母親節(5/7~5/10)的車流型態	44
圖 4-10	雪山隧道在 2011 年元旦假期(12/31/2010~1/3/2011)的車流型態	44
圖 4-11	雪山隧道在 2011 年春節(2/1/2011~2/8/2011)的車流型態	45
圖 4-12	北上全天流量占雙向總流量之比例	48
圖 4-13	尖峰小時流量係數與全天流量之關係	49
圖 4-14	尖峰小時係數與尖峰小時流率之關係	50
圖 4-15	通過雪山隧道大客車流量與全天流量之關係	51
圖 4-16	通過雪山隧道全天流量中之大客車百分比	51
圖 4-17	石碇、彭山及雪山隧道南下內車道流率與總流率之關係	53
圖 4-18	石碇、彭山及雪山隧道北上內車道流率與總流率之關係	53
圖 4-19	石碇隧道南下進口在 2011 年國定假日時速率之變化	55
圖 4-20	石碇隧道南下進口在星期六時速率之變化	55
圖 4-21	石碇隧道南下進口在星期日時速率之變化	56
圖 4-22	彭山隧道南下進口在國定假日時速率之變化	56
圖 4-23	彭山隧道南下進口在星期六時速率之變化	57
圖 4-24	彭山隧道南下進口在星期日時速率之變化	57
圖 4-25	雪山隧道南下進口在國定假日時速率之變化	58
圖 4-26	雪山隧道南下進口在星期六時速率之變化	58
圖 4-27	石碇隧道北上進口在國定假日時速率之變化	59
圖 4-28	石碇隧道北上進口在星期日時速率之變化	60
圖 4-29	彭山隧道北上進口在國定假日時速率之變化	60
圖 4-30	雪山隧道北上進口在週六時速率之變化	61
圖 4-31	雪山隧道北上進口在 2011 年春節時速率之變化	62
圖 4-32	雪山隧道北上進口在週日時速率之變化	62
圖 4-33	頭城交流道主線 30.100K 及上匝道 29.843K 北向在 2011.1.2.元旦假期時速率之變化	63
圖 4-34	頭城交流道主線 30.100K 及上匝道 29.843K 北向在 2011.4.5.清明節假期時速率之變化	64

圖 4-35	頭城交流道主線 30.100K 及上匝道 29.843K 北向在 2011.3.6.週日時速率之變化	64
圖 4-36	頭城交流道主線 30.100K 及上匝道 29.843K 北向在 2011.3.13.週日時速率之變化	65
圖 4-37	石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向在 2011.1.1.元旦假期時速率之變化	66
圖 4-38	石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向在 2011.2.4.春節假期時速率之變化	66
圖 4-39	石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向在 2011.4.2.清明節假期時速率之變化	67
圖 4-40	石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向在 2011.4.4.清明節假期時速率之變化	67
圖 4-41	石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向在 2011.5.7.母親節假期時速率之變化	68
圖 4-42	石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向在 2011.2.26.週六時速率之變化	68
圖 4-43	石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向在 2011.2.27.週日時速率之變化	69
圖 4-44	坪林流道主線 14.540K 及上匝道 14.691 北向在 2011.4.2.清明節假期時速率之變化	69
圖 4-45	北上內外車道自由速率在 2007 年及 2008 年之變化狀況 (速限：70 公里/小時或 80 公里/小時)	72
圖 4-46	北上內外車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況(速 限：80 公里/小時或 90 公里/小時)	72
圖 4-47	北上內車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況	73
圖 4-48	南下內外車道自由速率在 2007 及 2008 年之變化狀況(速 限：70 公里/小時或 80 公里/小時)	73
圖 4-49	南下內外車道自由速率在 2008、2010 及 2011 年之變化 狀況(速限：80 公里/小時或 90 公里/小時)	74

圖 4-50	南下內車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況	74
圖 4-51	AASHTO 側向最高摩擦係數設計值	76
圖 4-52	北上雪山隧道上游附近路段示意圖	78
圖 4-53	2011 年 1 月 2 日北上流率在 30.407K 及 29.843K 之間的變化	79
圖 4-54	2011 年 1 月 2 日北上流率在 30.100K 及 28.420K 之間的變化	80
圖 4-55	2011 年 1 月 2 日北上速率在 30.100K 及 28.420K 之間的變化	80
圖 4-56	2011 年 2 月 5 日北上速率在 30.100K 及 28.420K 之間的變化	81
圖 4-57	雪山隧道北上分析地點示意圖	81
圖 4-58	北上內車道在 28.420K 及 27.779K 處之流率與速率關係 (2011 年 1 月 2 日)	82
圖 4-59	北上內車道速率在 28.420K 及 27.779K 處之變化 (2011 年 1 月 2 日)	82
圖 4-60	北上內車道速率在 27.779K 及 21.056K 之間的變化(2011 年 1 月 2 日)	83
圖 4-61	北上內車道流率在 27.779K 及 21.055K 之變化 (2011 年 1 月 2 日)	84
圖 4-62	北上內車道流率在 27.779K 及 21.055K 之流率與速率關 係 (2011 年 1 月 2 日)	84
圖 4-63	北上內車道在 21.062K 及 18.134K 處之流率與速率關係 (2011 年 1 月 2 日資料)	86
圖 4-64	北上內車道在 21.062K 及 14.800K 之間速率之變化(2011 年 1 月 2 日)	86
圖 4-65	北上內車道在 21.062K 及 14.800K 之間速率之變化(2011 年 1 月 1 日)	87
圖 4-66	北上內車道在 21.062K 及 15.488K 處之流率與速率關係 (2011 年 1 月 2 日)	87
圖 4-67	北上內車道在 21.062K 及 14.800K 處之流率與速率關係 (2011 年 1 月 2 日)	88
圖 4-68	北上雪山隧道及彭山隧道之間路段示意圖	88

圖 4-69	北上內車道速率在 14.800K 及 13.763K 之間的變化(2011 年 1 月 2 日)	89
圖 4-70	北上內車道速率在 14.550K 及 12.922K 之間的變化(2011 年 2 月 6 日)	89
圖 4-71	北上內車道流率在 14.800K 及 13.763K 之間的變化(2011 年 1 月 2 日)	90
圖 4-72	北上內車道流率在 14.800K 及 13.763K 處的變化	91
圖 4-73	彭山隧道北上路段示意圖	91
圖 4-74	北上內車道在 12.922K 及 11.178K 之流率與速率關係 (2011 年 2 月 5 日)	92
圖 4-75	北上內車道在 11.178K 及 9.373K 之流率與速率關係 (2011 年 2 月 5 日)	93
圖 4-76	北上內車道在 11.178K 及 9.013K 之流率與速率關係 (2011 年 2 月 5 日)	93
圖 4-77	北上內車道速率在 12.922K 及 9.013K 之間的變化 (2011 年 2 月 5 日)	94
圖 4-78	北上在彭山及雪山隧道之間路段示意圖	94
圖 4-79	北上內車道速率在 7.636K 及 4.400K 之間的變化 (2010 年 4 月 5 日)	95
圖 4-80	北上進口匝道在 4.044K 處之流率及速率(2010 年 4 月 5 日)	96
圖 4-81	石碇隧道北上路段示意圖	96
圖 4-82	北上內車道在 3.198K 及 1.068K 之流率與速率關係	97
圖 4-83	北上內車道在 3.198K 及 0.706K 之流率與速率關係	97
圖 4-84	北上內車道速率在 4.400K 及 0.706K 之間的變化 (2011 年 2 月 5 日)	98
圖 4-85	石碇隧道及鄰近下游路段示意圖	98
圖 4-86	南下內車道速率在 1.072K 到 4.016K 之間的變化 (2011 年 2 月 27 日)	99

圖 4-87	南下內車道速率在 4.016K 及 4.395K 處的變化 (2011 年 2 月 27 日)	100
圖 4-88	南下內車道流率在 1.072K 到 4.016K 之間的變化 (2011 年 2 月 27 日)	100
圖 4-89	南下內車道在 0.783K 及 3.481K 處之流率與速率關係	101
圖 4-90	南下內車道在 3.178K 及 3.506K 處之流率與速率關係	101
圖 4-91	南下內車道在 3.806K 及 4.395K 之間流率與速率的關係 (2011 年 2 月 27 日)	102
圖 4-92	南下外車道在 3.806K 及 4.395K 之間流率與速率的關係 (2011 年 2 月 27 日)	103
圖 4-93	南下進口匝道在 4.178K 及外車道在 4.016K 及 4.395K 處之流率變化 (2011 年 2 月 27 日)	103
圖 4-94	南下內車道速率在 4.016K 及 6.498K 之間的變化 (2011 年 1 月 1 日)	104
圖 4-95	石碇隧道與彭山隧道之間南下路段示意圖	104
圖 4-96	南下內車道在 6.489K 及 8.669K 之間速率的變化	105
圖 4-97	南下內車道在 9.063K 及 11.158K 之間速率的變化	105
圖 4-98	彭山隧道及下游路段示意圖	106
圖 4-99	南下內車道速率在 9.063K 及 12.945K 之間的變化 (2011 年 2 月 27 日)	106
圖 4-100	南下內車道流率在 6.498K 及 9.063K 處之變化 (2011 年 2 月 27 日)	108
圖 4-101	南下內車道流率在 4.395K 及 9.063K 處之變化 (2011 年 2 月 27 日)	108
圖 4-102	南下內車道流率在 12.945K 及 15.139K 之間的變化(2011 年 2 月 27 日)	109
圖 4-103	南下出口匝道及進口匝道在 14.483K 及 14.691K 處之流率 (2011 年 2 月 27 日)	109
圖 4-104	南下內車道在 15.139K 及 19.677K 處之流率(2011 年 2 月 27 日)	110

圖 4-105	南下內車道在 19.677K 及 25.312K 處之流率(2011 年 2 月 27 日)	110
圖 4-106	南下內車道在 25.312K 及 28.236K 之間速率的變化(2011 年 2 月 27 日)	111
圖 4-107	南下 28.236K 內車道與外車道之流率(2011 年 2 月 27 日)	111
圖 4-108	車流從穩定進入壅塞狀況之流率與速率關係樣本(北上內車道在 27.779K 處)	114
圖 4-109	每 15 分鐘之流率、速率資料及其代表性關係的樣本(北上內車道在 21.055K)	115
圖 4-110	流率與速率關係之型態樣本一(北上 27.779K)	117
圖 4-111	流率與速率關係之型態樣本二(北上 3.198K)	117
圖 4-112	雪山隧道北上進出口附近及中點附近內車道上流率與速率關係	119
圖 4-113	雪山隧道北上進出口附近及中點附近外車道上流率與速率關係	119
圖 4-114	彭山隧道北上進出口附近及中點附近內車道上流率與速率關係	120
圖 4-115	彭山隧道北上進出口附近及中點附近外車道上流率與速率關係	120
圖 4-116	石碇隧道北上進出口附近及中點附近內車道上流率與速率關係	121
圖 4-117	石碇隧道北上進出口附近及中點附近外車道上流率與速率關係	121
圖 4-118	雪山、彭山及石碇隧道北上內車道流率與速率關係之比較	123
圖 4-119	雪山、彭山及石碇隧道北上外車道流率與速率關係之比較	123
圖 4-120	石碇隧道南下進出口附近及中點附近內車道上流率與速率關係	124
圖 4-121	石碇隧道南下進出口附近及中點附近外車道上流率與速率關係	124
圖 4-122	彭山隧道南下進出口附近及中點附近內車道上流率與速率關係	125
圖 4-123	彭山隧道南下進出口附近及中點附近外車道上流率與速率關係	125
圖 4-124	雪山隧道南下進出口附近及中點附近內車道上流率與速率關係	126
圖 4-125	雪山隧道南下進出口附近及中點附近外車道上流率與速率關係	126
圖 4-126	石碇、彭山及雪山隧道南下內車道流率與速率關係之比較	127
圖 4-127	石碇、彭山及雪山隧道南下外車道流率與速率關係之比較	128
圖 4-128	雪山隧道南北向流率與速率關係之比較	129
圖 4-129	彭山隧道南北向流率與速率關係之比較	129
圖 4-130	石碇隧道南北向流率與速率關係之比較	130

圖 4-131	北上內車道在 21.055K 處流率與速率在不同速限下之關係	130
圖 4-132	南下內車道在 21.036K 處流率與速率在不同速限下之關係	131
圖 4-133	北上內車道在 21.055K 處之里程生產量與流率的關係	134
圖 4-134	北上內車道在 21.055K 處之里程生產量與速率的關係	135
圖 4-135	匯流路段分析對象示意圖	136
圖 4-136	石碇北上進口匝道下游主線外車道之流率與速率關係	137
圖 4-137	頭城北上進口匝道下游主線外車道之流率與速率關係	137
圖 4-138	石碇南下進口匝道下游主線外車道之流率與速率關係	138
圖 4-139	坪林南下進口匝道下游主線外車道之流率與速率關係	138
圖 4-140	壅塞狀況開始之前的匝道流率及匝道上游主線外車道之流率	139
圖 4-141	佔有率與流率關係樣本之一	140
圖 4-142	佔有率與流率關係樣本之二	140
圖 4-143	佔有率與流率關係樣本之三	141
圖 5-1	公路隧道分析對象示意圖	143
圖 5-2	公路隧道分析架構	144
圖 5-3	國道 5 號公路 3 隧道進口附近內外車道流率之關係	147
圖 5-4	雪山隧道北上進口附近內外車道流率之關係	147
圖 5-5	型態 1 隧道內車道之代表性流率與速率關係	150
圖 5-6	型態 1 隧道外車道之代表性流率與速率關係	150
圖 5-7	型態 2 隧道內車道之代表性流率與速率關係	151
圖 5-8	型態 2 隧道外車道之代表性流率與速率關係	151
圖 5-9	型態 3 隧道內車道之代表性流率與速率關係	152
圖 5-10	型態 3 隧道外車道之代表性流率與速率關係	152
圖 5-11	型態 4 隧道內車道之代表性流率與速率關係	153
圖 5-12	型態 4 隧道外車道之代表性流率與速率關係	153
圖 5-13	型態 5 隧道內車道之代表性流率與速率關係	154
圖 5-14	型態 5 隧道外車道之代表性流率與速率關係	154
圖 5-15	型態 6 隧道內車道之代表性流率與速率關係	155
圖 5-16	型態 6 隧道外車道之代表性流率與速率關係	155

圖 5-17	石碇北上進口匝道上游主線內外車道之流率關係(4.058K)	158
圖 5-18	坪林南下進口匝道上游主線內外車道之流率關係(14.540K)	158
圖 5-19	石碇南下進口匝道上游主線內外車道之流率關係(4.016K)	159
圖 5-20	頭城北上進口匝道上游主線內外車道之流率關係(30.100K)	159
圖 5-21	坪林交流道南下主線與進口匝道匯流區在壅塞狀況時的 速率(15.139K)	160
圖 5-22	坪林交流道南下主線與進口匝道匯流區在壅塞狀況時的 流率(15.139K)	161
圖 5-23	國道 5 號公路主線與進口匝道匯流區壅塞之後流率與速 率的關係	161
圖 5-24	國道 5 號公路不同地點之 V/C 比與平均速率的關係	163
圖 5-25	國道 5 號公路速限與速率差距隨 V/C 值之變化	165
圖 6-1	一般市區直行停等車隊疏解率特性之樣本	168
圖 6-2	臺北市復興北路地下道之出口車道配置示意圖	169
圖 6-3	臺北市基隆路地下道之出口車道配置示意圖	170
圖 6-4	臺北市信義路地下道之出口車道配置示意圖	171
圖 6-5	臺北市林森南路地下道之出口車道配置示意圖	172
圖 6-6	號誌化路口停等車疏解車距調查示意圖	174
圖 6-7	實體分隔之地下道疏解率	179
圖 6-8	標線分隔之地下道疏解率	181
圖 6-9	實體分隔之地下道綠燈時段長度與可疏解小車數之關係	182
圖 6-10	標線分隔之地下道綠燈時段長度與可疏解小車數之關係	183
圖 7-1	三義附近上下坡路段縱切面	192

第一章 緒論

1.1 背景

本所正逐步修訂「2001 年臺灣地區公路容量手冊」[1]。最近幾年的修訂工作對象包括：第十一章多車道郊區公路[2]、第十三章市區號誌化路口[3]、第十六章都市幹道[4]、第十七章市區公車[5]及第十八章機車專用道[6]。民國 99 年初本所另外展開一為期三年之研究計畫，以探討收費站、隧道及坡度路段之容量及車流特性。

上述三期計畫之第一期的主要研究對象為高速公路收費站。2001 年容量手冊有提供一分析收費站之方法，但該方法不能分析在民國 95 年（2006 年）2 月 10 日起才開始執行之電子收費作業，而且目前的收費作業方式也與 2001 年時不同。此外，第八章也沒有估計耗油量及空氣污染的功能。因此第一期之目的在於修訂第八章，此工作已在 2010 年完成[7]。

第二期的主要研究對象包括公路隧道及都市地下道，此工作在 2011 年執行。臺灣的公路經過山區時常須設置隧道以利交通。在臺北與宜蘭之間的國道 5 號公路更特殊，有一連串長的隧道。隧道之建設、養護及交通管理系統相當昂貴。如何從規劃、設計及交通控制來讓車流能安全而且高效率的通過隧道，是世界各國交通界所關切之議題。2001 年容量手冊沒有隧道交通作業特性的資料可參考。國道 5 號公路上隧道的作業特性對將來公路隧道之規劃、設計及作業分析很有參考價值，因此本所決定探討國道 5 號上隧道之交通作業特性，並編訂一有關公路隧道之章節，納入公路容量手冊。

國外的市區地下道通常指在市區地底下、形同隧道之地下公路 (underground) 及在地面上，但低凹 (depressed) 以與平面道路立體交叉的道路。這些道路一般為相當長之主要道路，其一目的是避免道路平面交叉，造成許多號誌化路口；另一目的是減少車流造成噪音污染。1970 年初期，美國國會認定高速公路及其他市區道路為多數人受噪音傷害

之主因，因此美國國會於 1972 年通過 Noise Pollution and Abatement Act。此法規帶動市區地下道之設置。

相對而言，台灣市區地下道絕大多數的長度不超過 400 公尺，其目的是在主要道路避免平面交叉。這些地下道上下游附近通常有號誌化路口。因此臺灣的市區地下道事實上是坡度較大的市區道路，其交通作業特性除了可能受到坡度及坡長的影響之外，也受到上下游號誌控制之影響。2001 年公路容量手冊第 10 章有一分析市區地下道之方法，但該方法將市區地下道視同非阻斷性車流之道路，而且沒有根據臺灣現場資料。因此本所決定第二期研究工作也須探討市區地下道之交通作業特性，以作為後續修訂第 10 章之依據。

至於坡度路段，臺灣交通界對坡度之車流特性的了解非常缺乏，因此 2001 年容量手冊也沒有可靠的資料以協助規劃及設計坡度路段。坡度路段之車流特性可隨公路之類型（如高速公路、快速道路、多車道公路及二車道公路）、車種組成、路段之幾何設計（如坡度、坡長及曲度）等因素而變。因此欲充分的了解坡度路段之車流特性，須在不同類型公路之坡度路段蒐集大量現場資料。這工作相當費時，因此需儘早開始，以期在數年內能建立一充實的資料庫，來建立分析坡度路段之方法。根據這些考量，本所決定在第一期就開始蒐集坡度路段之資料，該期的調查對象限於國道 1 號高速公路之三義坡度路段[7]，此調查工作顯示坡度路段之流率與速率關係跟該路段之平均自由速率息息相關。此外，第一期之研究亦顯示平均自由速率可用模擬模式來合理的估計，但模擬模式仍須進一步用其他路段的車流特性加以微調，速率與流率關係也須用較多路段之資料來探討。因此第二期工作亦選擇數個高速公路坡度路段，繼續探討坡度路段之車流特性，並改良模擬模式。

1.2 第二期計畫研究範圍與對象

第二期計畫之主要研究對象為國道 5 號之隧道，次要研究對象包括市區地下道及高速公路之坡度路段。工作項目包括：

- 1.文獻回顧。
- 2.整理現存國道 5 號上偵測器蒐集之車流資料；蒐集其他有關隧道車流特性之資料。
- 3.建立分析隧道容量及服務水準之方法。
- 4.蒐集並整理有關都市地下道及高速公路坡度路段車流特性資料。
- 5.編訂容量手冊一新章：「公路隧道」。

根據第二期計畫之工作成果，第三期計畫將整理並分析市區地下道之現場資料，並修訂容量手冊第 10 章。第三期計畫亦將繼續蒐集有關坡度路段車流特性資料，探討其他公路隧道之車流特性，以改良「公路隧道」之初稿。上述工作預定在 2012 年執行。

1.3 本報告內容

本報告說明第二期工作及成果。第二章的文獻回顧描述國內外對於公路隧道安全及管理的措施，及目前交通界對公路隧道交通作業特性的了解。因為隧道車流特性的研究依賴偵測器資料，所以第三章討論國道 5 號公路上車輛偵測器之性質。第四章詳細分析國道 5 號公路的車流特性。第五章說明編訂公路容量新章「公路隧道」所牽涉的工作，此一新的章節之初稿列於本報告之附錄 B。第六章及第七章分別描述市區地下道及坡度路段之資料蒐集。最後一章歸納本計畫的主要成果並建議後續工作。

第二章 文獻回顧

本計畫今年度之工作重點在於公路隧道，因此本章主要回顧與公路隧道安全與隧道管理。

2.1 公路隧道安全

歐洲國家將隧道定義為長度最少 100 公尺，而且是除了兩端外，皆封閉的結構體[9]。這些國家對長隧道沒有下定義，但一般隧道大約有 5 公里長方屬長隧道。美國 National Fire Protection Association (NFPA) Standard 502 [10]將公路隧道定義為車輛僅能從兩端進出之封閉式公路。美國的 Federal Highway Administration (FHWA) 在訂定隧道檢查標準[11]時，也決定不用長度對隧道下定義，其檢查標準指出，「隧道」為在設計時，須特別考量照明、通風、防火系統及緊急疏散之需要的結構體。公路隧道最受關切的作業是行車安全，因此有關隧道的文獻偏重設計及相關安全之考量。有關隧道內車流特性的資料非常缺乏。

公路隧道的肇事率常低於隧道外之路段[9,12,13]，例如 Norway 隧道內每百萬公里之肇事率有 0.13 件，隧道外之肇事率達 0.30 件[9]。但是一有車禍，其後果可能相當嚴重。1982 年 4 月 7 日，美國加州 24 號公路上之 Caldecott 隧道（900 公尺長），因一酒醉司機碰撞緣石引起一載運油料之大貨車起火，造成 7 人死亡[14]；1999 年 3 月 24 日，在義大利及法國之間的 Mont Blanc 隧道（11.6 公里長），一滿載麵粉及人造奶油之大貨車起火，造成 39 人死亡，並使該隧道封閉 3 年[15]。同年 5 月 29 日奧地利 Tauern（6 公里長）隧道之車禍造成 12 人死亡 50 人受傷，隧道封閉 3 個月[16]。隨後在 2001 年 10 月 20 日，瑞士之 Saint Gotthard 隧道（16.4 公里長），兩貨車正面相撞，造成 11 人死亡，隧道封閉 2 個月[17]。這一連串重大車禍加強了世界各為對隧道安全之重視。

為了改善隧道之行車安全，歐盟(EU)在 2001 年起展開一連串的大型計畫[18]。這些計畫的名稱及主要目的如下：

1.Fire in Tunnels

蒐集資料，建立資料庫，建立選擇設計火(Design Fire)之標準，制訂防火設計之規範，訂定火災處理(fire response management)之最佳程序。

2.Durable and Reliable Tunnel Structures

建立選擇經濟效益最佳之隧道型態及施工方法。

3.Safe Tunnel (Innovative Systems and Frameworks for Enhancing of Traffic Safety in Road Tunnels)

訂定防災措施以減少事故，訂定控制隧道內車速的策略。

4.Safety Improvement in Road and Rail Tunnels Using Advanced Information Technology

發展創造性(innovative)方法以：(1)減少衝突及緊急事件，(2)協助隧道之管理，(3)整合隧道及公路路網之運作，及(4)改善偵測及監視系統。

5.Virtual Fire (Virtual Real-Time Emergency Simulator)

發展使用電腦產生之虛擬環境(virtual environment)的模擬器(simulator)進行訓練。

6.Upgrading Existing Tunnels

發展經濟效益高、永續性(sustainable)及創造性(innovative)之方法，以改善現存隧道之消防安全(fire safety)。

7.Safety in Tunnel

從管理(management)及跨國界(cross-border)立場，統一各國適用之規範(guidelines)。

歐盟之 European Commission 並於 2004 年發佈一指令(directive)，規定在歐洲跨國公路網上長度等於或超過 500 公尺之隧道須符合之最低安全標準[19]。此指令除了劃分管理隧道之權責外，也訂定隧道作業之程序（例如每 6 年須提出一安全報告），並規定隧道作業之安全措施須符合 European Commission 之要求，及個別國家的標準。這些需求涉

及設施(infrastructure)、作業(operation)、隧道車輛，以及隧道使用者之資訊(user information)。

美國之 FHWA 在 2004 年時編訂了公路隧道設計規範[20]。美國民間之 NFPA 也陸續更新其有關隧道及其他車輛進出受限制之公路設施之設計標準[10]。但一般而言，美國仍缺乏隧道設計、施工、安全檢查、事故處理、養護及安全之規範、標準或規格。因此，從 2005 年起，美國 FHWA、州立交通部、及數個其他機構開始組織考察團，在國內外探討有關隧道之設計及作業[9,21,22]。其目的在發掘可採用之作法。國外考察團之主要建議如下：

- 1.發展一通用(universal)、一致性(consistent)而且高效率的標誌，以標明逃生路線。
- 2.要求 American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)發展設計、規劃、建造及養護之標準。
- 3.推動研究並發展隧道緊急事件之處理(emergency management)系統（包括人為因素）。
- 4.推動隧道使用者應對事件行為之教育。
- 5.評估自動事件偵測系統及智慧型影像(video)之效益。
- 6.採用風險管理(risk management)之方法作為安全檢查及養護之依據。

美國 AASHTO 在 2010 年將一 2004 年用於規劃、設計、施工及養護隧道的手冊[20]加以更新[23]，並決定進一步編訂有關隧道安全的規範。此外，FHWA 亦建議立法以強制執行隧道安全檢查[11]。

除了上述針對公路隧道安全所推動之工作之外，聯合國及許多民間團體及個別國家曾陸續提供規範、標準或法令，以保障隧道行車安全[24]。表 2.1 及表 2.2 分別列舉數國家及非國家機構所制訂之規範、標準或法令。另一方面，工程界及負責管理隧道之機構，對隧道設施（如火災偵測系統）的效益、火勢特性、隧道使用者對隧道設計所產生的駕駛行為、及在緊急事件時隧道使用者之反應等項的了解，仍很缺乏。因此，有關隧道作業之研究仍陸續展開。

表 2.1 個別國家有關隧道之法規、標準或規範

Australia (Australasian Fire Authorities Council)	<i>Fire Safety Guidelines for Road Tunnels, 2001</i>
Austria	<i>Design Guidelines Tunnel Ventilation, RVS 9261:9262, 1997</i>
France	<i>Inter-Ministry Circular No. 2000-63—Safety in the Tunnels of the National Highways Network, Ministry of the Establishment, Transport and Housing, France, 2000</i>
Germany	<i>Forschungsgesellschaft für Strassenand Verkehrswesen, Richtlinien fuer Ausstattung und Betrieb von Strassentunneln (RABT), Germany, 2006</i>
Japan	<i>National Safety Standard of Emergency Facilities on Road Tunnel, Japan Road Association, Japan, 2001</i>
Netherlands	<i>Recommendations Ventilation of Road Tunnels, RWS Bouwdienst, Steunpunt Tunnelveiligheid, 2005</i>
Norway	<i>Norwegian Design Guide—Road Tunnels, Public Roads Administration, Norway, 1990</i>
Nordic Countries	<i>Ventilation of Road Tunnels, Sub-Committee 61, Nordisk Vejteknisk Forbund (NVF), Report No. 6, 1993</i>
Sweden	<i>Tunnel 2004—General Technical Specification for new tunnels and upgrading of old tunnels, Swedish National Road Administration, Pub. 2004,124, Sweden 2004</i>
Switzerland	<i>Ventilation for Road Tunnels, Swiss Federal Roads Authority (FEDRO),</i>
United Kingdom	<i>Design Manual for Roads and Bridges, Part 9, BD 78/99, Design of Road Tunnels, 1999</i>
United States	<i>Road Tunnel Design Guidelines Federal Highway Administration, FHWA-IF-05-023, 2004.</i>

資料來源：[24]。

表 2.2 聯合國及民間團體制訂之標準或規範

1. United Nations Economic and Social Council, Inland Transportation Division, “*Recommendations of the Group of Experts on Safety and Road Tunnels*,” Final Report, 2001.
2. European Union Commission, “*Minimum Safety Requirements for Tunnel in the Trans-European Road Network*,” Directive 2004/54/EC, 2004.
3. PIARC (Permanent International Association of Road Congress, or the World Road Association) Technical Committee on Road Tunnel, “*Fire and Smoke Control in Road Tunnels*,” 1999.
4. National Fire Protection Association, “*NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited Access Highway*,” 2011.
5. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc.), “*HVAC Applications Handbook, Chapter 13- Enclosed Vehicular Facilities*,” 2007.
6. International Tunnel Association, “*Guidelines for Structural Fire Resistance for Road Tunnels*,” 2004.

資料來源：[24]。

因工程界對偵測火災之系統(fire detection system)的功能缺乏了解，加拿大之 National Research Council 及美國 Fire Protection Research Foundation 在 2003 年時組織了一國際性的測試研究工作[25,26,27]，以探討五種偵測器系統之功能。其測試對象包括在歐洲常用之線性熱偵測器(linear heat detector)、日本用的火焰偵測器(flame detector)、CCTV 影像偵測器(image processing detector)、煙偵測器(smoke detector)及定點偵測器(spot detector)。測試結果[28]顯示偵測器的效果受引起火災之燃料種類(fuel type)、火焰大小、火勢成長率及偵測方法等因素的影響。挪威之 the Norwegian Fire Research Laboratory 是全世界在近似實況火災測試(full-scale fire tests)最先進的機構。此機構曾實驗過溫度高達 1400°C 之 40 megawatts 火災[9]。

除了火災試驗外，有些研究探討隧道牆壁(tunnel wall)之花樣及材料的構造(texture)對駕駛行為之影響[29]。歐洲國家亦常用駕駛模擬器(driving simulator)探討隧道使用者在緊急事件時之可能行為[9,30]。另一些研究則探討人為因素[31,32]。

2.2 隧道管理

在隧道管理方面，管理機構常對進入隧道之車輛及物品加以管制。歐洲的跨國隧道常是經濟大動脈，因此很難完全禁止大型車輛或危險物品通過隧道。因此歐洲國家常用風險管理的觀念及方法，來決定是否讓某種車輛或物品通過某隧道[9]。例如法國採用 OECD (Organization for Economic Cooperation Risk Development)及 World Road Association (PIARC) 所發展之數量化風險評估 (Quantitative Risk Assessment) 模式。此模式應用之第一步驟是估計因危險物品通過隧道所造成之年平均死亡率。如果死亡率在 1~3 人以下，則危險物品不算是重要的風險(risk factor)。在這種情況下，危險物品應可使用那一條路線可根據其他因素來考量。

隧道管理機構通常限制隧道內之速率。速限可分為上限、下限及可變速限。最高速限隨隧道之設計及隧道所在地點土地使用及交通狀況而變。設置下限的一目的是減少慢車阻擋車流，造成壅塞之可能。另一目的是減少因速率相差太大而產生事故的可能性。一般最高及最低速限之差距在 20~30 公里/小時之範圍。可變速限也是為了減低塞車及事故嚴重性而設定。表 2.3 顯示幾個隧道之速率限制。

除了速限之外，多數的隧道禁止變換車道及超車，同時亦對車輛尺寸加以限制，以避免車輛撞上隧道之結構或設施。有些隧道限制大貨車之流量，例如在瑞士的 Saint Gotthard 隧道發生嚴重車禍後，瑞士聯邦公路局(Swiss Federal Bureau of Roads)規定在幾個隧道內大貨車必須保持 150 公尺之距離，並且在雙向行車之隧道採取大貨車輪流單向行車，每小時之大貨車流量限於 240 輛。這些措施預期可加強行車安全，但每天能通過 Saint Gotthard 隧道之大貨車從 5,000 輛減少到 3,500 輛[33]，造成嚴重延滯。

表 2.3 隧道速率限制之樣本

隧道	長度 (公里)	速限 (公里/小時)		
		最高	最低	可變
Mont Blanc (France-Italy)	11.6	70	50	—
Burnley (Melbourne, Australia)	3.4	80	—	60 (尖峰)
Callahan (Boston, USA)	1.54	56	—	—
Ted William (Boston, USA)	2.6	64	32	—
Fort McHenry (Baltimore, USA)	2.2	小車 80 貨車 60	—	—
Carlin (Nevada, USA)	0.48	120	—	—
Habor (Sydney, Australia)	2.3	72	—	—
雪山 (Taiwan)	12.9	90	60	—

資料來源：本研究整理而得。

臺灣的雪山隧道從 2006 年通車之後，一直無允許大貨車通行。此隧道也有最小行車間距之規定。根據國道高速公路局之規定，車輛在正常情況下必須保持 50 公尺以上之行車距離；如因道路壅塞、事故或其他特殊狀況導致速率低於每小時 20 公里/小時或停止時，仍應保持 20 公尺以上之距離。最近一有關雪山隧道之研究[34]發現雪山隧道內之跟車距離比鄰近之彭山隧道內之跟車距離長很多，但差距逐年縮小而且已有成穩定狀況之趨勢。

在車流量不大的路段上，最小行車間距的規定可改善行車安全。但是在流量大的公路上這種規定很容易顯著地降低公路容量，因而造成嚴重壅塞。例如美國 Washington 州交通部(State Department of Transportation)及 Washington 州警(State Patrol)在 2006 年合辦一計畫以期改善該州第 5 號公路上一長 3.2 公里路段之行車安全。該計畫之策略是在所選擇的公路上每隔 49 公尺畫一白點，並用標誌要求駕駛員保持

最少 2 白點的距離。但這種間距規定違反正常行車行為，因而導致嚴重塞車。結果本來預定執行一年的計畫，在 8 月實施一天之後就被迫終止[35]。

從交通管理之觀點，美國阿拉斯加(Alaska)州之 Anton Anderson Memorial Tunnel 很特殊[36]，此隧道只有一車道，而且火車及汽車共用，因此火車及汽車輪流通過該隧道。此外，進入隧道之前車輛必須先在一地區分類，然後依車種分類輪流進入隧道。小車進入隧道之車距控制在大約 2.5 秒，大貨車之行車距離則大約 4.5 秒。

隧道之設計及交通管制預期對隧道之容量及運輸功能有影響。但是交通機構通常以行車安全為優先考量，而且多數隧道沒有自動蒐集車流特性資料之系統，因此交通界對隧道中的車流特性、容量及如何有效的改善隧道交通作業缺乏了解。

目前有限的資料顯示，公路隧道的容量有相當大的差異性。例如一早期的研究[37]估計在 Boston 海港底下之 Callahan 隧道的容量可達 1,650 輛/小時/車道。此隧道與市區道路連接，而且原來在隧道的一端有收費站。在收費站未廢除之前，隧道的容量只有 1,500 輛/小時/車道左右。相對而言，美國加州之 Caldecott 隧道（900 公尺）容量達 2,200 小車/小時/車道[38]。根據統計資料[39]，進入美國紐約市之 Queen Mitown 隧道（1,955 公尺長）的尖峰小時流率達 2,058 輛/小時/車道。換言之，其容量超過 2,000 輛/小時/車道。日本公路隧道容量常在 1,100 ~ 1,350 輛/小時/車道[40]之範圍，但其幾何設計及隧道附近土地使用及道路設置之狀況不詳。韓國公路容量手冊[41]將高速公路在狀況良好情況之容量訂為 2,200 小車/小時/車道。根據此一基本容量及隧道的橫向淨距，韓國 Shingal-Ansan 高速公路上之隧道容量估計值為 $2,200 \times 0.98 = 2,156$ 小車/小時/車道。實際的容量則不詳。

臺灣國道 5 號高速公路有 3 個長度最少 2.7 公里之隧道。其中雪山隧道長達 12.9 公里。每一隧道單向各有一孔道，每孔道及隧道外之公路主線皆有雙車道。這些隧道皆在頭城交流道北上路段，其速限在民國 96 年 10 月之前為 70 公里/小時。但雪山隧道之外的隧道不受最小

行車間距之限制。民國 96 年 10 月起，雪山隧道除外，在頭城交流道以北之國道 5 號路段的速限提高為 80 公里/小時。民國 96 年 11 月起，雪山隧道開放大客車通行。民國 97 年 3 月及 99 年 11 月，雪山隧道的速限又兩度從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時及 90 公里/小時。目前國道 5 號上隧道中只有雪山隧道曾被仔細的分析過[34,42]。在民國 96 年 9 月及 10 月，速限為 70 公里/小時之期間，雪山隧道南北向在隧道中點附近的容量各約 2,250 及 1,850 小車/小時[42]。這些容量比鄰近的彭山隧道（長約 4 公里）約低 600 小車/小時[42]。在民國 97 年 6 月，速限為 80 公里/小時而且大客車已通行之期間，南北向之容量各稍微增高到 2,300 及 2,250 小車/小時[34]。

國道 5 號公路在隧道內外有很多車輛偵測器不斷地蒐集速率、流量及佔有率等車流資料。這些資料應用來評估上述速限之演變及行車間距之規定對隧道容量及其他車流特性的影響。評估結果不僅可用來建立分析隧道容量及服務水準的方法，亦可用來建立改善隧道交通作業之策略。臺灣公路容量手冊[1]及美國 Transportation Research Board 的公路容量手冊[43]皆沒有分析隧道容量及服務水準之方法可參考。

第三章 國道 5 號高速公路隧道群及車輛偵測器資料

3.1 國道 5 號高速公路研究對象

國道 5 號公路為一總長度約 54 公里之 4 車道高速公路（每方向各 2 車道）。此公路之北端在南港交流道與國道 3 號高速公路相連接，此地點訂為國道 5 號公路里程起點(0K+000)。國道 5 號公路之南端在蘇澳。從北端到南端，國道 5 號公路共有南港、石碇、烏塗、彭山及雪山等 5 個隧道。這些隧道之長度列於表 3.1。

表 3.1 國道 5 號之各隧道長度

隧道名稱	長度（公里）	
	南下	北上
南港	0.46	0.46
石碇	2.70	2.72
烏塗	0.22	0.25
彭山	3.86	3.84
雪山	12.95	12.91

雪山隧道南方約 1.5 公里處有頭城收費站（位於 29K+668），此收費站距離南方之頭城交流道只有 200 公尺左右。國道 5 號公路在其北端及頭城交流道之間另設有石碇交流道及坪林交流道。前述各項設施的地點如表 3.2 所示。

表 3.2 國道 5 號各設施里程資料表

南 下			北 上		
地 點	里 程	備 註	地 點	里 程	備 註
南港系統	0K+000		南港系統	0K+000	
南港隧道南下入口	0K+312	南港隧道長度：456m (以明隧道與石碇隧道相連)	南港隧道南下入口	0K+310	南港隧道長度：455m (與石碇隧道間隔 217 公尺)
南港隧道南下出口	0K+768		南港隧道南下出口	0K+765	
石碇隧道南下入口	0K+999	石碇隧道長度：2,698m	石碇隧道北上出口	0K+982	石碇隧道長度：2,720m
石碇隧道南下出口	3K+697		石碇隧道北上入口	3K+703	

表 3.2 國道 5 號各設施里程資料表（續）

南 下			北 上		
地 點	里 程	備 註	地 點	里 程	備 註
石碇交流道 南下出口匝道	3K+806		石碇交流道 北上入口匝道	4K+044	
石碇交流道 南下入口匝道	4K+178		石碇交流道 北上出口匝道	4K+455	
烏塗隧道 南下入口	7K+665	烏塗隧道長 度：216m	烏塗隧道 北上出口	7K+638	烏塗隧道長 度：248m
烏塗隧道 南下出口	7K+881		烏塗隧道 北上入口	7K+886	
彭山隧道 南下入口	9K+439	彭山隧道長 度：3,861m	彭山隧道 北上出口	9K+460	彭山隧道長 度：3,837m
彭山隧道 南下出口	13K+300		彭山隧道 北上入口	13K+297	
坪林交流道 南下出口匝道	13K+138		坪林交流道 北上入口匝道	14K+183	
坪林交流道 南下入口匝道	14K+691		坪林交流道 北上出口匝道	14K+683	
雪山隧道 南下入口	15K+200	雪山隧道長 度：12,950m	雪山隧道 北上出口	15K+200	雪山隧道長 度：12,912m
雪山隧道 南下出口	28K+150		雪山隧道 北上入口	28K+112	
頭城收費站	29K+668		頭城交流道 北上入口匝道	29K+668	
頭城交流道 南下出口匝道	29K+468				

本計畫研究國道 5 號之對象為該公路上之隧道，因為在頭城交流道到蘇澳之間的路段沒有隧道，所以本計畫之研究範圍限於從國道 5 號公路北端到頭城收費站之間的路段。這路段上南下及北上每車道各有 74 及 75 組車輛偵測器。

3.2 偵測器資料

高公局通常將偵測器所蒐集的車流資料整合成 5 分鐘的平均值。資料項目包括每車道不同車種（小車、大客貨車及聯結車）之流量、平均速率、平均車長、每車道在各偵測站之佔有率(occupancy)及其他統計數據。本計畫利用偵測器所提供的資料來探討國道 5 號公路上頭城收費站以北隧道群之交通作業特性。這些偵測資料涵蓋下列期間之

交通狀況：

- 1.民國 96 年 9 月 1 日到 10 月 29 日之間，共 40 天。
- 2.民國 97 年 2 月 2 日到 2 月 12 日（2 月 4 日除外）；6 月 2 日到 6 月 30 日；10 月 6 日到 10 月 28 日之間，共 9 天。
- 3.民國 99 年 1 月 1 日到 1 月 29 日；3 月 1 日到 3 月 28 日；4 月 2 日到 4 月 25 日；5 月 7 日到 5 月 10 日；10 月 8 日到 10 月 11 日；12 月 10 日到 12 月 13 日；12 月 31 日。
- 4.民國 100 年 1 月 1 日到 1 月 3 日；2 月 1 日到 2 月 8 日；2 月 19 及 20 日；2 月 26 到 2 月 28 日；3 月 5 日及 6 日；3 月 12 及 13 日；4 月 2 日到 4 月 5 日；5 月 7 日到 5 月 9 日。

3.3 偵測器資料之測試

一般車輛偵測器難免會產生估計誤差，所以本計畫先從不同角度來衡量偵測資料的可靠性，其目的在於避免使用準確性不夠高的資料來探討車流特性，偵測器資料測試的重點包括：

- 1.隧道路段偵測站流量估計值之一致性。
- 2.隧道路段流量估計值之正確性。
- 3.隧道之間流量估計值之合理性。
- 4.平均速率估計值之正確性。
- 5.佔有率估計值之合理性。

3.3.1 隧道路段偵測站流量估計值之一致性

圖 3-1 及圖 3-2 顯示頭城交流道以北在特殊地點的偵測器位置。這些特殊地點在石碇交流道、坪林交流道及隧道進口及出口附近。隧道路段指隧道及上、下游不在交流道區域內的路段。根據圖 3-1 及圖 3-2 所示之交流道及偵測器地點，本章設定下列隧道路段作為分析對象：

南下隧道路段

- 1.石碇：從 1.072K 到 3.178K。
- 2.彭山：從 5.523K 到 13.343K。

3.雪山：從 15.478K 到 28.236K。

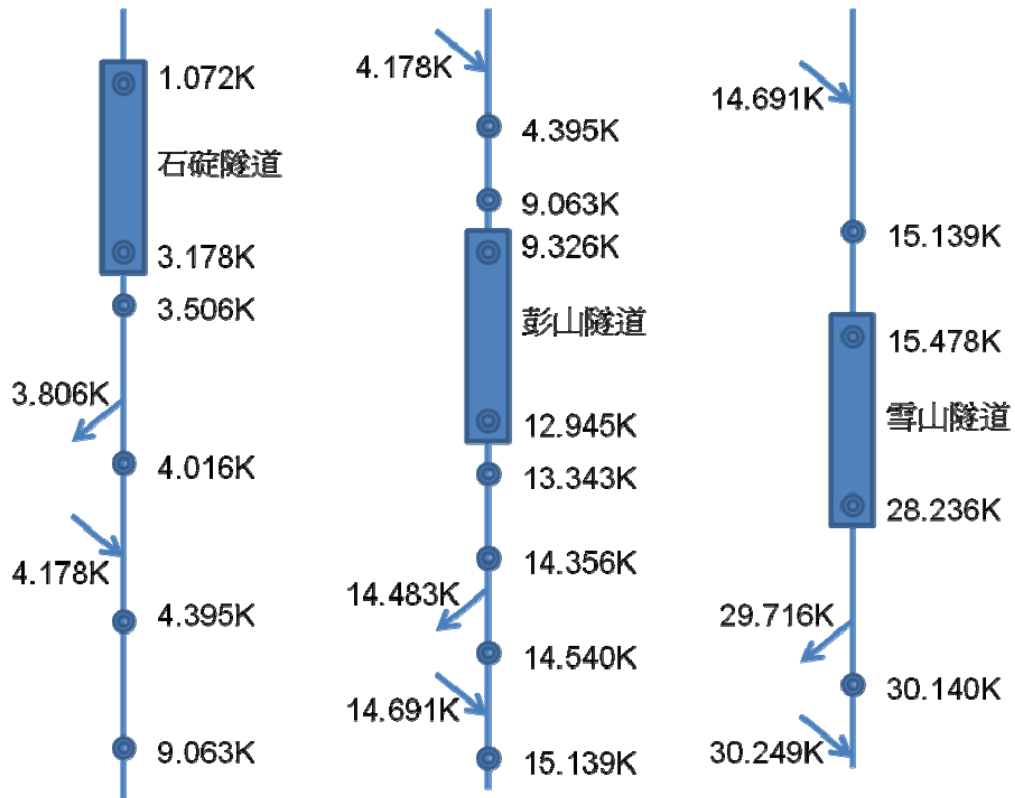


圖 3-1 國道 5 號高速公路南下交流道及特殊地點偵測器位置示意圖

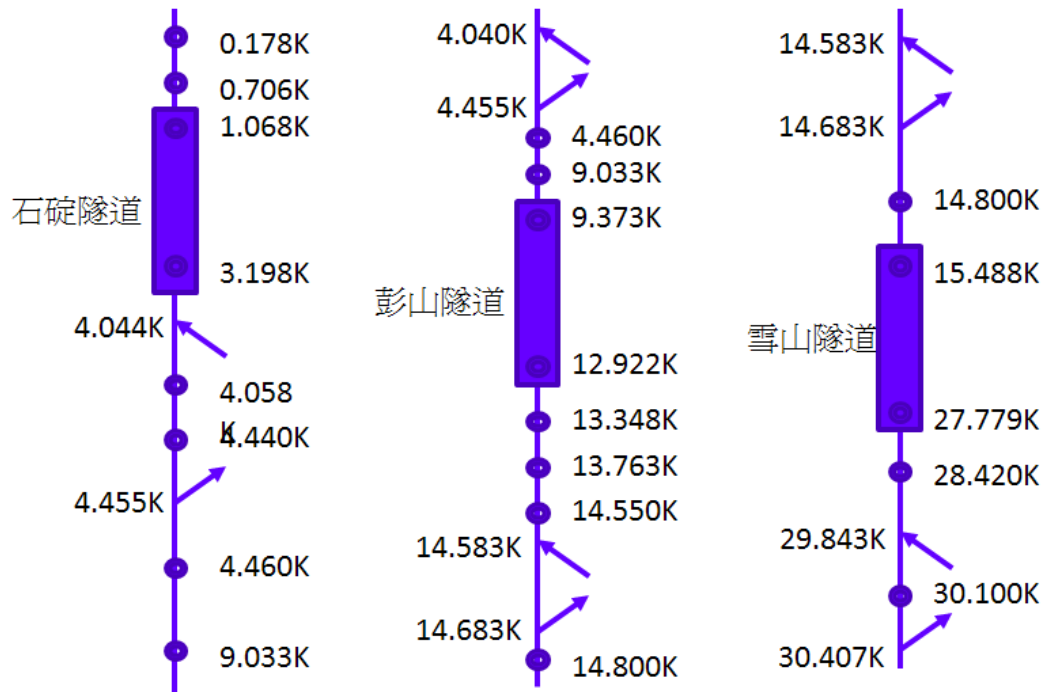


圖 3-2 國道 5 號高速公路北上交流道及特殊地點偵測器位置示意圖

北上隧道路段

- 1.石碇：從 1.068K 到 3.198K。
- 2.彭山：從 5.883K 到 13.348K。
- 3.雪山：從 15.488K 到 27.779K。

因為車輛不能在兩相鄰交流道之間進出國道 5 號公路，所以上述隧道路段上所有偵測器所估計的全天流量應該相同或是只有很少的差異。換言之，偵測站流量的估計值應有高度之一致性。

民國 96 年期間，石碇路段南北向 7 個偵測器中，有 3 個常故障，因而沒有流量估計值，其他偵測器的估計值則常有大的變異。相對而言，彭山路段及雪山路段上絕大多數偵測器的流量估計值相當一致，但仍有一些偵測器的估計值遠低於其他偵測器的估計值。這現象如表 3.3 及 3.4 所示。在民國 97 年期間，石碇路段南下在 2.050K 處之偵測器也常故障，其他偵測器之流量估計值的一致性也不理想。

從民國 97 年到 99 年，偵測器之流量估計值的一致性大有改善。以表 3.5 所列之數據為例，石碇路段上之 7 個偵測器在 99 年時經常能提供相當一致的流量估計值。但在民國 99 年及 100 年期間，在下列地點的偵測器仍常有異常的流量估計值：

南下

- 1.石碇：2.050K、2.433K、2.835K
- 2.彭山：7.553、13.343K

北上

- 1.石碇：1.435K、3.198K
- 2.彭山：13.348
- 3.雪山：24.667K、25.310K。

表 3.3 民國 96 年 9 月 17 日偵測器所估計之全天南下流量

石碇隧道		彭山隧道		雪山隧道	
位置(km)	流量(輛)	位置(km)	流量(輛)	位置(km)	流量(輛)
1.072	0	5.523	16438	15.478	16470
1.424	18209	6.498	16717	15.856	16691
1.766	18537	7.113	17315	16.201	16764
2.050	0	7.553	17621	16.551	16640
2.433	8340	7.923	17458	16.902	16566
2.835	0	8.669	17033	17.253	16722
3.178	12038	9.063	17188	17.608	16783
		9.326	17828	17.990	16625
		9.840	17773	18.312	16421
		10.145	17798	18.663	16761
		10.495	12936	19.013	16608
		10.845	17711	19.363	0
		11.158	17783	19.677	16550
		11.545	17775	20.063	16789
		11.895	17655	20.413	16719
		12.245	17754	20.763	16709
		12.595	17731	21.063	16463
		12.945	17718	21.460	16716
		13.343	17227	21.807	16702
				24.678	0
				24.962	16709
				25.312	16535
				25.664	16708
				26.013	16754
				26.299	16778
				26.706	16514
				27.054	16667
				27.442	16680
				27.748	774

表 3.4 民國 96 年 9 月 2 日偵測器所估計之全天北上流量

石碇隧道		彭山隧道		雪山隧道	
位置(km)	流量(輛)	位置(km)	流量(輛)	位置(km)	流量(輛)
1.068	0	5.883	32410	15.488	28371
1.435	35692	6.413	32457	15.855	28398
1.788	0	7.113	32558	16.196	28404
2.068	28297	7.636	32653	16.570	28367
2.455	0	8.043	13133	16.900	28278
2.849	35507	8.703	13205	17.268	28421
3.198	34594	9.013	32715	17.608	28425
		9.373	33047	17.998	28451
		9.840	31340	18.313	28273
		10.147	32985	18.662	28429
		10.506	33013	19.012	28345
		10.866	32869	19.361	28441
		11.178	32998	19.689	28234
		11.555	33029	20.062	28459
		11.896	32851	20.412	28418
		12.238	32988	20.752	28445
		12.579	32815	21.055	28238
		12.922	32955	21.444	28448
		13.348	32879	21.808	28467
				24.677	28469
				24.952	27854
				25.310	27961
				25.652	28437
				26.007	28435
				26.300	28463
				26.705	28239
				27.056	28070
				27.468	28383
				27.779	28356

表 3.5 民國 99 年 4 月 4 日偵測器所估計之全天北上流量

石碇隧道		彭山隧道		雪山隧道	
位置(km)	流量(輛)	位置(km)	流量(輛)	位置(km)	流量(輛)
1.068	40410	5.883	37359	15.488	34116
1.435	40326	6.413	37426	15.855	34048
1.788	40407	7.113	37469	16.196	34248
2.068	40065	7.636	37582	16.570	34190
2.455	39431	8.043	37297	16.900	34218
2.849	40498	8.703	37539	17.268	32735
3.198	40390	9.013	37724	17.608	34317
		9.373	37757	17.998	34364
		9.840	37947	18.313	34135
		10.147	37907	18.662	34389
		10.506	37922	19.012	34464
		10.866	37725	19.361	34453
		11.178	37965	19.689	34378
		11.555	37966	20.062	34496
		11.896	37640	20.412	34289
		12.238	37970	20.752	34388
		12.579	37934	21.055	34448
		12.922	38058	21.444	34523
		13.348	37901	21.808	34552
				24.677	34804
				24.952	34829
				25.310	20457
				25.652	34847
				26.007	34299
				26.300	34927
				26.705	34383
				27.056	35052
				27.468	35132
				27.779	35063

除了上述經常有問題的偵測器外，有些偵測器（如彭山北上 9.013K 之偵測器）偶而在某天中也會產生異常的流量估計值。因此在利用偵測器資料分析國道 5 號公路之車流特性之前，必須檢定隧道路段流量估計值之一致性。有異常流量估計值之偵測器資料不應採用。

3.3.2 流量估計值的正確性

偵測器流量估計值的一致性不能保證流量估計值的可靠性，因此本計畫亦蒐集並利用正確性高的容量資料來測試偵測器的估計值。雪山路段上的車輛必須通過頭城收費站，因為收費站有每天流量的統計數據，而且這些數據有高度正確性，故本計畫利用表 3.6 所列之統計數據來衡量偵測器估計值的正確性。其他路段沒有正確性高的資料可用。

3.3.2.1 雪山隧道路段

雪山路段偵測器流量估計值與頭城收費站統計數據的比較針對全天流量及全天大客車流量。全天流量的比較結果顯示於圖 3-3 及圖 3-4。從圖 3-3 可見絕大多數南下偵測器的估計值誤差在 3%之內。而且偵測器的誤差值超過 5%之情況很少見。

相對而言，北上偵測器的功能較差，因為有幾個偵測器偶而或經常產生大誤差，如圖 3-4 所示。最不可靠之的偵測器位於 25.310K 之處。在 24.667K 之偵測器也常產生大的估計誤差。雖然如此，絕大多數北上偵測器的估計誤差也在 3%之內。

表 3.6 頭城收費站 30 天流量統計表

日 期	星 期	北 上				南 下				總 計
		小型車 (輛)	大客車 (輛)	大客 車(%)	小 計	小型車 (輛)	大客車 (輛)	大客車 (%)	小 計	
99/01/09	六	24390	676	2.7	25066	29216	805	2.7	30021	55087
99/01/10	日	30524	849	2.7	31373	25638	768	2.9	26406	57779
99/01/16	六	27541	295	1.1	27836	32429	830	2.5	33259	61095
99/01/24	日	31082	858	2.7	31940	24675	809	3.2	25484	57424
99/03/01	一	20944	572	2.7	21516	19615	700	3.4	20315	41831
99/03/08	一	19356	705	3.5	20061	17461	750	4.1	18211	38272
99/04/03	六	25016	851	3.3	25867	44860	945	2.1	45805	71672
99/04/04	日	34436	756	2.1	35192	38927	779	2.0	39706	74898
99/05/08	六	26191	947	3.5	27138	34658	993	2.8	35651	62789
99/05/10	一	20687	695	3.3	21382	18447	788	4.1	19235	40617
99/10/08	五	21217	995	4.5	22212	25221	794	3.1	26015	48227
99/10/09	六	29158	790	2.6	29948	35792	908	2.5	36700	66648
99/10/10	日	33333	954	2.8	34287	27920	864	3.0	28784	63071
99/10/11	一	23406	597	2.5	24003	20532	609	2.9	21141	45144
99/12/10	一	21084	786	3.6	21870	24723	792	3.1	25515	47385
99/12/11	二	29793	851	2.8	30644	36404	932	2.5	37336	67980
99/12/12	三	34668	1036	2.9	35704	29985	851	2.8	30836	66540
99/12/13	四	22905	629	2.7	23534	20335	612	2.9	20947	44481
99/12/31	五	23254	687	2.9	23941	29837	681	2.2	30518	54459
100/01/01	六	35632	775	2.1	36407	44578	874	1.9	45452	81859
100/01/02	日	36108	809	2.2	36917	24280	669	2.7	24949	61866
100/01/03	一	20112	497	2.4	20609	17688	507	2.8	18195	38804
100/02/01	二	18625	517	2.7	19142	32120	622	1.9	32742	51884
100/02/02	三	14086	404	2.8	14490	36588	681	1.8	37269	51759
100/02/03	四	28740	507	1.7	29247	40724	822	2.0	41546	70793
100/02/04	五	37912	583	1.5	38495	41008	721	1.7	41729	80224
100/02/05	六	41413	723	1.7	42136	38794	810	2.0	39604	81740
100/02/06	日	46885	895	1.9	47780	29282	672	2.2	29954	77734
100/02/07	一	43645	799	1.8	44444	24385	673	2.7	25058	69502
100/02/08	二	27896	600	2.1	28496	23722	604	2.5	24326	52822

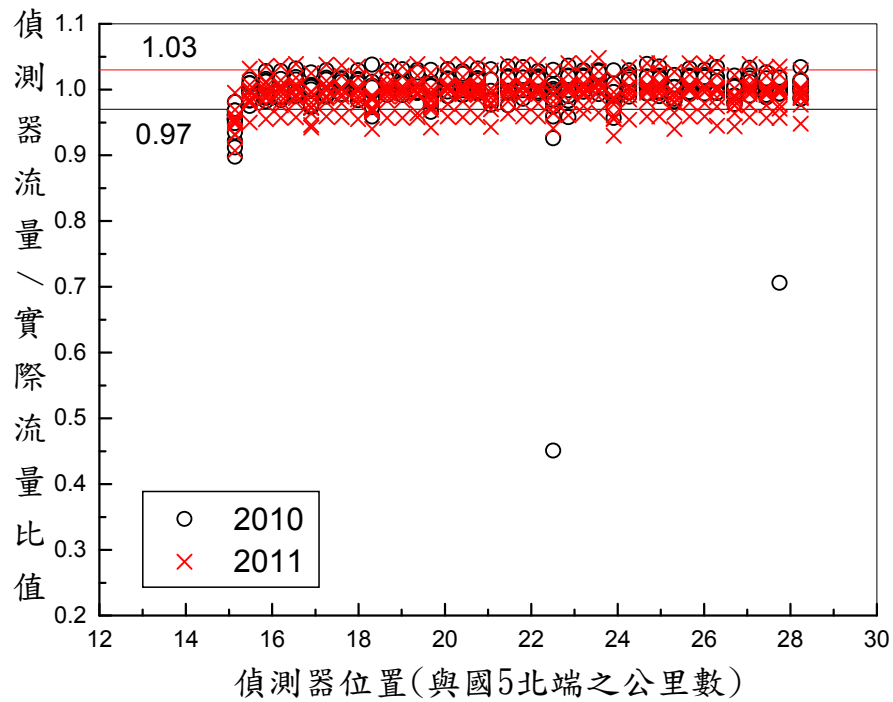


圖 3-3 雪山隧道路段南下偵測器全天流量估計值與收費站統計數據之比值

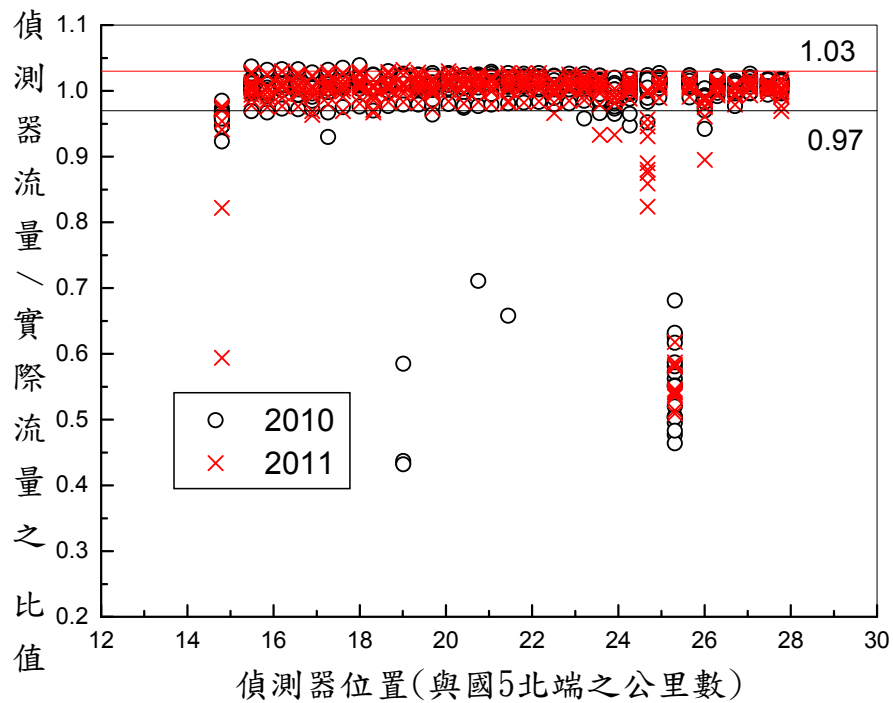


圖 3-4 雪山隧道路段北上偵測器全天流量估計值與收費站統計數據之比值

上述估計誤差小的流量估計值有高的一致性，如 3.3.1 節的表 3.5 所示。換言之，雪山隧道路段任何一偵測器之流量估計值如與其他大多數偵測器估計值一致，則使用該偵測器的估計值來分析車流特性不會造成不可接受的誤差。為慎重起見，本計畫在使用偵測器之流量估計值之前，除了探討估計值之一致性以避免採用有明顯問題之資料外，也將一致性高的估計值進一步分析以估計其中間值(median)。任何一偵測器之流量估計值與中間值的差亦必須不超過 1%才採用。

至於大客車之全天流量，圖 3-5 顯示除了在 15.139K 之偵測器估計值在實際流量之 70%到 120%範圍內之外，其他地點偵測器的估計值為實際值的 1.3 到 2.7 倍。圖 3-6 顯示，北上偵測器之大客車流量估計值的誤差也非常大。此外，小車及大客車平均長度大約各為 4.7 公尺及 12 公尺，但國道 5 號公路所有偵測器不能提供可靠的大客車流量資料。幸好大客車占總車輛之比例常在 3%以下（見表 3.6），而且在大致平坦之路段上，一大客車相當於 1.5 輛小車[1]，因此在沒有實際大客車流量時可假設國道 5 號公路的大客車占總車數之 3%，而且大客車之小客車當量為 1.5。這些假設狀況可合理的用來分析車流特性。例如在尖峰流率為 1,500 輛/小時/車道，而且大客車之實際百分比為 5%或 1%之情況下，假設大客車百分比為 3%所造成的估計誤差，只有 15 小車/小時/車道。這小量的估計誤差不會顯著的扭曲實際的車流特性。

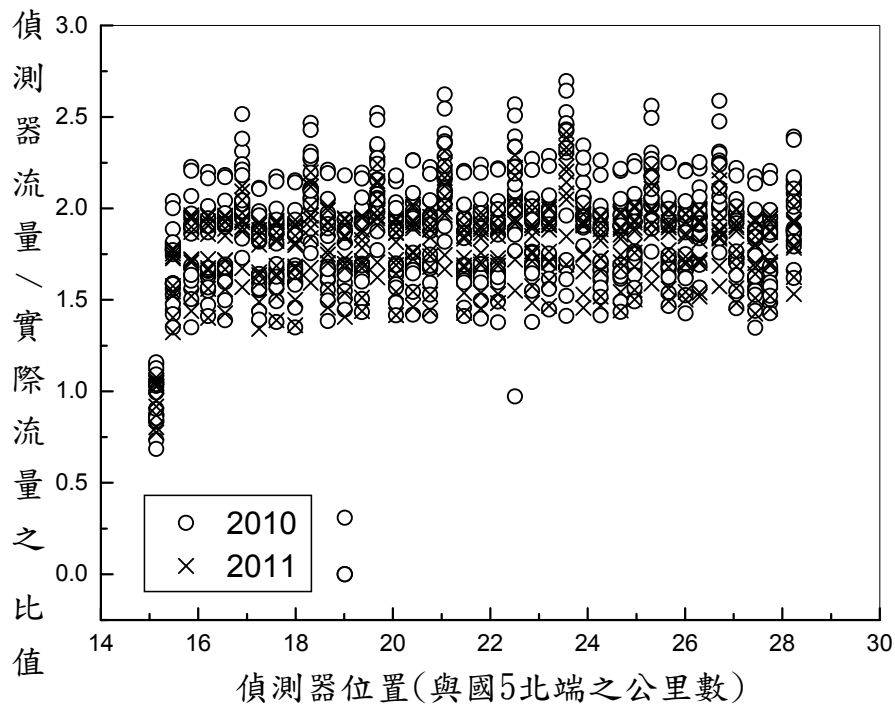


圖 3-5 雪山隧道路段南下偵測器全天大客車流量估計值與收費站統計數據之比值

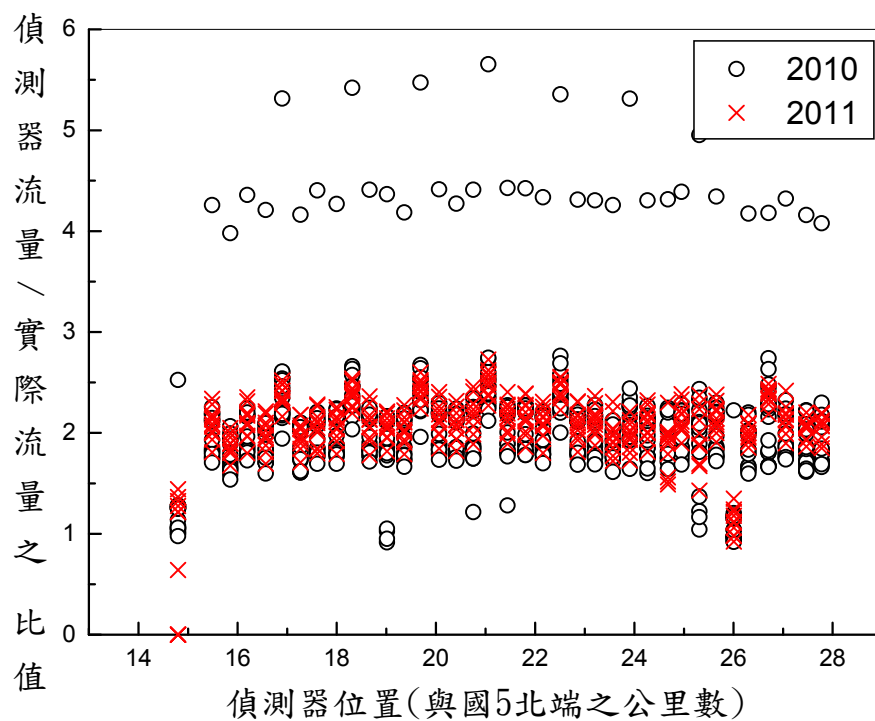


圖 3-6 雪山隧道路段北上偵測器全天大客車流量估計值與收費站統計數據之比值

3.3.2.2 石碇及彭山隧道路段

石碇及彭山隧道路段的偵測器與雪山隧道路段的偵測器屬於同一軟體及硬體系統。因此，如果石碇或彭山路段多數的偵測器有一致的流量估計值，則這些一致性高的容量估計值應可與雪山路段的估計值用同一方式來應用。目前沒有正確的流率資料可檢定這兩路段上偵測器的可靠性。

3.3.2.3 隧道之間流量估計值的合理性

石碇隧道及彭山隧道之間有石碇交流道，彭山隧道及雪山隧道之間則有坪林交流道。一般而言，從一上游隧道離開的全天流量，減掉出口匝道流量然後加上進口匝道流量，等於預期會進入下游隧道之流量。如果此預期流量與偵測到的流量有顯著差異，則這些流量估計值不能用來分析有關交流道地區之車流特性。根據此原則，本計畫探討在下列4組偵測器地點所估計之全天流量的合理性(見圖 3-1 及圖 3-2):

- 1.南下石碇隧道出口 3.178K，石碇出口匝道 3.806K，石碇進口匝道 4.178K，彭山隧道進口 9.326K。
- 2.南下彭山隧道出口 12.945K，坪林出口匝道 14.483K，坪林進口匝道 14.691K，雪山隧道進口 15.478K。
- 3.北上雪山隧道出口 15.488K，坪林出口匝道 14.683K，坪林進口匝道 14.583K，石碇隧道進口 12.922K。
- 4.北上彭山隧道出口 9.373K，石碇出口匝道 4.455K，石碇進口匝道 4.044K，石碇隧道進口 3.198K。

如表 3.7 所示，2010 年有多數日期中之南下預期流量與偵測流量的差距在偵測值之 1.5%之內，但有些日期中之差異達 6%，北上從雪山隧道到彭山隧道的預期流量與偵測流量的差異也多數在 2%以下，如表 3.8 所示。但是在一些日期中，從彭山隧道到石碇隧道的預期流量與偵測流量有很大的差異。

表 3.7 2010 年南下隧道之間預期全天流量與偵測流量之比較

年	月	日	彭山隧道入口			雪山隧道入口		
			預期全天 流量(輛)	偵測器 流量(輛)	誤差(%)	預期全天 流量(輛)	偵測器 流量(輛)	誤差(%)
2010	1	13	18802	18774	0.1	17505	17762	-1.4
2010	1	20	21295	21195	0.5	19861	19991	-0.7
2010	1	27	21201	21192	0.0	19770	19572	1.0
2010	3	3	21042	19850	6.0	18438	18812	-2.0
2010	1	11	19352	19379	-0.1	18086	18378	-1.6
2010	1	18	20533	20277	1.3	19014	19318	-1.6
2010	1	25	19979	20004	-0.1	18953	19320	-1.9
2010	3	1	21594	21484	0.5	20105	20217	-0.6
2010	3	8	19582	19558	0.1	18267	18493	-1.2
2010	4	2	29725	29534	0.6	28168	28049	0.4
2010	4	3	44265	45828	-3.4	45184	44676	1.1
2010	4	4	40222	40849	-1.5	39277	39029	0.6
2010	4	5	25855	25740	0.4	23658	23762	-0.4
2010	5	7	26390	26036	1.4	24397	24845	-1.8
2010	5	8	37922	36777	3.1	35288	35545	-0.7
2010	5	9	28602	28108	1.8	25656	25922	-1.0
2010	5	10	20178	20193	-0.1	18788	19296	-2.6
2010	1	8	22514	22268	1.1	21041	21085	-0.2
2010	1	15	26279	26155	0.5	24763	25020	-1.0
2010	1	22	25634	25511	0.5	24262	24589	-1.3
2010	3	3	21042	19850	6.0	18438	18812	-2.0
2010	1	9	32531	31368	3.7	29686	29788	-0.3
2010	1	16	34768	34520	0.7	32893	33110	-0.7
2010	1	23	32326	32100	0.7	30750	31063	-1.0
2010	3	6	38418	37396	2.7	35210	35279	-0.2
2010	3	13	34357	34899	-1.6	33578	33888	-0.9
2010	3	20	38301	36948	3.7	35238	35301	-0.2
2010	3	27	39456	38982	1.2	37383	37594	-0.6
2010	1	10	28901	28236	2.4	26059	26332	-1.0
2010	1	17	26323	26246	0.3	24315	24670	-1.4
2010	1	24	27707	26939	2.9	25171	25492	-1.3
2010	3	7	28201	27886	1.1	25995	26003	0.0
2010	3	14	31759	31039	2.3	28366	28638	-0.9
2010	3	21	30285	29826	1.5	27538	27925	-1.4
2010	3	28	32431	32056	1.2	29597	29853	-0.9
2010	4	11	31086	30661	1.4	28209	28544	-1.2
2010	4	18	27660	27512	0.5	25441	25900	-1.8
2010	4	25	30498	30066	1.4	27574	27915	-1.2

表 3.8 2010 年北上隧道之間預期全天流量與偵測流量之比較

年	月	日	彭山隧道入口			石碇隧道入口		
			預期全天 流量(輛)	偵測器 流量(輛)	誤差(%)	預期全天 流量(輛)	偵測器 流量(輛)	誤差(%)
2010	1	13	18809	18589	1.2	20432	20513	-0.4
2010	1	20	20686	20479	1.0	22302	22324	-0.1
2010	1	27	21418	21210	1.0	22991	23022	-0.1
2010	3	3	20329	19958	1.9	22151	11243	97
2010	1	11	21417	21219	0.9	22973	23118	-0.6
2010	1	18	21740	21615	0.6	23193	23288	-0.4
2010	1	25	22671	22337	1.5	23418	23632	-0.9
2010	3	1	23080	22838	1.1	25907	15560	66.5
2010	3	8	21462	21122	1.6	17827	11340	57.2
2010	4	2	22494	22053	2.0	23548	22889	2.9
2010	4	3	27733	27244	1.8	28954	27908	3.7
2010	4	4	38698	38058	1.7	40214	40390	-0.4
2010	4	5	47117	46624	1.1	46653	47108	-1.0
2010	5	7	21707	21100	2.9	22851	22980	-0.6
2010	5	8	29784	29080	2.4	31122	31235	-0.4
2010	5	9	39702	38867	2.1	40663	41053	-0.9
2010	5	10	22822	22523	1.3	24067	24145	-0.3
2010	1	8	19377	19191	1.0	20967	20983	-0.1
2010	1	15	23004	22704	1.3	24777	24807	-0.1
2010	1	22	22062	21706	1.6	23230	23257	-0.1
2010	3	3	20329	19958	1.9	22151	11243	97
2010	1	9	26860	26495	1.4	28013	28124	-0.4
2010	1	16	29999	29582	1.4	31381	31476	-0.3
2010	1	23	27152	26712	1.6	27901	27876	0.1
2010	3	6	32870	32348	1.6	35270	17592	100.5
2010	3	13	29627	29040	2.0	31013	18091	71.4
2010	3	20	31657	31155	1.6	33447	16758	99.6
2010	3	27	31823	31166	2.1	33123	27969	18.4
2010	1	10	34289	33655	1.9	36005	36118	-0.3
2010	1	17	33176	32594	1.8	34539	34779	-0.7
2010	1	24	34273	33596	2.0	35403	35488	-0.2
2010	3	7	35249	34473	2.3	37116	18427	101.4
2010	3	14	39176	38288	2.3	40454	40707	-0.6
2010	3	21	38224	37274	2.5	38914	19518	99.4
2010	3	28	41828	40847	2.4	42510	37912	12.1
2010	4	11	38221	37124	3.0	39124	27770	40.9
2010	4	18	35835	34769	3.1	36371	36659	-0.8
2010	4	25	37838	36874	2.6	39130	39617	-1.2

2011 年的偵測器資料也顯示偵測器的作業性能不一定能持久穩定。表 3.9 所列的南下預期流量與偵測流量的差異在多數日期中不超過 1.7%，但有時達 3.7%。表 3.10 顯示北上從雪山隧道到彭山隧道的預期流量與偵測值的差異不超過 2.1%。但是從彭山隧道到石碇隧道的偵測流量則遠大於預期流量，其原因是石碇進口匝道上的偵測器沒有流量的估計值。

上述隧道之間流量預期值與偵測值的比較顯示一交流道進口及出口匝道上之偵測器，交流道上游隧道出口處之偵測器及交流道下游隧道進口處之偵測器，不能提供合乎理論之關係的流量估計值。但在不少期間內，預期流量與偵測流量的差距在 1.5%之內。在有必要用到隧道之間之偵測器資料時，本計畫只採用差距在 1%內之資料。

表 3.9 2011 年南下隧道之間預期全天流量與偵測流量之比較

年	月	日	彭山隧道入口			雪山隧道入口		
			預期全天流量(輛)	偵測器流量(輛)	誤差(%)	預期全天流量(輛)	偵測器流量(輛)	誤差(%)
2010	12	31	31649	31336	1.0	30153	30033	0.4
2011	1	1	47116	46836	0.6	46033	45752	0.6
2011	1	2	26573	26486	0.3	24682	24572	0.4
2011	1	3	18873	19026	-0.8	17930	18190	-1.4
2011	2	1	33606	33292	0.9	31975	32127	-0.5
2011	2	2	38138	37945	0.5	36696	36606	0.2
2010	2	3	40357	39455	2.3	39625	39464	0.4
2010	2	4	40906	40543	0.9	41247	40910	0.8
2011	2	5	39628	39629	0.0	39466	39231	0.6
2011	2	6	33768	32550	3.7	30727	30915	-0.6
2010	2	7	26805	26551	1.0	24736	24980	-1.0
2011	2	8	25352	25164	0.7	24001	24290	-1.2

表 3.10 2011 年北上隧道之間預期全天流量與偵測流量之比較

年	月	日	彭山隧道入口			石碇隧道入口		
			預期全天流量(輛)	偵測器流量(輛)	誤差(%)	預期全天流量(輛)	偵測器流量(輛)	誤差(%)
2010	12	31	25405	25062	1.4	21771	26687	-18.4
2011	1	1	38587	37936	1.7	31902	39033	-18.3
2011	1	2	41104	40468	1.6	34437	42005	-18.0
2011	1	3	21920	21641	1.3	19026	23217	-18.1
2011	2	1	20208	20016	1.0	17558	21702	-19.1
2011	2	2	15414	15098	2.1	13602	16655	-18.3
2010	2	3	31450	31174	0.9	26890	34598	-22.3
2010	2	4	40717	40209	1.3	34987	42387	-17.5
2011	2	5	46003	45274	1.6	37591	47446	-20.8
2011	2	6	53958	53312	1.2	44192	55564	-20.5
2010	2	7	48081	47613	1.0	40731	50153	-18.8
2011	2	8	29894	29579	1.1	25515	31633	-19.3

3.3.3 佔有率估計值之合理性

國道 5 號公路上每一車輛偵測站有 2 個圓形偵測器，其配置如圖 3-7 所示。一車輛進入一偵測器之偵測範圍內之瞬間會產生一 pulse。此 pulse 在車輛離開偵測範圍時會消失。這些 pulse 的長短、開始瞬間及終止瞬間可用來估計速率及佔有率。

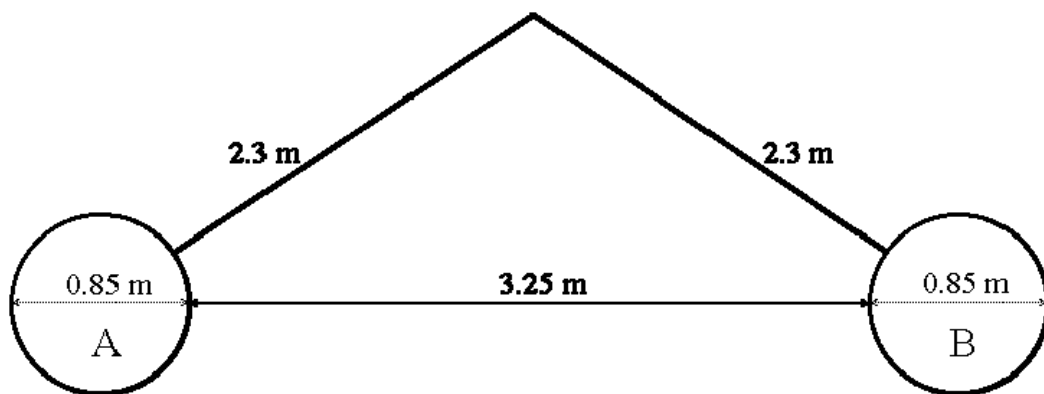


圖 3-7 偵測器配置

如果偵測器之偵測範圍相同，則一車輛通過一偵測站之速率可估計如下：

$$u_i = \frac{0.85 + 3.25}{t_{1Bi} - t_{1Ai}} = \frac{4.1}{t_{1Bi} - t_{1Ai}} \quad (3.1)$$

此式中，

u_i ：車輛 i 之速率（公尺/秒）；

t_{1Ai} ：車輛 i 進入上游偵測器 A 之偵測範圍的瞬間（秒）；

t_{1Bi} ：車輛 i 進入下游偵測器 B 之偵測範圍的瞬間（秒）。

上述車輛之速率也可估計如下：

$$u_i = \frac{0.85 + 3.25 + 0.85 + L_i}{t_{2Bi} - t_{1Ai}} = \frac{4.95 + L_i}{t_{2Bi} - t_{1Ai}} \quad (3.2)$$

此式中，

L_i ：車輛 i 之長度（公尺）；

t_{2Bi} ：車輛 i 離開下游偵測器範圍之瞬間（秒）。

式 3.2 之估計值比式 3.1 估計值不準確。其中一原因是雖然偵測器線圈之直徑是 0.85 公尺，偵測的範圍一般不等於直徑（一般較長）。另一原因是車長是估計值。但式 3.2 中之 $t_{2B} - t_{1A}$ 代表一車輛佔據一長為 4.95 公尺之偵測站的時間。因此，此佔據時間可直接用來估計通常所稱的佔有率(occupancy)。其估計值如下：

$$B = \frac{100(\sum_{i=1}^n t_i)}{T} \quad (3.3)$$

此式中，

B ：佔有率(%)；

T ：資料蒐集時段（秒）；

n ： T 秒期間通過偵測站的車數（輛）；

t_i ：車輛 i 進入上游偵測器範圍之瞬間（ t_{1Ai} 秒）到離開下游偵測器範圍之瞬間（ t_{1Bi} 秒）之總時間。

因為 T 秒鐘內有 n 輛車通過偵測站，所以流率 Q （輛/秒）可估計如下：

$$Q = \frac{n}{T} = KU_s \quad (3.4)$$

此式中，

K ：密度（輛/公尺）；

U_s ：空間平均速率（公尺/秒）。

式 3.4 中之空間平均速率可估計如下：

$$U_s = \frac{4.95 + L}{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}} = \frac{n(4.95 + L)}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (3.5)$$

此式中，

U_s ：空間平均速率（公尺/秒）；

L ：平均車長（公尺）。

根據式 3.3、3.4 及 3.5，密度與佔有率有如下的關係：

$$K = \frac{B}{100(4.95 + L)} \quad (3.6)$$

如果密度的單位為輛/公里，則式 3.6 可改為：

$$K = \frac{10B}{4.95 + L} \quad (3.7)$$

從式 3.7 可知密度與佔有率有線性關係。此外，國道 5 號公路上的大車很少，因此平均車長接近小車之平均車長。小車之平均車長在 4.7 公尺左右。所以式 3.7 中之 $4.95 + L$ 大約等於 9.65 公尺。因為偵測器之偵測範圍通常稍大於線圈的直徑或車行方向的長度，所以圖 3-7 中兩偵測器之總共偵測範圍長度加上一小車之平均長度可能在 10 公尺左右。換言之，密度 1 輛/公里大約等於佔有率 1%。

本計畫選擇南下及北上各 6 個偵測站在 2010 年 3 天內所取得的資料來探討估計的佔有率與密度是否有線性關係及每 1 輛/公里的密度是否大約等於 1% 的佔有率。偵測器沒有提供密度的估計值，但密度可用偵測到的流率及平均速率從式 3.4 來估計。結果如圖 3-8、3-9、3-10 及 3-11 所示。

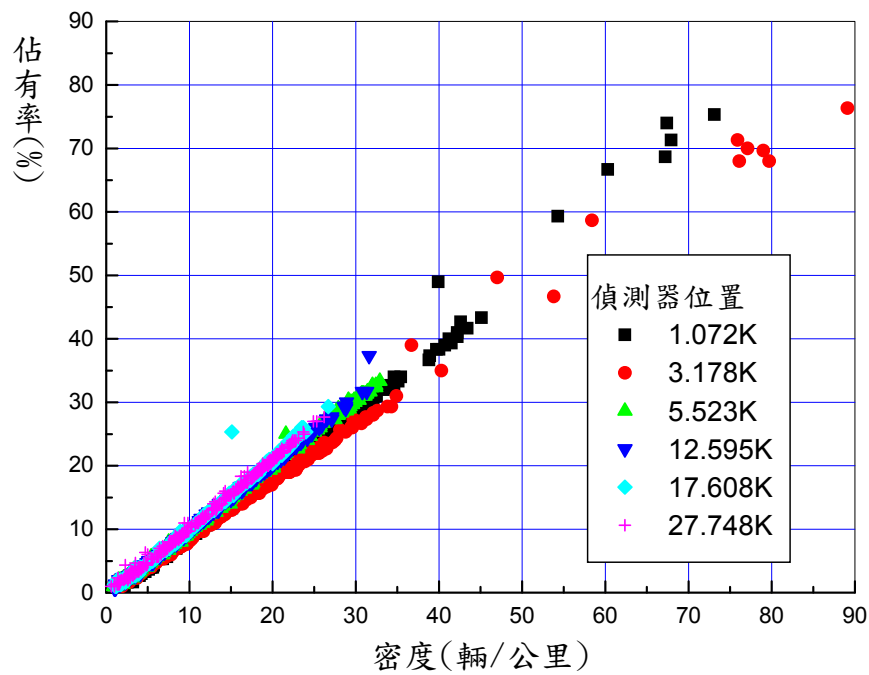


圖 3-8 南下內車道佔有率與密度的關係
(2010 年 4 月 3 日、4 日及 5 月 8 日資料)

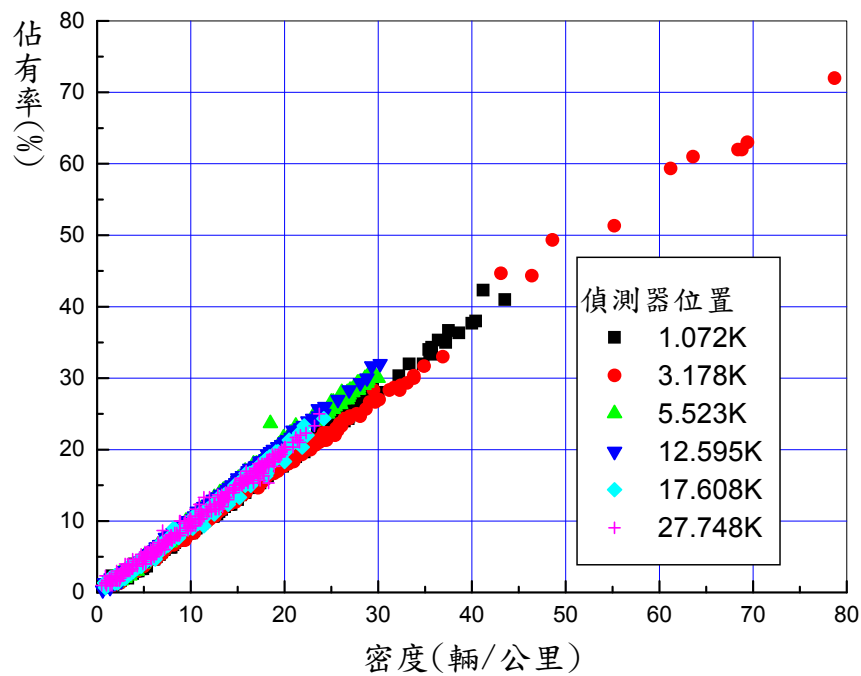


圖 3-9 南下外車道佔有率與密度的關係
(2010 年 4 月 3 日、4 日及 5 月 8 日資料)

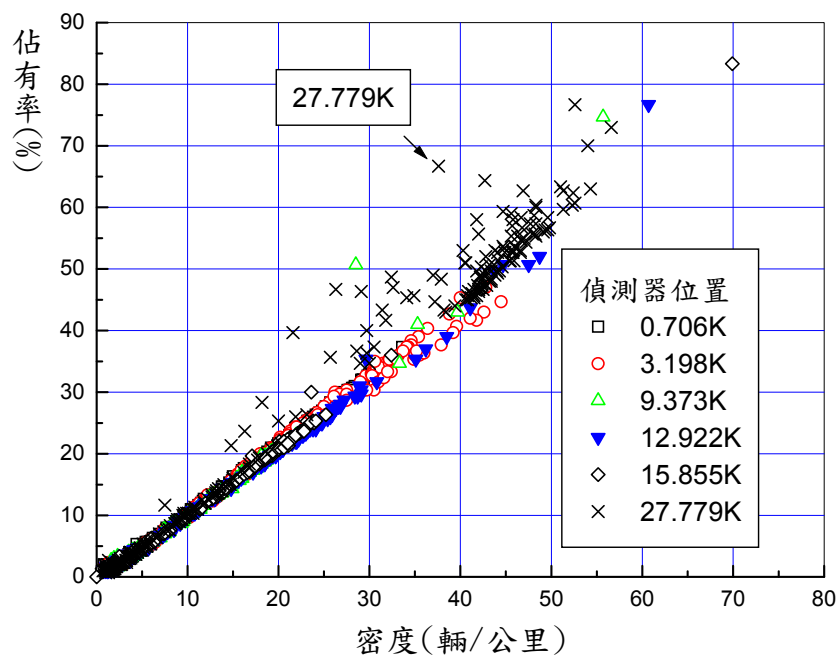


圖 3-10 北上內車道佔有率與密度的關係
(2010 年 4 月 4 日、5 日及 5 月 9 日資料)

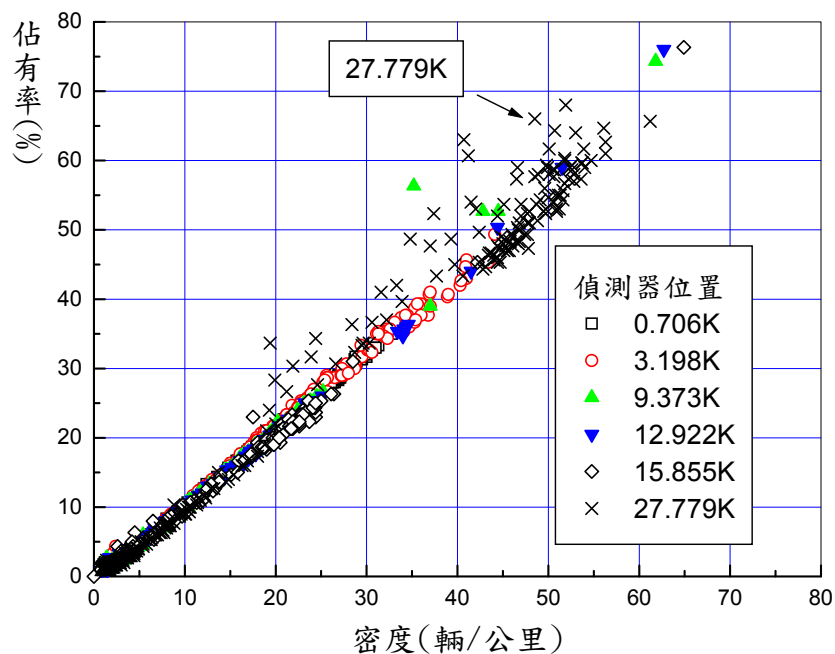


圖 3-11 北上外車道佔有率與密度的關係
(2010 年 4 月 4 日、5 日及 5 月 9 日資料)

圖 3-8 及 3-9 顯示南下偵測器的佔有率及密度估計值有明顯的線性關係，而且密度每增 1 輛/公里，佔有率大約增加 1%。這些關係與預期的關係相當接近。圖 3-10 及 3-11 顯示北上偵測器的估計值比較不穩定，其中在 27.779K 處的偵測器估計值特別異常。當佔有率在 40% 以下時，其他地點的偵測資料顯示佔有率及密度的關係也近似預期的關係。但佔有率超過 40% 時，內車道的佔有率及密度有呈現另一種線性關係的現象（見圖 3-10）；密度每增 1 輛/公里，佔有率大約增加 1.2%。

從上述討論可知，雖然多數偵測器資料所顯現的佔有率及密度近似預期關係，有些偵測器不能提供可靠的資料。因此利用偵測器資料分析有關佔有率的現象之前，須將異常的資料排除。

第四章 國道 5 號高速公路車流特性

4.1 一般性車流特性

本章利用 2010~2011 年期間共 52 天的偵測器資料及頭城收費站資料，探討國道 5 號公路一般性車流之特性。這些特性涉及流率在一天中隨時間變化之型態、車流之方向性、尖峰流量係數、尖峰小時係數，大客車比例，車道之使用及壅塞程度。

4.1.1 流率型態

圖 4-1~圖 4-11 顯示在 2010~2011 年期間，通過石碇、彭山及雪山隧道之車流的各種流率型態。這些型態有下列特性：

- 1.如圖 4-1 所示，以 2010 年母親節的車流為例，同一天中通過石碇、彭山及雪山隧道之車流的流率型態一般很相似。在尖峰期間，石碇隧道的流率通常稍高於彭山隧道之流率，彭山隧道的流率又高於雪山隧道之流率。
- 2.如圖 4-2、圖 4-3 及圖 4-4 所示，平常工作日中，北上有明顯的上午尖峰及下午尖峰，南下則全天只有一明顯的上午尖峰。北上之上午尖峰大約在七點左右開始，這可能是北上有許多工作性質之旅次。南下之尖峰約在上午 10 點才開始。上述各圖亦顯示在不同星期內，同樣是星期一、星期三或星期五的流率型態，沒有顯著變化。可能有比較顯著變化的型態屬於南下星期五車流（見圖 4-4）。
- 3.平常工作日中，星期一、星期三及星期五的型態很相似，如圖 4-5 所示。但是有時南下星期五在下午 5 點之後的型態，顯現持續的高流率。
- 4.不同的平常星期六或星期日車流也有相似的流率型態，如圖 4-6 及圖 4-7 所示。但這些週末的流率型態與工作日的流率型態不同。例如南下工作日之早上尖峰約在 10 點左右開始，週末之上午

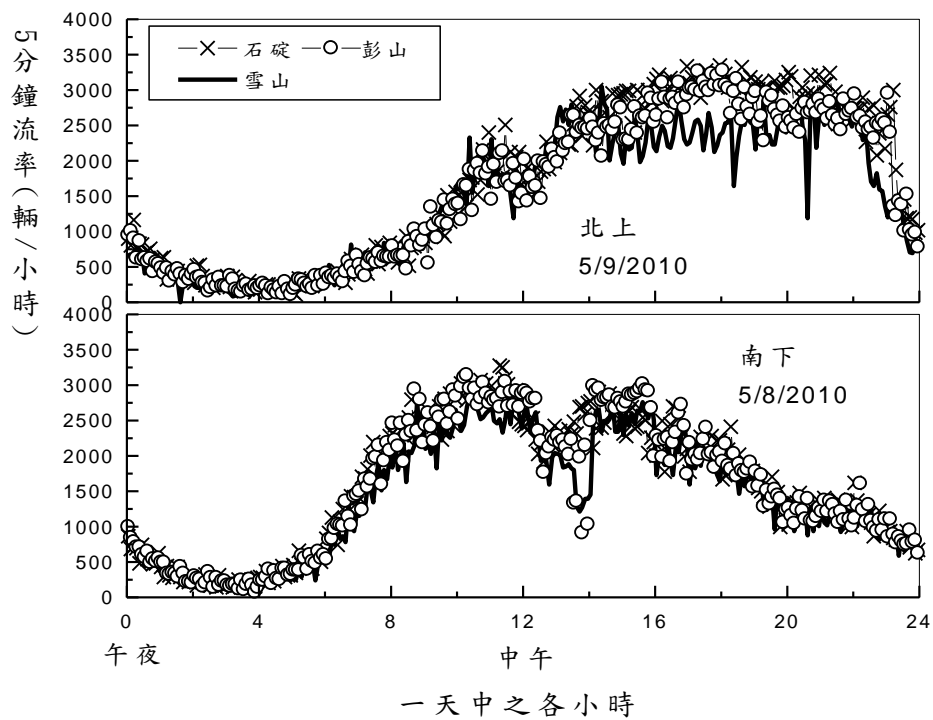


圖 4-1 石碇、彭山與雪山隧道之車流型態比較

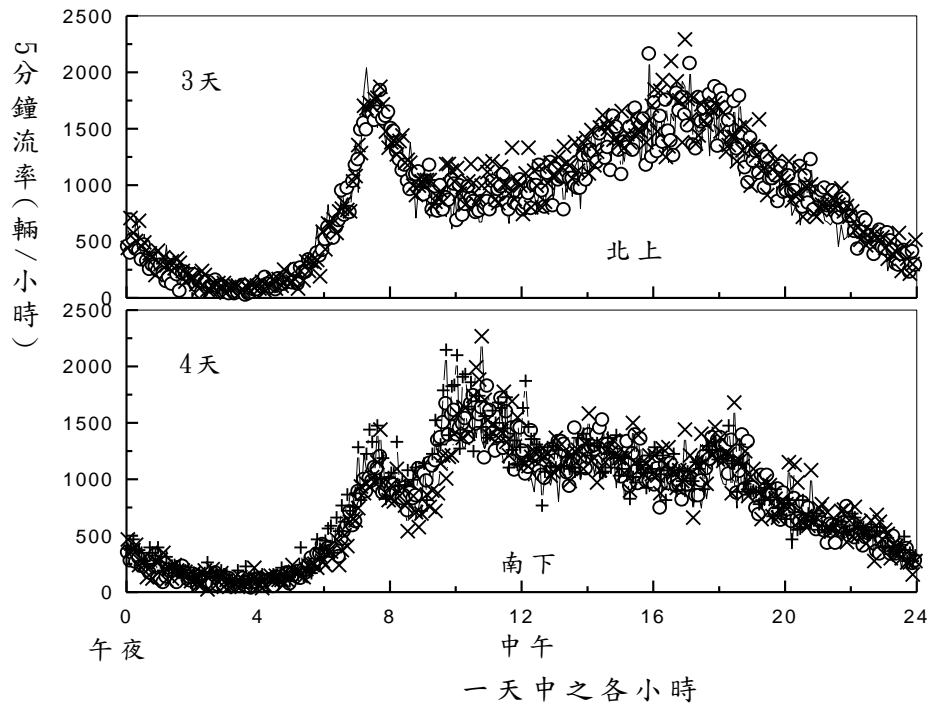


圖 4-2 雪山隧道在 2010 年週一(Monday)的車流型態

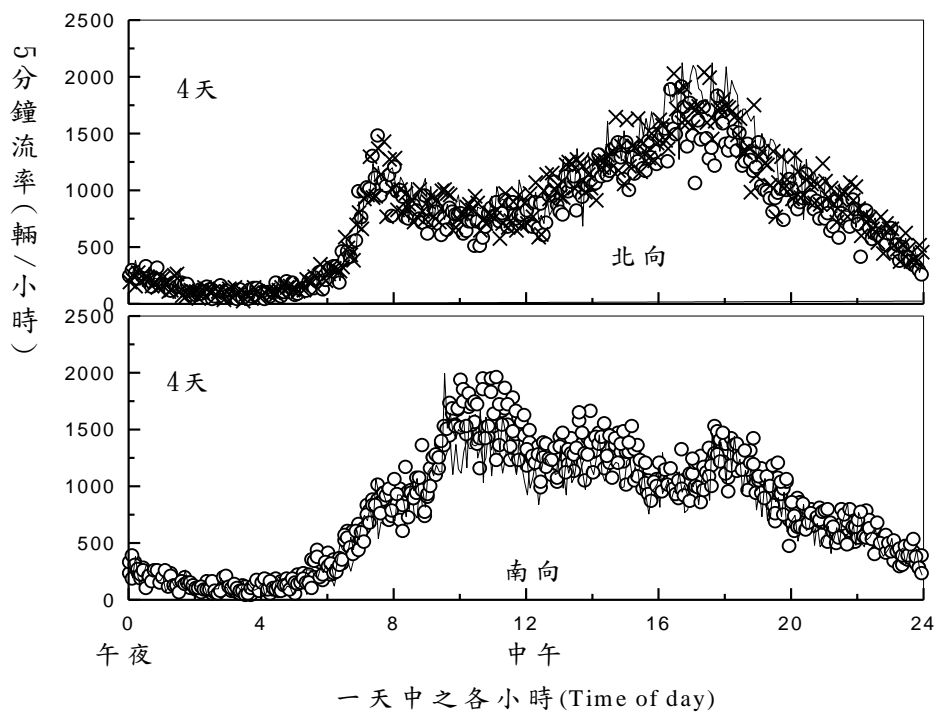


圖 4-3 雪山隧道在 2010 年週三的車流型態

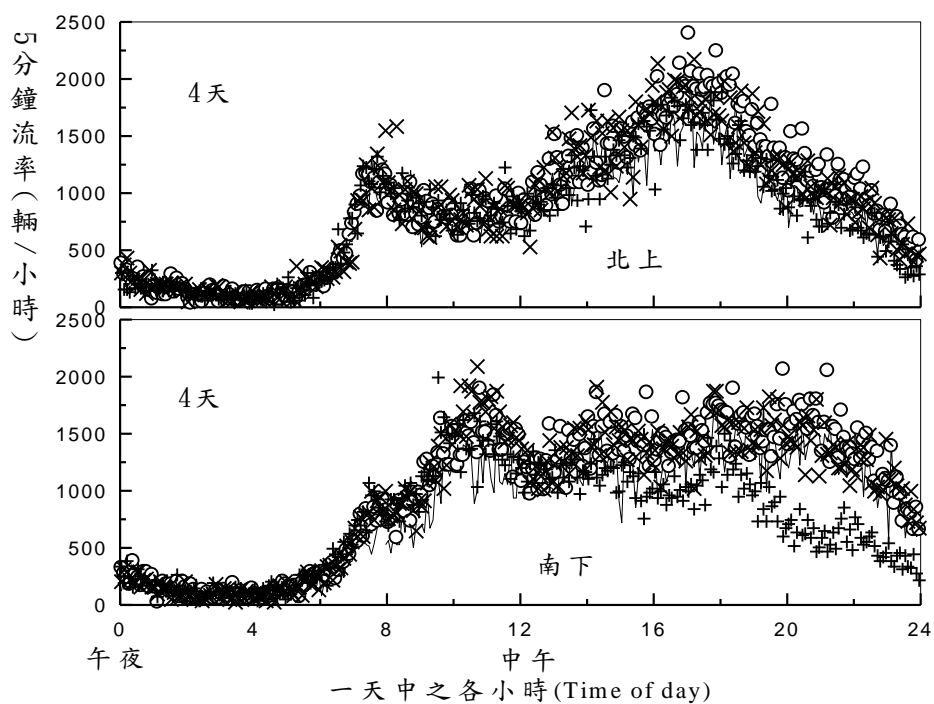


圖 4-4 雪山隧道在 2010 年週五的車流型態

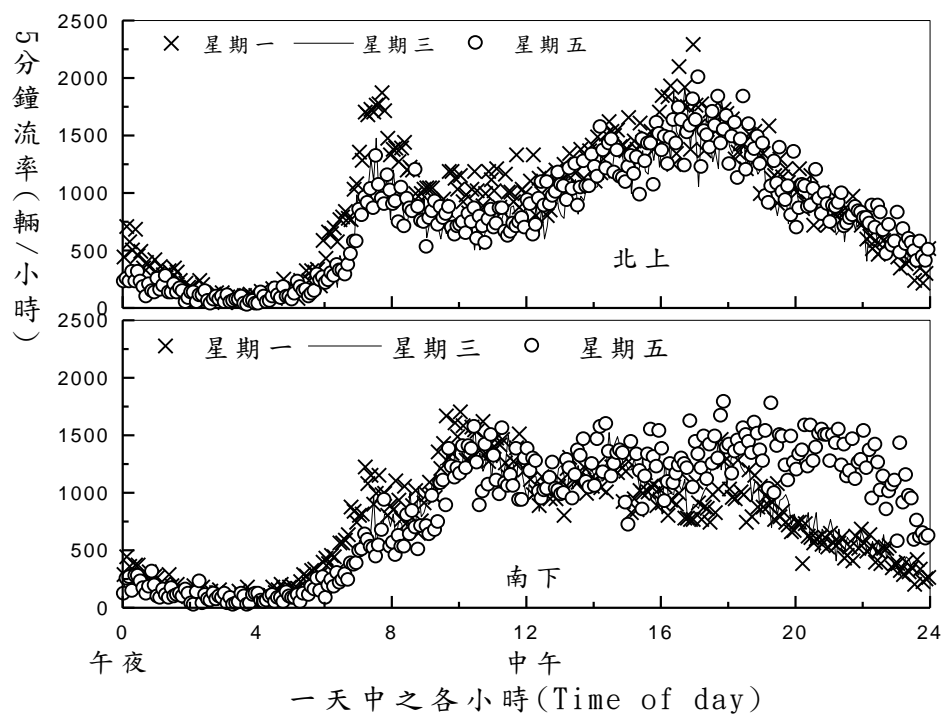


圖 4-5 雪山隧道在 2010 年平常日 (weekday) 的車流型態

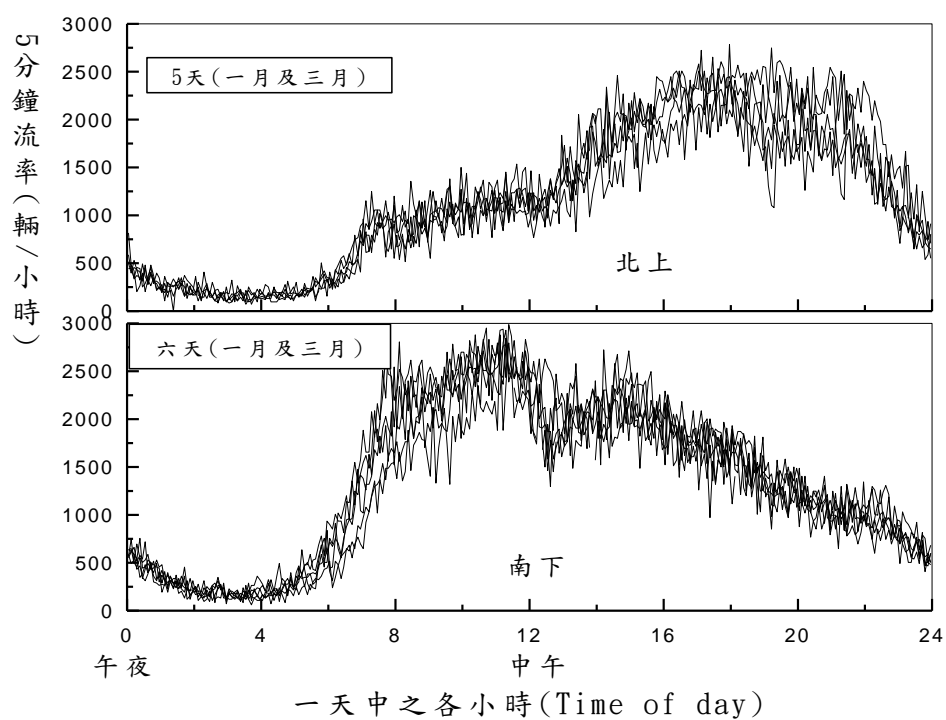


圖 4-6 雪山隧道在 2010 年週六的車流型態

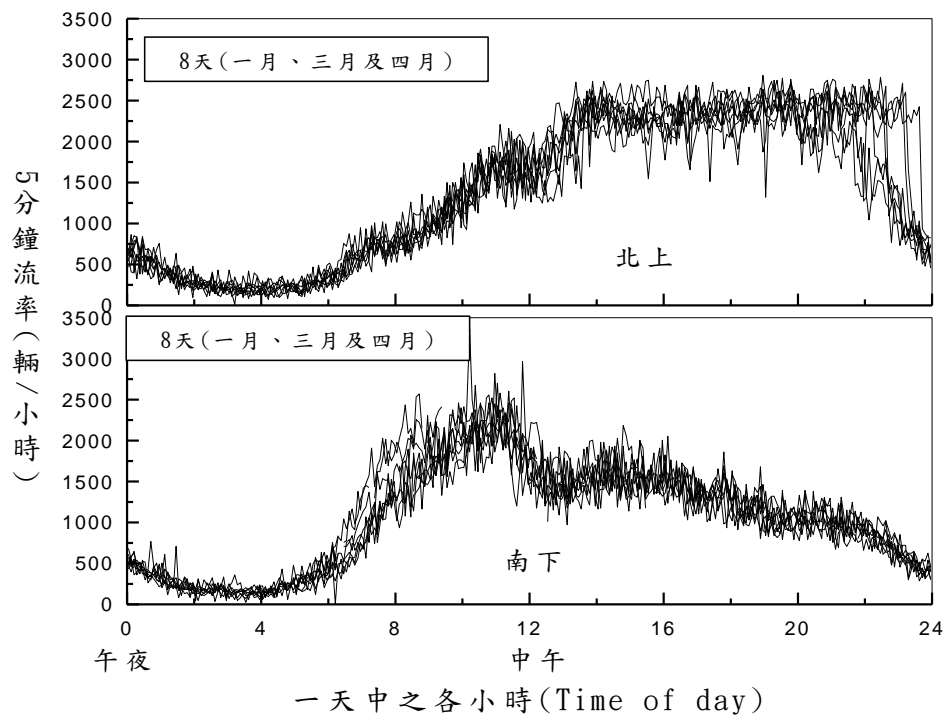


圖 4-7 雪山隧道在 2010 年週日的車流型態

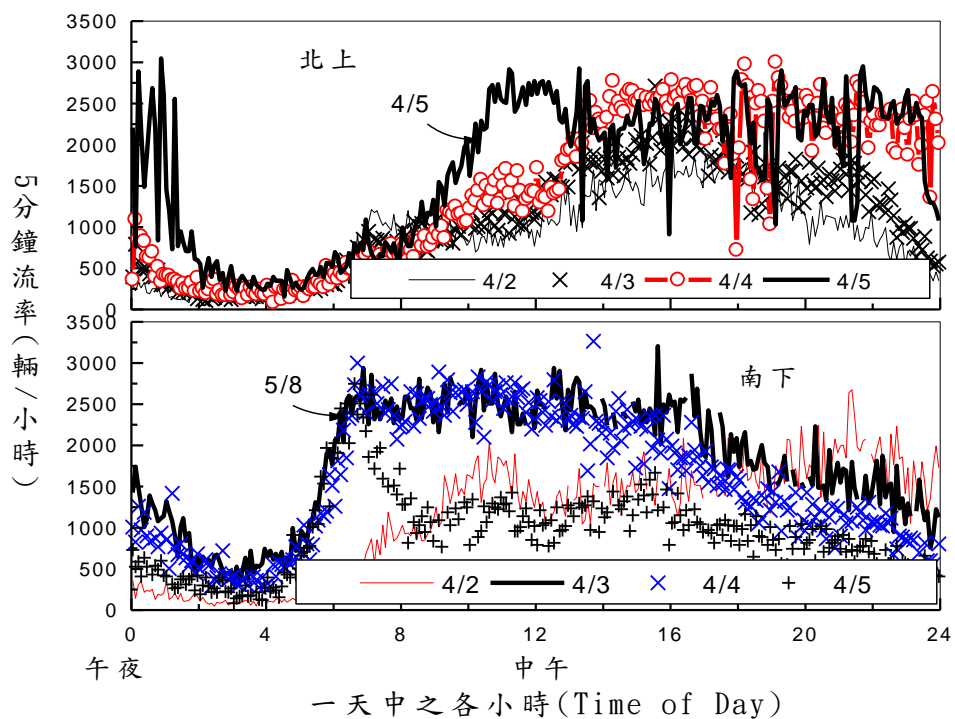


圖 4-8 雪山隧道在 2010 年清明節(4/2~4/5)的車流型態

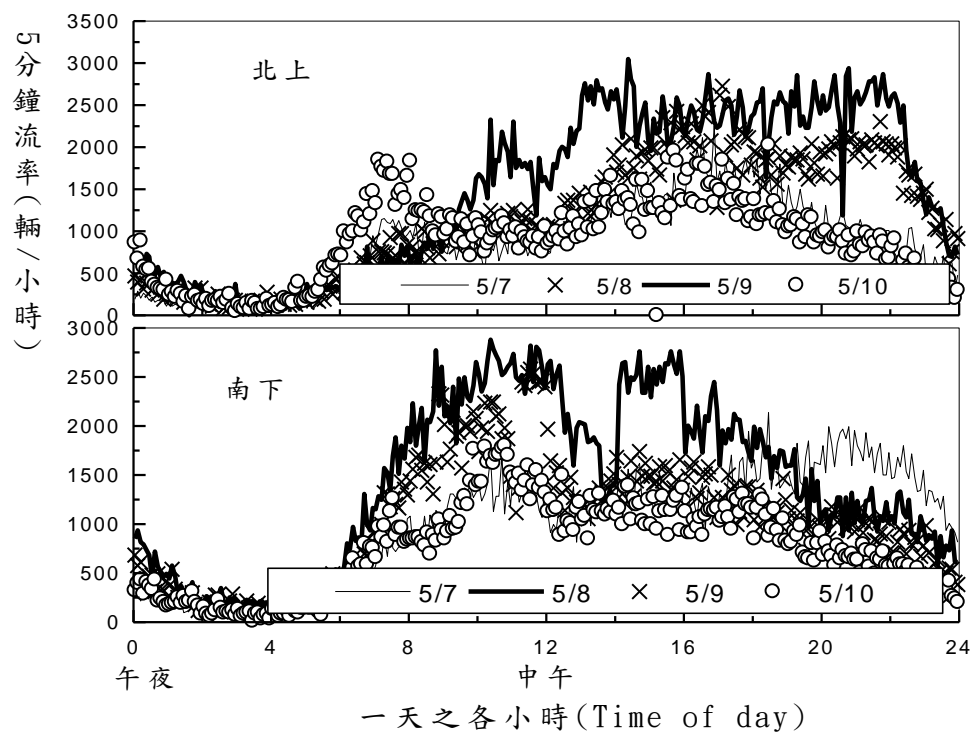


圖 4-9 雪山隧道在 2010 年母親節(5/7~5/10)的車流型態

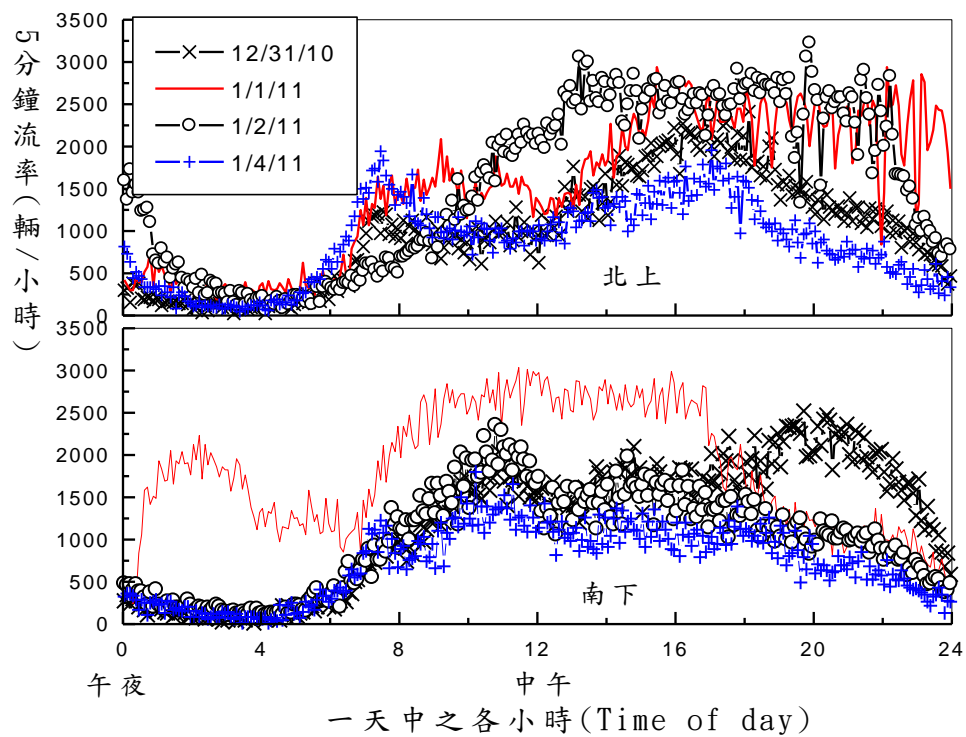


圖 4-10 雪山隧道在 2011 年元旦假期(12/31/2010~1/3/2011)的車流型態

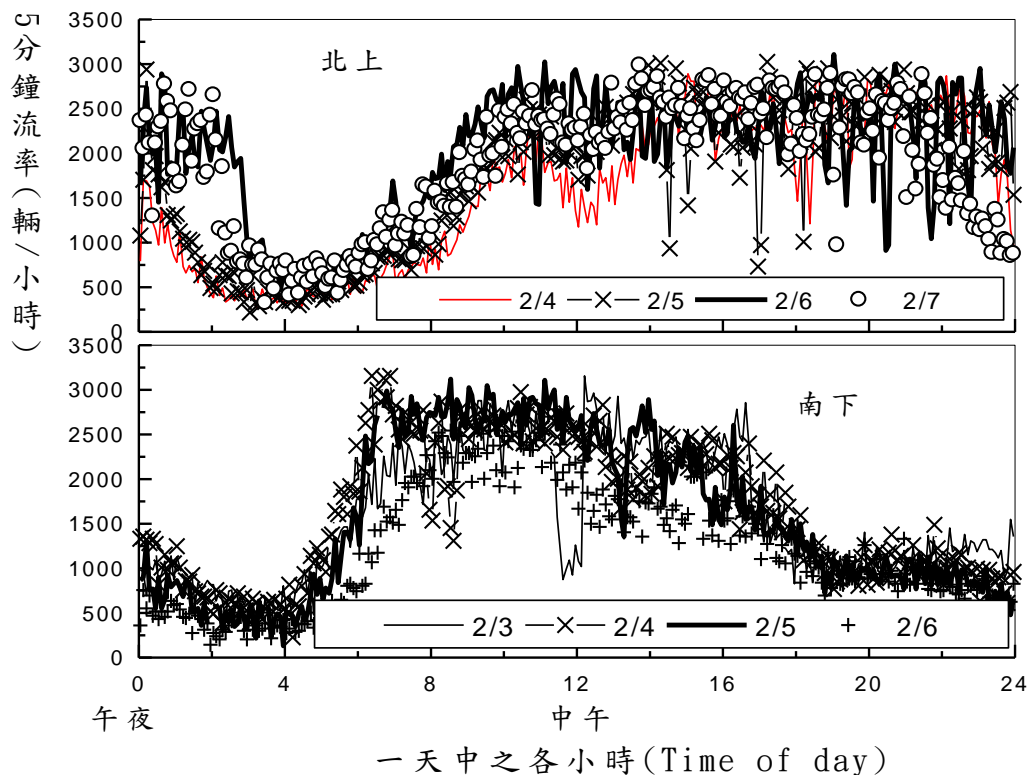


圖 4-11 雪山隧道在 2011 年春節(2/1/2011~2/8/2011)的車流型態

尖峰則在 8 點左右就開始。此外，北上週末流率未顯現如工作日之雙峰型態，而是從早上開始流率持續上升，然後在下午 1~2 點左右達到高峰。北上週末流率達到高峰之後，高流率的狀況可持續到晚上 10 以後。週末的單向尖峰流率常比工作日之尖峰流率高約 500 輛/小時。

5. 國定假日（如清明節、母親節、元旦、農曆春節等）的流率型態隨各假日的性質而變，如圖 4-8~圖 4-11 所示。一般而言，南下在假日剛開始之後有較大的車流，北上則在假日快結束之前有較大的車流。國定假日中流率最高的日期之單向尖峰流率，在雪山隧道內通常達 2,700 輛/小時，石碇及彭山隧道的尖峰流率較高。

4.1.2 流量之方向性

表 4.1~表 4.5 顯示 2010~2011 年平常日（工作日及週末）之平均每日流量及國定假期間之每日流量。從這些表可知，除了平常工作

日，南下及北上流量有顯著的方向性。一般而言，平常星期六中，南下流量比北上高得多，平常星期日的北上流率則遠高於南下流率。至於國定假日，通常假日期間剛開始的日期中，南下比北上的流量高，假期快結束時，北上比南下車流高。這些現象反映國道 5 號公路在假日期間有大量從臺北地區南下旅遊車流。

表 4.1 2010 年平常工作日及週末之大約平均每日流量

方向	日期性質	石碇隧道	彭山隧道	雪山隧道
北上	平常日	23,000(13 天)	20,900(11 天)	20,100(11 天)
	週六	31,600(7 天)	29,200(7 天)	28,400(7 天)
	週日	38,300(10 天)	35,600(10 天)	33,800(10 天)
南下	平常日	21,800(13 天)	21,000(12 天)	20,300(12 天)
	週六	35,600(7 天)	35,100(7 天)	33,900(7 天)
	週日	30,300(10 天)	28,900(10 天)	27,200(10 天)

表 4.2 2010 年清明節假期每日流量大約值

方向	日期	石碇隧道	彭山隧道	雪山隧道
北上	4/2	23,600	22,600	21,400
	4/3	29,100	26,900	26,000
	4/4	40,400	37,700	33,500
	4/5	47,200	46,400	41,000
南下	4/2	29,400	29,200	28,500
	4/3	44,200	45,600	45,300
	4/4	40,100	40,800	39,300
	4/5	26,800	25,600	24,000

表 4.3 2010 年母親節假期每日流量大約值

方向	日期	石碇隧道	彭山隧道	雪山隧道
北上	5/7	22,900	20,800	20,300
	5/8	31,200	28,700	27,500
	5/9	41,100	38,500	35,600
	5/10	24,100	22,200	21,600
南下	5/7	26,100	25,800	25,000
	5/8	37,800	37,500	35,900
	5/9	29,300	28,200	26,200
	5/10	20,600	20,000	19,400

表 4.4 2011 年元旦假期每日流量大約值

方向	日期	石碇隧道	彭山隧道	雪山隧道
北上	12/31/2010	26,700	24,600	24,000
	1/1/2011	39,200	37,500	36,100
	1/2/2011	42,100	40,800	37,800
	1/3/2011	29,100	27,300	20,900
南下	12/31/2010	31,800	31,300	30,400
	1/1/2011	45,500	46,900	45,700
	1/2/2011	27,300	26,400	24,800
	1/3/2011	19,600	18,900	18,100

表 4.5 2011 年農曆春節假期每日流量大約值

方向	日期	石碇隧道	彭山隧道	雪山隧道
北上	2/1	21,600	19,600	19,100
	2/2	16,600	14,900	14,700
	2/3	34,600	30,800	29,500
	2/4	42,400	39,800	38,600
	2/5	47,500	45,100	41,300
	2/6	55,600	52,900	48,100
	2/7	50,300	47,200	45,300
	2/8	31,700	29,200	28,600
南下	2/1	33,400	33,000	31,600
	2/2	37,900	37,800	37,000
	2/3	40,500	40,800	39,600
	2/4	41,400	41,800	41,600
	2/5	38,800	40,000	39,700
	2/6	34,600	32,500	30,500
	2/7	28,800	26,400	24,900
	2/8	26,400	25,100	24,200

如將每日車流之方向性個別分析，圖 4-12 顯示每日雙向總車流越高，南北方向交通流量之差異越大。例如雙向每日流量為 40,000 輛左右時，車流較大方向的流量占總流量約 50~54%；但雙向流量達 70,000 輛以上時，車流較大方向之流量占總流量的比例有時將近 0.65。一般而言，當雙向總流量在 45,000~80,000 輛之範圍時，車流較大方向的流量常占總流量之 52%~58%。

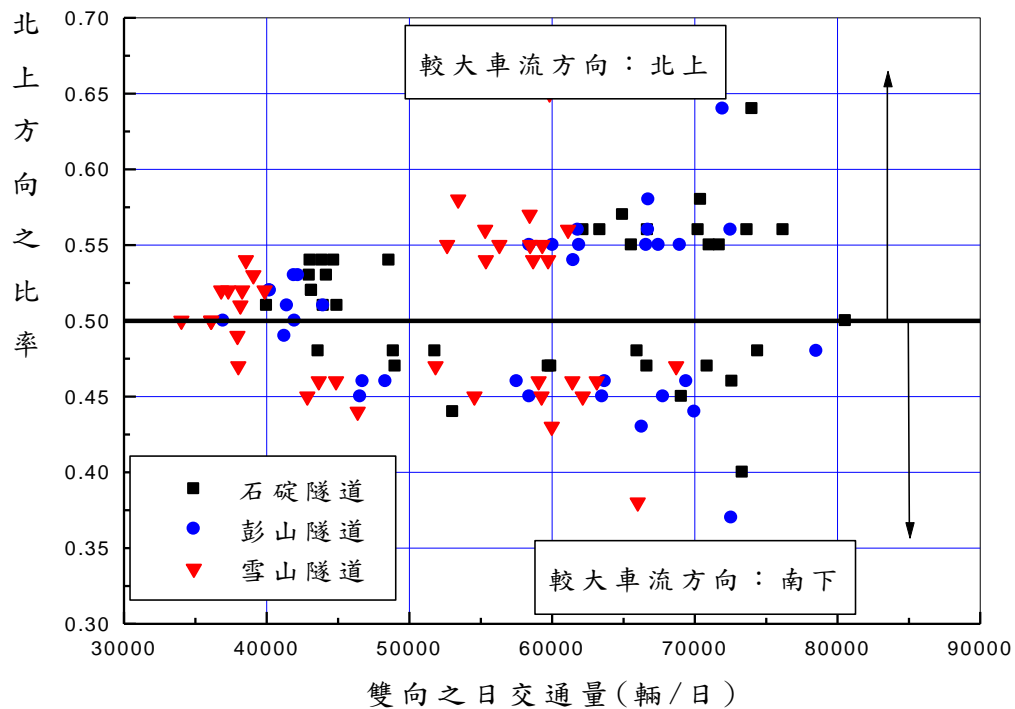


圖 4-12 北上全天流量占雙向總流量之比例

4.1.3 尖峰小時流量係數(peak-hour volume factor)

尖峰小時流量係數代表尖峰小時流量占全天流量之比例。如圖 4-13 所示，不論南下或北上，此係數之值有隨全天流量之增加而減少的趨勢。單向全天流量在 30,000 輛以下時，尖峰小時流量係數之平均值大約是 0.085。全天流量增高到 50,000 輛左右時，尖峰小時流量係數降低到大約 0.060。但是全天流量相同時，尖峰小時流量係數有相當大的變異性。

規劃類似國道 5 號公路之設施時，可參考表 4.6 之尖峰小時流量係數，以選擇一合適之係數來估計規劃之用的需求流量。表 4.6 乃根據圖 4-13 中較高的係數值所訂定。

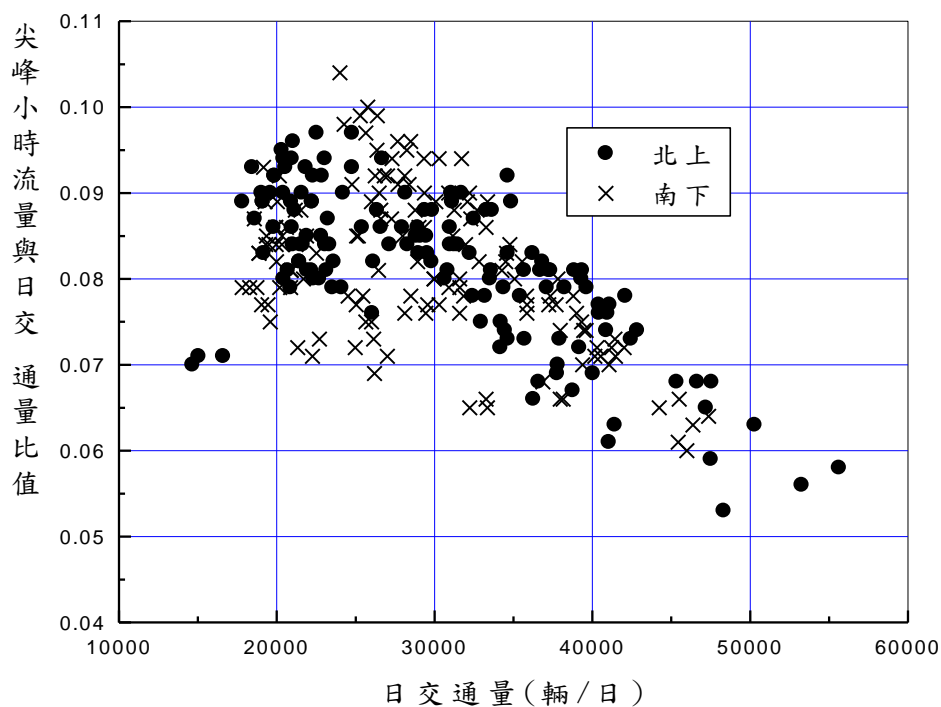


圖 4-13 尖峰小時流量係數與全天流量之關係

表 4.6 尖峰小時流量係數參考值

單向全天流量 (輛)	尖峰小時流量係數
20,000~25,000	0.092
25,000~30,000	0.090
30,000~35,000	0.085
35,000~40,000	0.080
40,000~45,000	0.070
45,000~50,000	0.065
> 50,000	0.060

4.1.4 尖峰小時係數(peak-hour factor)

尖峰小時係數代表尖峰小時平均流率與尖峰 15 分鐘流率之比值。此係數越接近 1.0，尖峰小時內流率隨時間的變化越小。圖 4-14 顯示尖峰小時係數有隨尖峰小時流率而增加的趨勢，但尖峰小時流率相同時，尖峰小時係數的變異性相當顯著。在規劃類似國道 5 號公路之設施時，可參考表 4.7 來選擇尖峰小時係數。

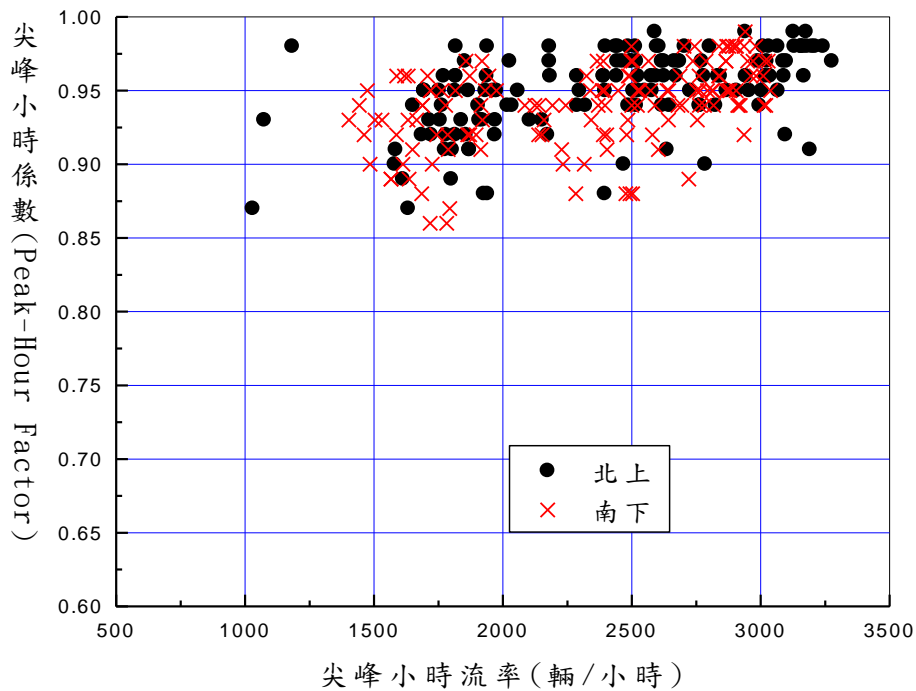


圖 4-14 尖峰小時係數與尖峰小時流率之關係

表 4.7 尖峰小時係數參考值

尖峰小時流率 (輛/小時)	尖峰小時係數
< 1,500	0.90
1,500~2,000	0.91
2,000~2,500	0.92
2,500~3,000	0.93
3,000~3,500	0.94

4.1.5 大客車比例

國道 5 號公路上的偵測器未能提供可靠的大客車資料。目前也沒有統計資料可供估計每天或尖峰小時中通過石碇及彭山隧道之大客車數。另一方面，每天通過雪山隧道的大客車數可從頭城收費站的統計資料來訂定。

根據第三章表 3.6 的數據，圖 4-15 顯示每天通過雪山隧道的大客車有隨全天流量而增加的現象。全天流量在 20,000 輛以下時，大客車流量大約在 400~800 輛之範圍內。全天流量在 35,000 輛左右時，大客車流量大約增高到 700~1,000 輛。如圖 4-16 所示，通過雪山隧道之大

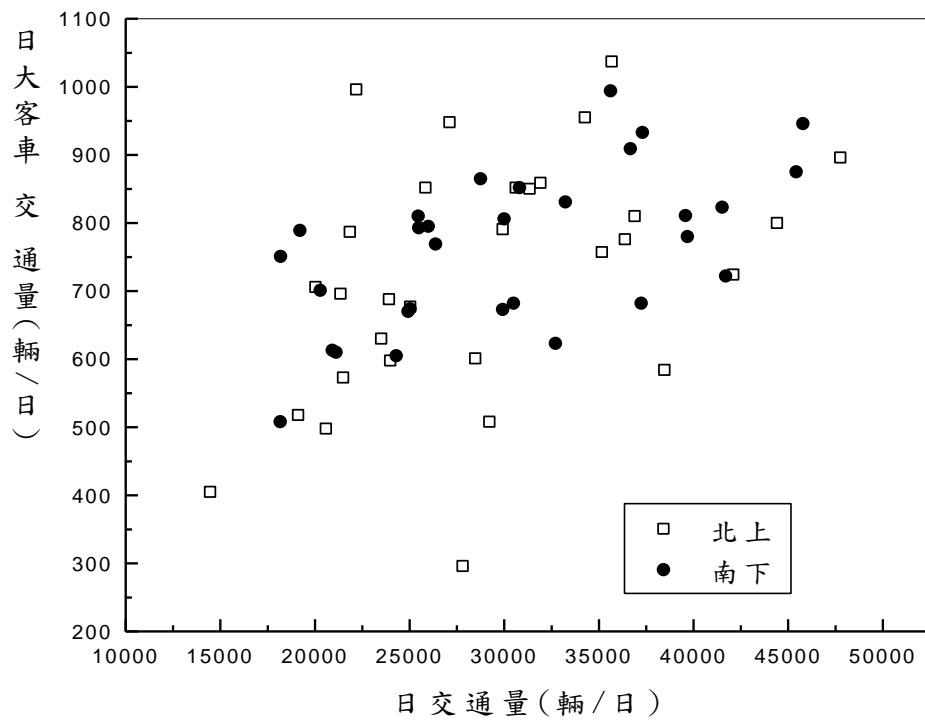


圖 4-15 通過雪山隧道大客車流量與全天流量之關係

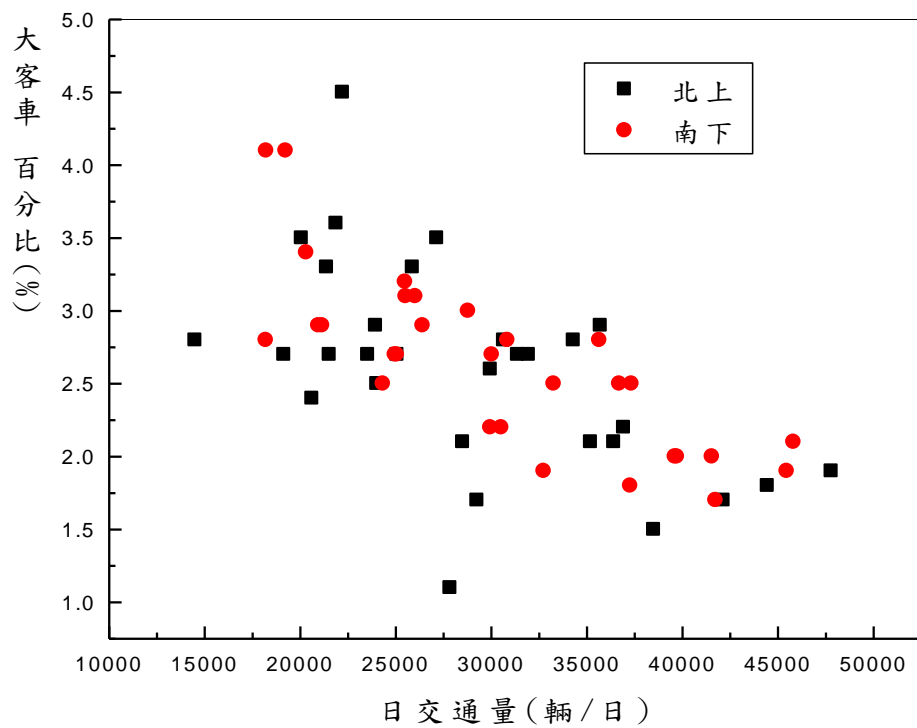


圖 4-16 通過雪山隧道全天流量中之大客車百分比

客車占全天流量的比例，隨全天流量之增加而減少每日流量在 20,000 輛左右時，大客車約占 2.5%~4.5%。每日流量超過 40,000 輛時，大客車約占 1.5%~2.0%。

多數的大客車主要往返臺北與宜蘭之間。在這情況下，多數通過雪山隧道的大客車也會隨通過彭山及石碇隧道。因為彭山及石碇隧道之全天流量通常高於雪山隧道之流量，所以彭山及石碇隧道中大客車的比例可能比雪山隧道中之比例低。

4.1.6 車流之車道分布

根據 2011 年 1 月到 5 月的偵測器資料，圖 4-17 及圖 4-18 顯示石碇、彭山與雪山隧道內側車道 5 分鐘流率占單方向總流率的百分比有下列特性：

1. 不論石碇、彭山或雪山隧道，南下內車道流率與總流率的關係沒有顯著的不同。在總流率低於 500 輛/小時之情況下，內車道流率的百分比平均大約只有 51%。外車道流率常有較高於內車道流率的現象。總流率增加到大約 1,200 輛/小時之過程中，內車道流率之百分比隨著增加。總流率再增加時，內車道流率之百分比開始下降。總流率超過 2,500 輛/小時之後，車流呈壅塞狀況，內外車道流率的差異減少，內車道流率之百分比也隨著降低並維持在一穩定的範圍內。
2. 北上內車道流率百分比與總流率的關係類似南下的關係，內車道流率百分比隨總流率之增加而先增加然後減少，並在壅塞狀況下趨近穩定值。但石碇隧道內車道流率之百分比顯然比其他兩隧道內車道流率的百分比低。
3. 上述內車道流率百分比與總流率的關係，可用表 4.8 之平均值來代表。

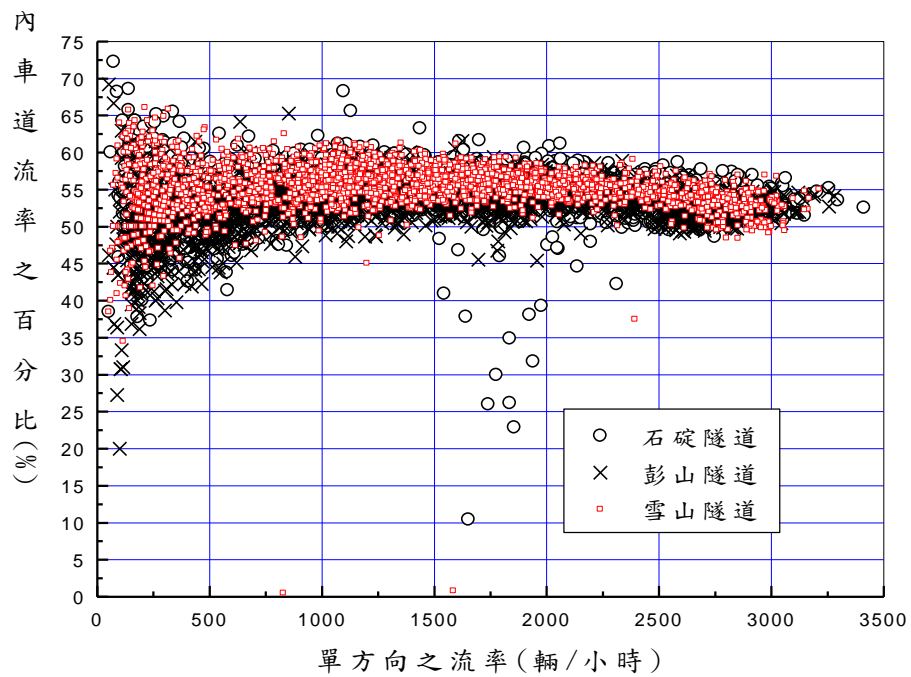


圖 4-17 石碇、彭山及雪山隧道南下內車道流率與總流率之關係

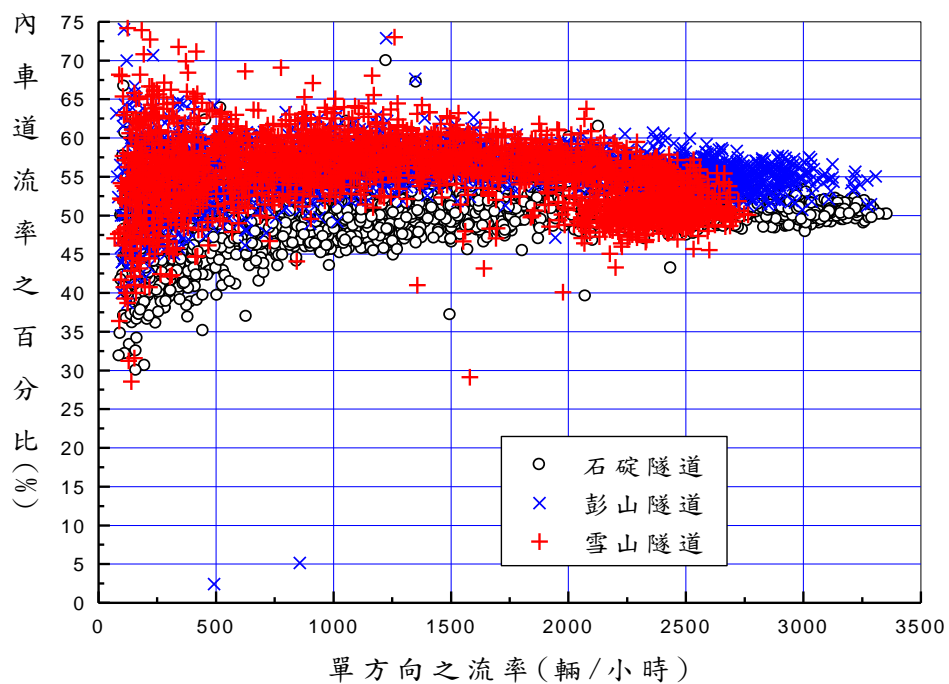


圖 4-18 石碇、彭山及雪山隧道北上內車道流率與總流率之關係

表 4.8 石碇、彭山及雪山隧道中內車道流率占總流率百分比之代表值

總流率 (輛/小時)	內車道流率的百分比(%)			
	南下 三隧道	北上隧道		
		石碇	彭山	雪山
< 500	0.51	0.48	0.55	0.55
500~1,000	0.55	0.49	0.56	0.56
1,000~1,500	0.56	0.51	0.56	0.57
1,500~2,000	0.55	0.51	0.57	0.56
2,000~2,500	0.54	0.52	0.56	0.52
>2,500	0.52	0.50	0.55	0.52

4.1.7 壅塞程度

一般而言，國道五號公路北上塞車的可能性及嚴重性比南下高。本小節根據 2011 年 1 月到 5 月的每 5 分鐘偵測器資料說明國道五號公路南北向在隧道進口內車道及匝道與主線匯流區之塞車情形。通常隧道之內車道塞車時，其外車道也塞車。所以隧道之外車道的塞車情況不另外說明。

南下主線

如圖 4-19 所示，石碇隧道在國定假日時（如元旦及春節）時塞車的可能性很高。塞車期間可能超過 2 小時。塞車時之平均速率可能降到 20 公里/小時以下。星期六及星期日沒有經常性的塞車狀況，但在某些週末時，石碇隧道進口也有嚴重塞車的可能。塞車時，車速在 30 公里/小時的時段可能超過 5 小時，如圖 4-20 及圖 4-21 所示。

彭山隧道進口塞車的可能性在國定假日期間也很高，塞車時段可能超過 4 小時，速率在 20 公里/小時左右。有些星期六及星期日中也可能有塞車現象，塞車時段可能超過 9 小時，塞車時的速率只有 20~30 公里/小時。這些現象如圖 4-22、圖 4-23 及圖 4-24 所示。

至於雪山隧道進口，在國定假日時塞車的可能性也很高，但塞車時段通常在 2 小時以內，如圖 4-25 所示。星期六南下的車流相當大，因此偶而也會有短暫（不到 30 分鐘）的塞車，圖 4-26 顯示這現象。星期日南下的車流較小，塞車之情形很少。

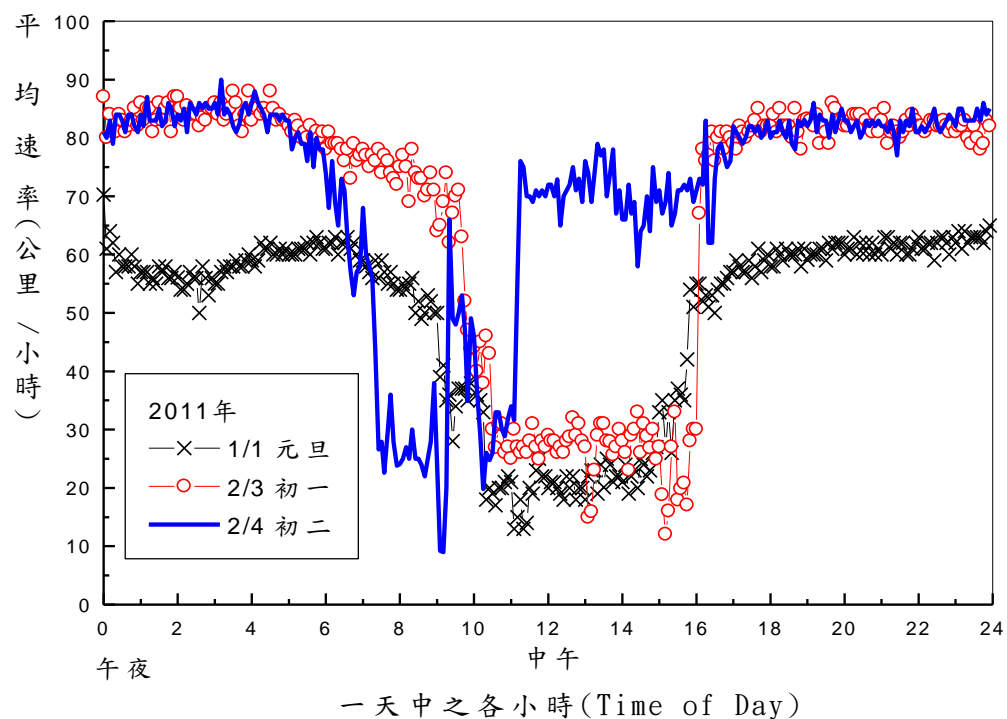


圖 4-19 石碇隧道南下進口在 2011 年國定假日時速率之變化

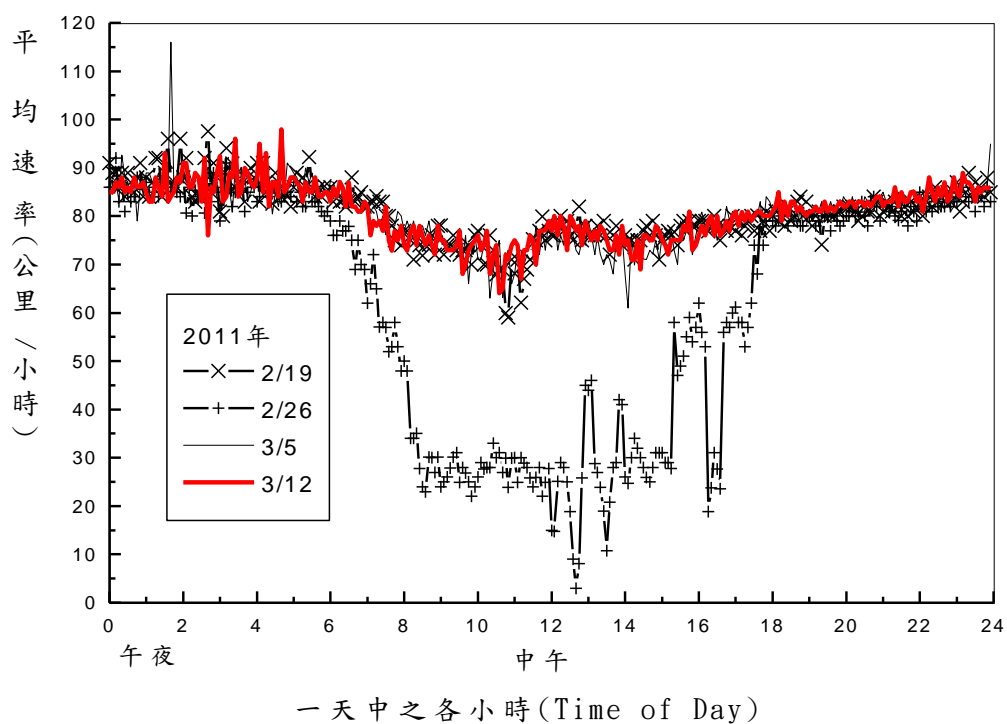


圖 4-20 石碇隧道南下進口在星期六時速率之變化

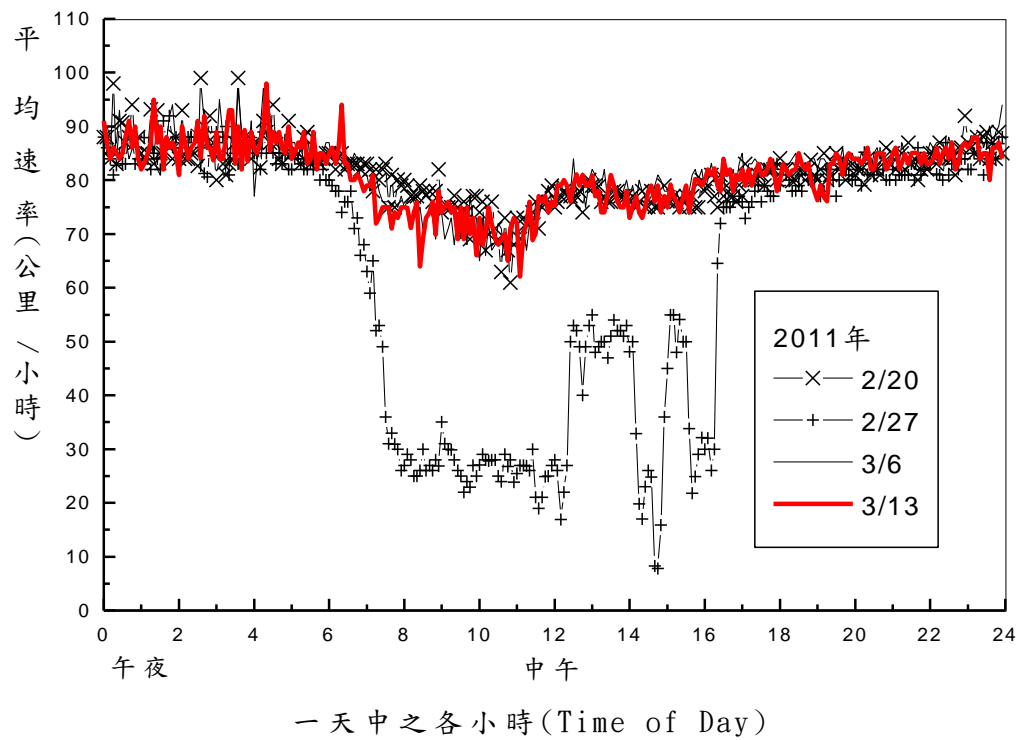


圖 4-21 石碇隧道南下進口在星期日時速率之變化

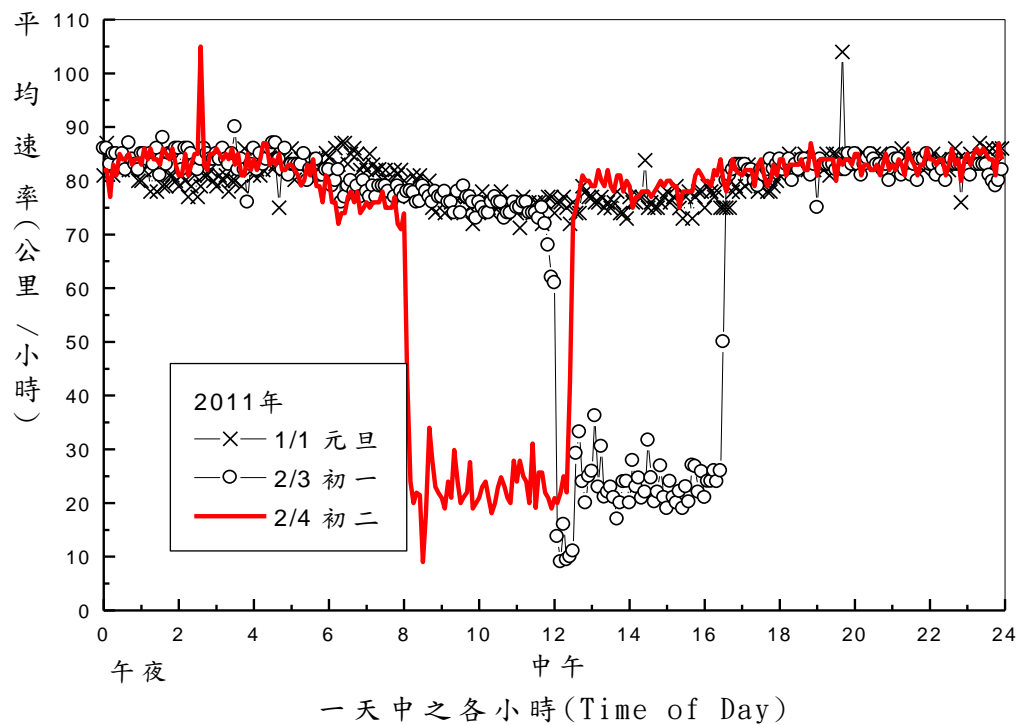


圖 4-22 彭山隧道南下進口在國定假日時速率之變化

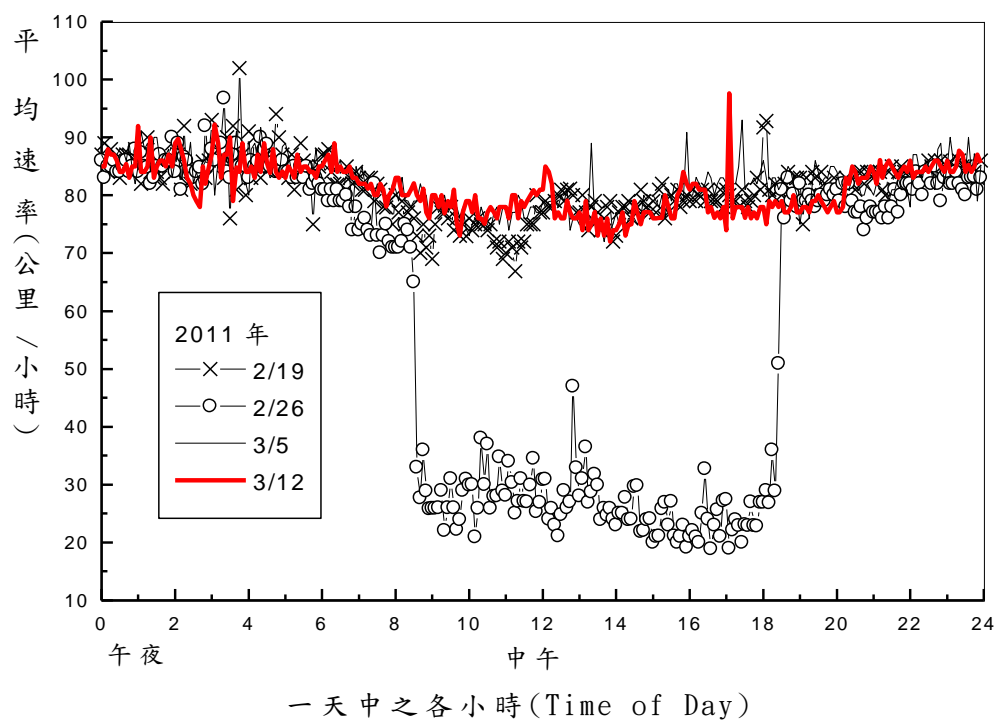


圖 4-23 彭山隧道南下進口在星期六時速率之變化

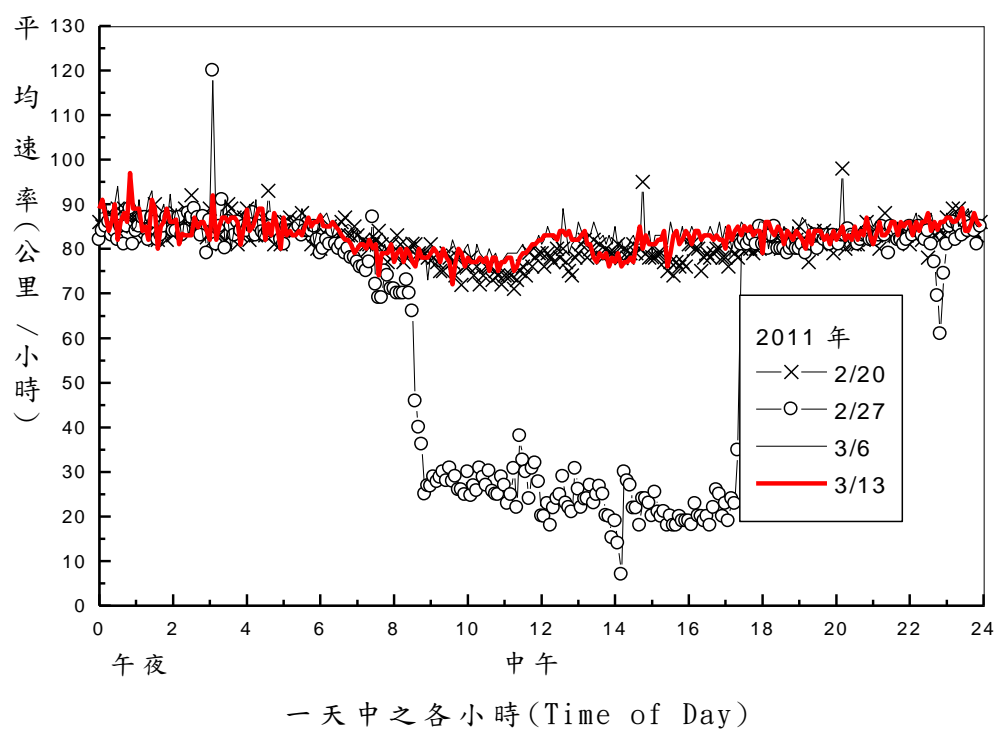


圖 4-24 彭山隧道南下進口在星期日時速率之變化

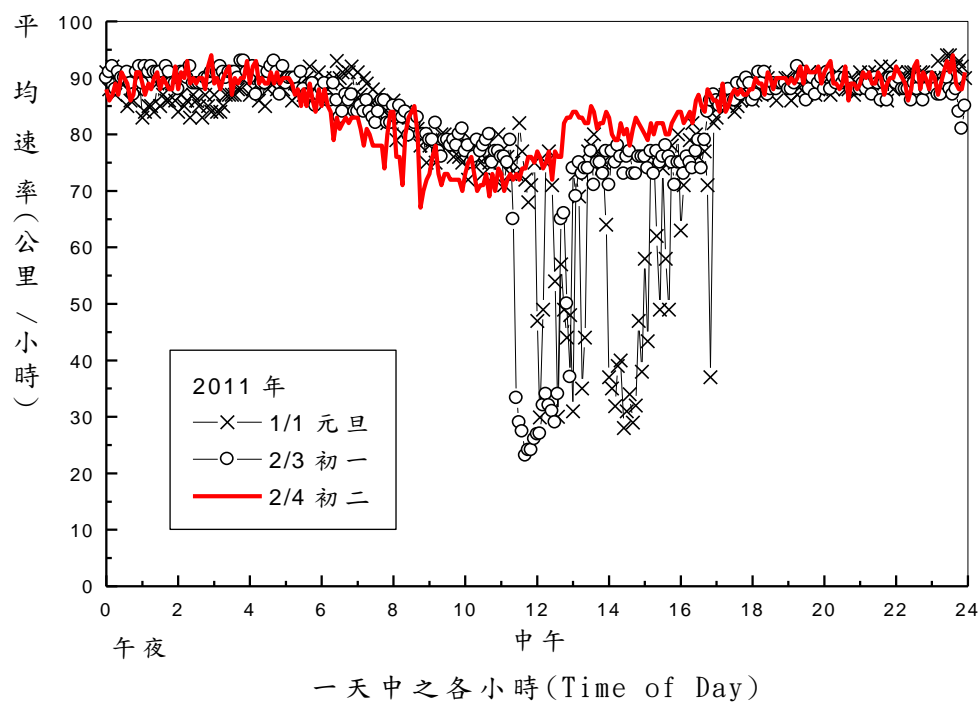


圖 4-25 雪山隧道南下進口在國定假日時速率之變化

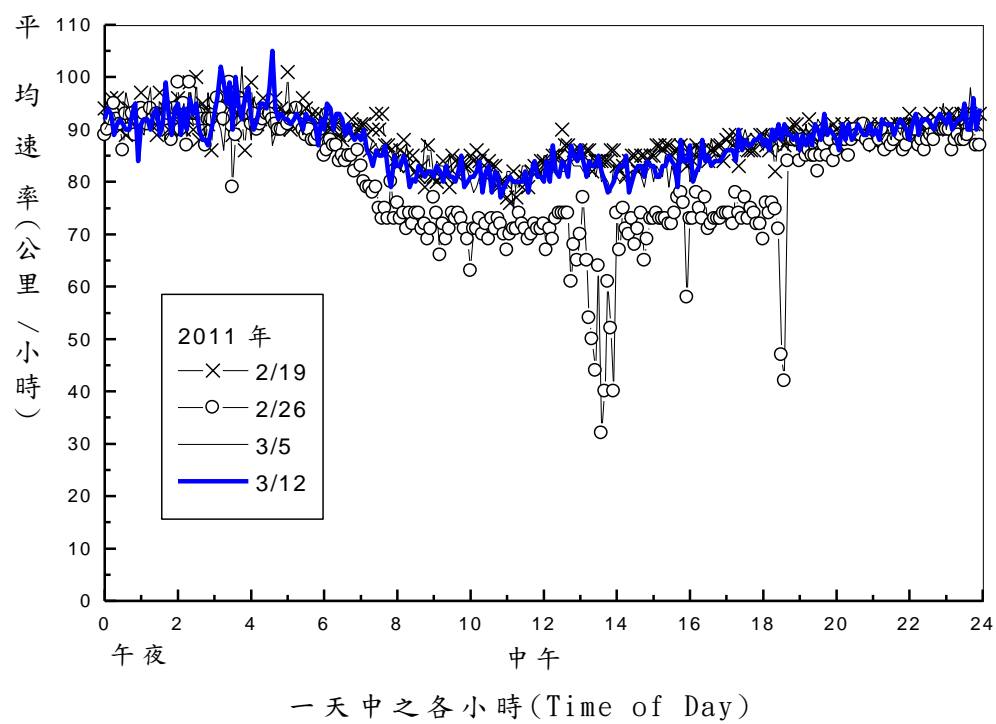


圖 4-26 雪山隧道南下進口在星期六時速率之變化

北上主線

石碇隧道進口在星期六時的速率經常能維持在 60 公里/小時以上，如圖 4-27 及圖 4-28 所示。在國定假日及星期日，因有大量車輛北上，因此經常有塞車長達 6 小時以上的情形。但是塞車時的速率經常在 35 公里/小時以上。

彭山隧道進口塞車的可能性很低。即使在有大量車流的國定假日中，最多也只有短暫（5 分鐘）之塞車情況，如圖 4-29 所示。

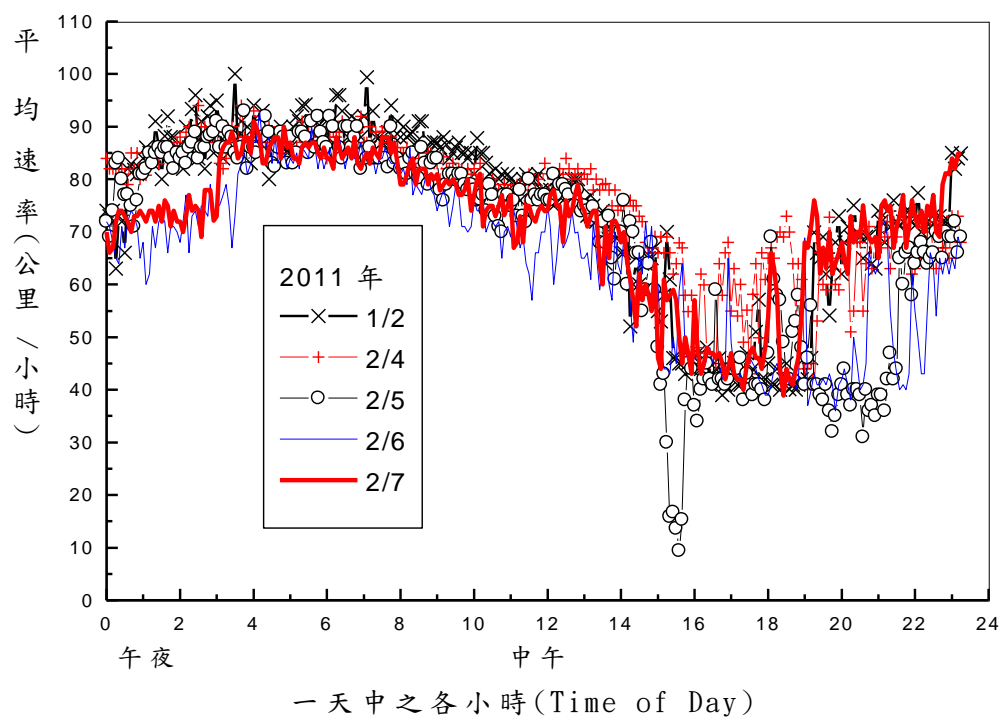


圖 4-27 石碇隧道北上進口在國定假日時速率之變化

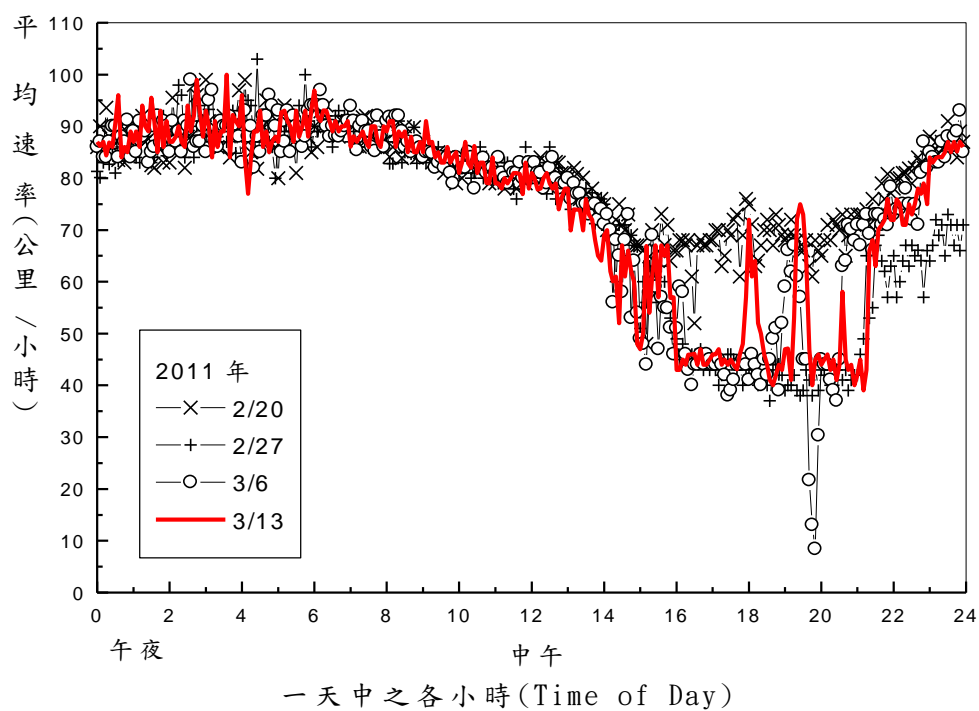


圖 4-28 石碇隧道北上進口在星期日時速率之變化

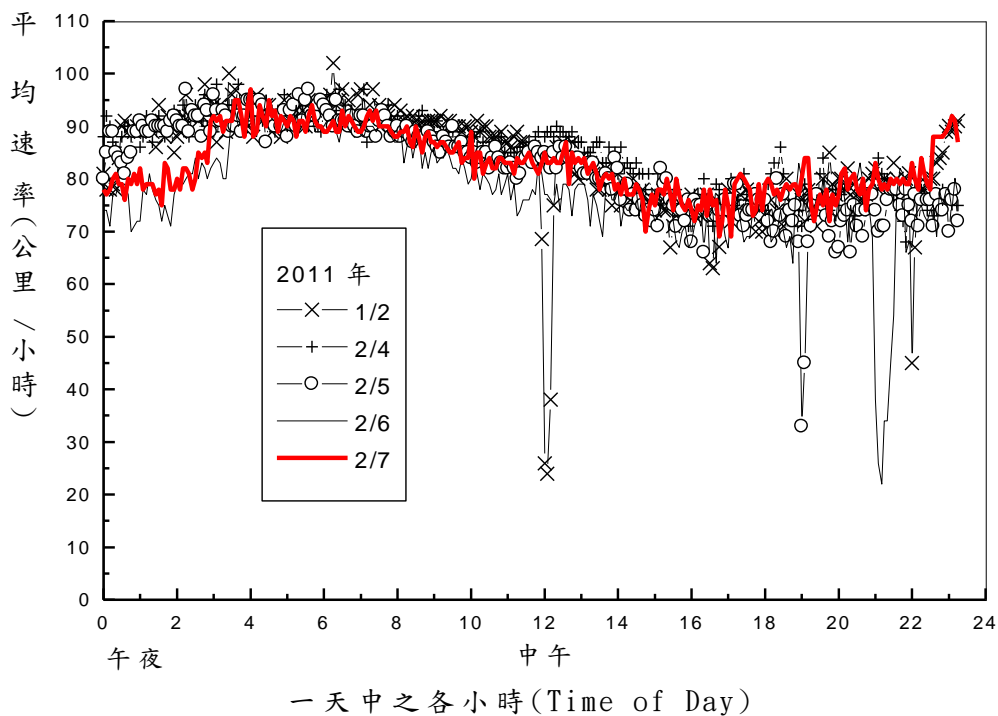


圖 4-29 彭山隧道北上進口在國定假日時速率之變化

圖 4-30 顯示雪山隧道進口在星期六時偶而有短暫塞車。在國定假日及星期日中，北上車流相當大，因此造成很嚴重的經常性塞車狀況。塞車時段有時超過 10 小時，塞車時之速率則在 20~30 公里/小時之範圍內，如圖 4-31 及圖 4-32。

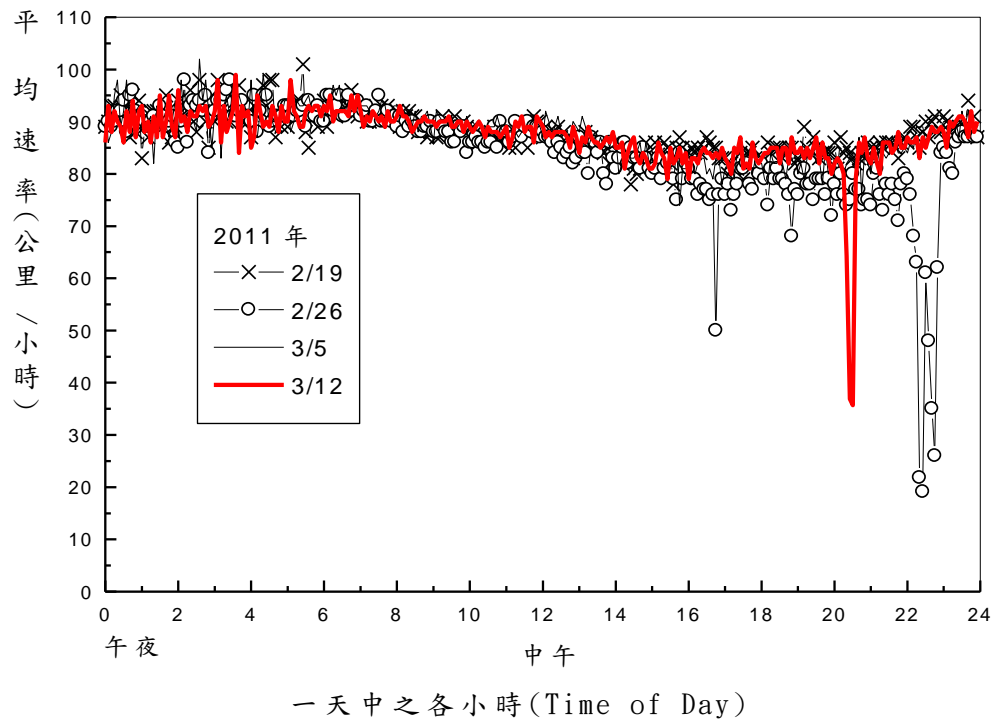


圖 4-30 雪山隧道北上進口在週六時速率之變化

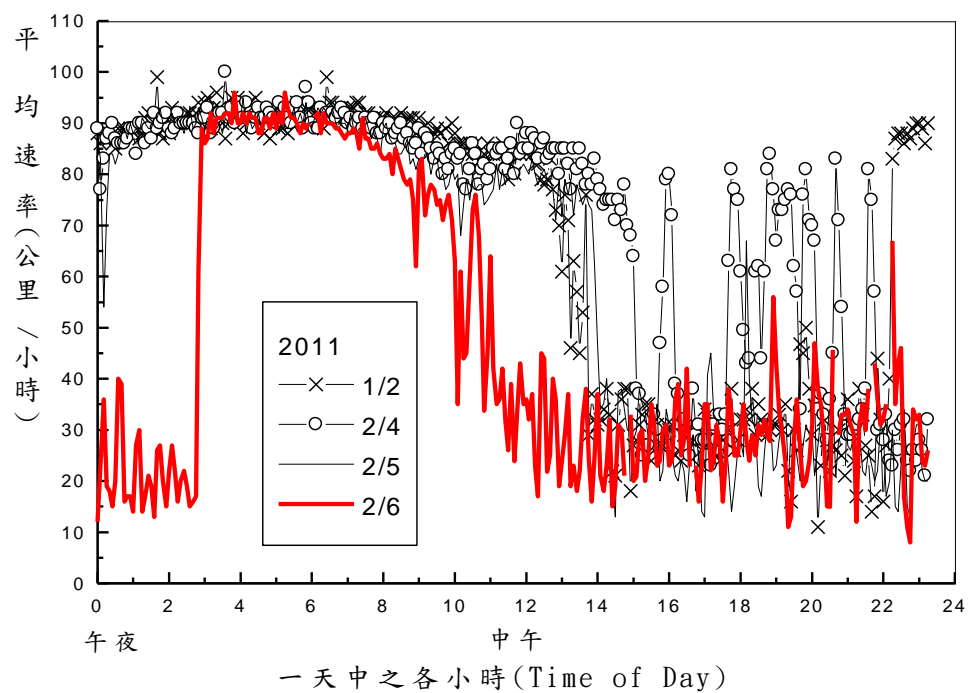


圖 4-31 雪山隧道北上進口在 2011 年春節時速率之變化

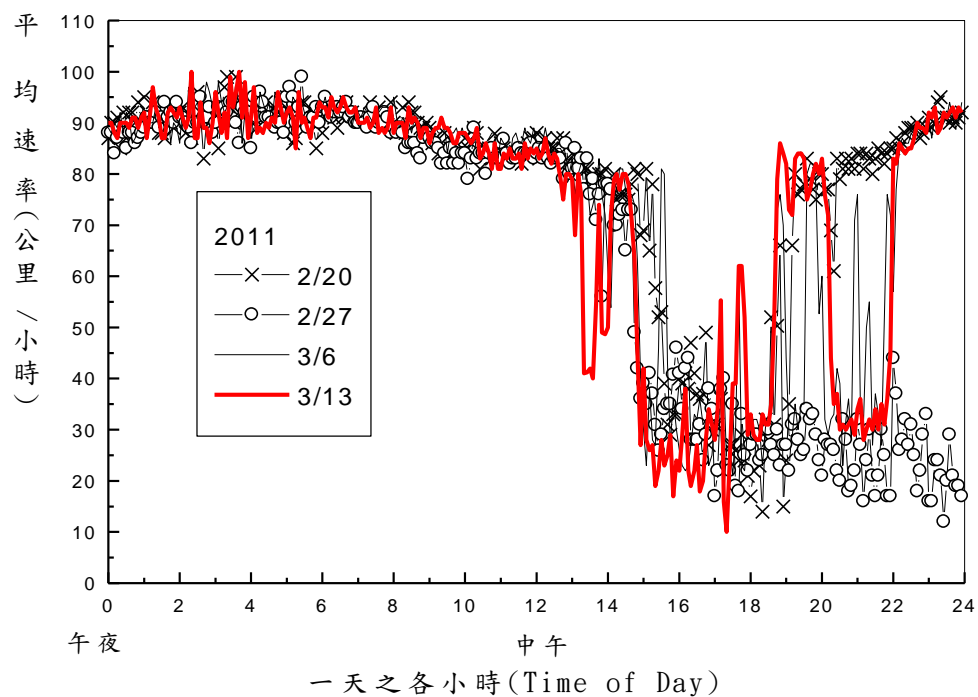


圖 4-32 雪山隧道北上進口在星期日速率之變化

北上交流道區

國道 5 號公路在 31K 以北有頭城交流道、坪林交流道及石碇交流道。坪林交流道即使在國定假日也沒有塞車的狀況。石碇交流道之上匝道及其上游的偵測器未能提供車流資料。頭城交流道進口匝道 29.843K 地點及其上游主線在 30.100K 處，則常有塞車狀況。圖 4-33 及圖 4-34 顯示，主線內外兩車道在國定假期間經常有連續塞車 2 小時左右的現象。塞車期間的平均速率大約只有 5 公里/小時。這種嚴重塞車是因下游雪山隧道進口及進口匝道與主線匯流處之車輛回堵所產生。在平常的星期六及工作日中，北上車流不大，沒有塞車的狀況。在平常的星期日中，北上車流較高。但不一定有塞車現象，如圖 4-35 及圖 4-36 所示。有塞車時，主線的塞車時間有時只有半小時左右。

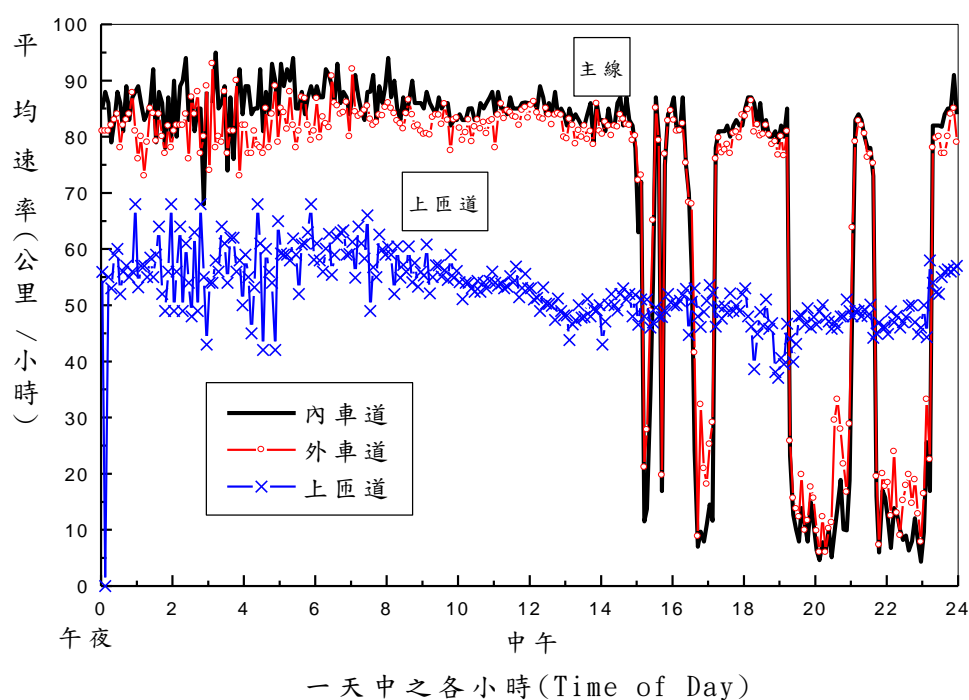


圖 4-33 頭城交流道主線 30.100K 及上匝道 29.843K 北向
在 2011.1.2.元旦假期時速率之變化

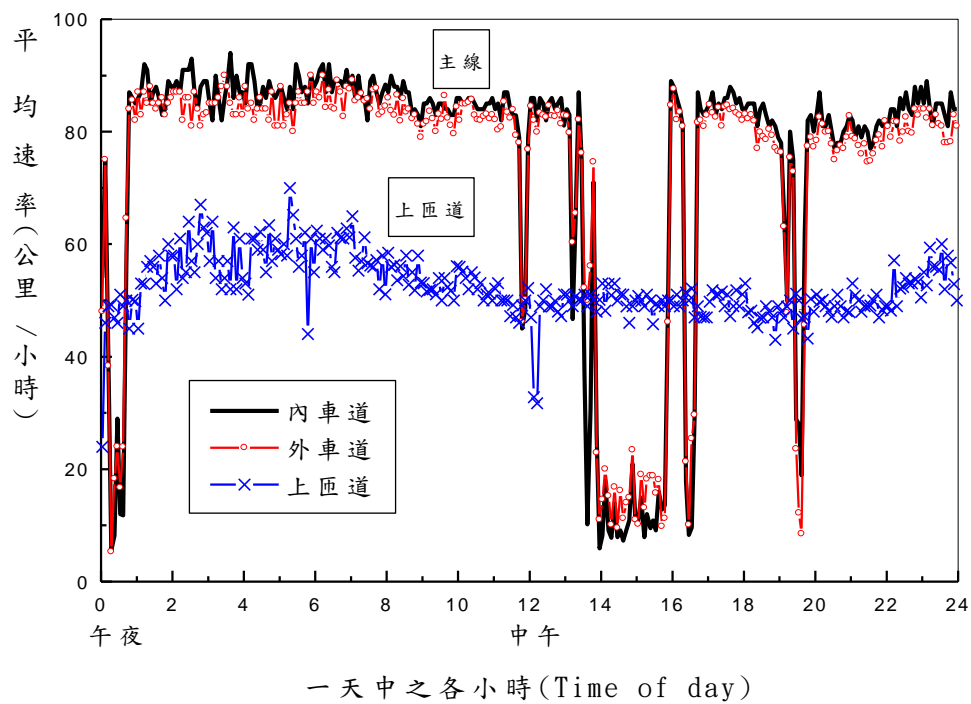


圖 4-34 頭城交流道主線 30.100K 及上匝道 29.843K 北向
在 2011.4.5.清明節假期時速率之變化

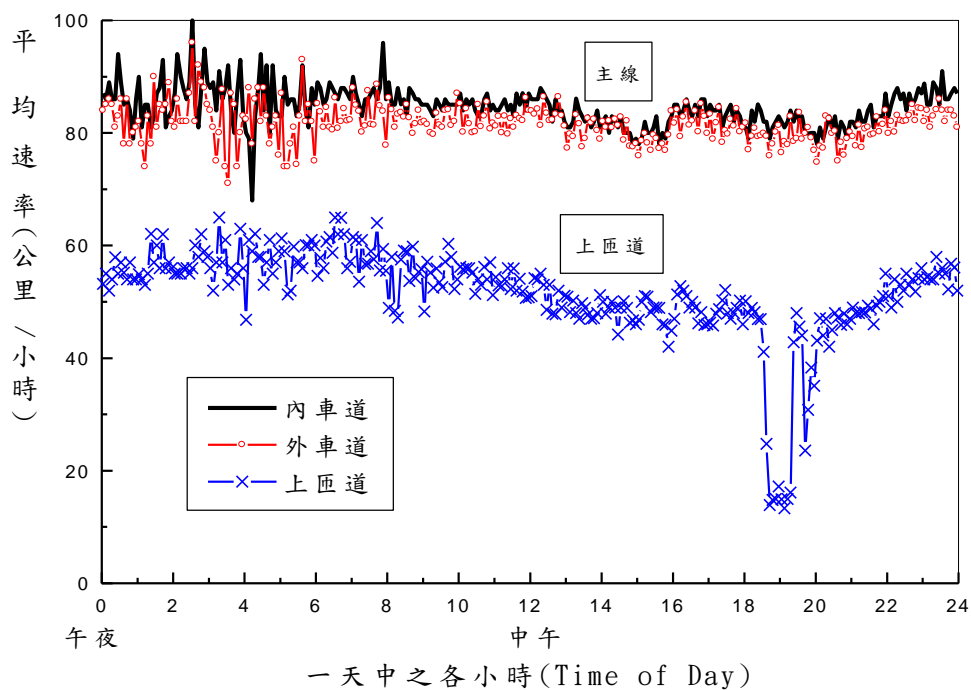


圖 4-35 頭城交流道主線 30.100K 及上匝道 29.843K 北向
在 2011.3.6.星期日速率之變化

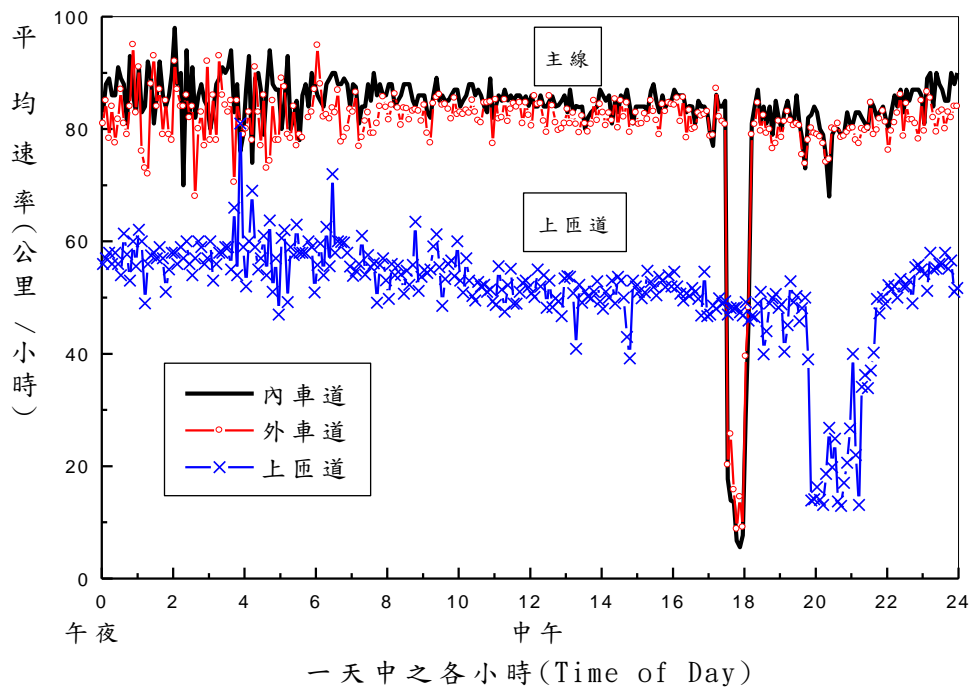


圖 4-36 頭城交流道主線 30.100K 及上匝道 29.843K 北向
在 2011.3.13.星期日速率之變化

至於進口匝道在 29.843K 之地點，在國定假日有匝道儀控時，車輛被在此地點上游的號誌所管制，因此即使號誌上游有嚴重塞車，車輛經常仍能以 45 公里/小時以上之平均速率通過 29.843K 處之偵測站（見圖 4-33 及圖 4-34）。在平常星期日有大量北上車流，而且讓大量車輛通過 29.843K 時，29.843K 處也有塞車之現象，如圖 4-35 及圖 4-36 所示。

南下交流道區

石碇交流道主線 4.016 處及進口匝道 4.178K 處，在國定假日時，經常有嚴重塞車的現象，如圖 4-37、圖 4-38、圖 4-39、圖 4-40 及圖 4-41 所示。主線塞車時間可持續 3 小時以下。一整天中主線速率斷斷續續低於 25 公里/小時之總時間可能接近 6 小時。進口匝道之壅塞情形也相當嚴重。除了國定假日之外，石碇交流道進口匝道及其上游之主線也可能在平常星期六及星期日中有嚴重塞車的可能，如圖 4-42 及圖 4-43 所示。

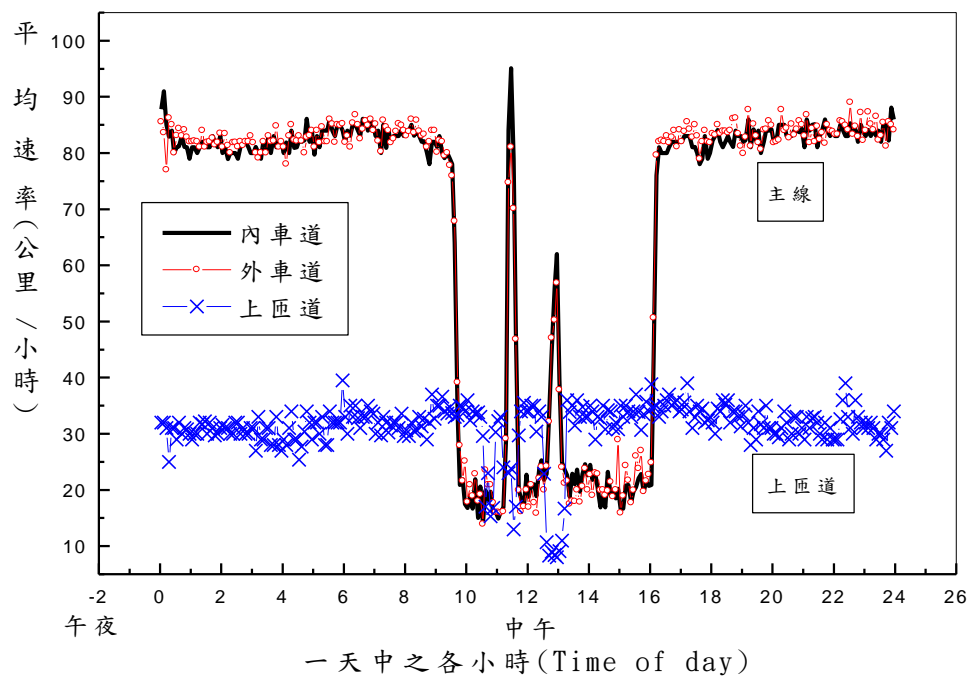


圖 4-37 石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向
在 2011.1.1.元旦假期時速率之變化

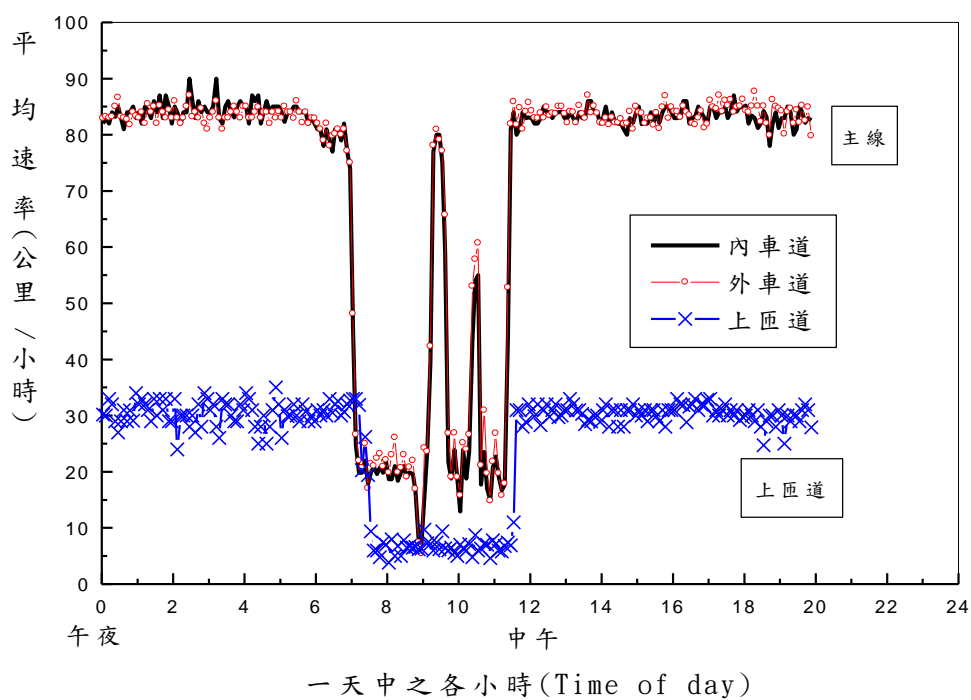


圖 4-38 石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向
在 2011.2.4.春節假期時速率之變化

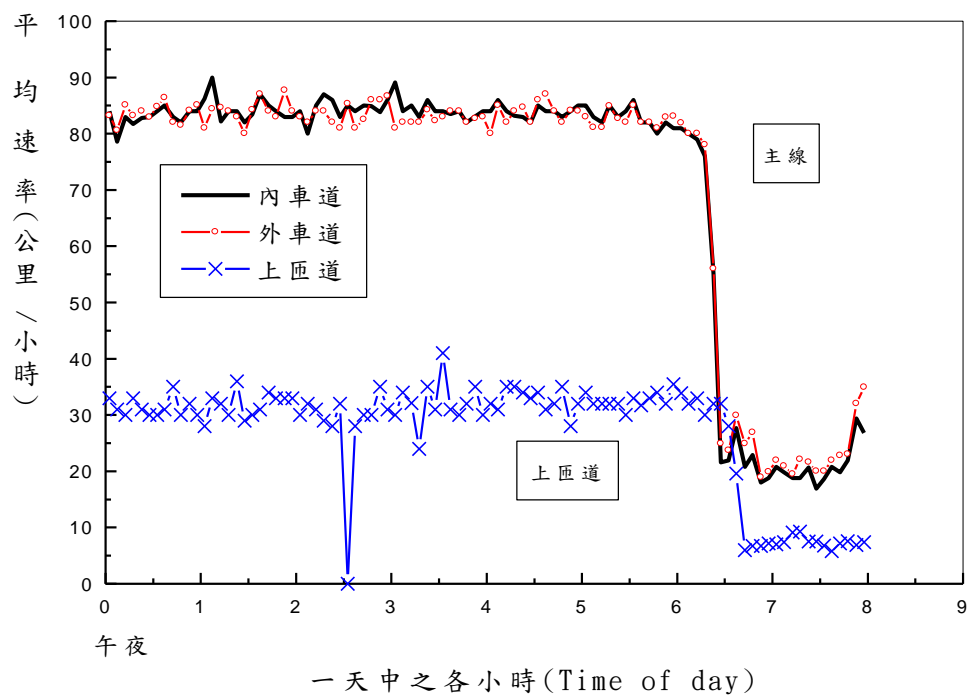


圖 4-39 石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向
在 2011.4.2.清明節假期時速率之變化

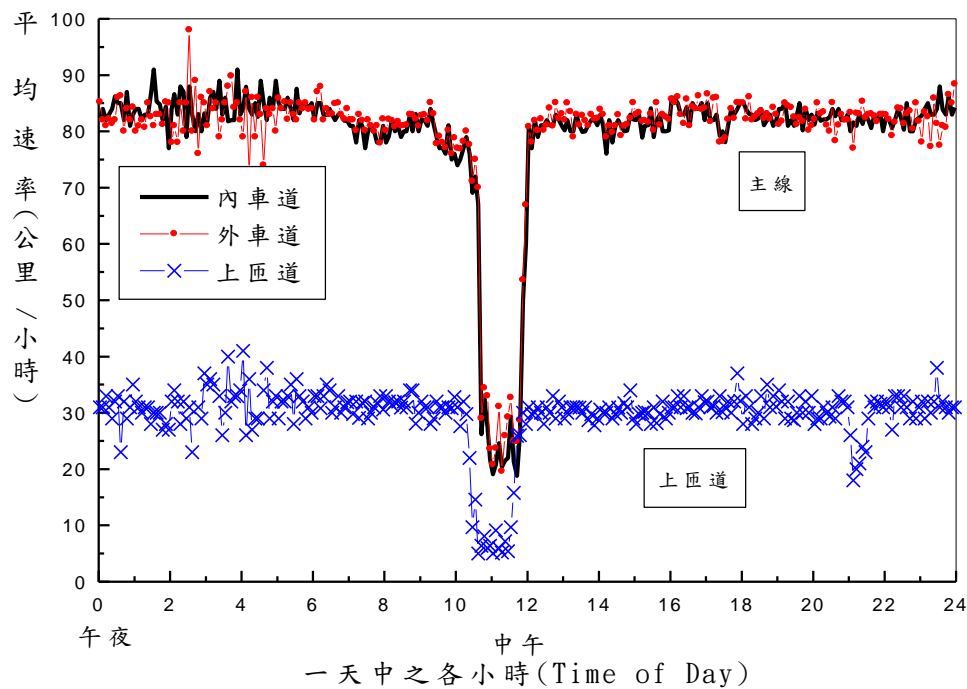


圖 4-40 石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向
在 2011.4.4.清明節假期時速率之變化

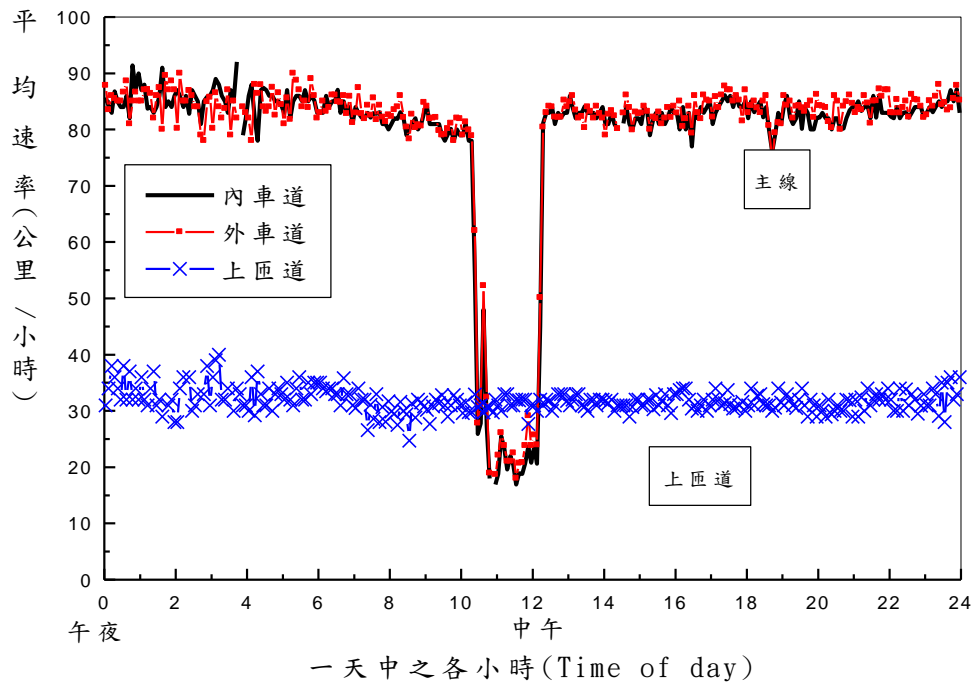


圖 4-41 石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向
在 2011.5.7.母親節假期時速率之變化

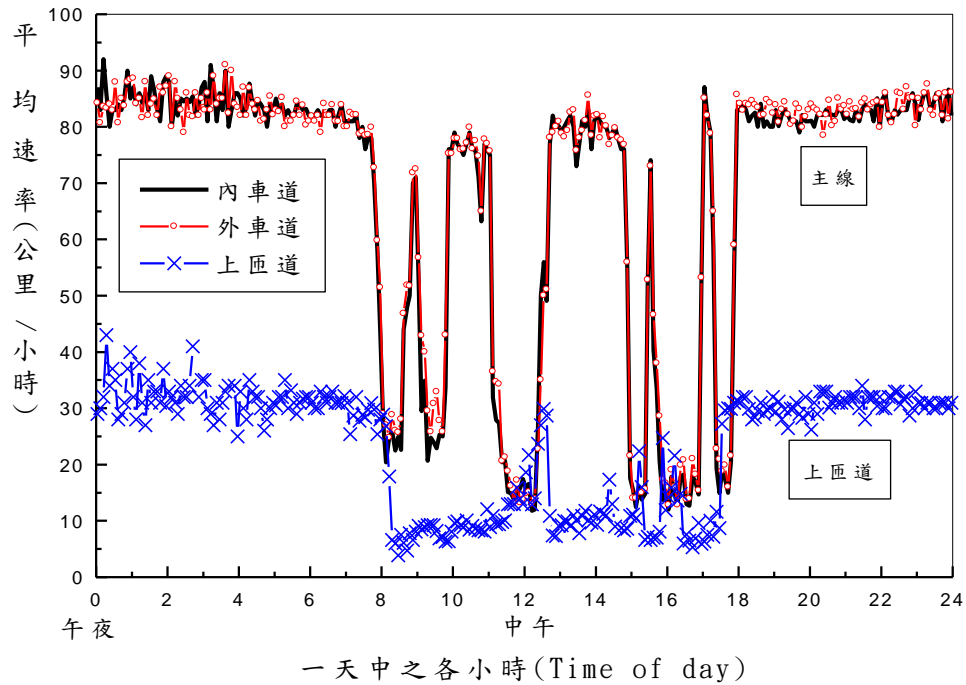


圖 4-42 石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向
在 2011.2.26.週六時速率之變化

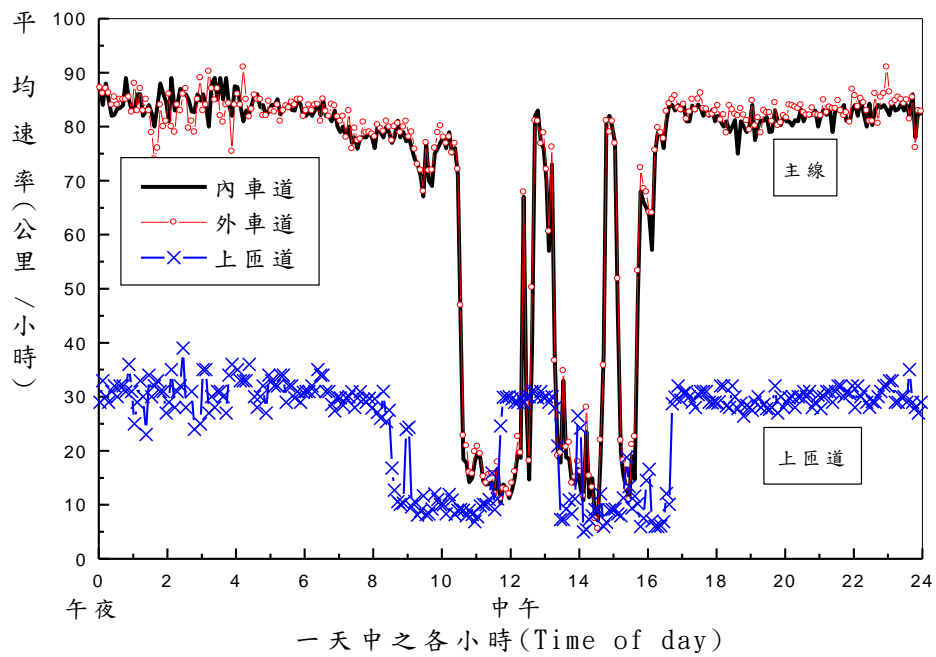


圖 4-43 石碇交流道主線 4.016K 及上匝道 4.178 北向
在 2011.2.27.週日時速率之變化

在彭山隧道及雪山隧道之間的坪林交流道，很少有塞車的情況。但在流量很大的國定假日中，在 14.540K 之主線也可能有嚴重的塞車。在進口匝道 14.691K 處則沒有塞車之情形，如圖 4-44 所示。

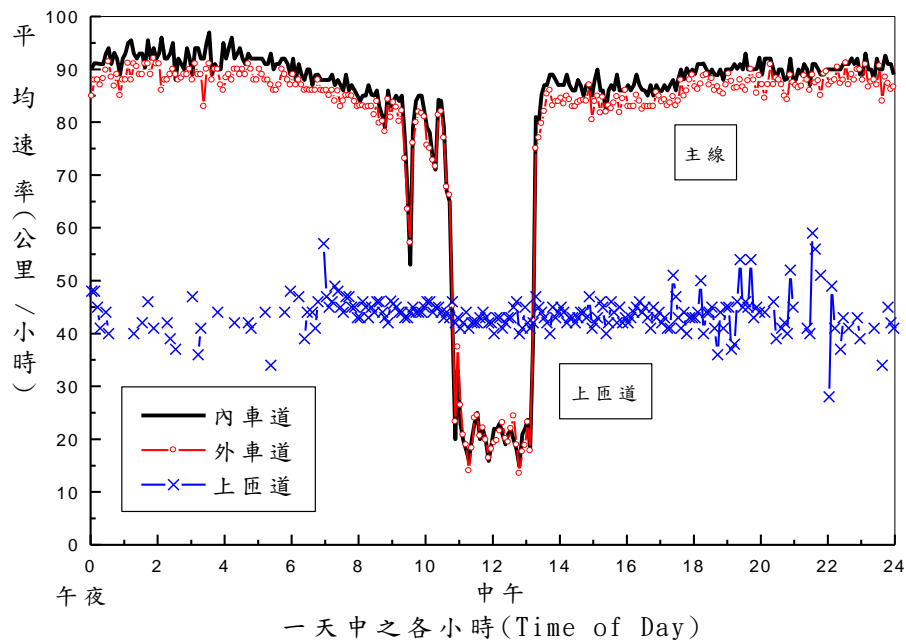


圖 4-44 坪林流道主線 14.540K 及上匝道 14.691 北向
在 2011.4.2.清明節假期時速率之變化

4.2 自由旅行速率

自由旅行速率，或簡稱自由速率，指一車輛在不受其他車輛影響之情況下的速率。自由速率反映速限、幾何設計及其他與車流有關行車環境（如天候、照明度等）的影響。如果一地點的自由速率比上游路段的自由速率低，則該地點可能有較低的容量。

一般而言，如高速公路上車距在 5 秒以上（或流率在 700 輛/小時以下），則前車對後車行進的影響不顯著，因此後車可視為在自由旅行狀態中。本計畫沒有個別車輛速率之資料。國道 5 號公路偵測器資料為每 5 分鐘資料，因此本計畫利用在早上 6 點到晚上 8 點之間，每 5 分鐘流量不超過 12 輛（平均車距在 25 秒以上）的偵測器資料，估計在不同偵測站的平均自由速率。國道 5 號 3 個主要隧道的第一個及最後一個偵測器位置如下：

南下

石碇隧道：1.072K 及 3.178K

彭山隧道：9.840K 及 12.945K

雪山隧道：15.478K 及 28.236K

北上

石碇隧道：3.198K 及 1.068K

彭山隧道：12.922K 及 9.457K

雪山隧道：28.420K 及 15.448K

自由速率受速限的限制。國道 5 號公路的速限從 2006 年 6 月雪山隧道通車之後曾經過數度的調整。所以本計畫利用表 4.9 所列日期的偵測器資料探討自由速率隨速限及空間的變化。因為新的速限生效之後，自由速率須隔一段時間才會達穩定狀況，所以本計畫所用的資料為新速限生效最少 3 個月之後的資料。

表 4.9 分析自由速率所用之偵測器資料

偵測器 資料期間	雪山隧道		雪隧以北路段	
	速限 (km/h)	速限生效 年月	速限 (km/h)	速限生效 年月
2007 年 9 月 (22 天)	70	2006 年 6 月	70	2006 年 6 月
2008 年 2 月 (11 天)	70	2006 年 6 月	80	2007 年 10 月
2008 年 6 月 (18 天)	80	2008 年 3 月	80	2007 年 10 月
2010 年 1~5 月 (41 天)	80	2008 年 3 月	80	2007 年 10 月
2011 年 2~5 月 (23 天)	90	2010 年 11 月	80	2007 年 10 月

分析上述偵測器資料的結果列於圖 4-45 到 4-50 中。這些圖顯示國道 5 號上的自由速率有下列特性：

- 1.速限從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時，然後又進一步提高到 90 公里/小時的管制策略提高了自由速率。但速率增加的程度隨速限的增加而減少。平均自由速率高出速限的大約值如表 4.10 所示。

表 4.10 平均自由速率高出速限之大約值

方向	速限 (公里/小時)	雪山隧道		彭山隧道		石碇隧道	
		內車道	外車道	內車道	外車道	內車道	外車道
北上	70	+ 5	+ 3	+ 10	+ 7	+ 9	+ 6
	80	+ 5	+ 2	+ 9	+ 6	+ 5	+ 5
	90	+ 2	- 1	—	—	—	—
南下	70	+ 6	+ 4	+ 7	+ 4	+ 7	+ 4
	80	+ 4	+ 2	+ 4	+ 2	+ 3	+ 2
	90	+ 2	- 2	—	—	—	—

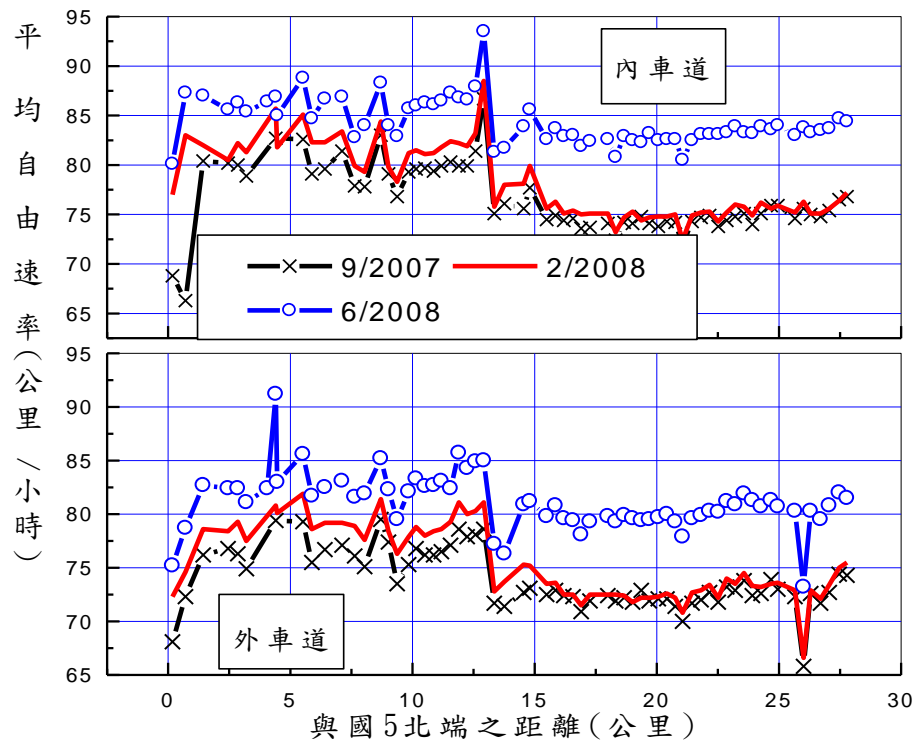


圖 4-45 北上內外車道自由速率在 2007 年及 2008 年之變化狀況
(速限：70 公里/小時或 80 公里/小時)

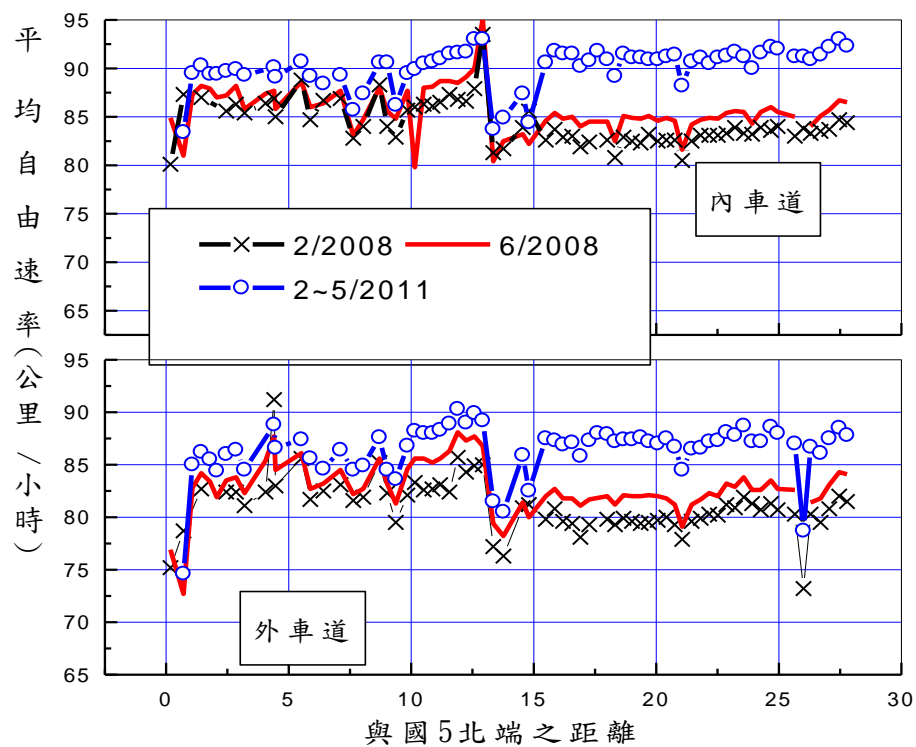


圖 4-46 北上內外車道自由速率在 2008 年及 2011 年之變化狀況
(速限：80 公里/小時或 90 公里/小時)

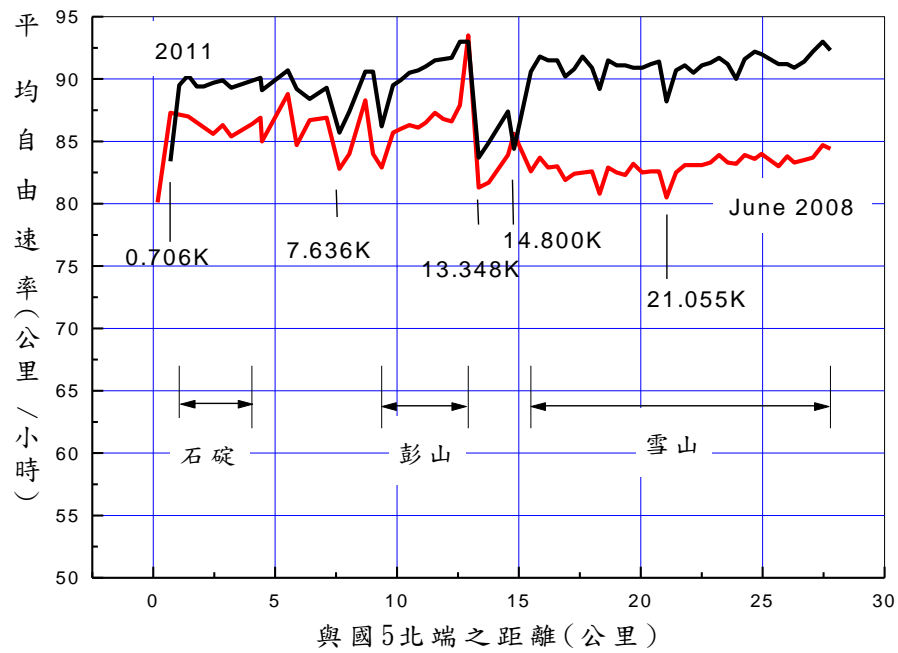


圖 4-47 北上內車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況

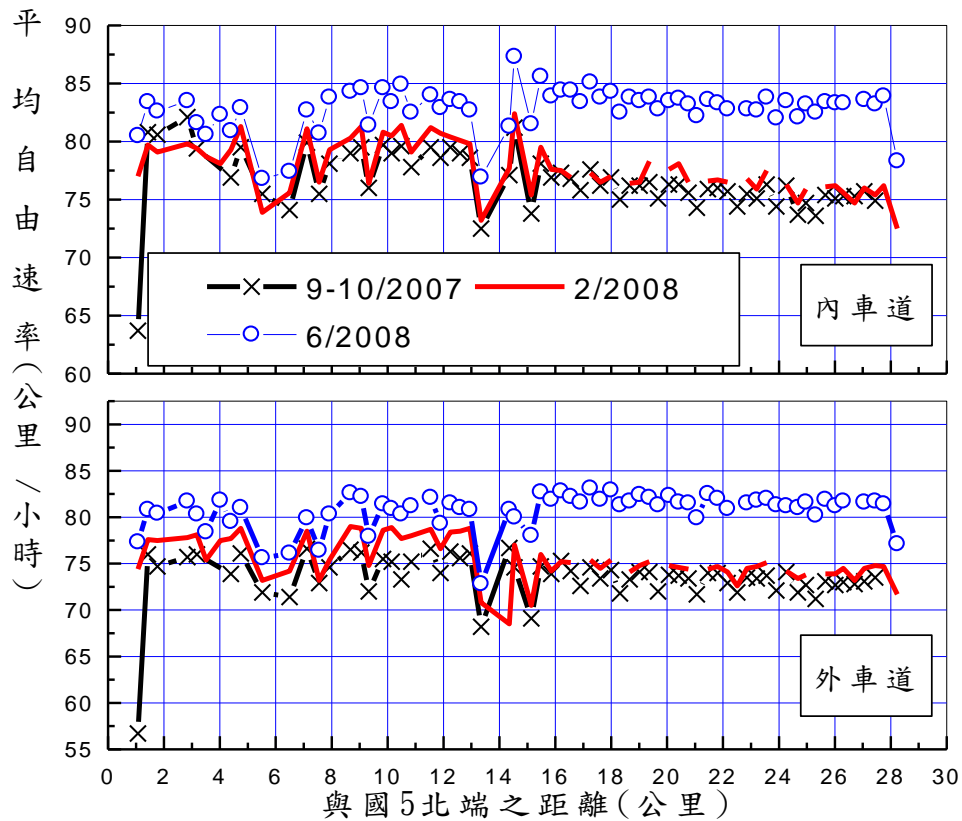


圖 4-48 南下內外車道自由速率在 2007 及 2008 年之變化狀況
(速限：70 公里/小時或 80 公里/小時)

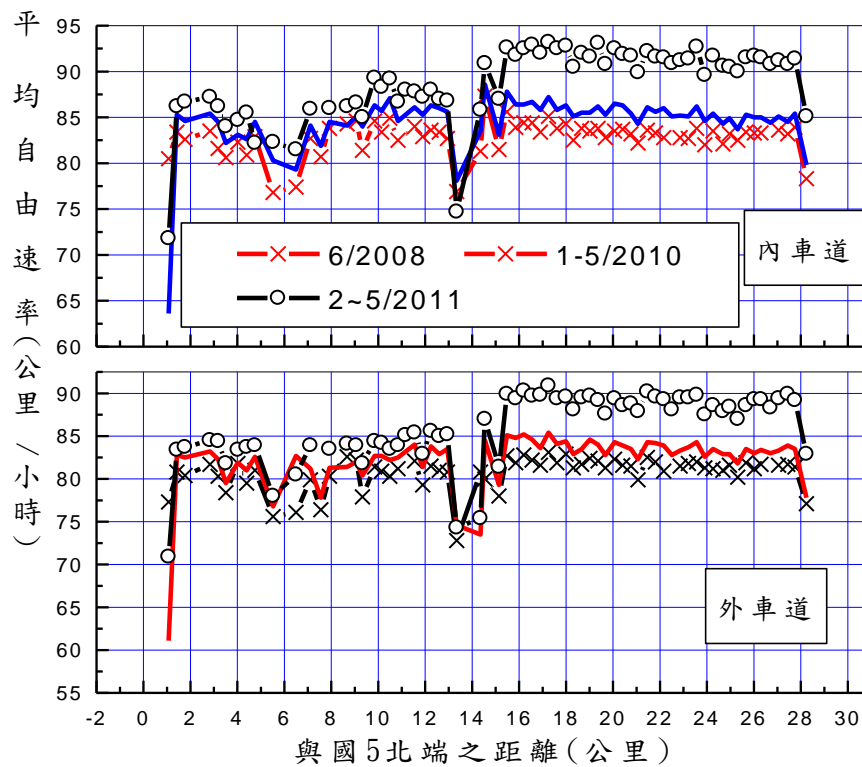


圖 4-49 南下內外車道自由速率在 2008、2010 及 2011 年之變化狀況
(速限：80 公里/小時或 90 公里/小時)

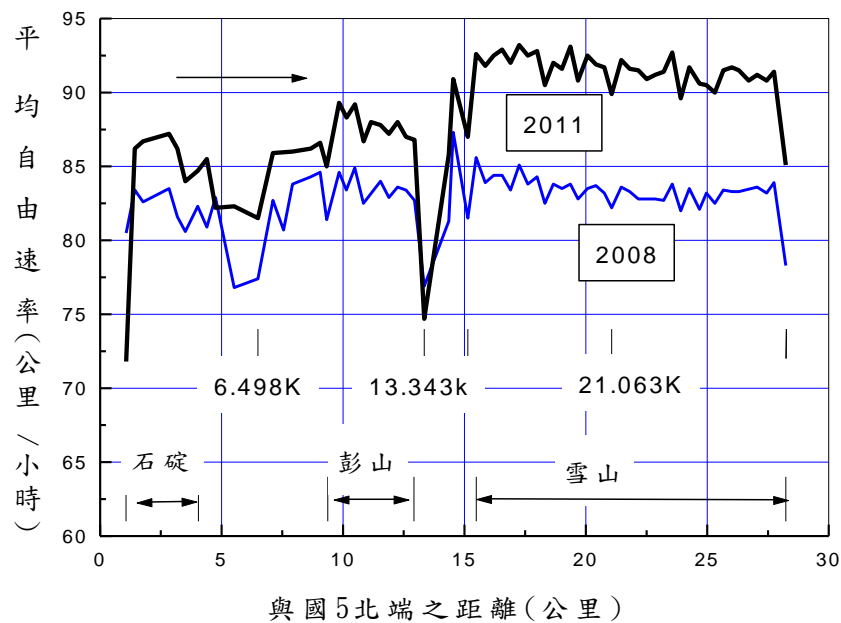


圖 4-50 南下內車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況

2. 2011 年 2 月到 5 月之間，雪山隧道速限為 90 公里/小時，其他路段的速限為 80 公里/小時。從圖 4-47 及 4-50 可知，北上車流在彭山隧道及石碇隧道的自由速率幾乎跟雪山隧道內之自由速率一樣高，南下車流在彭山隧道及石碇隧道的自由速率則顯著的低於雪山隧道內的自由速率。這現象的一可能原因是北上駕駛員離開雪山隧道之後仍習慣以接近 90 公里/小時行車。
3. 雪山隧道北上有 1.275% 之上坡，南下則有同樣坡度的下坡。但是 2011 年的資料顯示南北向之平均自由速率的差別非常小。在大約 16+000K 及 24+000K 之間，南下的自由速率比北上約高 1.5 公里/小時左右。在 24+000K 及 28+000K 之間，南下的自由速率常稍低於北上。因此坡度對自由速率的影響不顯著。
4. 雪山隧道速限為 70 及 80 公里/小時之期間內，自由速率明顯高於速限，但是速限提高到 90 公里/小時之後，自由速率大約與速限相等。這現象可能是因為速限為 90 公里/小時之期間的執法較嚴格。另一個原因可能是駕駛員難以接受比 90 公里/小時還高的速率。

雪山隧道之設計速率為 90 公里/小時，但是安全行車速率常高於設計速率。雪山隧道之設計參考美國 AASHTO[46]之設計規範。根據該規範，在平曲線路段的最高安全及舒適行車速率可估計如下：

$$V_{max} = \sqrt{12.5 R(e + f_{max})} \quad (4.1)$$

此式中，

V_{max} = 最高安全速率(公里/小時)，

R = 曲率半徑(公尺)，

e = 超高率(Superelevation rate)，

f_{max} = 側向最高（舒適）摩擦係數(Side friction factor)。

AASHTO 所建議之 f_{max} 值如圖 4-51 所示。如將這些建議值用迴歸公式來代替，則：

$$f_{max} = 0.1845 - 2.747 \times 10^{-4} V - 3.996 \times 10^{-6} V^2 \quad (4.2)$$

此式中，

V = 行車速率(公里/小時)。

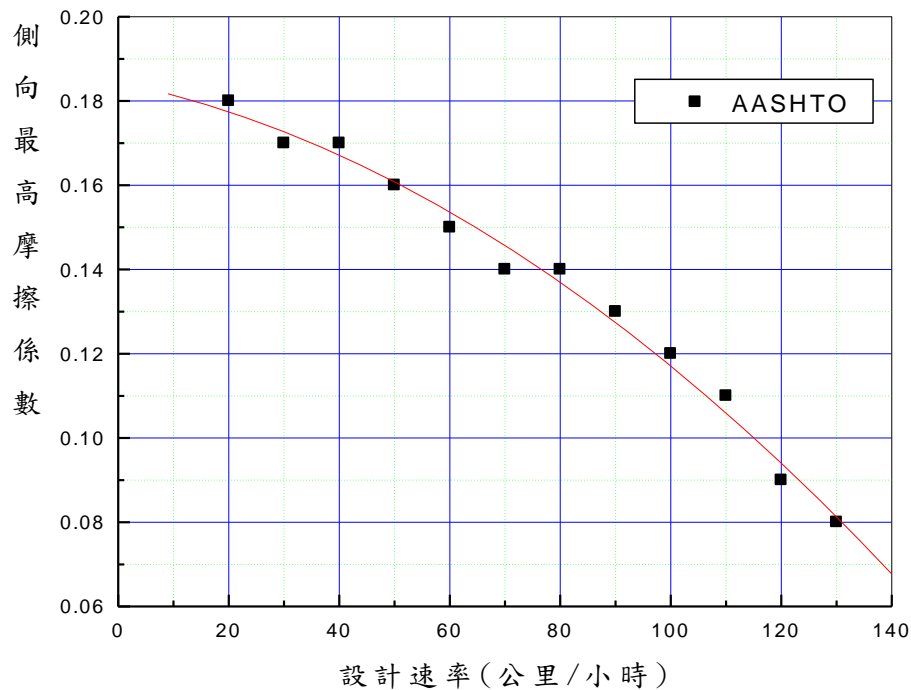


圖 4-51 AASHTO 側向最高摩擦係數設計值

雪山隧道曲率半徑最短的路段在 28.130K 附近，其曲率半徑為 1,000 公尺。其他路段的曲率半徑最少有 1,500 公尺。如果採用 AASHTO 之設計，並根據 6% 之最高超高率($e=0.06$)控制設計，則曲率半徑 1,000 公尺之路段的設計超高率應該是 0.031(或 3.1%)。在這種情況下，即使曲率半徑只有 1,000 公尺，安全行車速率在 120 公里/小時以上。從這觀點而言，雪山隧道內自由速率與 90 公里/小時速限幾乎相等的一可能原因，是速率為 90 公里/小時之情況下，駕駛員與隧道內牆(wall)之相對移動已開始讓駕駛員感到不舒適。

5.如圖 4-50 所示，北上車流進入雪山隧道之後，自由速率有逐漸下降的趨勢。自由速率在 21.055K (隧道中點附近) 處最低，然後回升。最高及最低的自由速率的差距大約只有 4 公里/小時。車流進入彭山隧道之後，自由速率逐漸下降，從進口到出口的下程度大約為 5 公里/小時。石碇隧道的自由速率相當穩定，圖 4-47 顯示南下車流在三個隧道上半段的自由速率皆有比下半段高的現象，但差

距只有 1~2 公里/小時。

6.不論日期及速限，自由速率隨地點的變化型態相當一致。有數個地點的自由速率比鄰近上下游偵測器所在地點的自由速率顯著的低。這些地點包括：

南下路段

- 石碇隧道進口之上游
- 6.498K 處
- 彭山隧道出口下游 13.343K 處
- 雪山隧道進口上游
- 雪山隧道出口

北上路段

- 雪山隧道 21.055K 及 18.313K 處
- 雪山隧道出口下游，出口匝道上游 14.800K 處
- 彭山隧道進口上游 13.348K 處
- 7.636K 處
- 石碇隧道出口附近

上述地點中，6.498K 處在一曲率半徑只有 400 公尺之平曲線上。7.636K 處下游有一曲率半徑為 700 公尺之平曲線。雪山隧道速率明顯降低之處的共同特色是兩地點皆有人行橫坑。

4.3 易壅塞路段

本報告在第 4.1.7 節描述在國道 5 號公路上，各隧道進口及主線及匝道匯流路段的壅塞狀況。一路段之壅塞可能是下游路段的交通作業所造成。因此本節進一步探討南下及北上易壅塞的路段及壅塞的可能原因。

自由速率比較低的路段常有比較低的容量，因此本章 4.2 節所提到的幾個自由速率有顯著下降的地點是國道 5 號公路之潛在瓶頸。但是路段壅塞的一主要條件是高尖峰流率。高尖峰流率通常與全天流量息息相關，因此本計畫選擇在 2011 年 1 月及 5 月之間，全天流量在 37,000

輛以上的日期做為分析對象。這些日期包括南下 15 天及北上 12 天的資料。這些資料總共整理成 200 多個 ASCII Code 之檔案。每一個檔案包括在 4 個偵測器地點內車道或外車道之每 5 分鐘流率與速率。因檔案太大，不便列於本報告中，有意參考這些資料者可與運研所連絡（全檔名稱：NHS-2011.txt）。這些檔案中，有時某些偵測器沒提供資料。在這情形下，檔案中之流率及速率皆設定為 0。除外，有時偵測器所提供之每分鐘資料皆相同。這種資料也不能使用。

4.3.1 北上路段

北上車流進入雪山隧道之前必須通過頭城交流道附近的路段，如圖 4-52 所示。

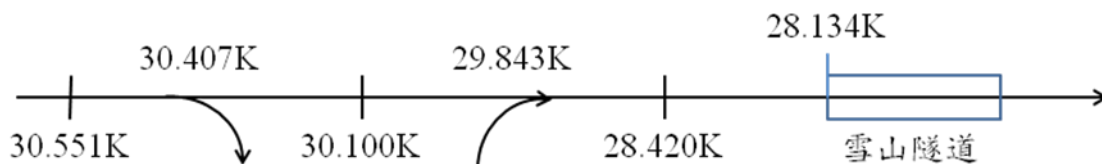


圖 4-52 北上雪山隧道上游附近路段示意圖

此路段在短短 600 公尺左右之距離內有一進口匝道及一出口匝道。進口匝道離下游之雪山隧道只有 1.7 公里。進口匝道與主線匯流路段是一般高速公路之一潛在瓶頸。隧道進口之容量也常比上游主線低，所以隧道進口也是一潛在瓶頸。在國定假日時經常有大量車流通過此路段進入雪山隧道，因此這一路段的壅塞情況有時相當嚴重。

以 2011 年 1 月 2 日之情形為例，圖 4-53 顯示從在 30.407K 出口匝道離開主線之 5 分鐘流率可達 684 輛/小時。從在 29.843K 進口匝道進入主線的 5 分鐘流率很少超過 1,000 輛/小時，但是可高達 1,272 輛/小時。圖 4-54 也顯示在尖峰時，通過 30.100K 處內外車道之流率大約在 700 與 1,100 輛/小時/車道之範圍內；進入雪山隧道之前在 28.420K 處之流率則在 1,100 及 1,700 輛/小時/車道之範圍。結果隧道進口上游附近的 28.420K 地點先進入嚴重塞車狀況，速率在 40 公里/小時以下之時

間將近 8 小時；如圖 4-55 所示。在同一天中，進口匝道也有嚴重塞車之情形。但進口匝道及 28.420K 處之壅塞沒有造成 30.100K 處也隨著塞車。

2 月 5 日的壅塞情形更嚴重，如圖 4-56 所示。28.420K 地點有嚴重塞車（速率低於 40 公里/小時）之期間將近 10 小時。雖然進口匝道只有短暫塞車，進口匝道上游 30.100K 處也有長時間之塞車狀況。

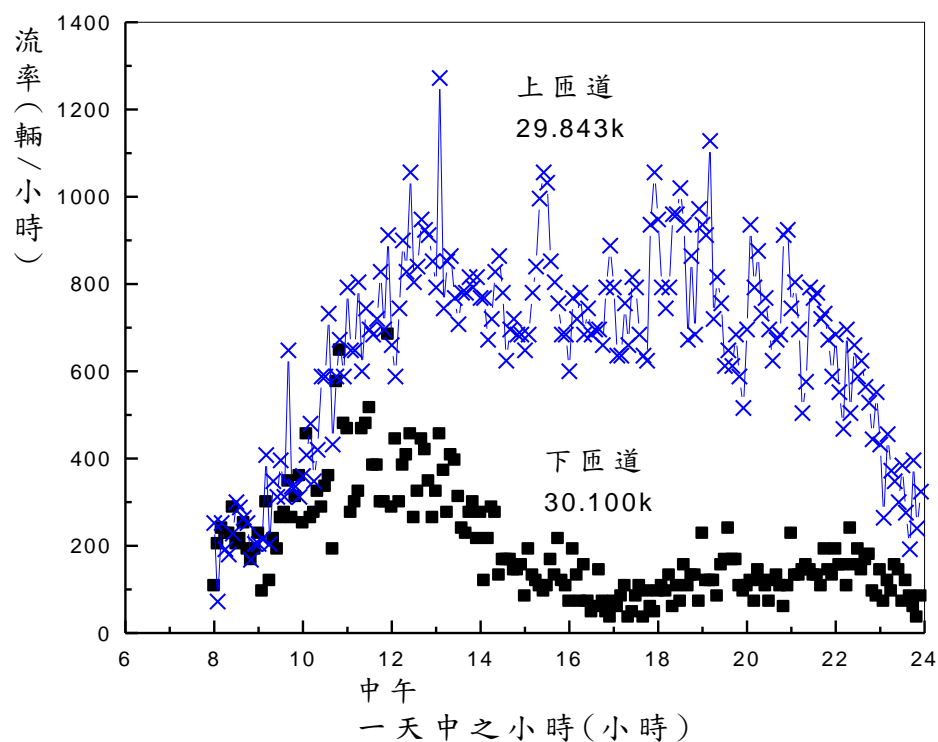


圖 4-53 2011 年 1 月 2 日北上流率在 30.407K 及 29.843K 之間的變化

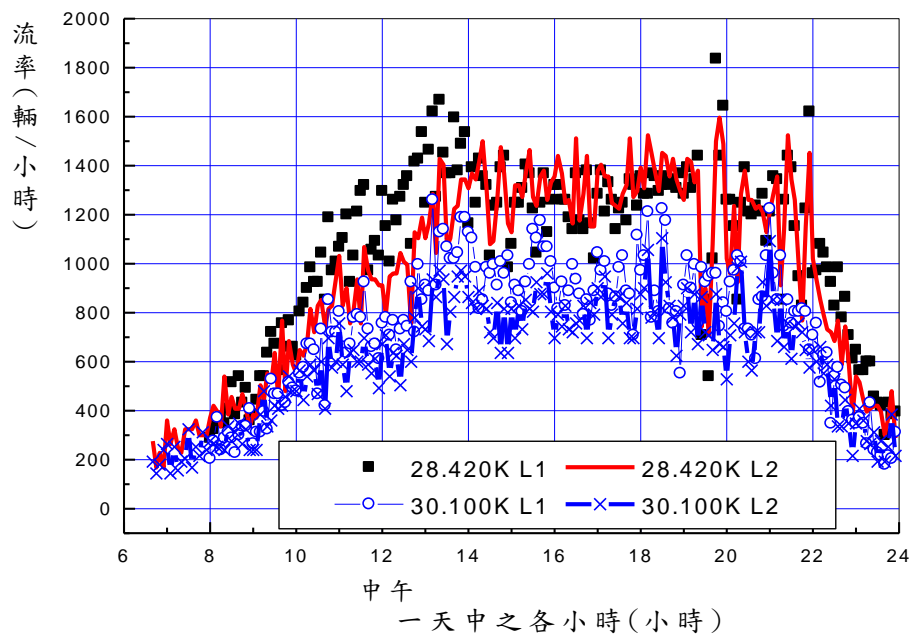


圖 4-54 2011 年 1 月 2 日北上流率在 30.100K 及 28.420K 之間的變化

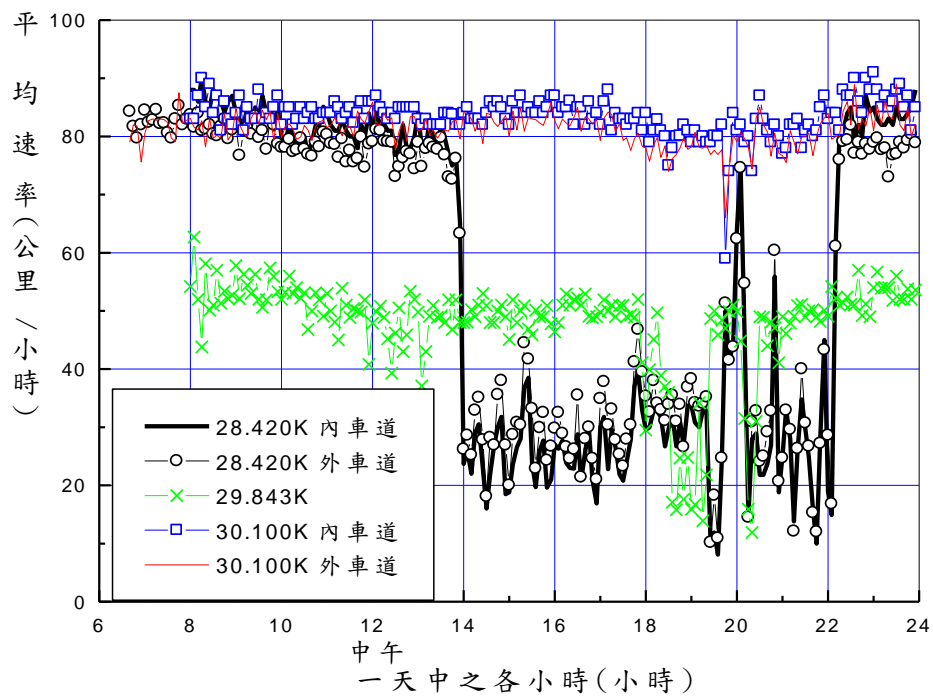


圖 4-55 2011 年 1 月 2 日北上速率在 30.100K 及 28.420K 之間的變化

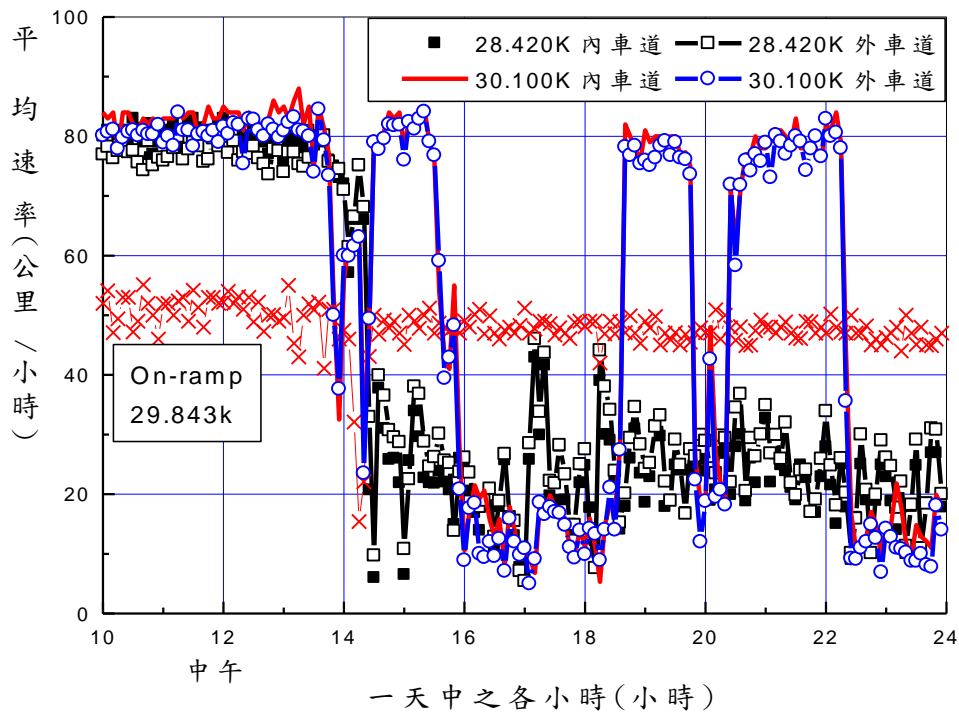


圖 4-56 2011 年 2 月 5 日北上速率在 30.100K 及 28.420K 之間的變化

雪山隧道上游車流壅塞之一可能原因是隧道進口之容量低於欲進入隧道之流率。另一可能原因是經過隧道進口之流率高於下游路段的容量，因此造成衝擊波而導致隧道進口及其上游之路段嚴重壅塞。衝擊波之現象可用圖 4-57 所示各點的偵測器資料來探討。

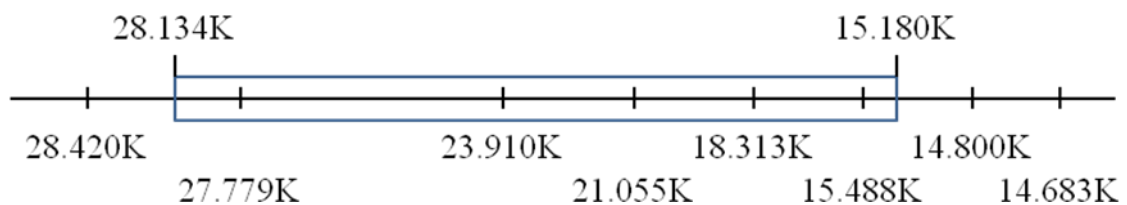


圖 4-57 雪山隧道北上分析地點示意圖

從圖 4-58 可知，當車流穩定(速率 > 75 公里/小時)，車輛從 28.420K 進入隧道而抵達 27.779K 處之距離內有加速現象，而且這兩點所能承載的最高流率沒有明顯差別。因此能通過 28.420K 處之車流通常能在同一時段內通過 27.779K 地點。圖 4-59 亦顯示有壅塞狀況時，這兩地點有很相似之車流型態。

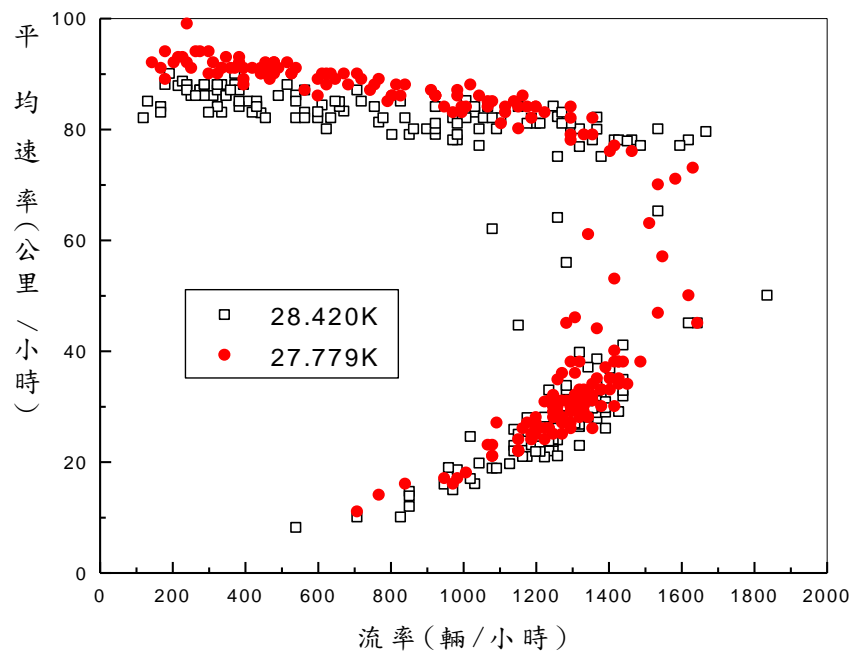


圖 4-58 北上內車道在 28.420K 及 27.779K 處之流率與速率關係（2011 年 1 月 2 日）

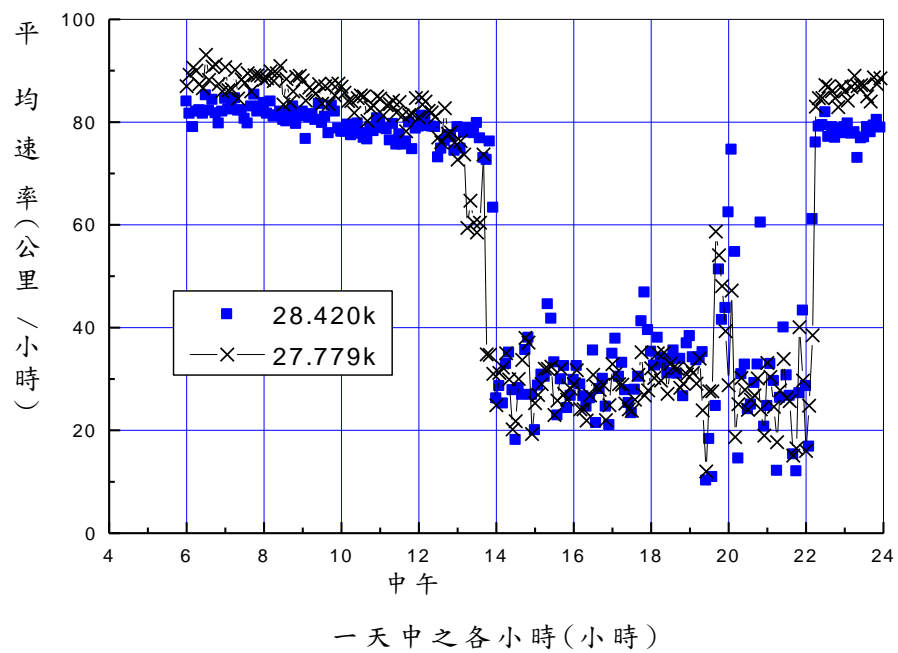


圖 4-59 北上內車道速率在 28.420K 及 27.779K 處之變化（2011 年 1 月 2 日）

車流經過 27.779K 之後有減速的傾向，並在隧道中點附近達到最低速率。以圖 4-60 所示之速率變化為例，在大約下午 1 點之前，車流還相當穩定的狀況時，隧道中點附近 21.056K 處之速率比上游各地點低。在下午 1 點之後，21.055K 處之速率急速下降。如圖 4-61 所示，這速率的急速下降是因為在大約 12 點 45 分鐘之後，通過隧道進口附近 27.779K 處之流率開始持續高於能通過隧道中點附近 21.055K 處之流率。圖 4-62 很明白的顯示上游 27.779K 之容量遠大於 21.055K 之流量。

因為上游之速率及流率皆高於隧道中點附近的速率及流率，所以在 1 月 2 日下午約 1 點之後，慢速車輛開始累積在 21.055K 之上游。隨後這些車輛以 40 到 50 公里/小時之速率疏散。在這期間，從上游來的車輛繼續加入疏散車隊。疏散車隊尾端相對路面的移動產生一衝擊波。衝擊波如向上游移動，則因加入疏散車隊之車輛有一輛比一輛有較低速率的現象，所以這種衝擊波常造成上游車輛之平均速率比衝擊波源頭處之平均速率低。

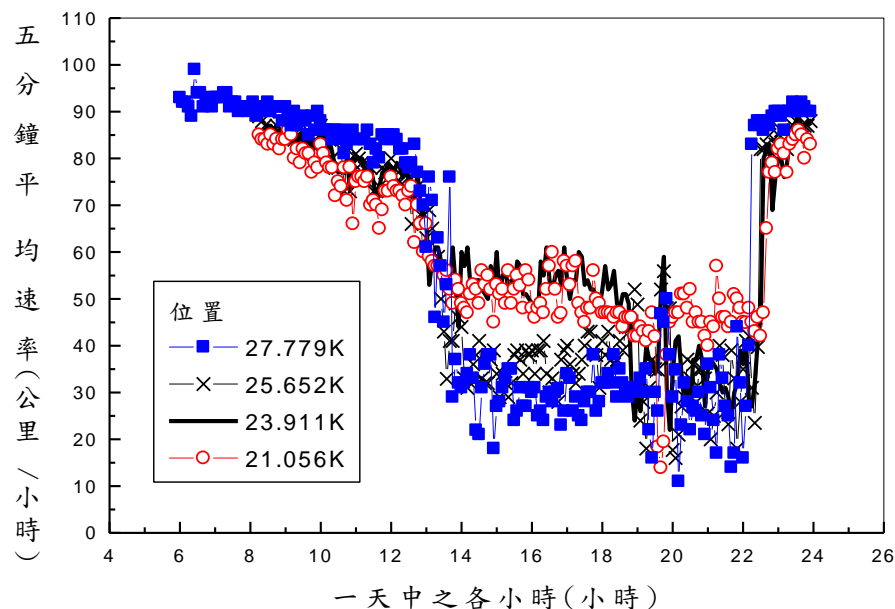


圖 4-60 北上內車道速率在 27.779K 及 21.056K 之間的變化 (2011 年 1 月 2 日)

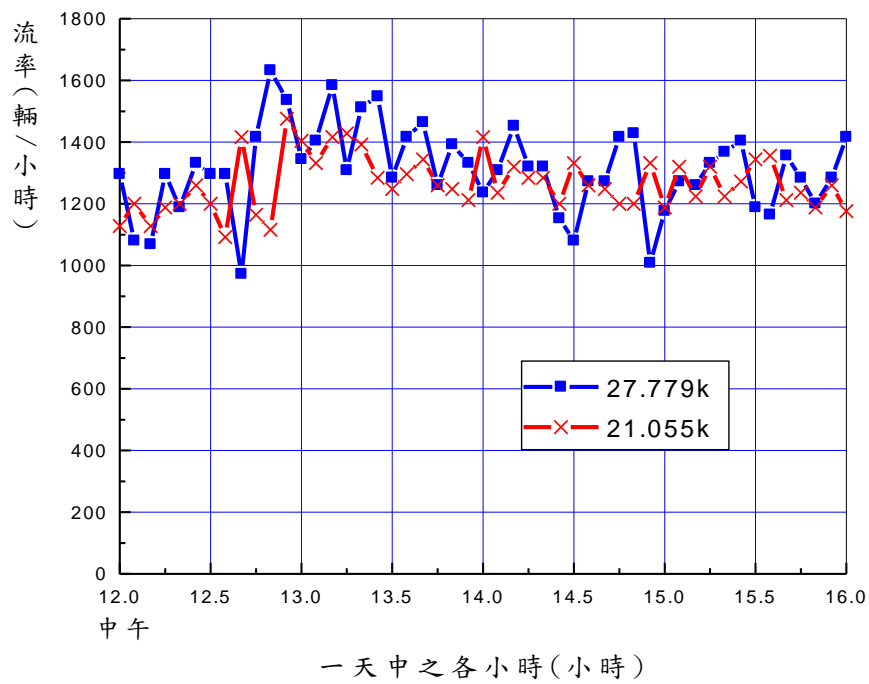


圖 4-61 北上內車道流率在 27.779K 及 21.055K 之變化 (2011 年 1 月 2 日)

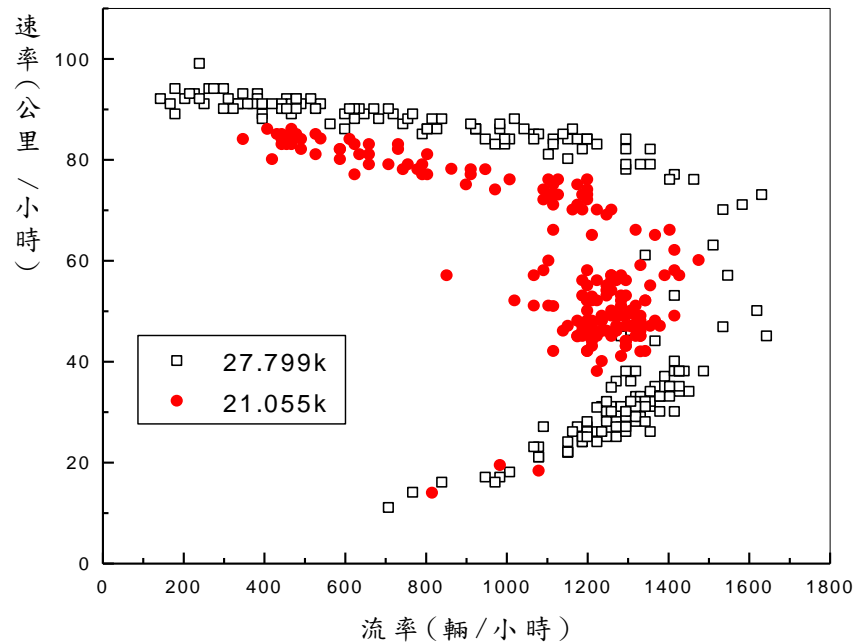


圖 4-62 北上內車道流率在 27.779K 及 21.055K 之流率與速率關係 (2011 年 1 月 2 日)

上述衝擊波不是雪山隧道塞車之唯一因素，但衝擊波之存在可讓塞車情況更嚴重。例如北上欲進入雪山隧道之流率突然遠高於隧道進口之流率，則衝擊波會先形成在隧道進口，隨後可能導致進口上游之路段壅塞。同時，在進口之車隊疏解進入隧道之流率仍可能高於在隧道中點附近所能承載之流率（見圖 4-62），因此另一衝擊波可能從隧道中點附近向上游移動，結果在進口附近造成更嚴重的塞車狀況。

車流通過 21.055K 之後須行進約 6 公里才能離開隧道。隧道下游約 380 公尺處有一出口匝道（見圖 4-51）。如圖 4-63 及 4-64 所示，21.055K 及下游 18.313K 處之車流特性幾乎相同。本章上節也提到這兩地點的自由速率比鄰近地點明顯的低（見圖 4-47）。這兩地點與鄰近地點皆在平直路段上（曲率半徑約 5,000 公尺；坡度為 1.275%）。但是這兩地點有一人行橫坑。可能這些橫坑，及其附屬設備（如速限標誌）或作業影響駕車行為。

2011 年 1 月 2 日時，在 18.313K 下游 15.488K 處之偵測器故障，但其他日期的資料顯示車流在 18.313K 下游有加速現象。因此，15.488K 處之平均速率比上游 18.313K 及 21.055K 之平均速率高。14.800K 處緊鄰一下匝道。該地點的車流雖然有時會有短暫壅塞情形，但經常能維持在 60 公里/小時以上。這些現象如圖 4-65 所示。

一般而言，21.055K 下游地點的運輸功能不是與 21.055K 處相當就是比較高，如圖 4-63，65 及 67 所示。因此在 2011 年 1 月到 5 月之間，雪山隧道北上塞車嚴重的路段經常在 18.313K 處之上游。

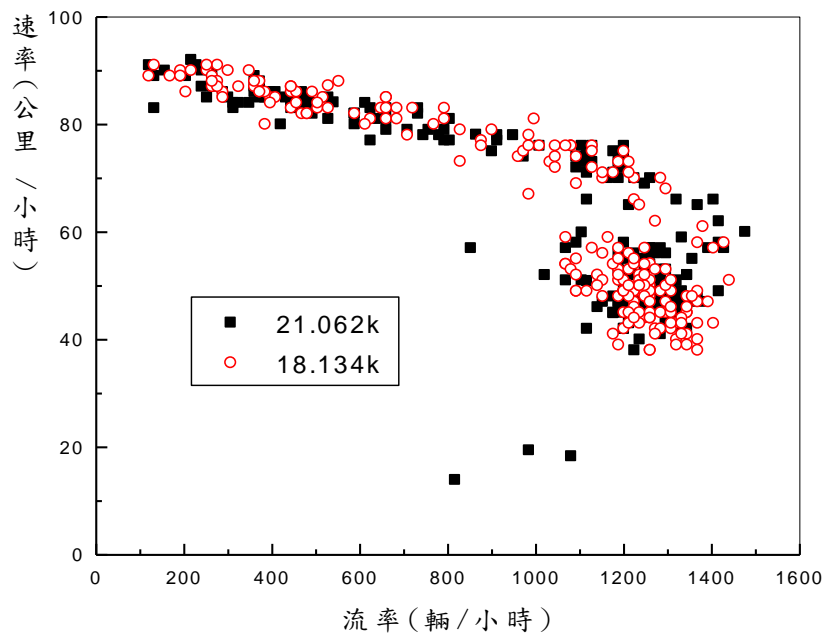


圖 4-63 北上內車道在 21.062K 及 18.134K 處之
流率與速率關係 (2011 年 1 月 2 日資料)

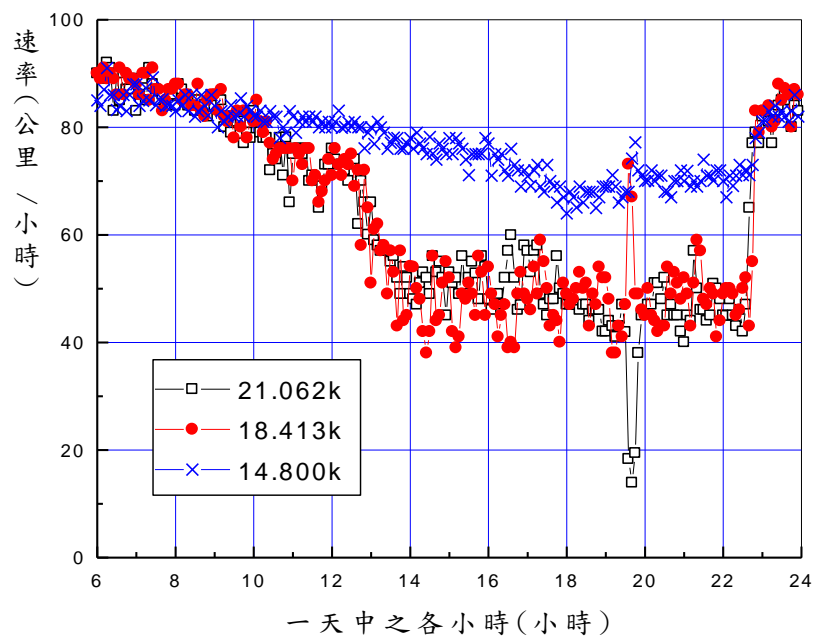


圖 4-64 北上內車道在 21.062K 及 14.800K 之間
速率之變化 (2011 年 1 月 2 日)

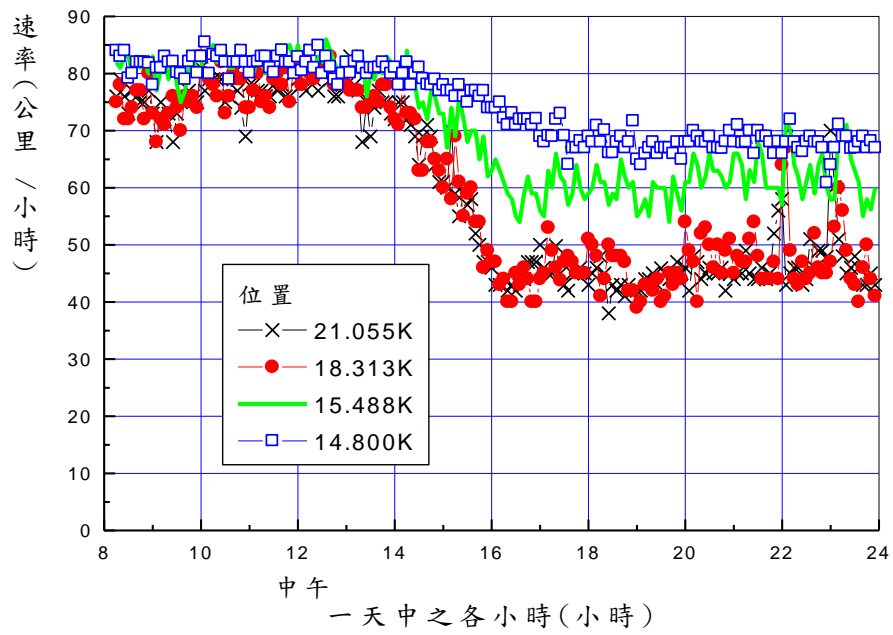


圖 4-65 北上內車道在 21.062K 及 14.800K 之間
速率之變化 (2011 年 1 月 1 日)

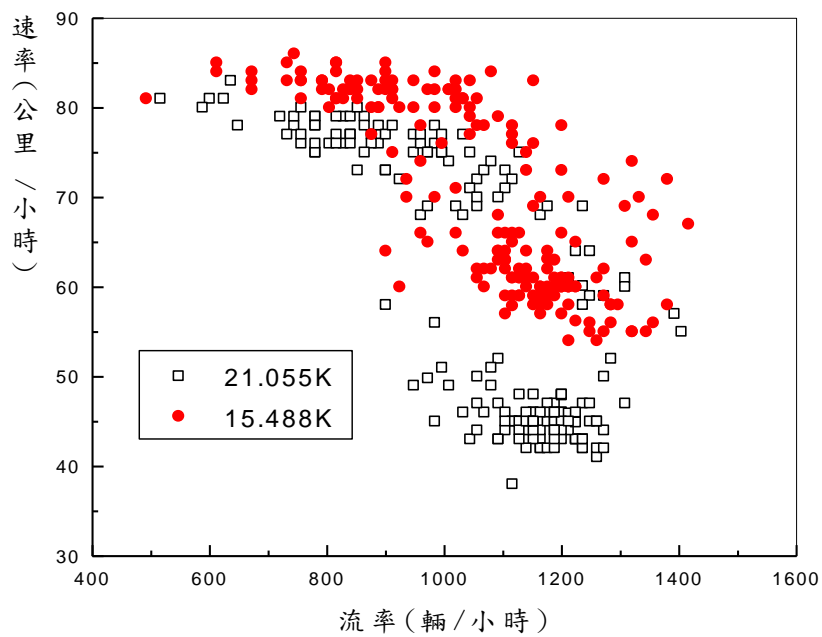


圖 4-66 北上內車道在 21.062K 及 15.488K 處之
流率與速率關係 (2011 年 1 月 2 日)

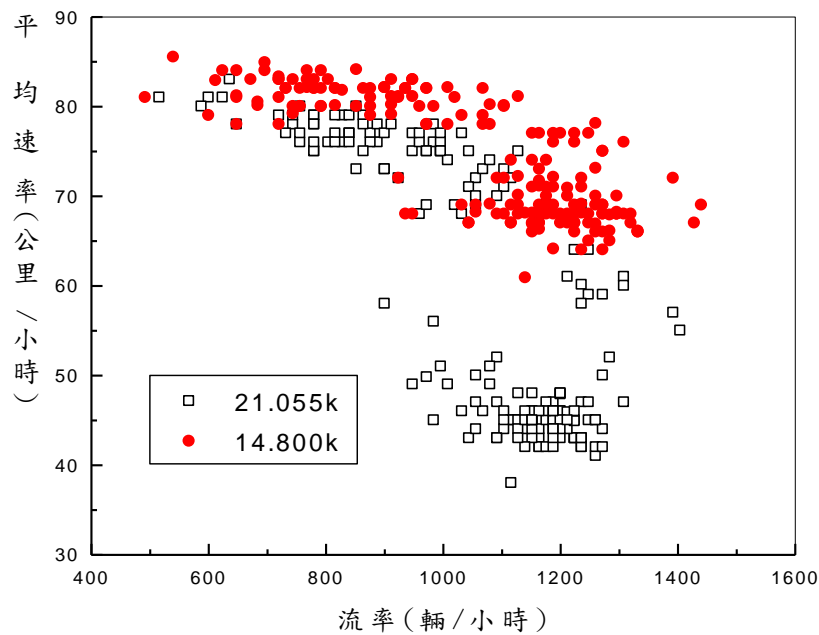


圖 4-67 北上內車道在 21.062K 及 14.800K 處之
流率與速率關係 (2011 年 1 月 2 日)

北上車流離開雪山隧道之後在大約 2 公里內遭遇到一出口匝道，一進口匝道及彭山隧道之進口，如圖 4-68 所示。

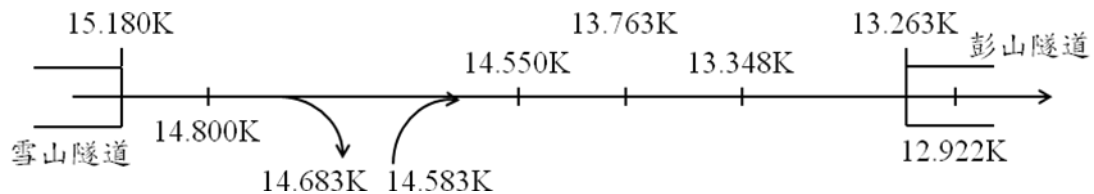


圖 4-68 北上雪山隧道及彭山隧道之間路段示意圖

在 2011 年 1 月到 5 月之間，圖 4-68 所示路段沒有嚴重塞車的現象。有塞車時，速率在 40 公里/小時以下的時間一般不到 25 分鐘。圖 4-69 為這些現象之一個例子。

圖 4-70 顯示有壅塞狀況時，彭山隧道進口上游 13.348K 處先進入速率急速降低之狀況。但進口匝道下游 14.550K 及隧道進口下游 12.922K 處也幾乎同時進入壅塞狀況。

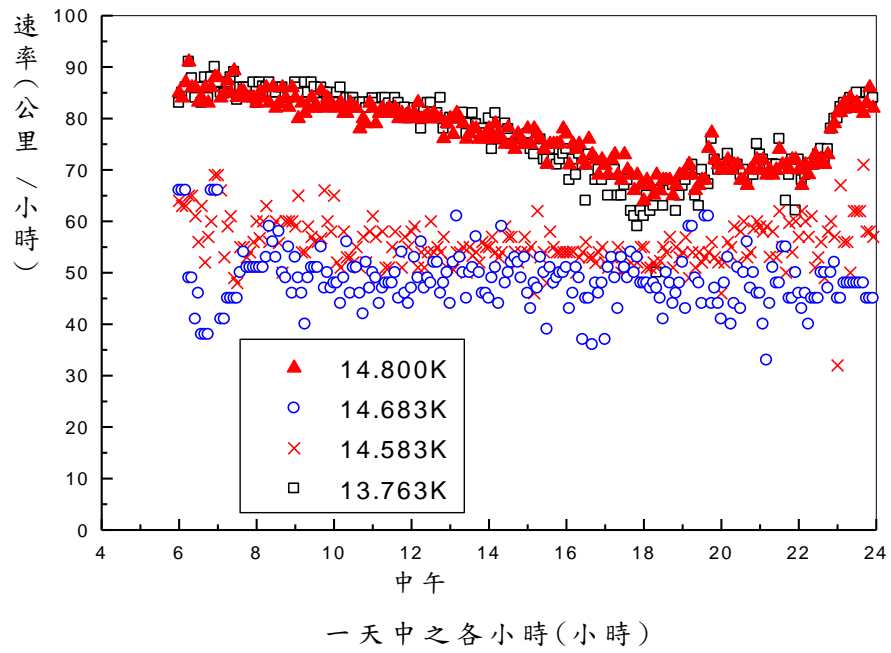


圖 4-69 北上內車道速率在 14.800K 及 13.763K 之間的變化 (2011 年 1 月 2 日)

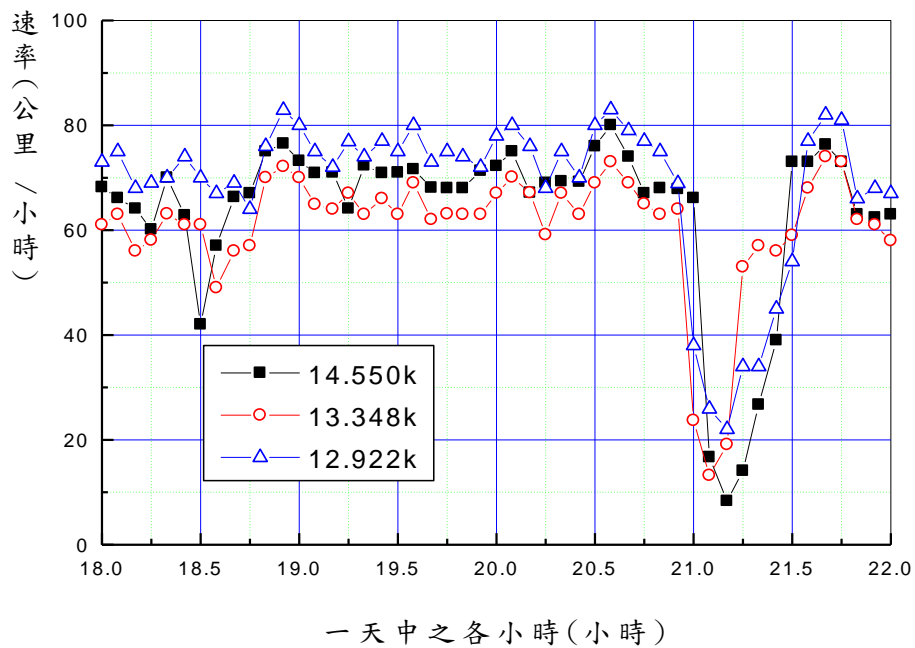


圖 4-70 北上內車道速率在 14.550K 及 12.922K 之間的變化 (2011 年 2 月 6 日)

彭山隧道進口下游約 340 公尺之 12.922K 地點有比進口上游 13.348K 處高的運輸功能。13.348K 處能承載的流率則遠高於進口匝道下游 14.550K 處。因此進口匝道下游之鄰近路段可能限制能進入彭山隧道之流率。在 2011 年之國定假日尖峰期間，從 14.683K 處離開主線的流率很少超過 100 輛/小時。從 14.583K 進口匝道進入主線之尖峰 5 分鐘流率則常達 800 輛/小時左右。至於在彭山隧道上游 13.763K 之流率，通常在尖峰時外車道大約有 1,400 輛/小時，內車道則約有 1,700 輛/小時。圖 4-71 及 4-72 顯示這些車流的狀況。

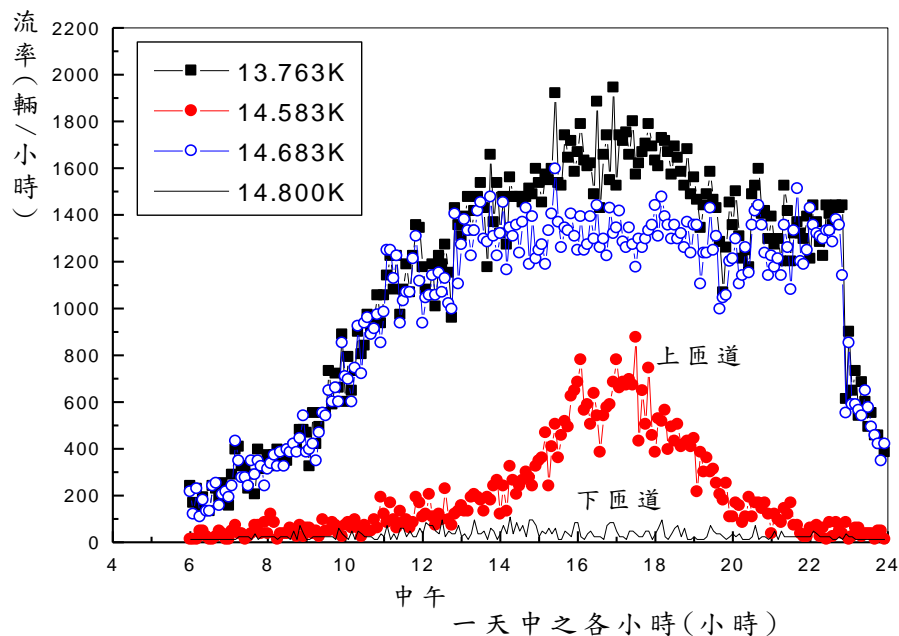


圖 4-71 北上內車道流率在 14.800K 及 13.763K 之間的變化 (2011 年 1 月 2 日)

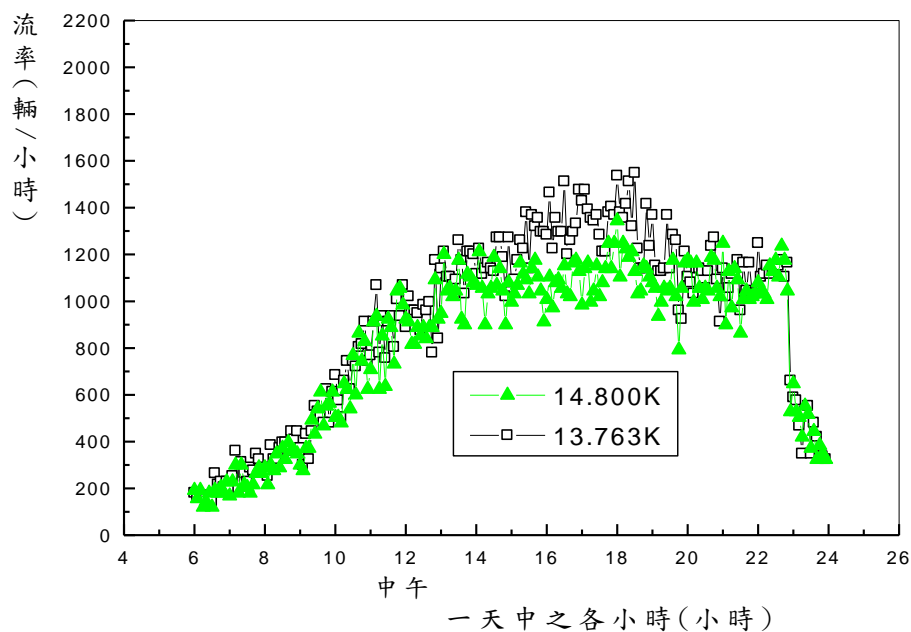


圖 4-72 北上內車道流率在 14.800K 及 13.763K 處的變化

車輛在 13.263K 處進入彭山隧道之後行走約 4 公里才能離開隧道，如圖 4-73 所示。隧道下游約 440 公尺處（9.013K 處）有一曲率半徑較低(700 公尺)之平曲線。在接近自由旅行之狀況下，車流從 12.922K 移向 9.373K 地點時有減速的現象，然後開始加速。但流率增高時，隧道中點附近 11.178K 處經常有較低的速率。

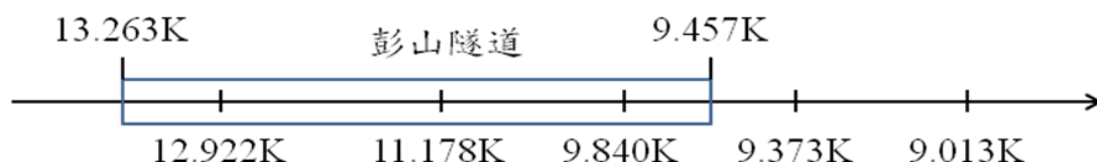


圖 4-73 彭山隧道北上路段示意圖

以 2011 年 2 月 5 日的車流狀況為例，圖 4-74 顯示在沒壅塞狀況時（速率 > 60 公里/小時），能通過上游 12.922K 處之流率高於能通過 11.178K 處之流率。因此當從 12.922K 處通過的流率高於 11.178K 處所能通過之流率時，在 11.178K 處的速率會開始急速下降。在此地點產生之衝擊波也隨著造成隧道進口附近的壅塞，如圖 4-75 所示，11.178K 及 9.373K 處之交通功能相當，所以從 12.922K 處來的高流率也會在

9.373K 處造成壅塞。圖 4-76 則顯示隧道下游 9.013K 處的交通功能比 11.178K 處高，因此彭山隧道內的壅塞對 9.013K 處的影響較小。

雖然彭山隧道有塞車的情形，但在 2011 年 1 月到 5 月期間，任何一天中速率低於 40 公里/小時之情形大約都不超過 25 分鐘。圖 4-77 是這現象之一例子。

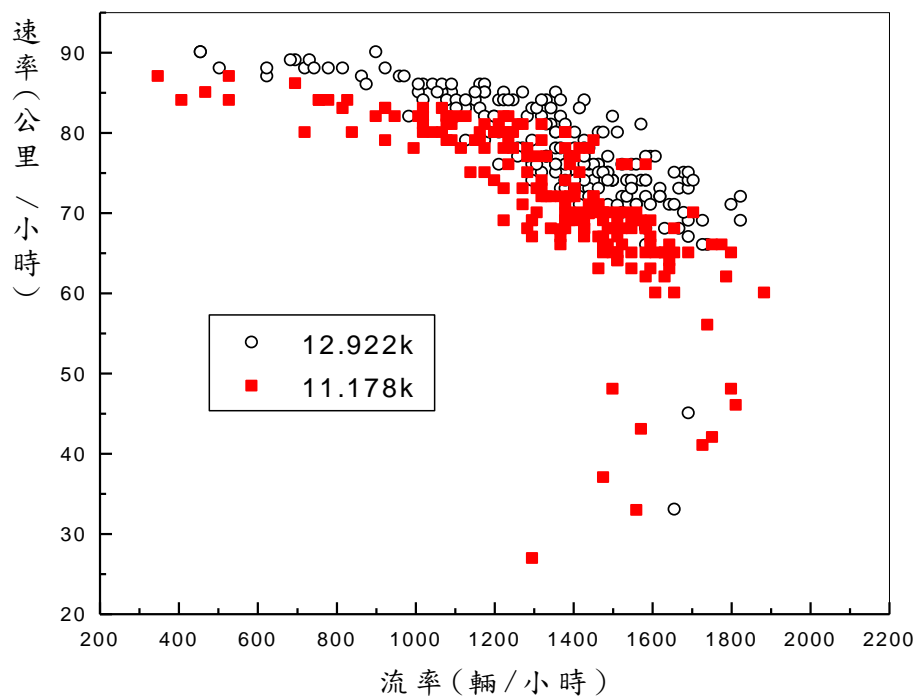


圖 4-74 北上內車道在 12.922K 及 11.178K 之
流率與速率關係 (2011 年 2 月 5 日)

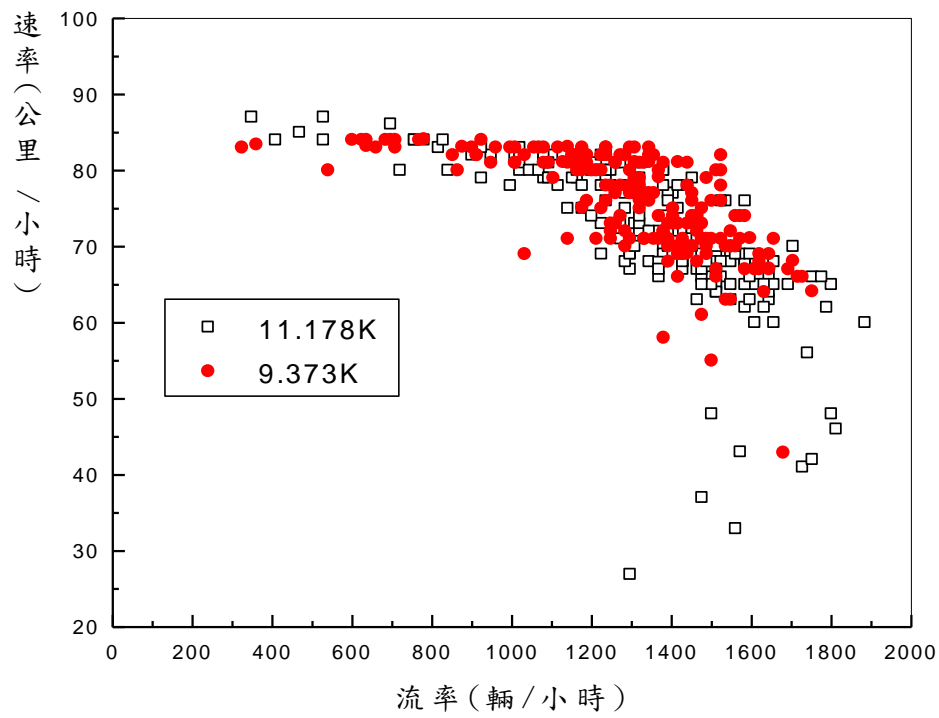


圖 4-75 北上內車道在 11.178K 及 9.373K 之
流率與速率關係 (2011 年 2 月 5 日)

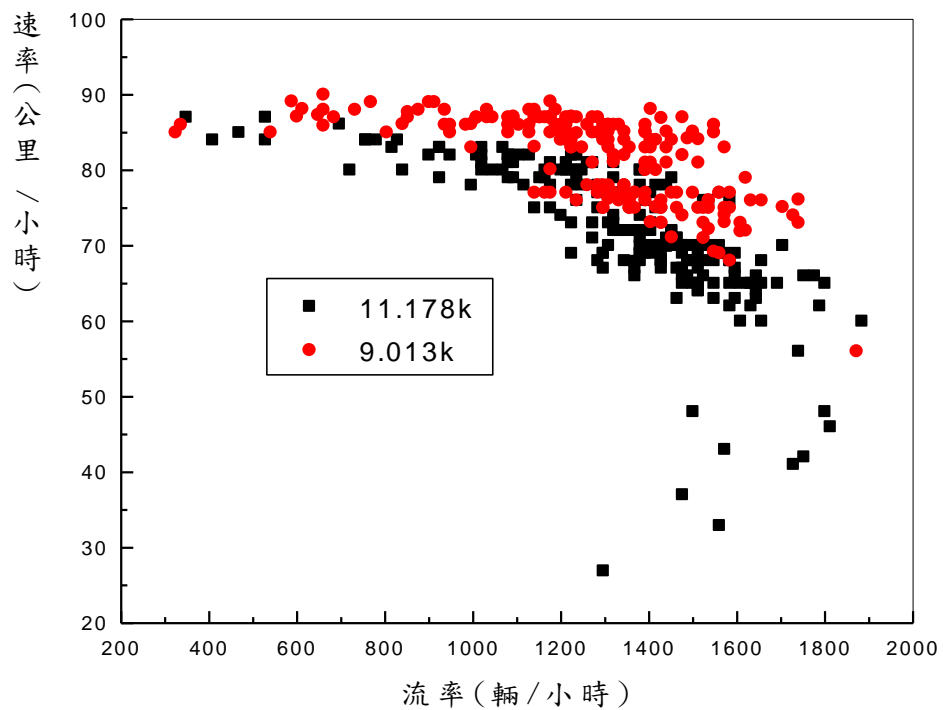


圖 4-76 北上內車道在 11.178K 及 9.013K 之
流率與速率關係 (2011 年 2 月 5 日)

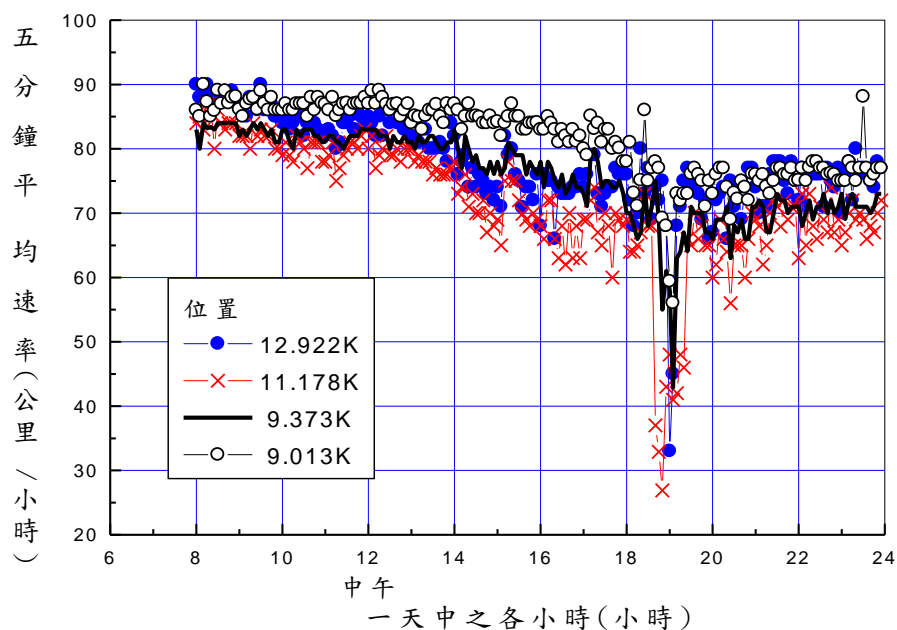


圖 4-77 北上內車道速率在 12.922K 及 9.013K 之間的變化 (2011 年 2 月 5 日)

彭山隧道北上出口離下游石碇隧道之進口大約有 6 公里。石碇隧道進口附近有一出口匝道及一進口匝道，如圖 4-78 所示。這 6 公里之內有 6 個曲率半徑從 400 到 750 公尺之平曲線。

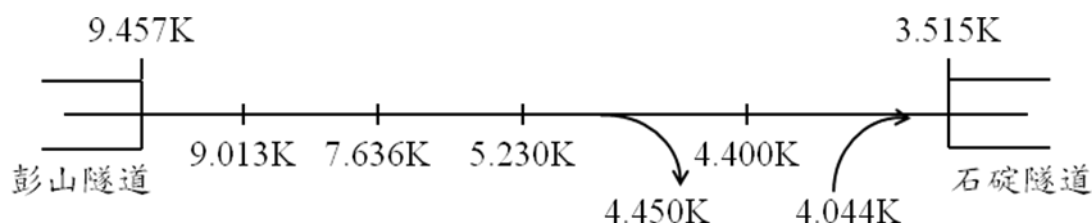


圖 4-78 北上在彭山及雪山隧道之間路段示意圖

在 2011 年 1 月到 5 月之間，圖 4-78 所示路段之壅塞經常先發生在 4.400K 之處。壅塞期間速率低於 40 公里/小時之狀況常持續 1 到 1.5 小時左右。在 4 月 5 日時，這種嚴重塞車之期間則超過 2 小時，如圖 4-79 所示。4.400K 處之壅塞對上游 5.230K，7.636K 及 9.013K 處的車流通常沒有影響。但 4 月 5 日有較長期之壅塞狀況時，5.230K 處隨著

塞車，塞車期間速率低於 40 公里/小時的情況持續約 45 分鐘。更上游 7.636K 處也有塞車，但塞車期間更短，只有 10 分鐘左右。4 月 5 日在 9.013K 處的偵測器故障，但可推測 4.400K 處之壅塞沒有在 9.013K 造成塞車。

4.400K 處之壅塞可能是因下游主線及進口匝道車流匯流，造成該路段及石碇隧道內先塞車之緣故。進口匝道在 4.044K 之偵測器未能在 2011 年 1 月及 5 月間提供資料。2010 年 4 月 5 日的資料則顯示該進口匝道的尖峰流率平均在 700 輛/小時左右，但每 5 分鐘之流率可能超過 900 輛/小時，如圖 4-80 所示。如果 2011 年 4 月 5 日有同樣的流率，則從主線 4.400K 處及匝道欲進入石碇隧道的北上尖峰車流大約在 3,000 輛/小時左右。

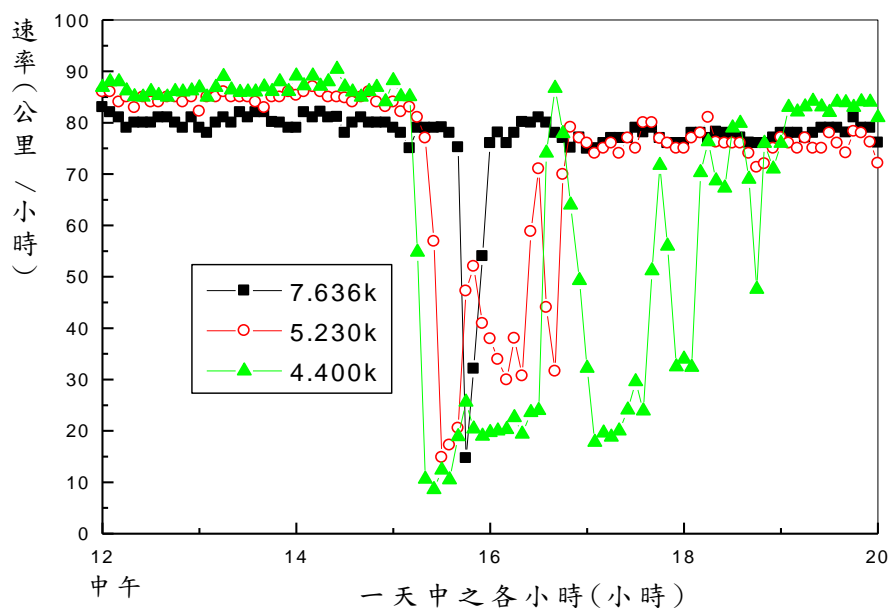


圖 4-79 北上內車道速率在 7.636K 及 4.400K 之間的變化 (2010 年 4 月 5 日)

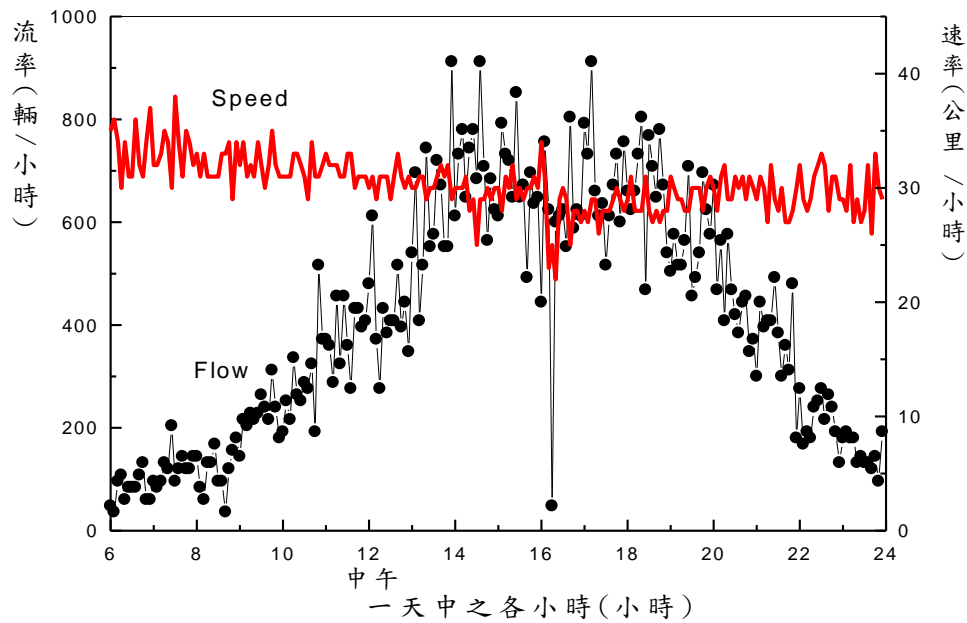


圖 4-80 北上進口匝道在 4.044K 處之流率及速率
(2010 年 4 月 5 日)

石碇隧道長約 2.7 公里，如圖 4-81 所示。圖 4-82 顯示此隧道進口附近 3.198K 處之運輸功能比出口附近 1.068K 處稍低，但差異很小。在流率高於 1,400 輛/小時，而且速率在 50 公里/小時以上的情況下，出口下游 0.706K 處的運輸功能則比 3.198K 處好，如圖 4-83 所示。

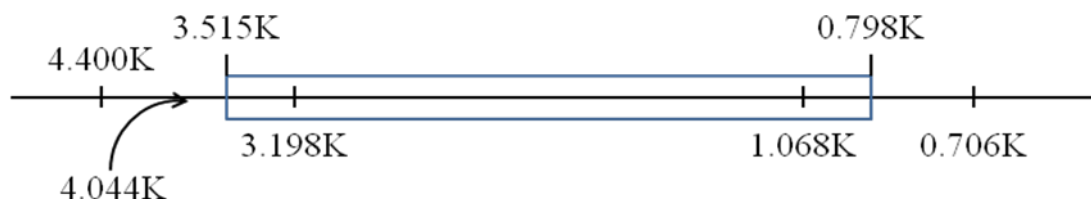


圖 4-81 石碇隧道北上路段示意圖

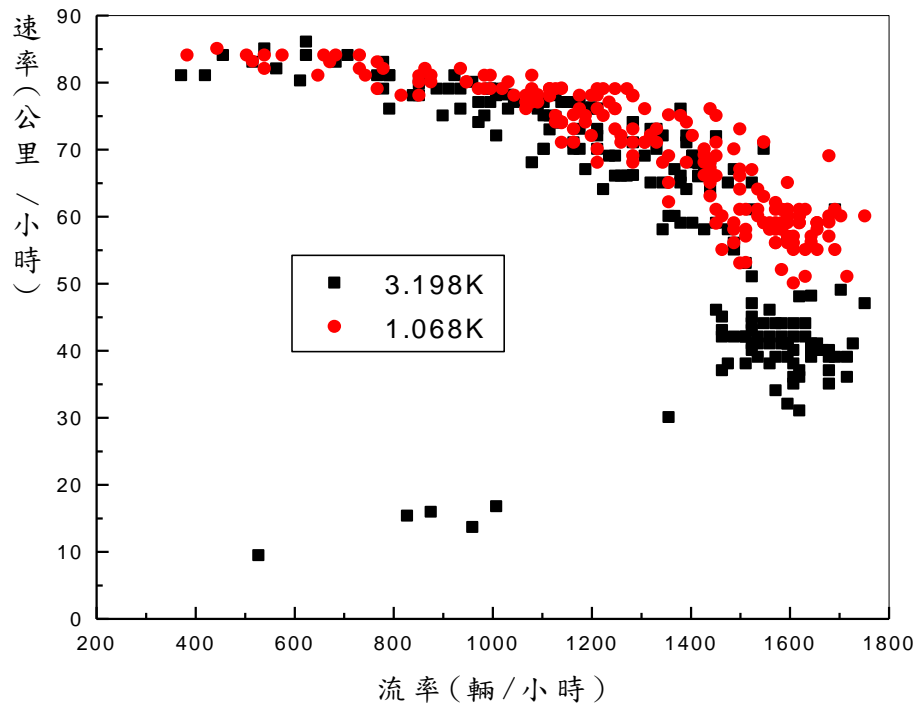


圖 4-82 北上內車道在 3.198K 及 1.068K 之流率與速率關係

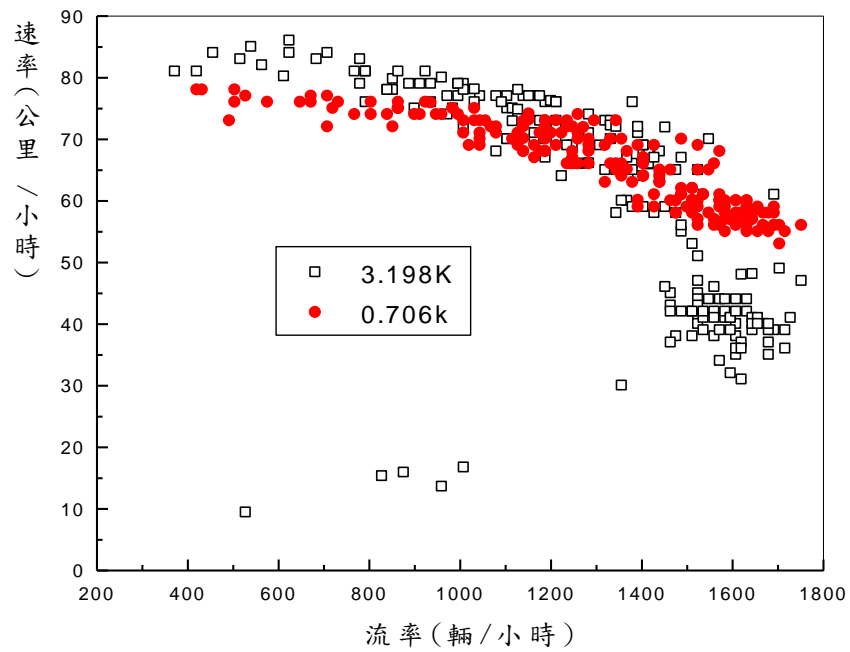


圖 4-83 北上內車道在 3.198K 及 0.706K 之流率與速率關係

石碇隧道路段在國定假日期間經常有壅塞狀況，速率在 45 公里/小時左右以下的壅塞時間多數在 3 到 6 小時之間。圖 4-84 為這種現象之一例子。3.198K 處通常先進入壅塞狀況，隨後隧道上游也接著壅塞。如果 3.198K 處壅塞狀況持續很久，下游 1.068K 及 0.706K 之速率也會受 3.198K 處疏解而來車流的影響而顯著降低，但常能維持在 55 公里/小時以上。

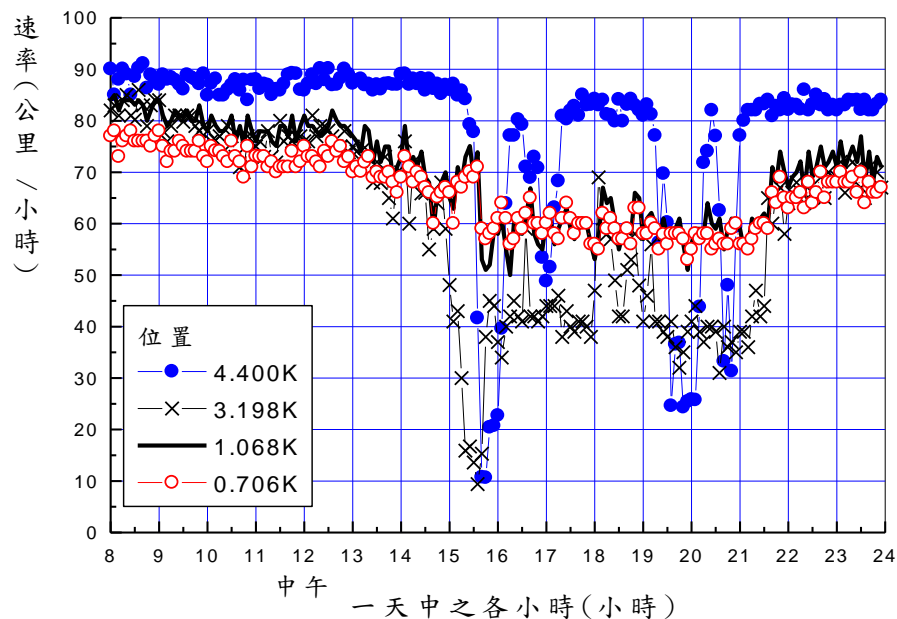


圖 4-84 北上內車道速率在 4.400K 及 0.706K 之間的變化 (2011 年 2 月 5 日)

4.3.2 南下路段

國道 5 號公路南下路段石碇隧道進口在 0.783K 處。石碇隧道長度只有 2.7 公里，其下游約 700 公尺以內有一出口匝道及一進口匝道，如圖 4-85 所示。

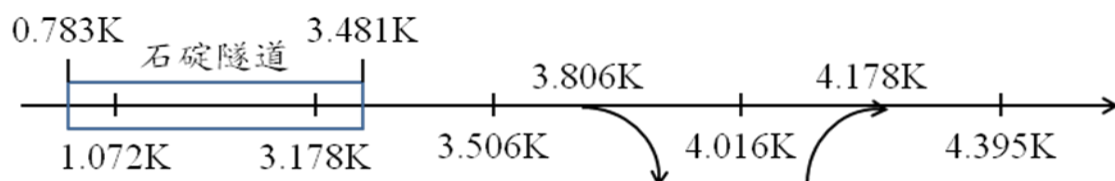


圖 4-85 石碇隧道及鄰近下游路段示意圖

圖 4-85 所示之路段在國定假日期間的壅塞程度相當嚴重。一天中平均速率低於 30 公里/小時的期間常在 4 到 9 小時之間。圖 4-86 及 4-87 顯示壅塞時可能觀察到的車流狀況。通常壅塞狀況先發生在石碇隧道進口附近。這地點的壅塞是因為進入隧道的流率太高。以圖 4-88 所示之車流狀況為例，1.072K 處內車道流率超過約 1,700 輛/小時之後，該處就迅速進入壅塞狀況。

從圖 4-89 及 4-90 可知，石碇隧道進口處(1.072K)，出口處(3.178K)，及隧道下游 3.506K 處的運輸功能沒有明顯差別，因此 1.072K 處壅塞之後，從該地點疏散的車流也會顯著降低 3.178K 及 3.506K 處之平均速率。但是除非進出口匝道地區及其下游有嚴重塞車，石碇隧道出口處到 4.016K 處的平均速率會顯著的高於隧道進口處的平均速率。

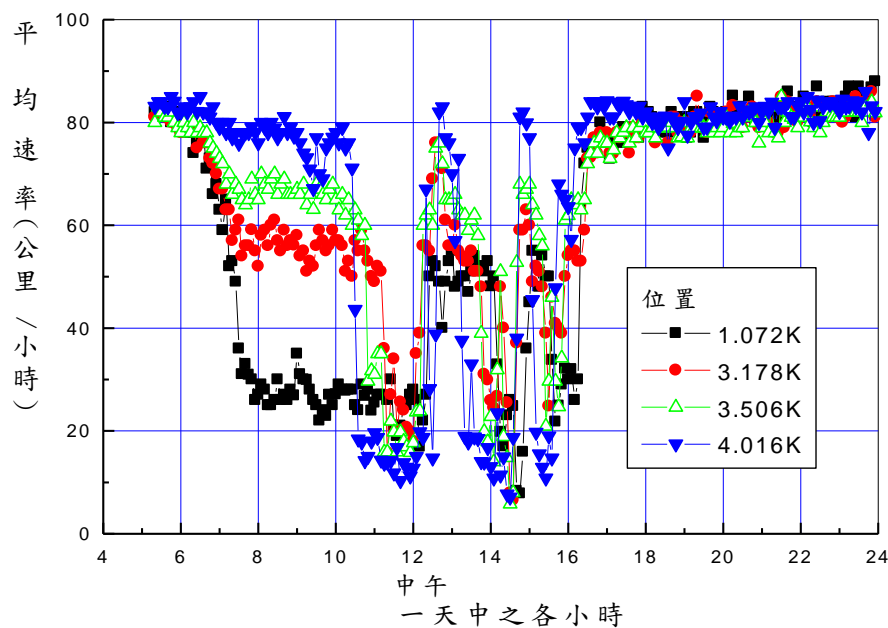


圖 4-86 南下內車道速率在 1.072K 到 4.016K 之間的變化
(2011 年 2 月 27 日)

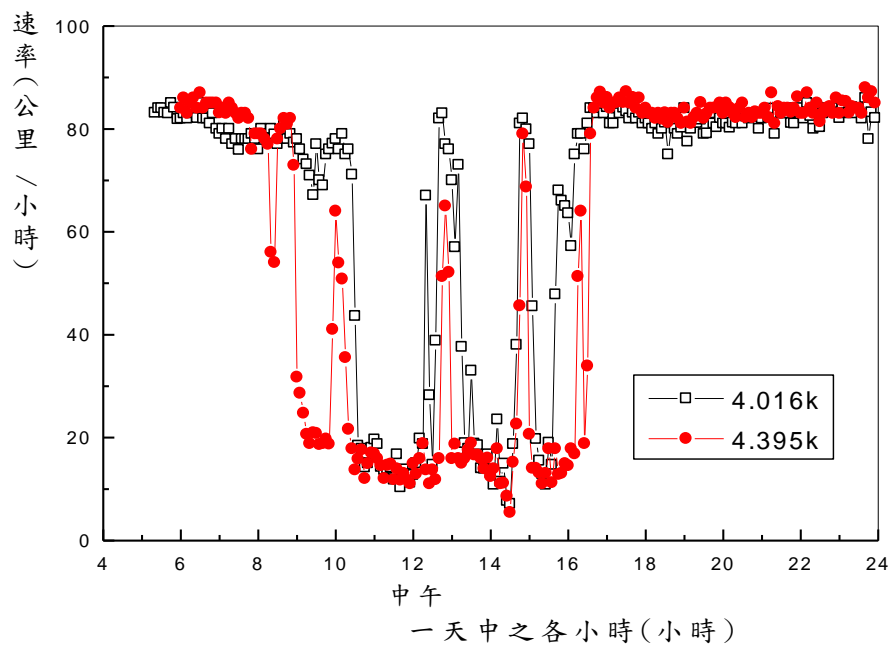


圖 4-87 南下內車道速率在 4.016K 及 4.395K 處的變化
(2011 年 2 月 27 日)

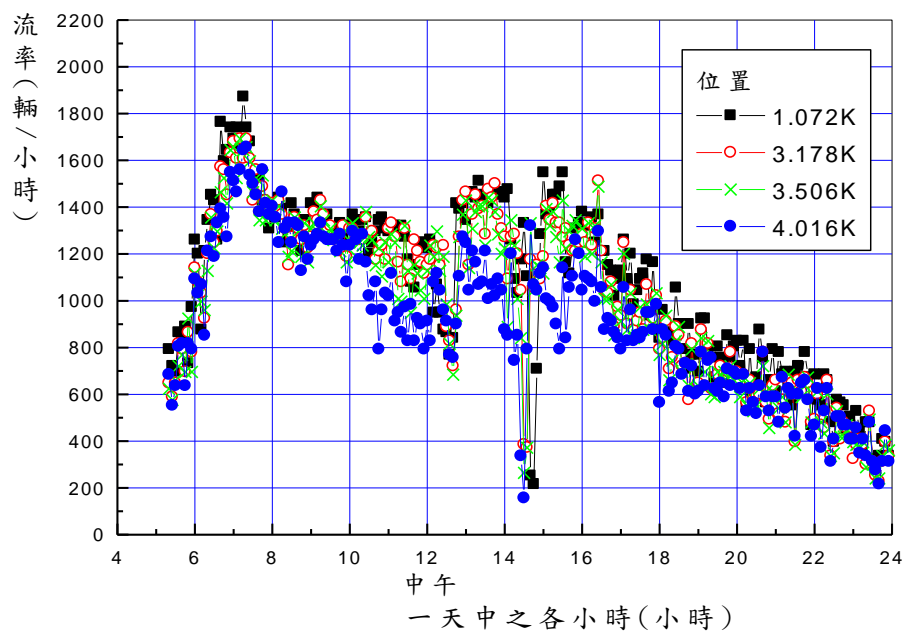


圖 4-88 南下內車道流率在 1.072K 到 4.016K 之間的變化
(2011 年 2 月 27 日)

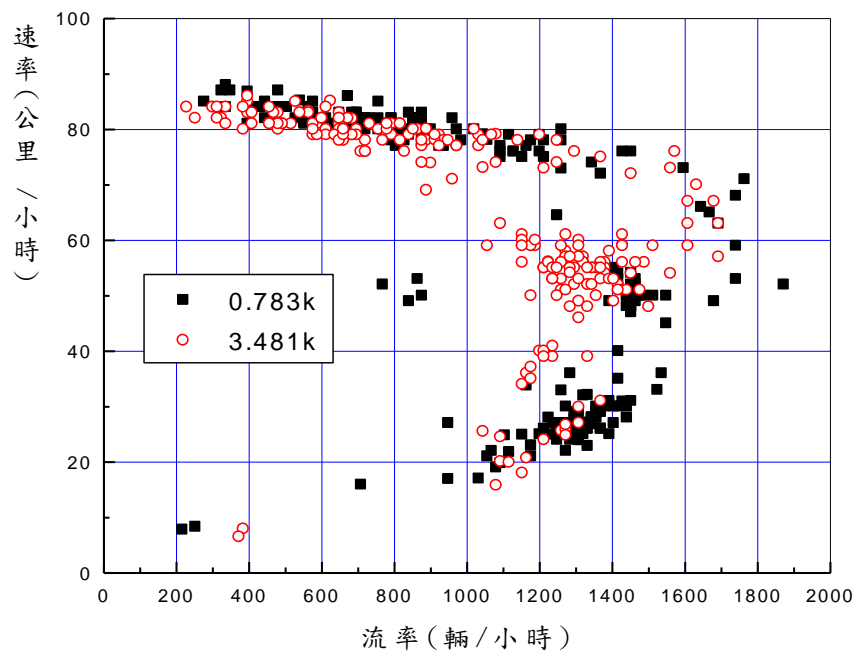


圖 4-89 南下內車道在 0.783K 及 3.481K 處之流率與速率關係

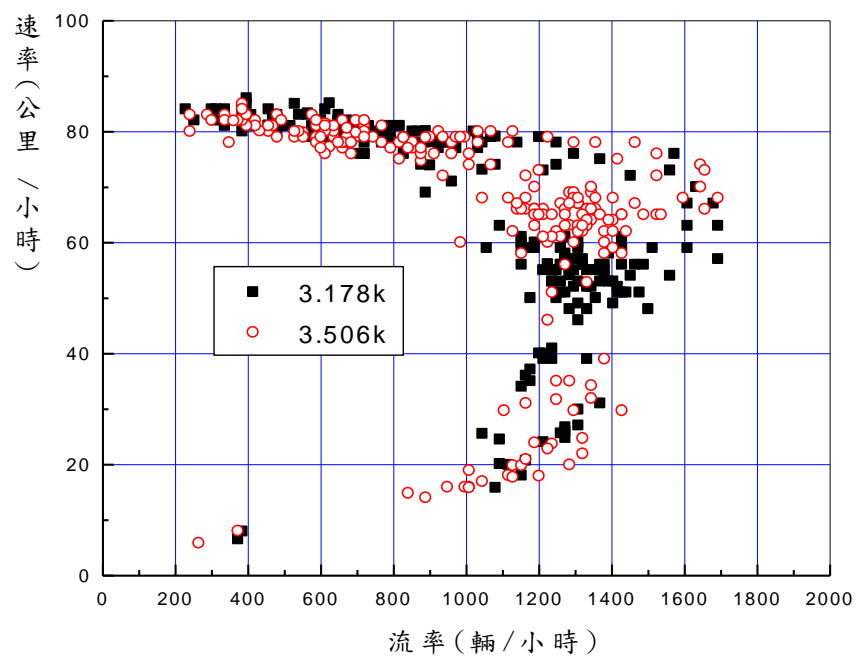


圖 4-90 南下內車道在 3.178K 及 3.506K 處之流率與速率關係

圖 4-91 及 4-92 顯示，雖然在進口匝道上下游主線 4.016K 及 4.395K 處內外車道最高 5 分鐘流率可各達 1,600 及 1,300 輛/小時，但內車道流率在 1,200 輛/小時或外車道流率在 1,000 輛/小時左右之情況下，這兩地點就可能進入壅塞狀況。這是因為有相當大的車流從進口匝道進入主線。如圖 4-93 所示，從 4.178K 進入主線的每 5 分鐘流率常超過 800 輛/小時，有時甚至接近 1,100 輛/小時。

石碇隧道及其下游之匝道與主線匯流路段有壅塞時，匯流路段下游可能不受影響。換言之，石碇隧道及其鄰近下游路段的壅塞有時是隧道進口容量不足或進口匝道與主線匯流路段的容量不足。以 2011 年 2 月 4 日之車流狀況為例，圖 4-94 顯示當匝道進口 4.178K 處上下游路段有嚴重的塞車情形時，下游 6.498K 處車流的平均速率仍可維持在 70 公里/小時以上。

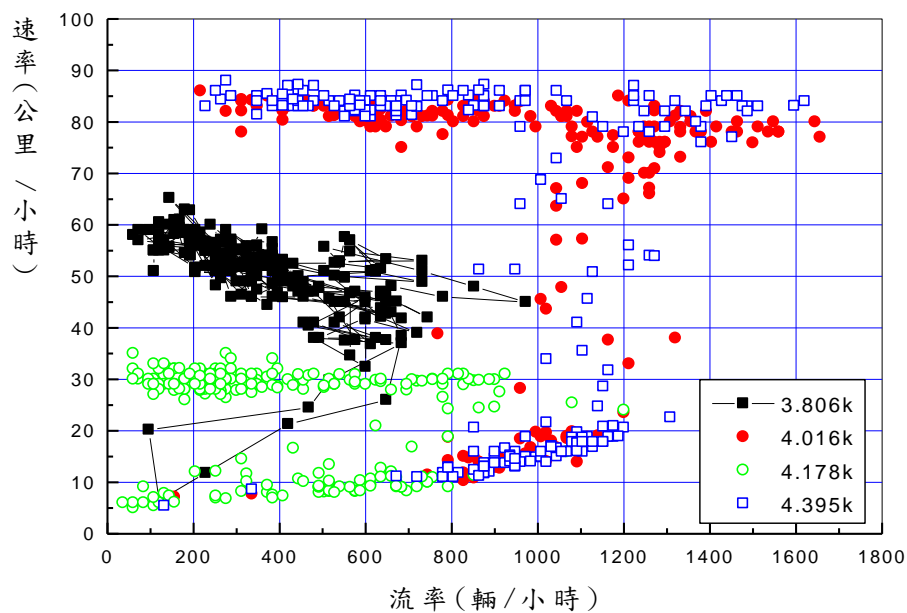


圖 4-91 南下內車道在 3.806K 及 4.395K 之間
流率與速率的關係 (2011 年 2 月 27 日)

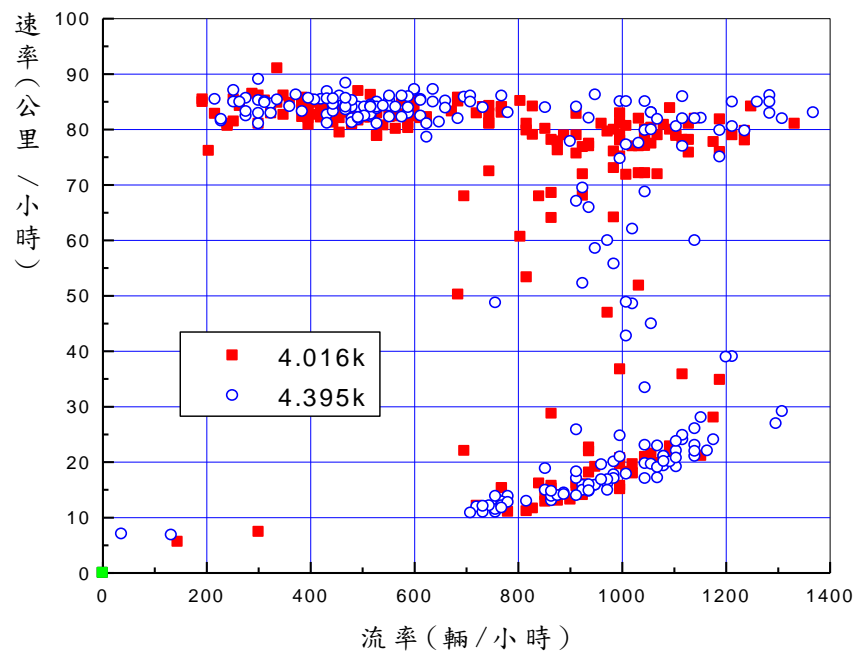


圖 4-92 南下外車道在 3.806K 及 4.395K 之間
流率與速率的關係 (2011 年 2 月 27 日)

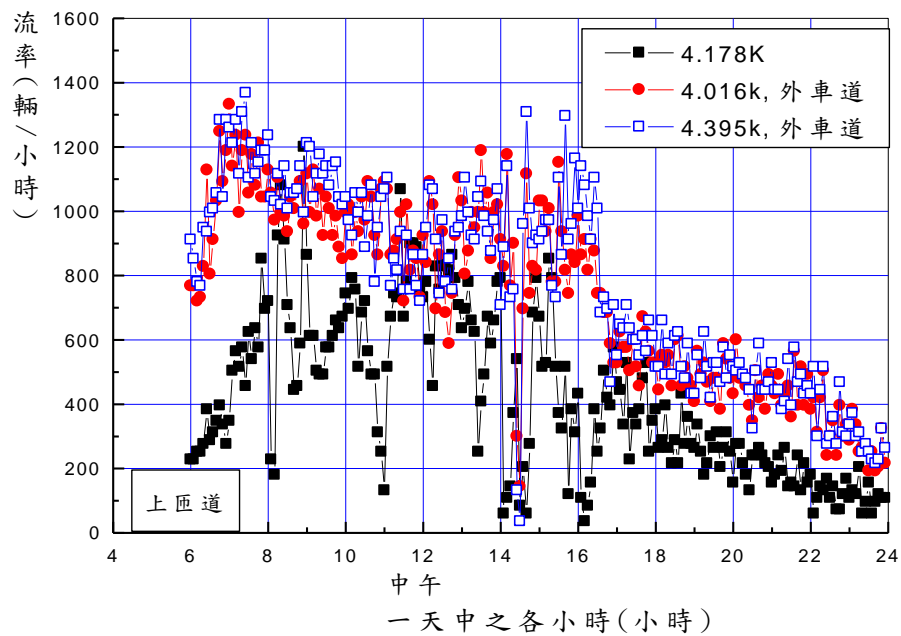


圖 4-93 南下進口匝道在 4.178K 及外車道在 4.016K 及
4.395K 處之流率變化 (2011 年 2 月 27 日)

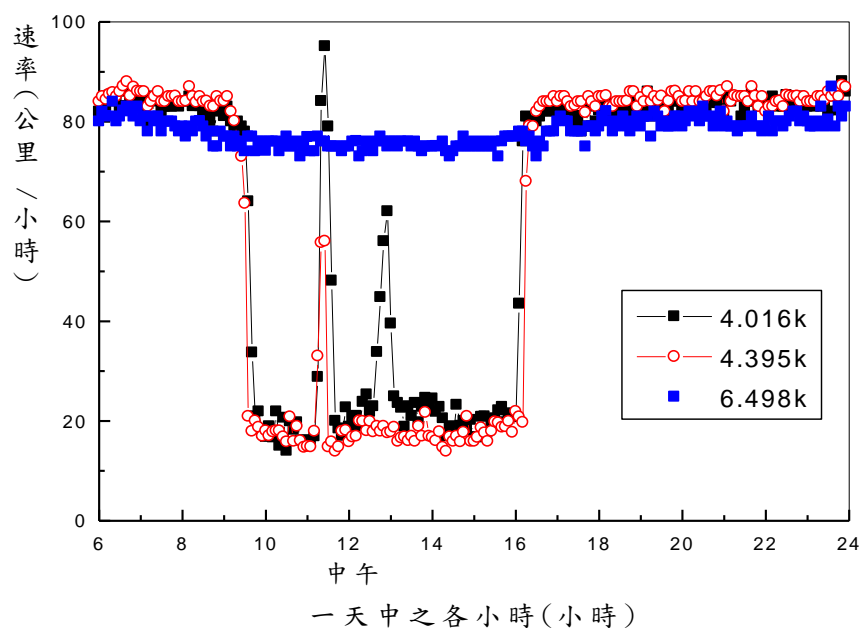


圖 4-94 南下內車道速率在 4.016K 及 6.498K 之間的變化 (2011 年 1 月 1 日)

另一方面，石碇隧道及其鄰近下游路段的壅塞有時受下游大約 5 公里處，彭山隧道進口附近的塞車所影響。車流通過 4.395K 處之後須行進約 5 公里才到達彭山隧道進口 (9.442K 處)，如圖 4-95 所示。這路段上有 6 個曲率半徑在 400 及 750 公尺之間的平曲線。例如 6.489K 及 9.663K 附近的曲率半徑各為 400 公尺及 750 公尺。前述圖 4-86 及 4-94 顯示在 2011 年 2 月 27 日早上 8 點到下午 4 點之間，石碇隧道及下游主線與匝道匯流路段有嚴重塞車之情況。圖 8-96 及 8-97 也顯示在大約同樣的時段內，從石碇隧道一直到彭山隧道進口上游 9.063K 處都有嚴重壅塞狀況。

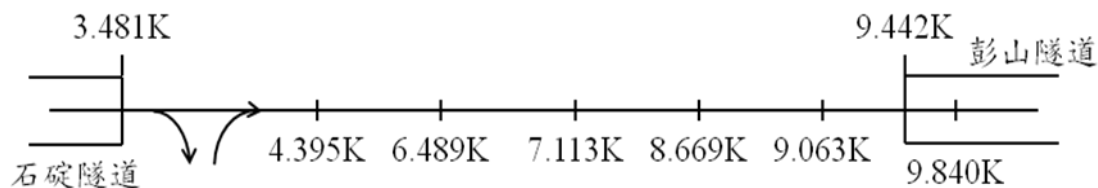


圖 4-95 石碇隧道與彭山隧道之間南下路段示意圖

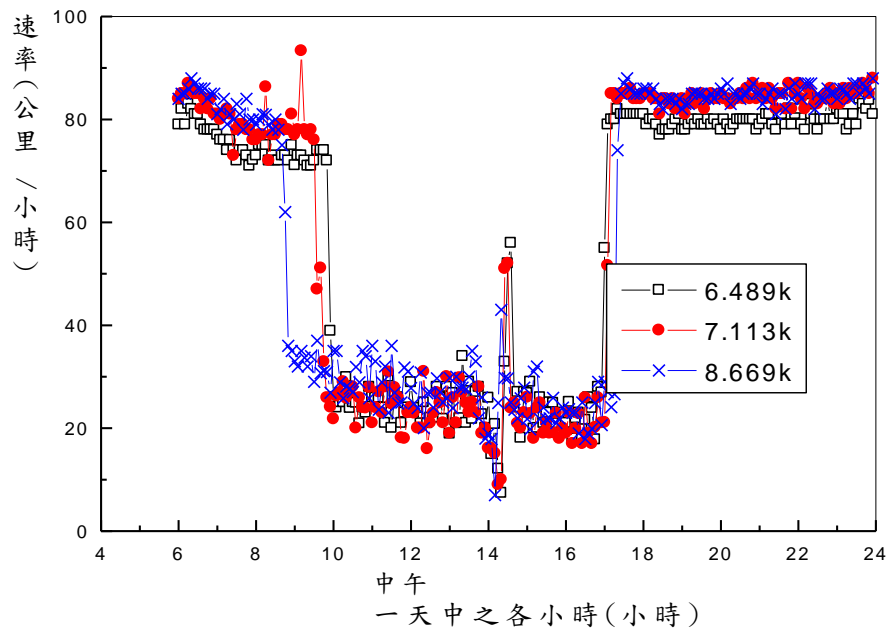


圖 4-96 南下內車道在 6.489K 及 8.669K 之間速率的變化

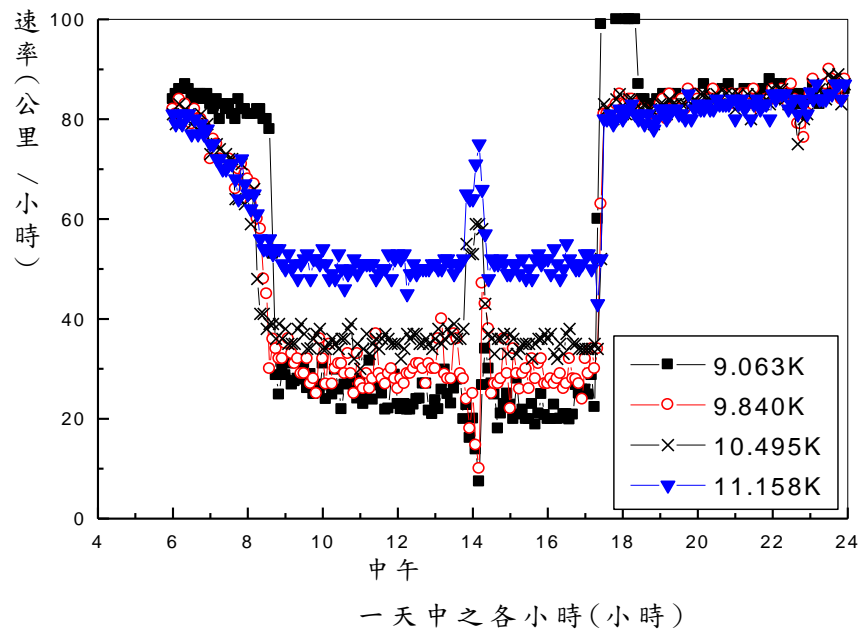


圖 4-97 南下內車道在 9.063K 及 11.158K 之間速率的變化

進入彭山隧道之後，車流在下游約 3.9 公里處離開彭山隧道。彭山隧道南下出口與雪山隧道進口只相距 1.9 公里。這路段內有一出口匝道及一進口匝道，如圖 4-98 所示。

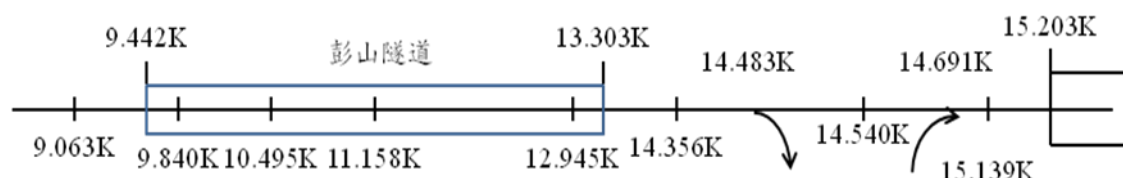


圖 4-98 彭山隧道及下游路段示意圖

前述圖 4-97 亦顯示 9.063K 處下游在彭山隧道內進口附近的路段也有嚴重壅塞的狀況，但是越下游的平均速率越高。在 11.158K 處的平均速率已能維持在 50 公里/小時左右。圖 4-99 顯示在彭山隧道出口附近 12.945K 處的平均速率更高。

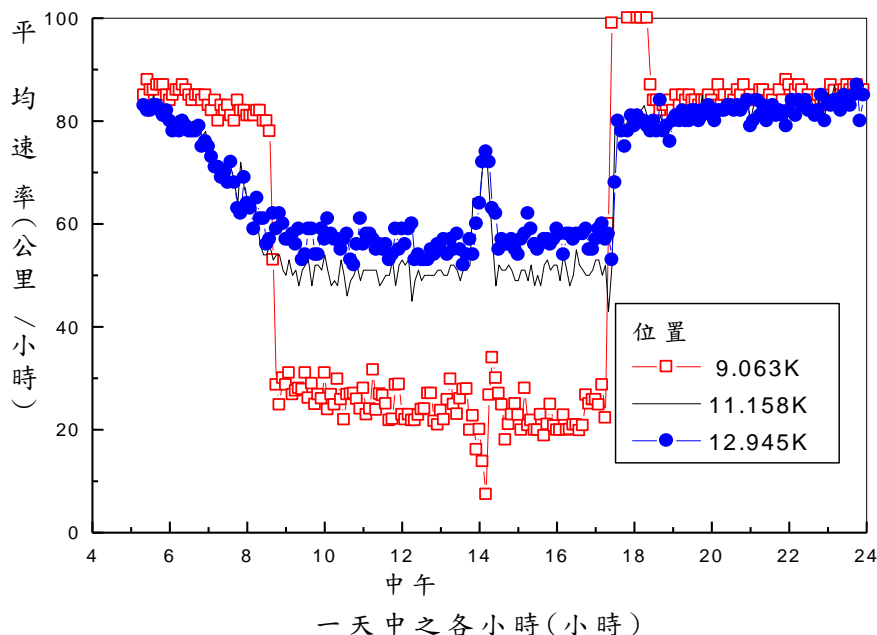


圖 4-99 南下內車道速率在 9.063K 及 12.945K 之間的變化 (2011 年 2 月 27 日)

從圖 4-100 及 4-101 可知，塞車時彭山隧道進口附近 9.063K 處的流率可能急速下降，隨後上游 6.498K 及石碇隧道進口附近 4.395K 處的流率也有類似的變化。圖 4-97 則顯示，因塞車情況嚴重，因此在 9.063K 及 9.840K 處之速率突然急速下降之後，下游 10.495K 及 11.158K 處的速率因到達之流率減低反而升高。

從這些現象可推測，2011 年 2 月 27 日石碇隧道附近之壅塞受到彭山隧道進口附近塞車之影響。

即使在國定假日車流較高的期間，在彭山隧道及雪山隧道之間的南下路段很少有嚴重壅塞的狀況。如圖 4-102 所示，通常車流從 12.945K 處離開彭山隧道之後能持續加速，並在 14.540K 達到 80 公里/小時以上的平均速率。此後，因在 14.540K 處進口匝道及附近雪山隧道進口匝道的影響，速率顯著下降，但通常仍能保持 60 公里/小時以上的速率。進口匝道與主線匯流路段很少有壅塞的原因很可能是因為進口匝道之流率相當低。如圖 4-103 所示，在 2011 年 2 月 27 日尖峰時段中，進口匝道在 14.691K 處的流率很少超過 300 輛/小時。在同一時段內，出口匝道在 14.483K 處的流率大約在 200 輛/小時。因此車輛在主線及進口匝道匯流區之互相干擾程度不大，而且在進口匝道下游 15.139K 處的流率只比從 14.356K 處來的流率稍微高。但是將來如果進口匝道之車流大增，則雪山隧道進口附近預期會有嚴重的壅塞狀況。

進入在 15.203K 處的雪山隧道南下進口之後，車流須行進 12.9 公里才能在 28.127K 處離開隧道。一般而言，流率超過 1,000 輛/小時/車道時，車流進入雪山隧道之後的平均速率逐漸下降，如圖 4-104 及 4-105 所示。在隧道中點附近(21.063K 處)的速率最低。在 21.063K 及 27.442K 之間的速率則沒有顯著變化。但是接近出口，在 28.236K 處的速率顯著的比上游高，如圖 4-106 所示。

雪山隧道出口 28.236K 附近的路段上，車輛可變換車道，讓欲在下游頭城交流道離開主線的車輛靠右行車。轉換車道造成如圖 4-107 所示，外車道流率遠高於內車道流率的現象。此外，轉換車道所產生之車與車之間的干擾可能降低速率，並且在尖峰期間內導致在 21.063K 及 27.442K 之間的速率明顯的比隧道出口處之速率低。但即使在高車流之國定假日中，21.063K 也只有短暫時間(約 5 分鐘)速率降到 30 公里/小時以下。隧道內其他地點的速率通常能維持在 50 公里/小時以上。

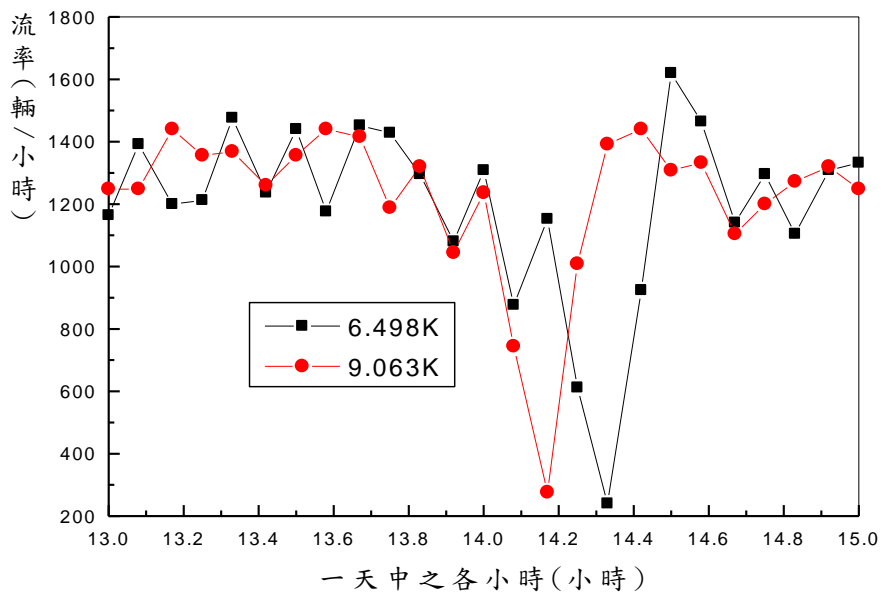


圖 4-100 南下內車道流率在 6.498K 及 9.063K 處之變化 (2011 年 2 月 27 日)

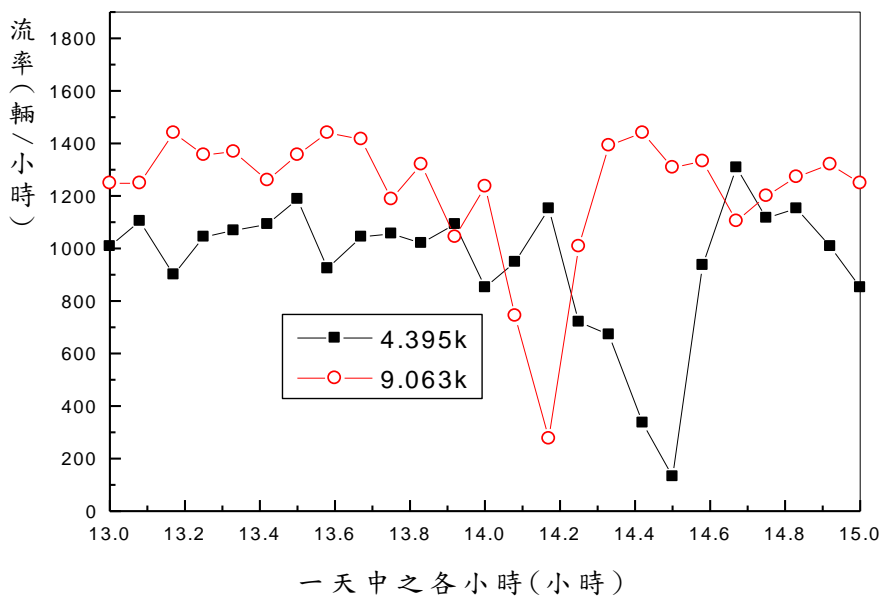


圖 4-101 南下內車道流率在 4.395K 及 9.063K 處之變化 (2011 年 2 月 27 日)

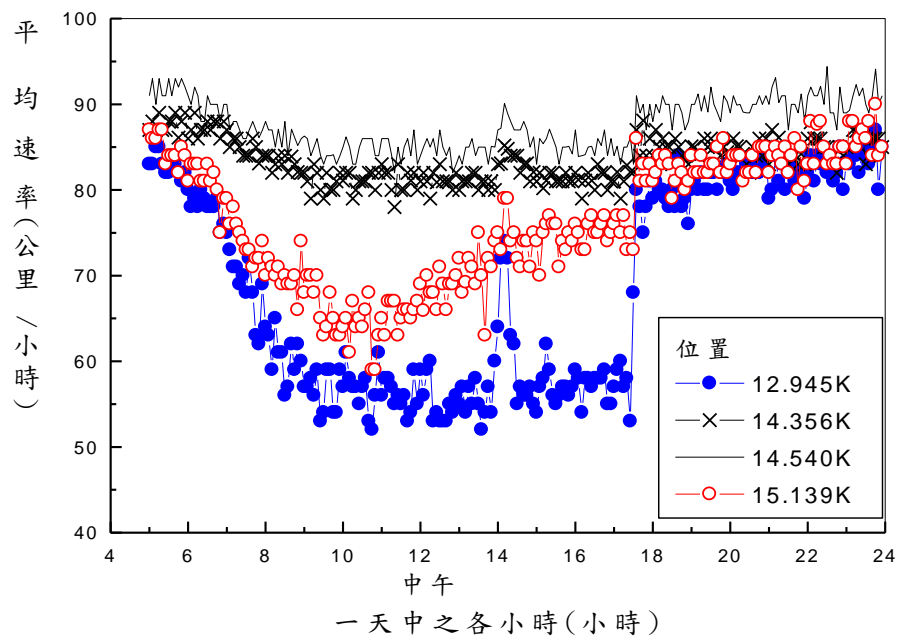


圖 4-102 南下內車道流率在 12.945K 及 15.139K 之間的變化 (2011 年 2 月 27 日)

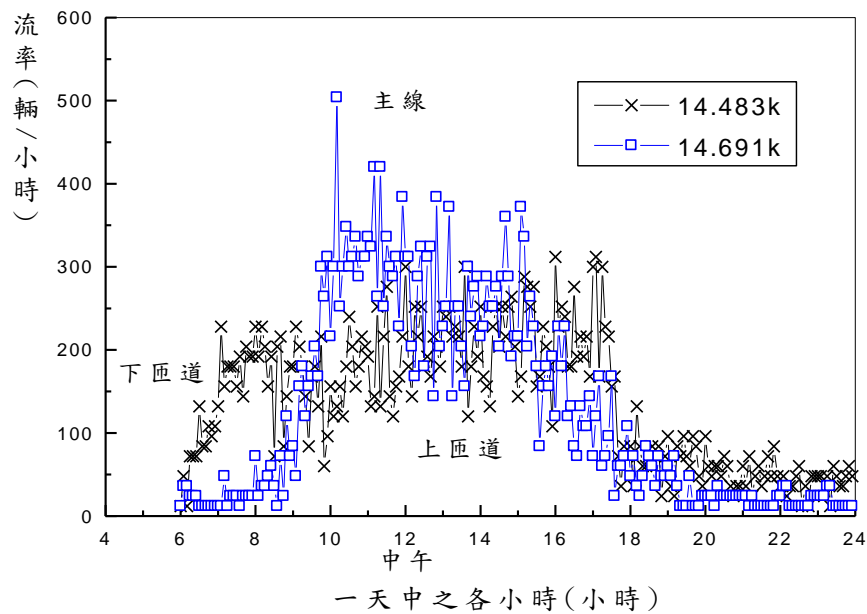


圖 4-103 南下出口匝道及進口匝道在 14.483K 及 14.691K 處之流率 (2011 年 2 月 27 日)

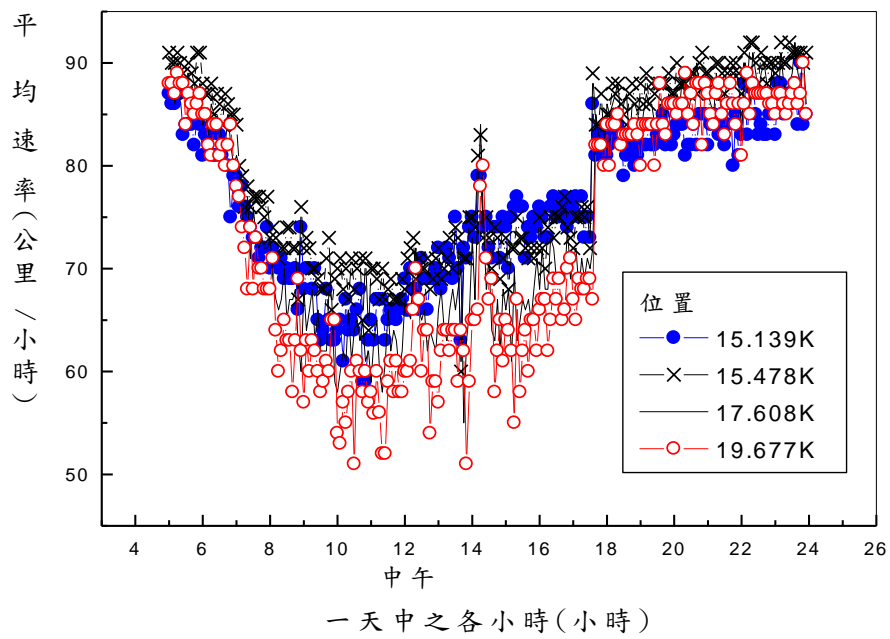


圖 4-104 南下內車道在 15.139K 及 19.677K 處之流率
(2011 年 2 月 27 日)

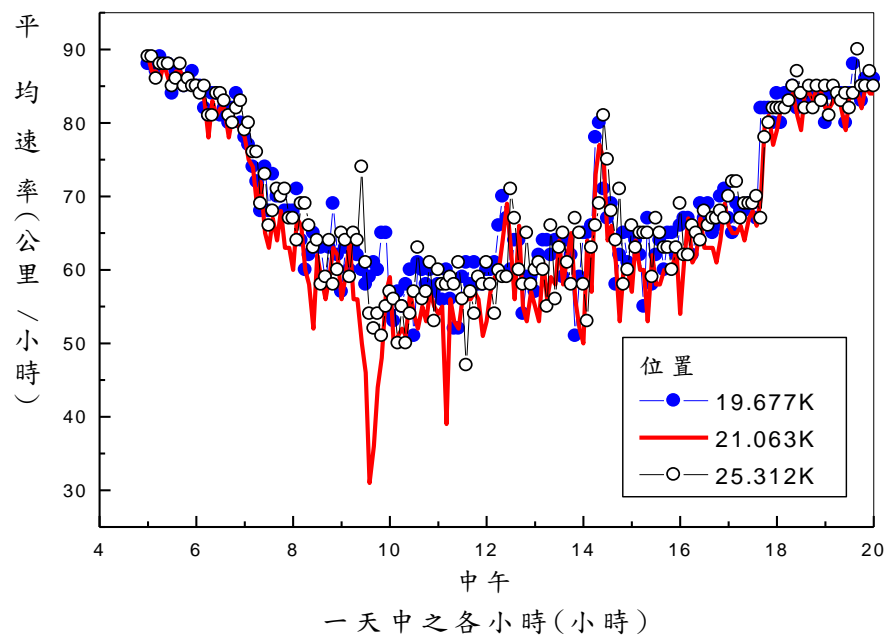


圖 4-105 南下內車道在 19.677K 及 25.312K 處之流率
(2011 年 2 月 27 日)

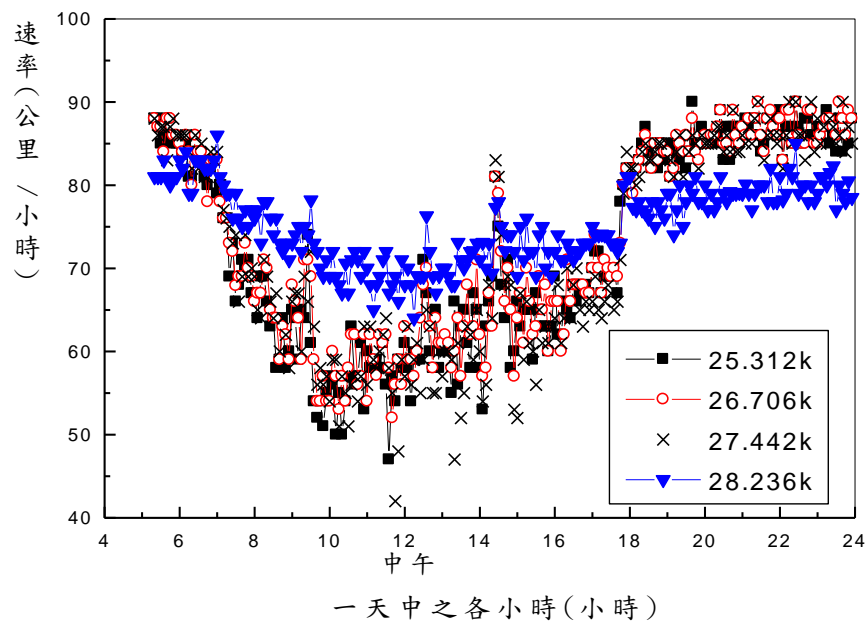


圖 4-106 南下內車道在 25.312K 及 28.236K 之間速率的變化
(2011 年 2 月 27 日)

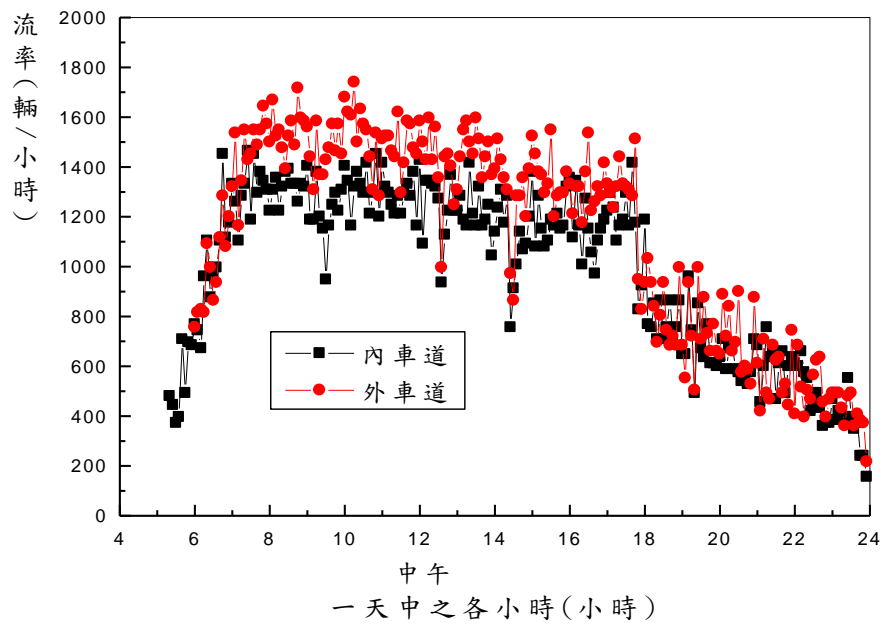


圖 4-107 南下 28.236K 內車道與外車道之流率
(2011 年 2 月 27 日)

4.3.3 小結

從壅塞狀況而論國道 5 號公路上之交通作業有如下的特性：

北上路段

1. 在高流量之假日中，雪山隧道從隧道內 18.313K 處到隧道上游頭城交流道的路段常有嚴重塞車之狀況。一天中速率在 40 公里/小時以下的期間有時高達 10 小時。頭城進口匝道（在 29.843K 處）與雪山隧道進口（28.134K 處）是一潛在瓶頸。但是持久塞車的主要原因是 21.055K（隧道中點附近）及 18.313K 處能承載的流率遠低於進入雪山隧道的流率。
2. 雪山隧道出口（在 15.180K 處）及彭山隧道進口（在 13.263K 處）之間有一出口匝道及一進口匝道。一般而言，匝道的存在容易在尖峰時造成壅塞。但在 2011 年 1 月及 5 月之間，這路段沒有嚴重塞車的狀況。這現象可能是因為能離開雪山隧道的流率有限，而且從進口匝道（在 14.583K）進入主線的流率很少超過 800 輛/小時。因此彭山隧道進口附近的路段能承載從上游主線及進口匝道來的車流。如果進口匝道流率在將來持續增高，預期彭山隧道進口附近及上游路段也會有嚴重塞車。
3. 在 2011 年 1 月到 5 月期間，彭山隧道沒有嚴重塞車狀況。此隧道中點附近（11.178K 處）能承載的流率比上游進口附近（12.922K 處）低。因此，隧道中段附近在高車流狀況時可能嚴重影響上游的交通作業。
4. 石碇隧道進口（在 3.515K 處）上游約 530 公尺處有一進口匝道。進口匝道及主線車流匯流之後，常在隧道進口下游約 300 公尺處先造成壅塞狀況，隨後上游也進入壅塞狀況。如果進口附近持久壅塞，則隧道進口（在 0.798K）附近的路段也會進入壅塞狀況。在 2011 年 1 月到 5 月國定假期間，石碇隧道上下游在一天中的壅塞期間多數在 3 到 6 小時。但壅塞狀況很少延伸到上游 7.636K 處。

南下路段

- 1.石碇隧道及其上下游路段在高流率的日期中常有相當嚴重的壅塞狀況。一天中平均速率低於 30 公里/小時的期間常在 4 到 9 小時之間。壅塞一主因是隧道進口（在 0.783K 處）不能承載欲進入隧道之流率。另一原因是隧道出口（在 3.481K 處）下游約 700 公尺之內有一出口匝道及一進口匝道。有時候壅塞狀況只限於主線與進口匝道（在 4.178K）匯流區上游的路段。但有時候石碇隧道及附近上游路段的壅塞受到在下游彭山隧道進口附近（9.063K 處）塞車的影響。
- 2.尖峰車流進入彭山隧道之後持續加速，因此彭山隧道內的壅塞程度不高。
- 3.彭山隧道出口（在 13.303K 處）及雪山隧道進口（在 15.203K 處）之間有一出口匝道及一進口匝道。在 2011 年 1 月到 5 月之間，這一路段很少有嚴重塞車之狀況。這現象的主要原因可能是從進口匝道進入主線的流率不高，通常在 300 輛/小時以下。
- 4.尖峰車流進入雪山隧道（進口在 15.203K 處）之後速率逐漸下降。在隧道中點附近（21.063K 處）的速率最低。在 21.063K 及 27.442K 之間的速率沒有顯著變化。但在隧道出口（28.127K 處）附近 28.236K 處的速率顯著的比上游高。隧道出口附近路段允許變換車道。車道轉換可能是造成上游在 21.063K 及 27.442K 之間的速率比較低的主要因素。但在 2011 年 1 月到 5 月間，除了 21.063K 偶而有短暫壅塞之狀況外，雪山隧道南下車流通常能保持 50 公里/小時以上的平均速率。

4.4 流率與速率關係及容量

流率與速率的關係為分析高速公路作業的基本資料。這些關係受許多因素的影響，但一般而言，車流速率高的時候，相關車流密度低，因此流率也低。密度逐漸增加之後，流率也增加，但速率會下降。如

果從上游欲通過一路段的流率接近或等於能通過的流率，則車流呈不穩定狀況。上游來的需求流率超過通過一路段之流率時，車流進入壅塞狀況。速率迅速下降，而且能通過一路段的流率也減少。這現象如圖 4-108 所示 7 個從穩定狀況進入壅塞狀況之車流樣本所示。從此圖亦可知從穩定狀況進入壅塞狀況時之流率及速率有相當大的變異性。換言之，穩定及壅塞狀況沒有明確的界線。此外，圖 4-108 亦顯示，不論車流是否穩定，同一速率所相關的流率可能有很大差異，同一流率時之相關速率的差異更大。因此一路段的容量可估計，但不容易確定。

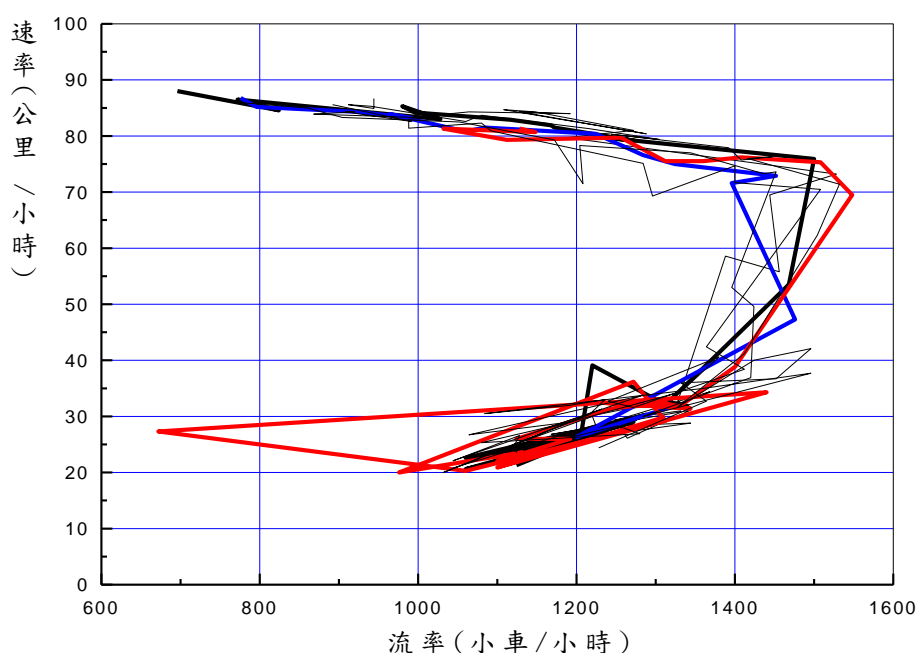


圖 4-108 車流從穩定進入壅塞狀況之流率與速率關係樣本
(北上內車道在 27.779K 處)

容量指在沒有壅塞狀況時，在某一行車環境下（如速限、天候、車種組成等）經常能通過一定點（或一路段）的最高流率。此流率並非在不同時段內觀察到的流率的最高值。容量應視為車流從穩定狀況進入壅塞狀況之前最高流率的期望值（亦即平均值）。此外，公路容量分析的對象一般是尖峰 15 分鐘或更長時段內的車流狀況。因此容量為能維持最少 15 分鐘之流率。

如圖 4-109 所示，每 15 分鐘的資料顯示流率相同時，速率有相當

大的變異，速率相同時之相關流率也有很大的不同。但是在穩定的車流狀況下（速率未開始急速下降之前），流率與速率關係有明確的趨勢。這狀況下的流率與速率之關係可合理的用一平均關係來代表。進入壅塞狀況之後，車流不穩定，因此流率與速率的關係常有非常大的變異。在這情況下的流率與速率關係難以用平均關係來正確的代表。但一般的壅塞狀況下，速率下降時，流率通常也隨著降低。這特性與在穩定狀況速率下降時流率會繼續增高的現象不同。

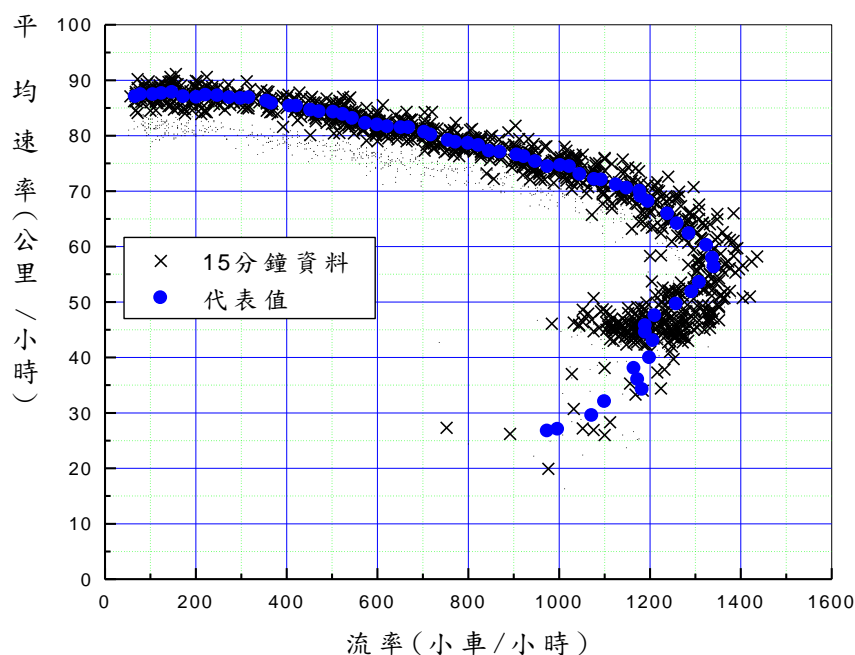


圖 4-109 每 15 分鐘之流率、速率資料及其代表性關係的樣本
(北上內車道在 21.055K)

為了訂定代表性的流率與速率關係，本計畫將每 5 分鐘的偵測器資料整合成 15 分鐘資料，然後根據流率與速率關係的趨勢分成小區域來估計個別區域的總平均流率及速率。這些總平均流率及速率所顯現的關係為代表性的關係。圖 4-109 顯示代表性流率與速率關係之一樣本。

車流進入壅塞狀況之後，有些地點的流率與速率資料分散在相當廣的區域，但多數資料仍顯現典型，速率與流率同時下降或速率下降時流率不再增加的現象。在這情況下，本計畫只用這些比較集中的資

料來估計平均速率及流率。因此在壅塞狀況下的代表性速率與流率關係只能顯示流率與速率關係之大約趨勢。這些關係不宜用來規劃、設計或訂定控制策略。

上述探討流率與速率關係的對象包括國道 5 號公路南北向內外車道在隧道進出口附近，隧道中點附近，及主線與匝道匯流路段。因為流率與速率的關係受速限的影響，所以本計畫將 2007 年 9 月至 2011 年 5 月間的偵測器資料根據相關速限分別分析。2007 年 11 月開始，大客車可使用雪山隧道。大客車百分比大約是全天車輛的 2.5%（見圖 4-16）。大客車只能行駛外車道，而且內外車道車流各佔總車流的比例接近 50%（見圖 4-17），因此本計畫假設 2007 年 11 月起外車道之大客車占外車道總車輛之 5%。此外，大客車之小車當量值設定為 1.5。

上述分析的結果列於附錄 A。本章根據此附錄說明流率與速率之代表性關係及其所顯示之容量。

4.4.1 隧道進出口及中點附近

4.4.1.1 流率與速率關係之基本型態

國道 5 號公路在不同地點之流率與速率關係呈現三種基本型態。第一種型態如圖 4-110 中速限為 90 公里/小時的代表性關係所示。這種型態的特點是穩定車流的流率達到某一程度之後，速率急速並大幅下降，結果車流很快的進入相當壅塞的狀況。這種型態一般是因為從一定點上游來的流率在短時間內遠超過該定點的容量，而且流率超過容量的情況持久不散。隧道進口最容易有這現象。第二種型態如前述的圖 4-109 所示。這種型態常常是因為一定點上游的流率受限制，因此只稍微高於該定點的容量。結果壅塞程度緩慢增加，速率及流率也隨著慢慢減低。第三種型態如圖 4-111 所示。這種型態比較特殊。一般穩定狀況及壅塞狀況交界點的速率在 50 公里/小時以上。但圖 4-111 顯示速率低到 40 公里/小時的時候，流率與速率關係還沒有呈現速率及流率同時下降的傾向。在這情形下，相關的容量不容易確定。圖 4-111 所示之型態產生在石碇隧道北上進口下游約 300 公尺處。

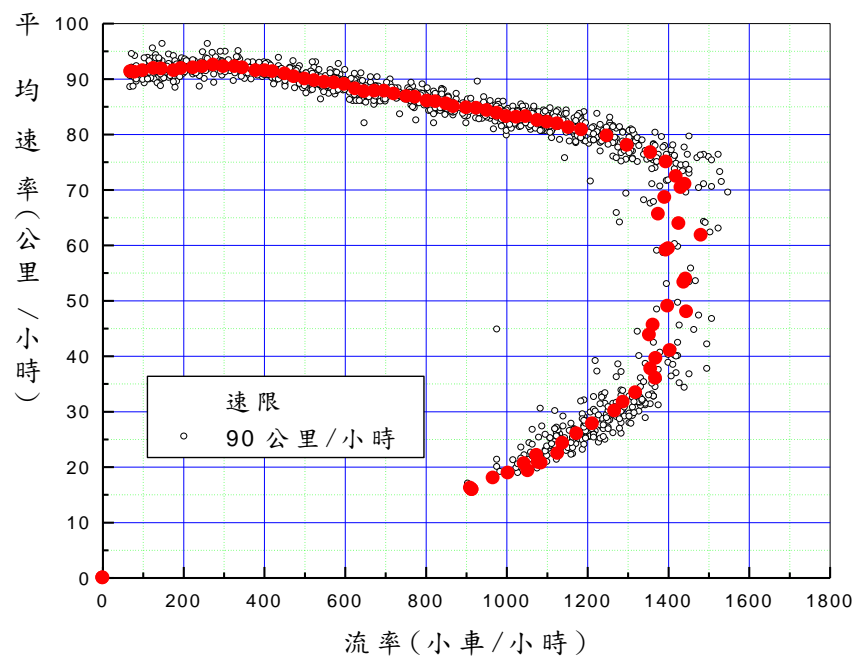


圖 4-110 流率與速率關係之型態樣本一 (北上 27.779K)

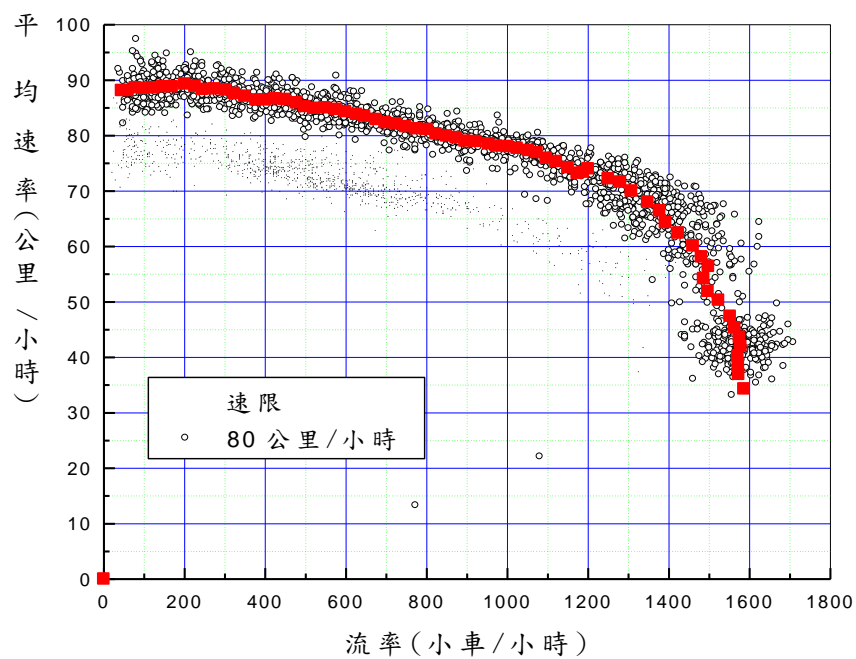


圖 4-111 流率與速率關係之型態樣本二 (北上 3.198K)

4.4.1.2 2011 年北上流率與速率關係

2011 年期間雪山隧道之速限為 90 公里/小時，其他路段之速限為 80 公里/小時。圖 4-112~4-117 顯示北上內外車道車流在雪山、彭山及石碇隧道進出口及中點附近的代表性流率與速率的關係。從這些圖可觀察到下列現象：

1. 如果不考慮隧道外之地點，則雪山隧道中點附近(21.055K)及出口附近(15.855K)的流率與速率關係代表最不理想的車流特性。在穩定的車流狀況下，隧道中點附近的速率比其他地點低，其容量比進口附近（27.779K 及 28.420K）的容量低得多。隧道出口下游(14.800K)在短距離內有進出口匝道，因此該處的作業特性也不理想。
2. 彭山隧道內，在進口附近(12.922K)的作業特性比中點附近(11.178K)及出口附近(9.840K)的作業特性好。這現象及雪山隧道的作業特性相似。換言之，這兩隧道的運輸功能受到隧道中點附近交通作業特性的限制。彭山隧道進口緊鄰坪林交流道。因此在進口匝道及隧道進口之間 13.348K 處的作業特性比下游隧道內及隧道出口附近的作業差。彭山隧道北上出口附近沒有匝道，但是有曲率半徑小（700 公尺）的平曲線。在出口附近 9.373K 處內車道的容量比上游隧道路段的容量低。但是該地點外車道在流率較高的狀況下（1,000~1,500 輛/小時）可維持比上游高的速率。
3. 石碇隧道只有 2.7 公里長，其流率與速率關係顯示流率在 1,300 輛/小時以下時，隧道內在進口附近(3.198K)及出口附近(1.068K)的作業特性幾乎沒有兩樣。在較高流率的情況下，進口附近所能維持之速率則比出口附近的速率低。出口下游附近(0.706K)的容量與隧道之容量沒有顯著差別，但該地點的速率常比隧道內的速率低。

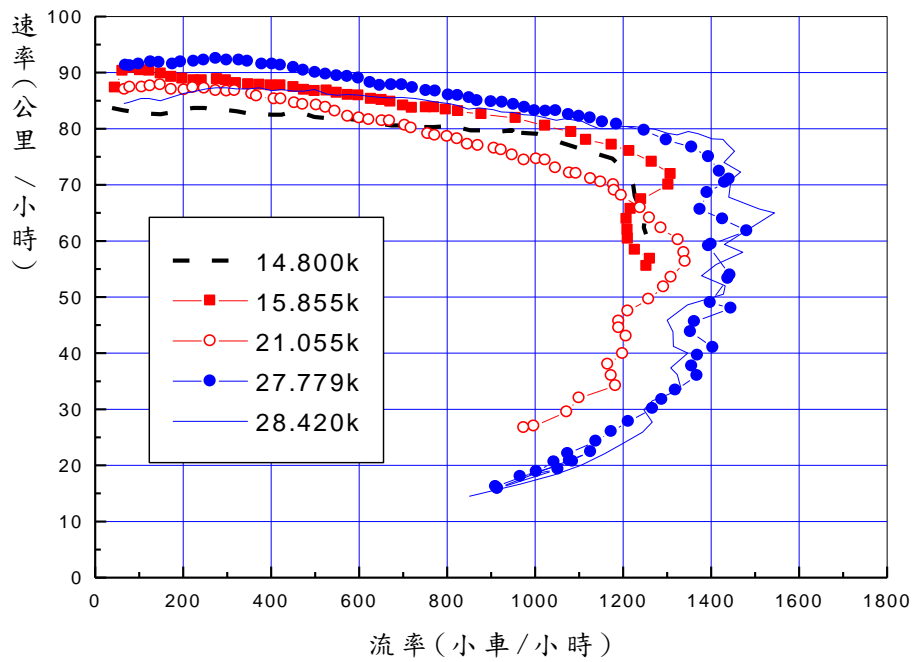


圖 4-112 雪山隧道北上進出口附近及中點附近
內車道上流率與速率關係

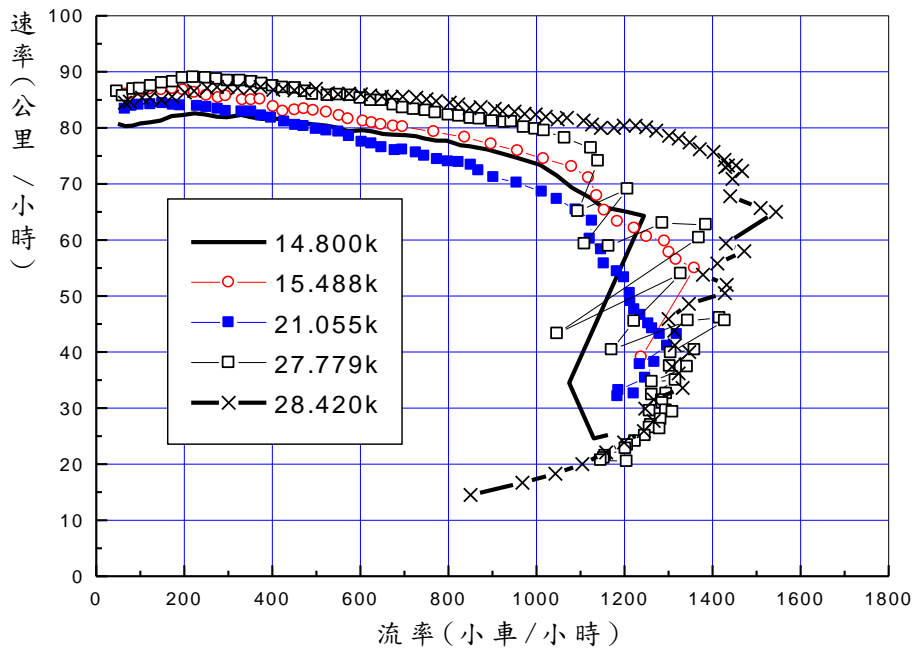


圖 4-113 雪山隧道北上進出口附近及中點附近
外車道上流率與速率關係

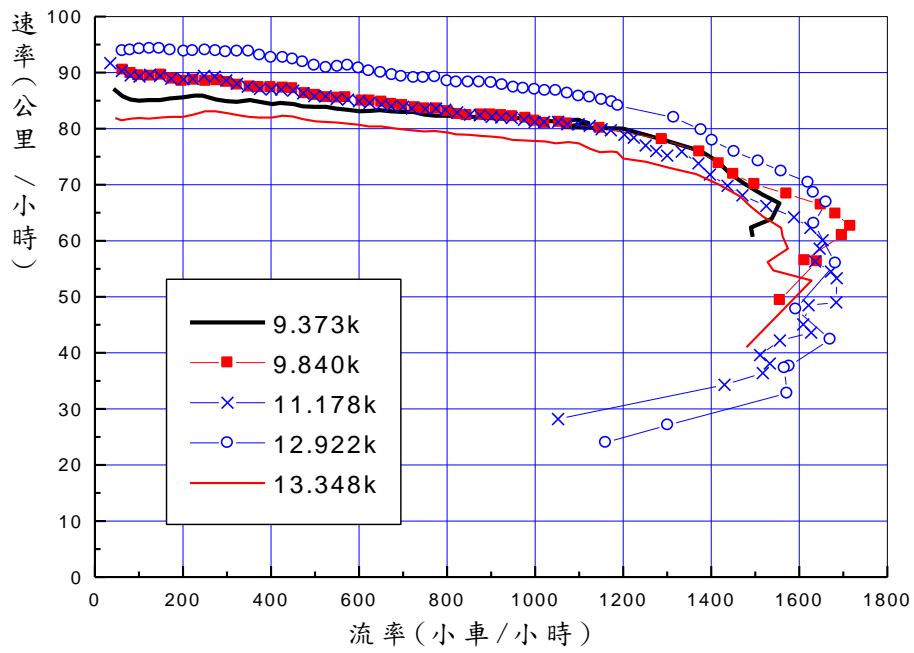


圖 4-114 彭山隧道北上進出口附近及中點附近
內車道上流率與速率關係

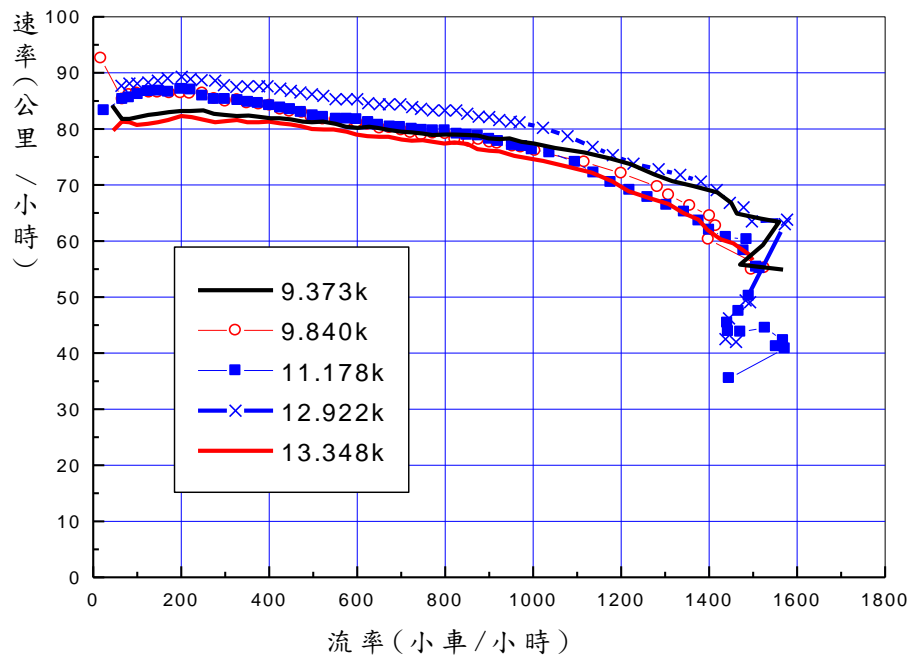


圖 4-115 彭山隧道北上進出口附近及中點附近
外車道上流率與速率關係

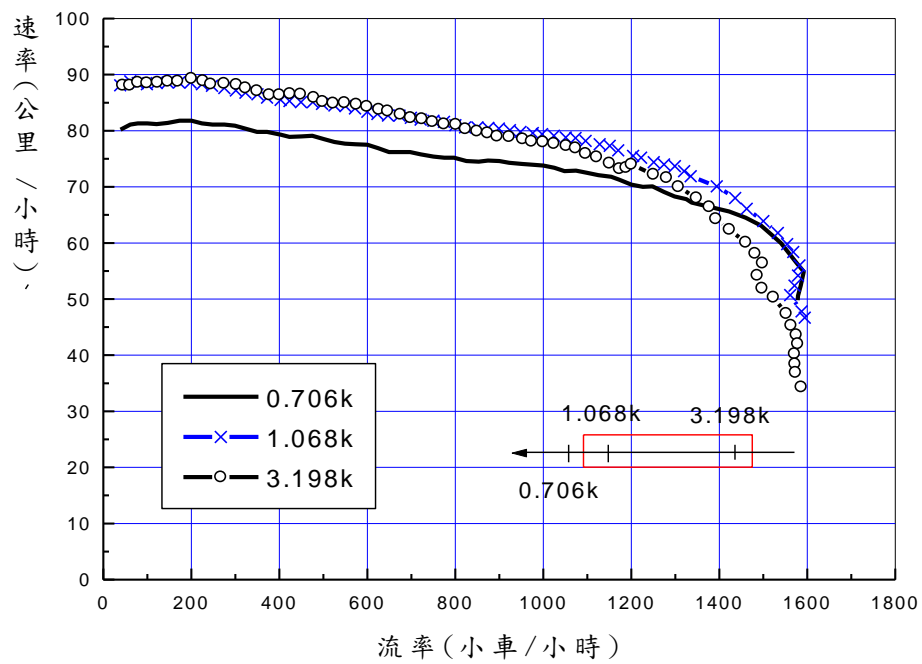


圖 4-116 石碇隧道北上進出口附近及中點附近
內車道上流率與速率關係

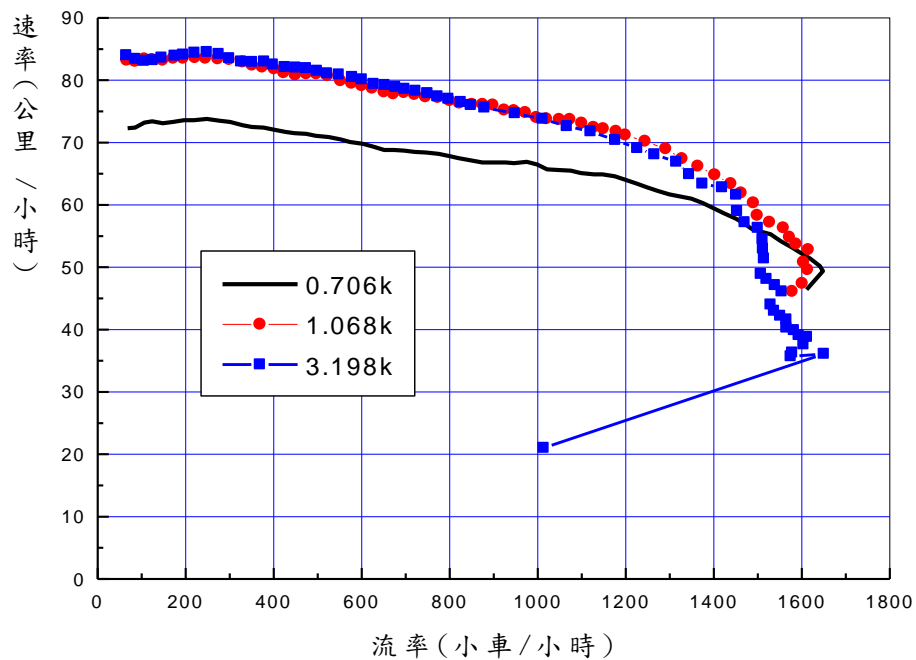


圖 4-117 石碇隧道北上進出口附近及中點附近
外車道上流率與速率關係

上述各圖顯示雪山隧道及彭山隧道的北上車道在隧道中點附近有較差的作業特性。石碇隧道北上交通作業較差的地點在進口附近。圖 4-118 及 4-119 分別比較在這些地點的流率與速率關係。這兩圖顯示內外車道之自由速率沒有顯著區別，但是不同地點之容量及相關速率有相當大的不同。此外，圖中之流率與速率關係明顯的指出雪山隧道之運輸功能最差，彭山隧道之運輸功能則最佳。

4.4.1.3 2011 年南下流率與速率之關係

2011 年的資料顯示石碇、彭山及雪山隧道南下車流有如圖 4-120 ~4-125 所示的代表性關係。這些代表性關係顯示下列車流特性：

1. 石碇隧道進口附近(1.072K)的內車道容量比出口附近(3.178K)及出口下游 3.500K 處的容量高。外車道在上述三地點的作業特性則沒有顯著區別。因此石碇隧道南下的交通功能主要是受出口附近作業特性的限制。
2. 在穩定狀況下，彭山隧道車流從進口附近(9.326K)到出口附近(12.945K)的流率與速率關係沒有顯著變化。內外車道有類似的作業特性，但流率超過大約 1,300 輛/小時之後，隧道進口較上游 9.326K 處能維持較高的速率及流率，因此車流進入隧道之後可能會因減速而在高流率的狀況下造成衝擊波。
3. 雪山隧道內在中點附近(21.063K)的作業特性最不理想。這現象與北上路段的作業特性相似。

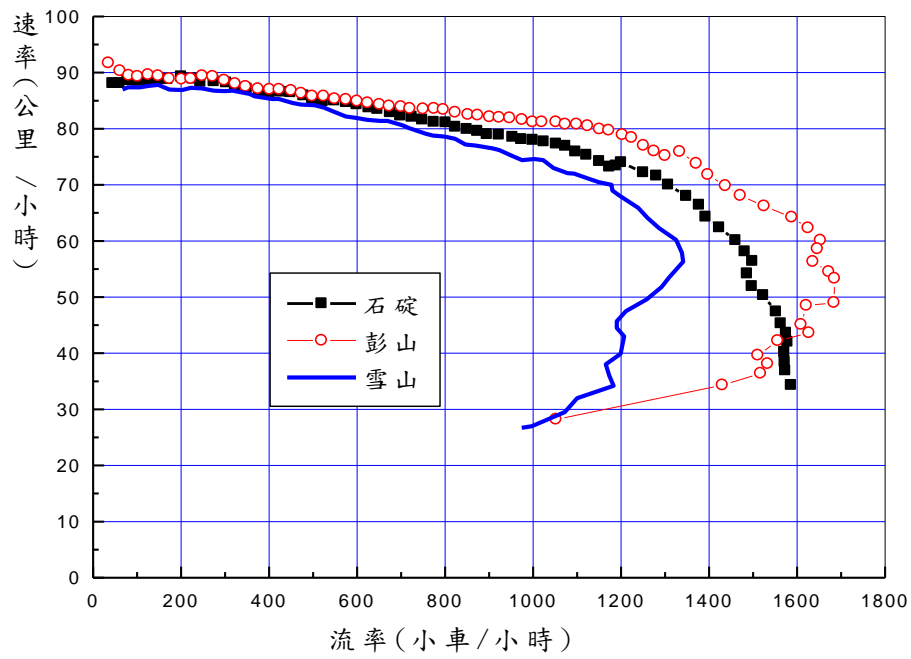


圖 4-118 雪山、彭山及石碇隧道北上內車道流率與速率關係之比較

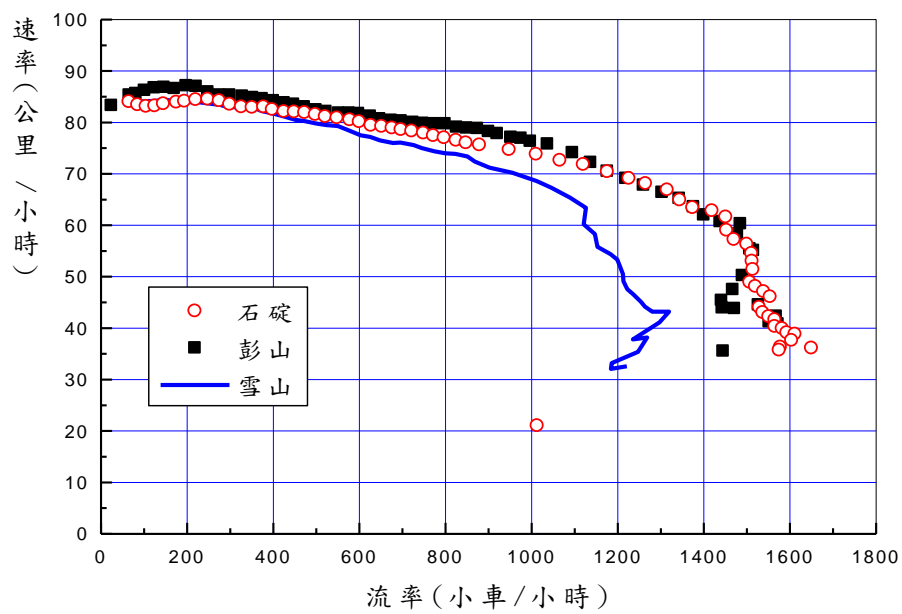


圖 4-119 雪山、彭山及石碇隧道北上外車道流率與速率關係之比較

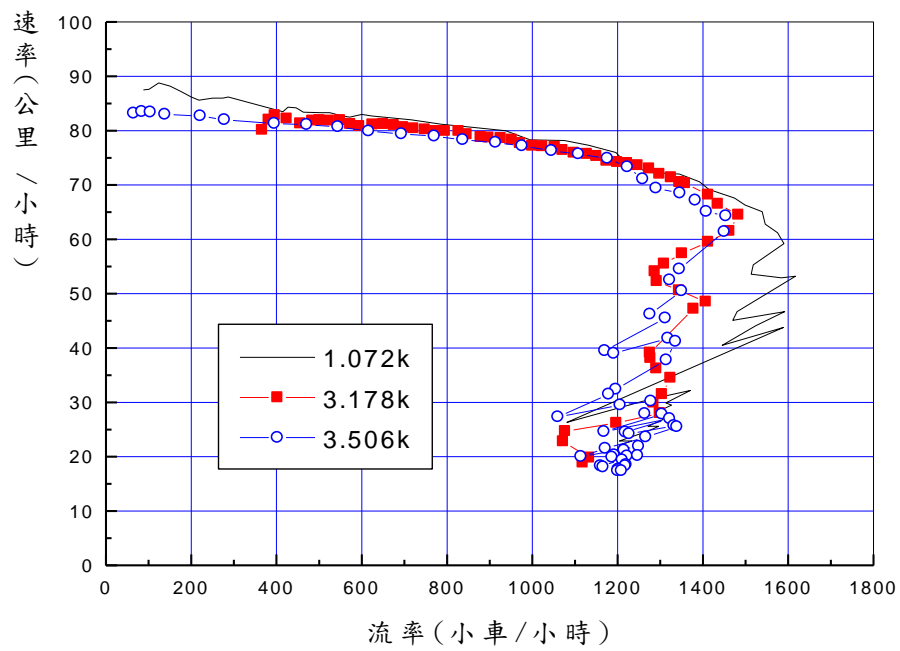


圖 4-120 石碇隧道南下進出口附近及中點附近
內車道上流率與速率關係

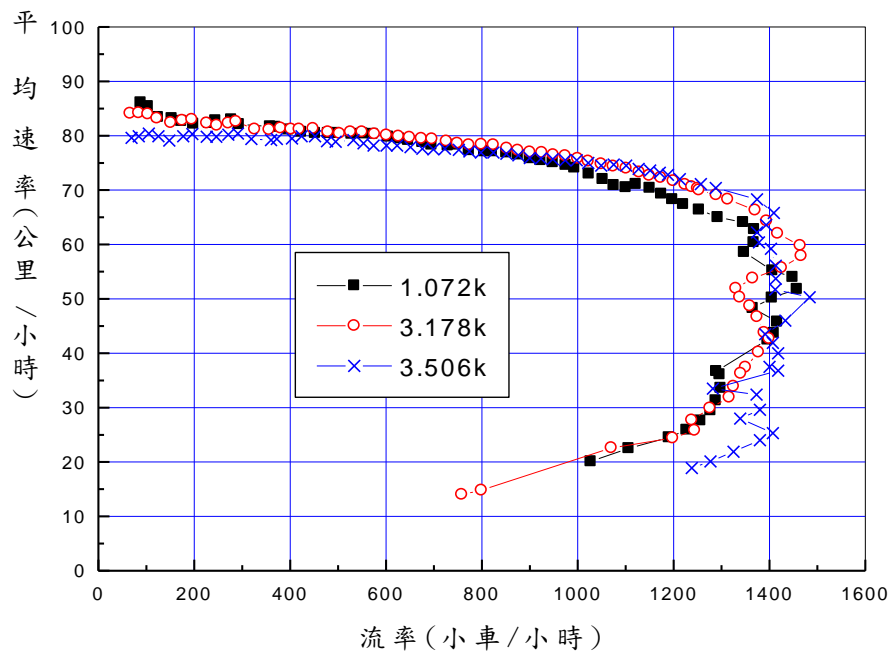


圖 4-121 石碇隧道南下進出口附近及中點附近
外車道上流率與速率關係

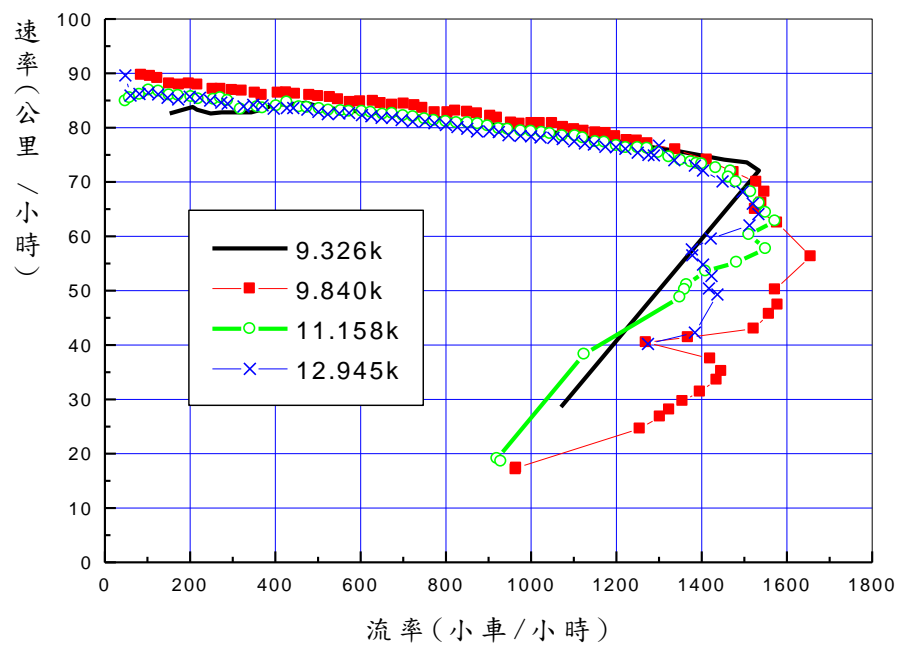


圖 4-122 彭山隧道南下進出口附近及中點附近
內車道上流率與速率關係

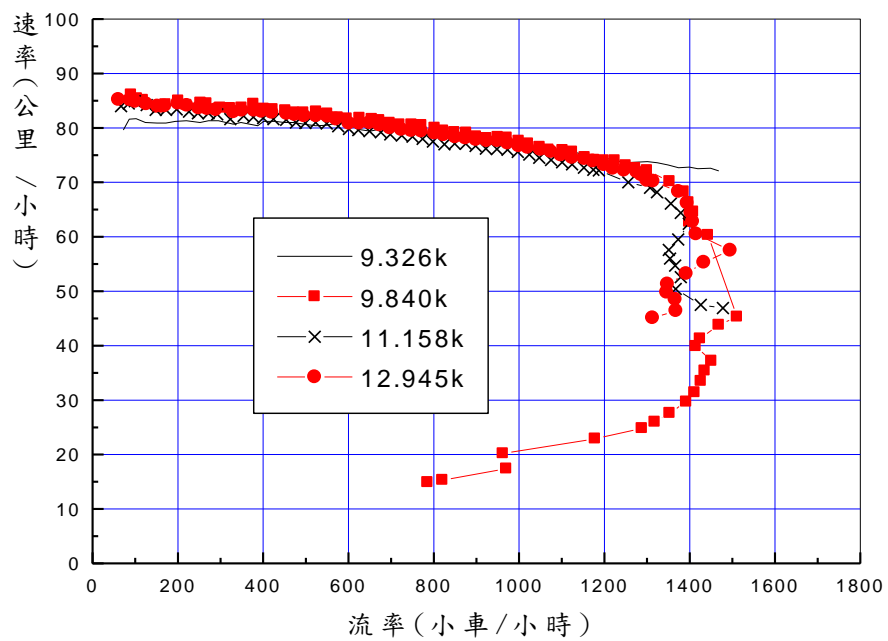


圖 4-123 彭山隧道南下進出口附近及中點附近
外車道上流率與速率關係

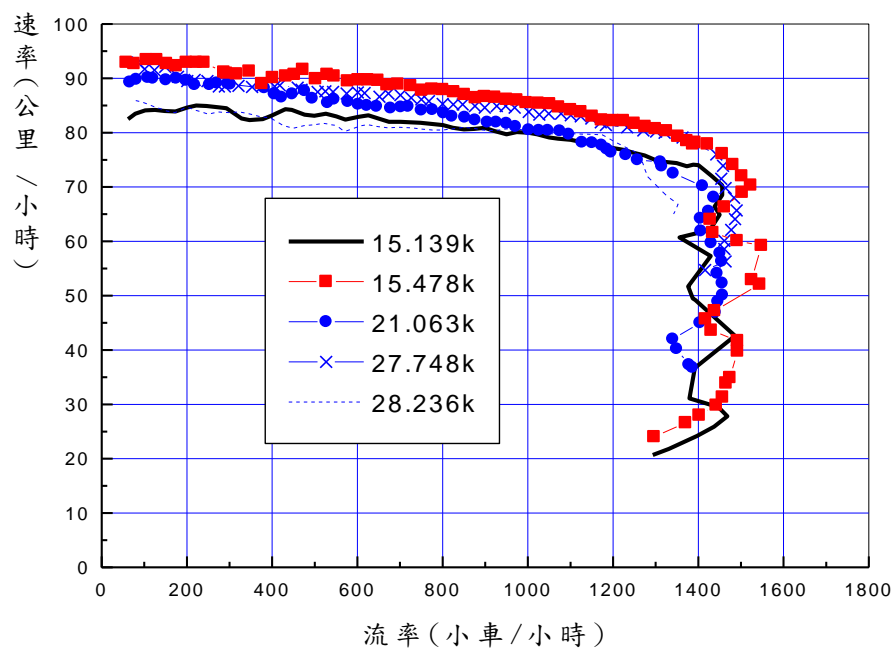


圖 4-124 雪山隧道南下進出口附近及中點附近
內車道上流率與速率關係

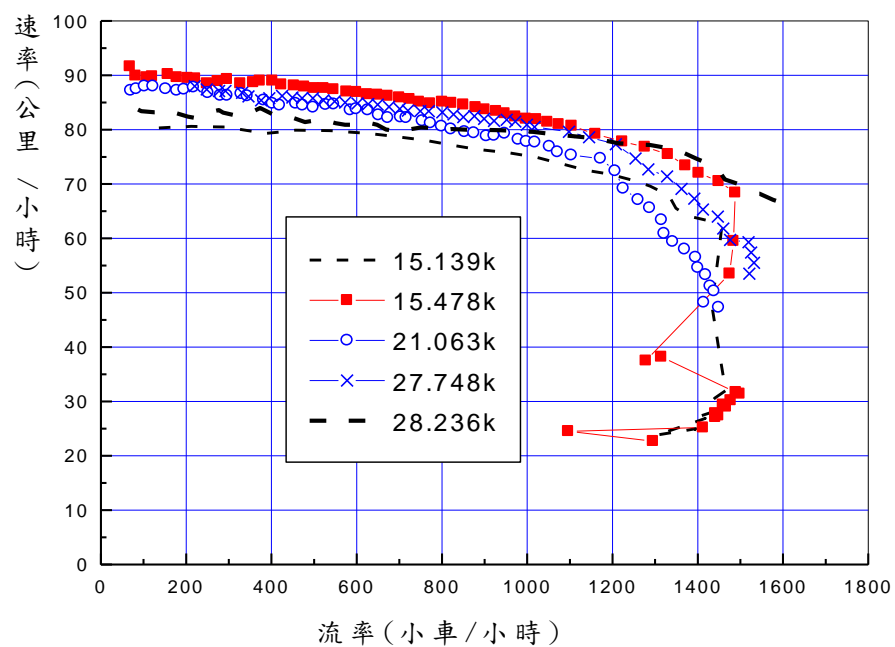


圖 4-125 雪山隧道南下進出口附近及中點附近
外車道上流率與速率關係

圖 4-126 及 4-127 比較上述三隧道南下作業特性較差地點的流率與速率關係。這些地點包括石碇隧道出口附近(3.178K)，彭山隧道中點附近(11.158K)及雪山隧道中點附近(21.063K)。在車流穩定而且內外車道流率各不超過 1,300 及 1,200 輛/小時之情況下，南下車流在石碇、彭山及雪山的流率與速率關係的差異很小。在流率較高的情況下，雪山隧道的作業特性比其他隧道差。但是這差距比北上雪山隧道與其他隧道作業的差距（見圖 4-118）小得多。

雪山隧道作業特性較差的現象可能牽涉到隧道長度，其他幾何設計因素，照明及牆面之粉刷。另外一可能因素是雪山隧道內有在正常行車狀況下須維持最少 50 公尺距離之規定。這些因素的影響，及為何雪山隧道北上的容量遠低於石碇及彭山隧道的容量，須在將來進一步探討。

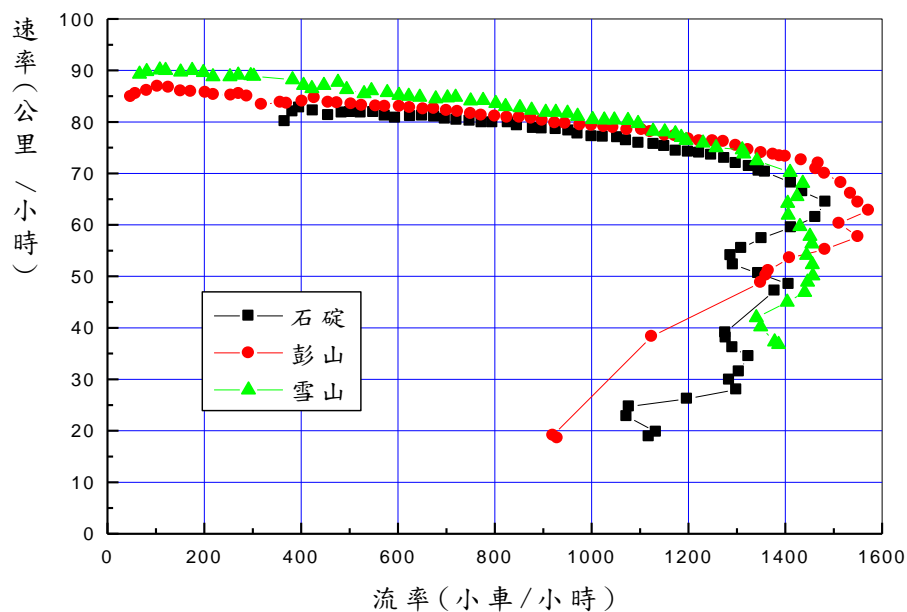


圖 4-126 石碇、彭山及雪山隧道南下內車道流率與速率關係之比較

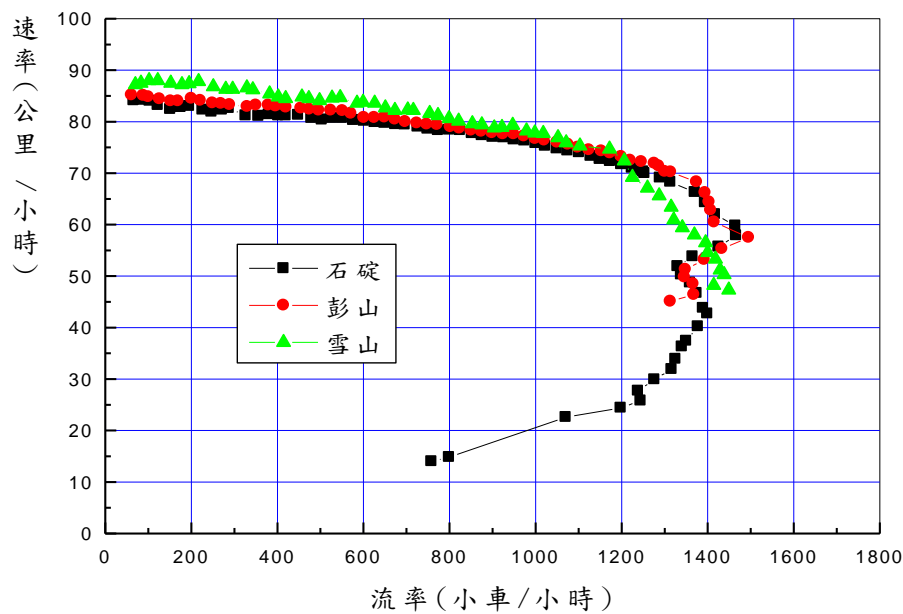


圖 4-127 石碇、彭山及雪山隧道南下外車道流率與速率關係之比較

4.4.1.4 南北向流率與速率關係之比較

雪山隧道內，南北向在隧道中點附近的流率與速率關係皆比上游路段差。從圖 4-128 可知，此隧道北上路段的交通功能比南下路段不理想。北上的容量比南下的容量約低 150 輛/小時/車道。

圖 4-129 顯示彭山隧道南北向車流在未進入壅塞狀況之前的流率與速率關係幾乎沒有區別。但是南下車流在較低的流率時就會進入壅塞狀況。這現象可能是北上出口附近沒匝道而南下出口附近有匝道所造成。如圖 4-130 所示，石碇隧道南北向的流率與速率關係有類似彭山隧道的性質。

4.4.1.5 容量與速限的關係

國道 5 號的速限從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時之後，南北向容量顯著的改善。但雪山隧道的速限從 80 公里/小時提高到 90 公里/小時之後，容量幾乎沒有變化。圖 4-131 及圖 4-132 為這個現象的兩個例子。

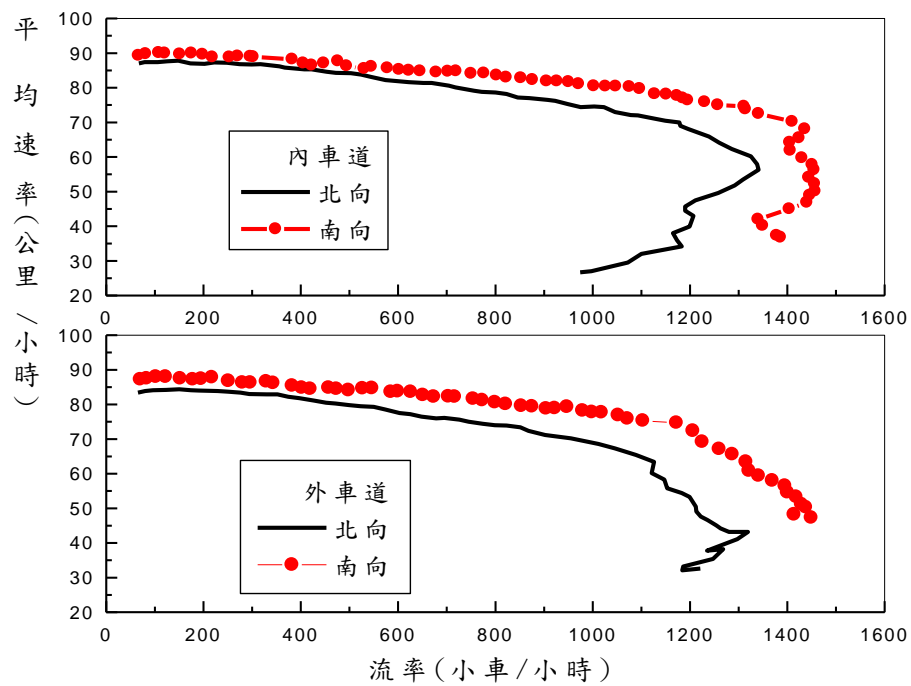


圖 4-128 雪山隧道南北向流率與速率關係之比較

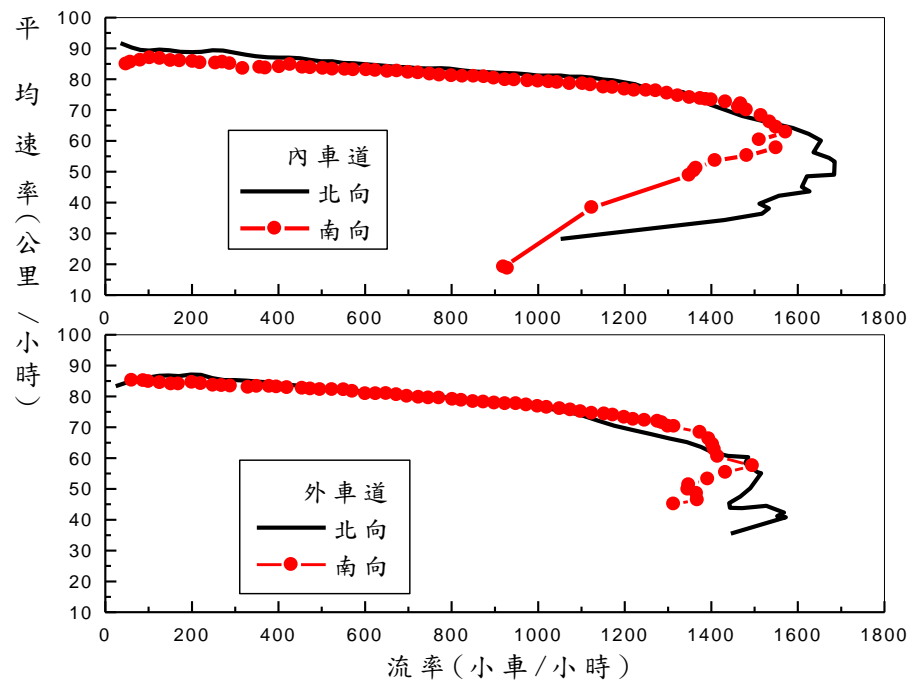


圖 4-129 彭山隧道南北向流率與速率關係之比較

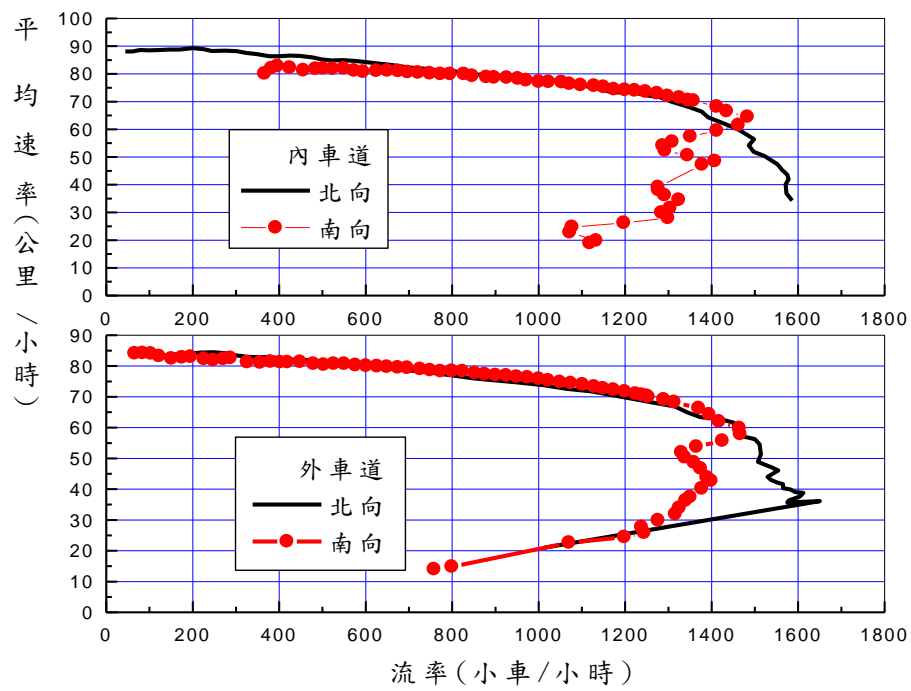


圖 4-130 石碇隧道南北向流率與速率關係之比較

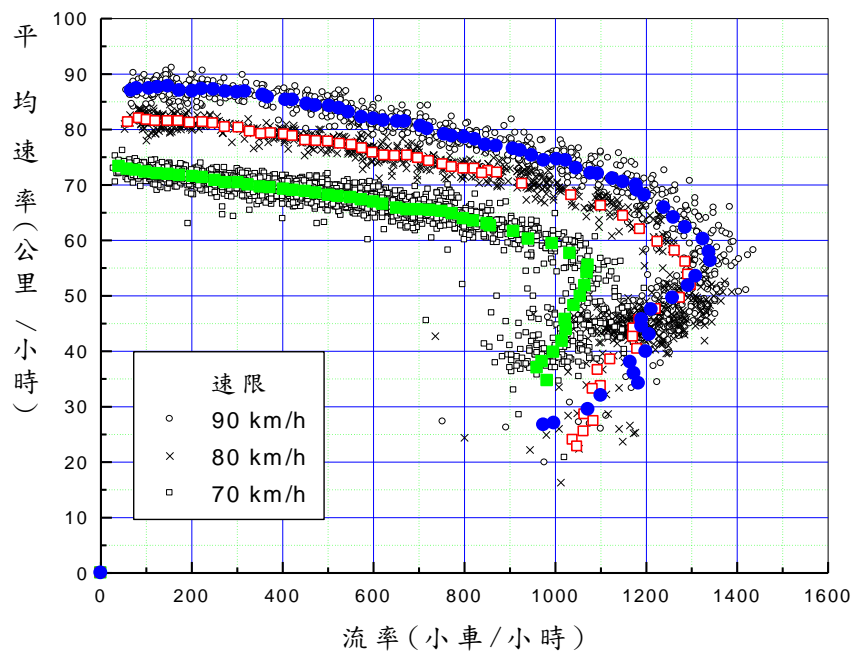


圖 4-131 北上內車道在 21.055K 處流率與速率在不同速限下之關係

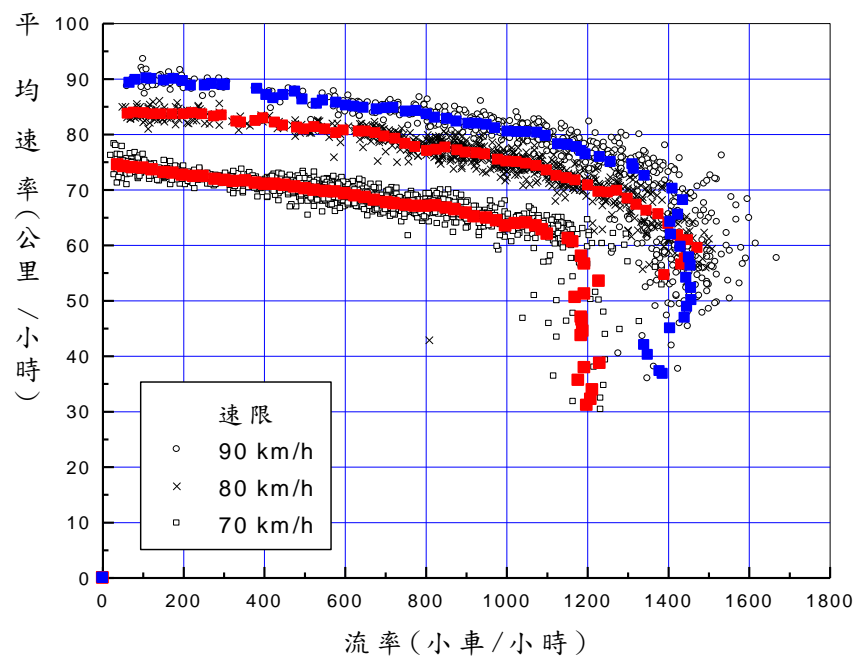


圖 4-132 南下內車道在 21.036K 處流率與速率在不同速限下之關係

根據附錄 A 所示的流率與速率代表性關係，表 4.11～表 4.14 顯示在不同速限時，南北向內外車道在不同地點的容量及其相關臨界速率（亦即流率等於容量時之平均速率）。

表 4.11 北上內車道在不同地點之容量及臨界速率

地點		速限(km/h)					
與國 5 北 端之距離	備註	70		80		90	
		容量 (pcph)	臨界速 率(km/h)	容量 (pcph)	臨界速 率(km/h)	容量 (pcph)	臨界速 率(km/h)
0.706k		1390	50	1590	55	----	----
1.068k	石碇	1620	47	1560	56	----	----
3.198k	石碇	1430	42	1580	42	----	----
9.374k		1310	61	1560	67	----	----
9.840k	彭山	----	----	1720	63	----	----
11.178k	彭山	1490	42	1680	53	----	----
12.922k	彭山	1490	64	1660	67	----	----
13.348k		1330	60	1570	59	----	----
14.800k		1010	68	1250	64	----	----
15.488k	雪山	1050	51	1260	66	1310	72
20.055k	雪山	1070	56	1300	52	1340	56
27.779k	雪山	1190	64	1400	68	1440	71
28.420k		----	----	----	----	1470	72

表 4.12 北上外車道在不同地點之容量及臨界速率

地點		速限(km/h)					
與國 5 北 端之距離	備註	70		80		90	
		容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)	容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)	容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)
0.706k		>1350	<55	1590	49	----	----
1.068k	石碇	>1620	<45	1590	45	----	----
3.198k	石碇	1440	44	1570	42	----	----
9.374k	彭山	1270	59	1570	54	----	----
9.840k	彭山	----	----	>1520	<55	----	----
11.178k	彭山	1310	44	1510	40	----	----
12.922k	彭山	>1270	<55	1490	49	----	----
13.348k		1220	54	1400	59	----	----
14.800k		930	64	1090	65	----	----
15.488k	雪山	1030	49	1250	55	1280	55
21.055k	雪山	960	40	1250	48	1260	50
27.779k	雪山	930	65	1280	55	1260	72
28.420k		----	----	----	----	1220	71

表 4.13 南下內車道在不同地點之容量及臨界速率

地點		速限(km/h)					
與國 5 北 端之距離	備註	70		80		90	
		容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)	容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)	容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)
1.702k	石碇	1520	40	1610	62	----	----
3.178k	石碇	----	----	1480	64	----	----
3.506k		>1174	<69	1460	65	----	----
9.326		1530	59	>1530	<72	----	----
9.840k	彭山	----	----	1550	68	----	----
11.158k	彭山	1460	59	1580	63	----	----
12.945k	彭山	1460	59	1540	63	----	----
14.356k		----	----	>1590	82	----	----
15.139k		1330	60	1540	68	----	----
15.478k	雪山	1280	64	1450	71	1500	69
21.063k	雪山	1230	54	1440	58	1470	58
27.442k	雪山	1290	58	>1530	57	1500	62
27.748k	雪山	1330	62	>1550	63	1500	66
28.236k	雪山	----	----	----	----	>1353	<66

表 4.14 南下外車道在不同地點之容量及臨界速率

地點		速限(km/h)					
與國 5 北 端之距離	備註	70		80		90	
		容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)	容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)	容量 (pcph)	臨界 速率 (km/h)
1.702k	石碇	1400	42	1610	62	----	----
3.178k	石碇	880	58	1470	58	----	----
3.506k		>1310	<64	1460	65	----	----
9.326		1290	56	>1530	<72	----	----
9.840k	彭山	----	----	1440	60	----	----
11.158k	彭山	1300	58	1580	63	----	----
12.945k	彭山	1270	53	1540	63	----	----
15.139k		1140	58	1540	68	----	----
15.478k	雪山	1160	58	1450	71	1560	53
21.063k	雪山	>1230	<54	1440	58	1420	51
27.442k	雪山	>1270	<54	>1530	57	>1550	<55
27.748k	雪山	>1370	<54	>1550	63	>1630	65
28.236k	雪山	----	----	1570	61	1630	65

速限從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時之後，北上內車道除了在 1.068K 處的容量沒有改善之外，各地點的容量平均大約增加了 200 輛/小時。北上外車道容量之改善程度平均在 200 輛/小時以上。南下內車道的容量平均約增加 150 輛/小時。外車道的容量則約增加 300 輛/小時。

雪山隧道的速限從 80 公里/小時提高到 90 公里/小時之後，雖然容量幾乎沒增加，但其運輸功能事實上大有改善。容量的相關臨界速率常隨地點而有很大的差異。以表 4.11~4.14 中所列的臨界速率為例，其變異範圍在 40 與 71 公里/小時之間。如兩路段各有 1,300 及 1,400 輛/小時/車道的容量，但其相關臨界速率各為 60 及 45 公里/小時，則容量為 1,300 輛/小時/車道的路段在一小時內最多能產生 $1,300 \times 60 = 78,000$ 車公里之里程，容量較高的路段在一小時內最多只能產生 $1,400 \times 45 = 63,000$ 車公里的里程。從這立場而言，上述容量低的路段反而有較高的運輸功能。因此里程生產量（亦即流率乘以速率）為評估公路運輸功能之一比較合適的參數。

以圖 4-131 在北上 21.055K 處的內車道為例，速限從 80 公里/小時提高到 90 公里/小時之後，容量沒有實質的增加。但從里程生產量的立場而言，圖 4-133 顯示在穩定狀況下（里程生產量隨流率的增加而增加），90 公里/小時速限下的里程生產量大於 80 公里/小時速限下的生產量。流率在 1,000~1,350 輛/小時之範圍內時（流率接近容量），速限 90 公里/小時的里程生產量比速限 80 公里/小時的里程生產量約高 10%。里程生產量也有助於訂定公路之運作策略。圖 4-134 顯示速率與里程生產量有明顯的關係。所以這種關係可做為訂定管制策略的參考。

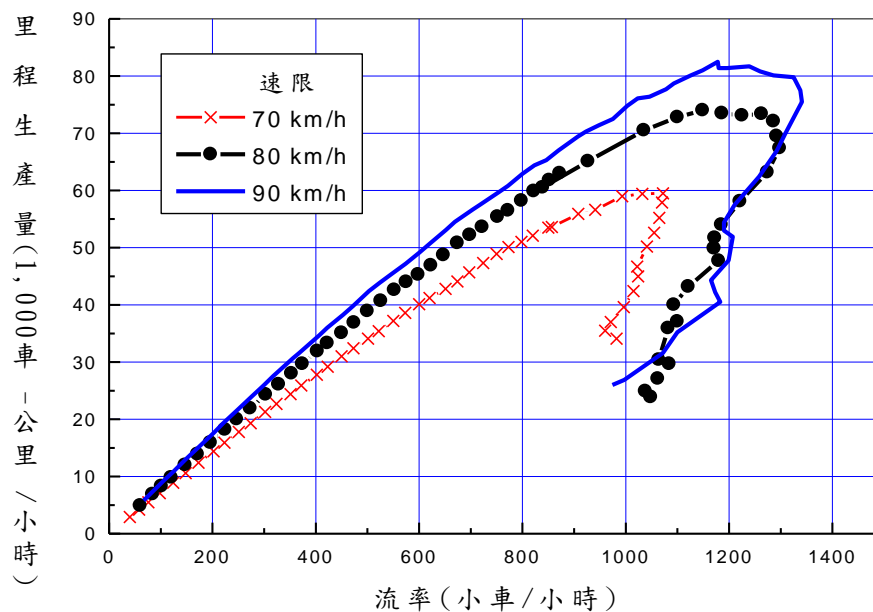


圖 4-133 北上內車道在 21.055K 處之里程生產量與流率的關係

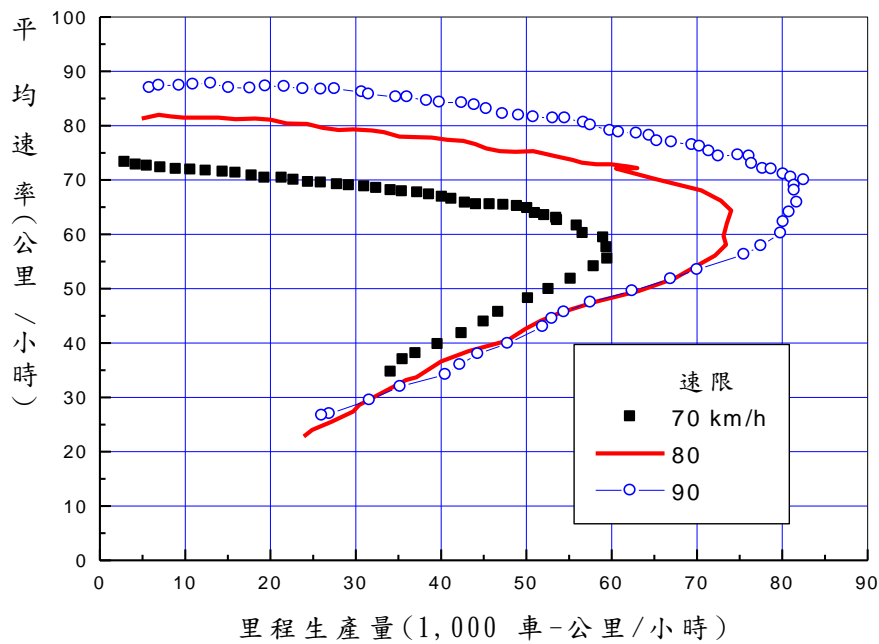


圖 4-134 北上內車道在 21.055K 處之里程生產量與速率的關係

4.4.2 主線與進口匝道匯流路段

有匝道車流進入或離開高速公路主線時，主線的車流會受到匝道車輛減速、加速及匯流的干擾。干擾的程度在主線與進口匝道交接的地方尤其嚴重。主線及進口匝道流率有多大時才會造成匯流區的壅塞是高速公路作業機構很關心的一問題。本計畫針對圖 4-135 所示的四個匯流路段探討這問題。這四個匯流區不包括在雪山隧道及彭山隧道之間，坪林交流道北上進口匝道與主線匯流的路段。其原因是該進口匝道上游有一出口匝道，但是這兩匝道之間沒有偵測器，因此從主線進到匯流區的流率無法確定。

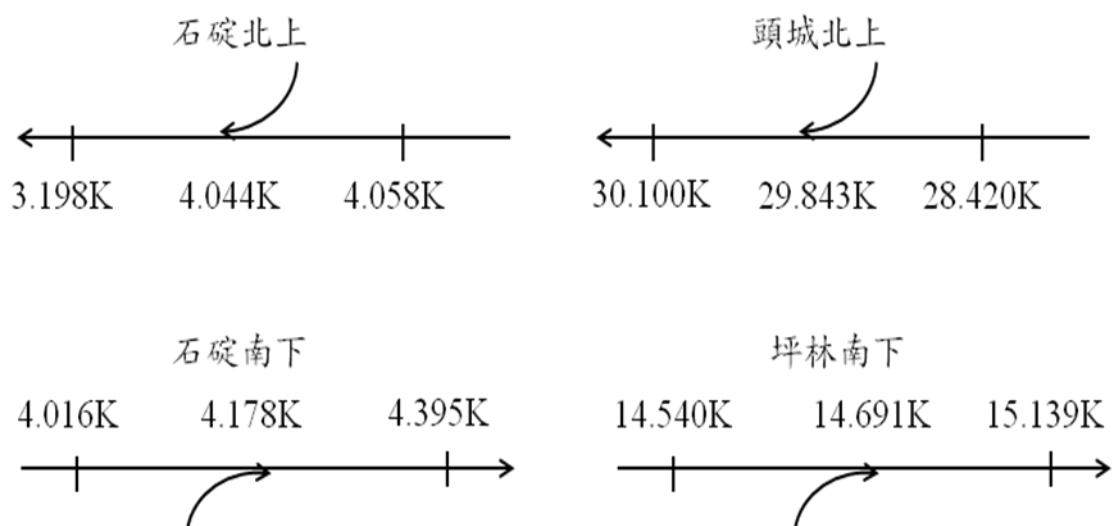


圖 4-135 匯流路段分析對象示意圖

在 2011 年 1 月到 5 月之間，偵測器未能提供石碇隧道北上匯流路段進口匝道及匝道上游主線的流率資料，因此本計畫用 2010 年的資料來分析此路段的交通特性。其他三匯流路段則用 2011 年的資料來分析。此外，匯流路段的車輛衝突主要發生在進口匝道車輛及主線外車道車輛之間，所以分析工作不考慮內車道。

圖 4-136~4-139 顯示圖 4-135 中各進口匝道下游主線外車道，在車流從穩定狀況進入壅塞狀況時的流率與速率關係。從這些圖可知開始進入壅塞狀況時的主線外車道流率可能低於 600 輛/小時，但也可高於 1,300 輛/小時。這現象是因為匝道車流的影響。根據偵測器在不同時段所提供的資料，圖 4-140 顯示壅塞狀況開始之前之匝道流率及匝道上游主線外車道之流率。從此圖可知在圖中直線左下方的流率組合會造成匝道下游車流壅塞的機會不大。但是匝道上游主線外車道及匝道主線流率超過大約 1,200 輛/小時之後，匝道下游主線就可能進入壅塞狀況。

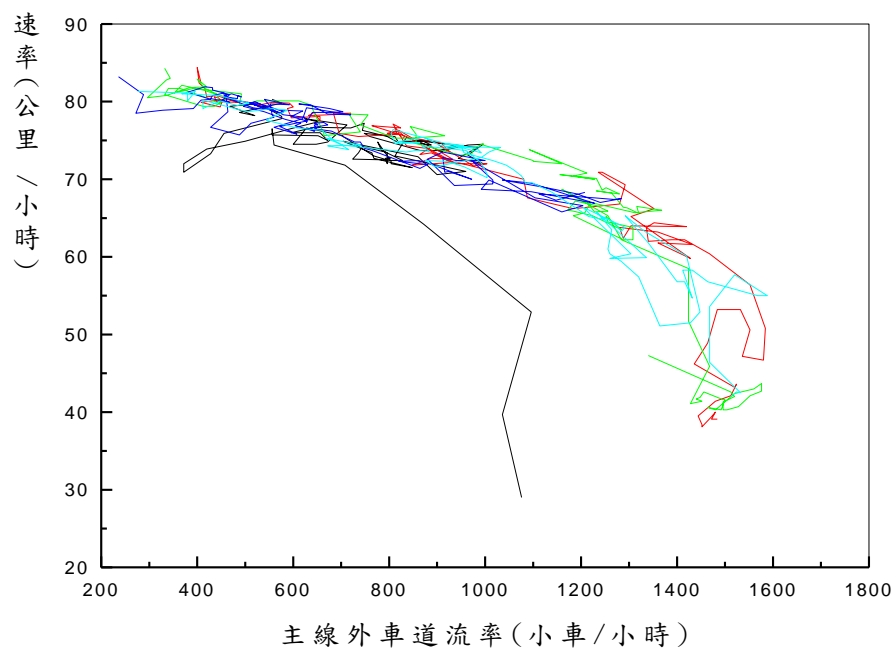


圖 4-136 石碇北上進口匝道下游主線外車道之流率與速率關係

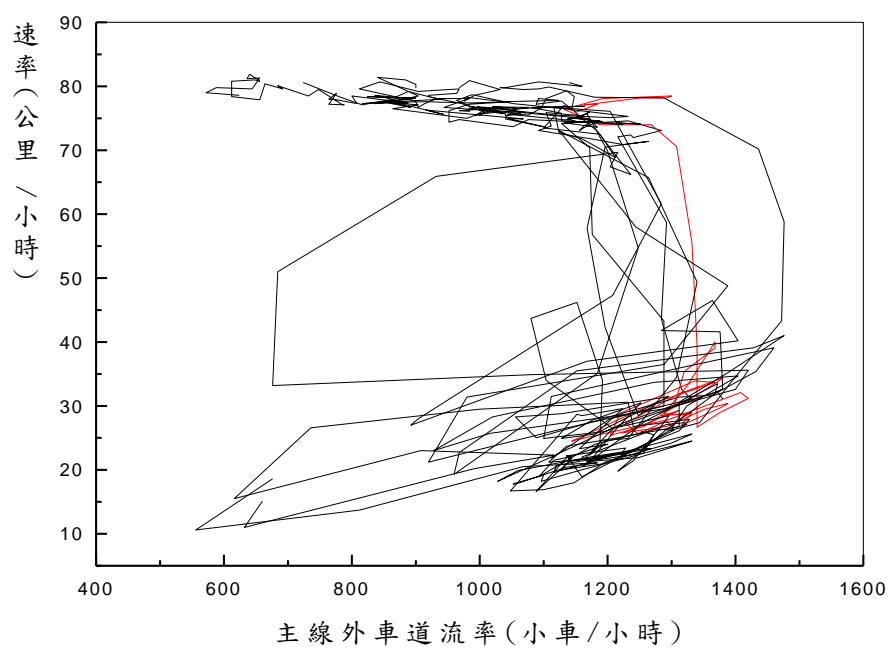


圖 4-137 頭城北上進口匝道下游主線外車道之流率與速率關係

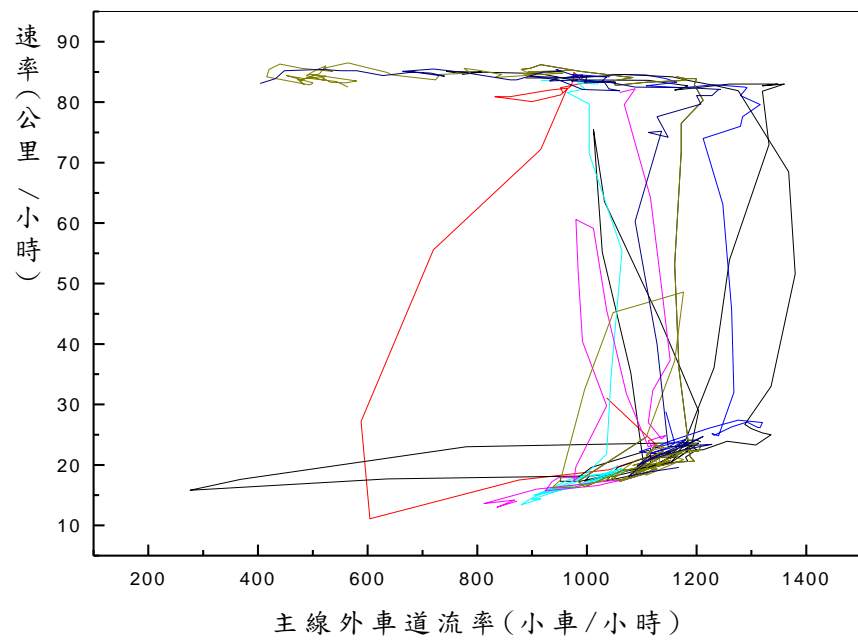


圖 4-138 石碇南下進口匝道下游主線外車道之流率與速率關係

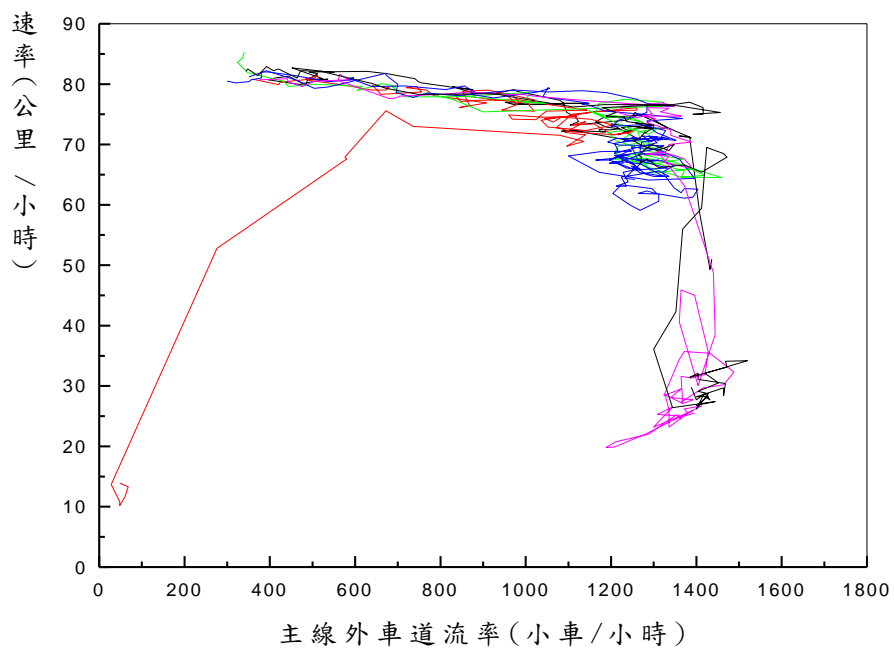


圖 4-139 坪林南下進口匝道下游主線外車道之流率與速率關係

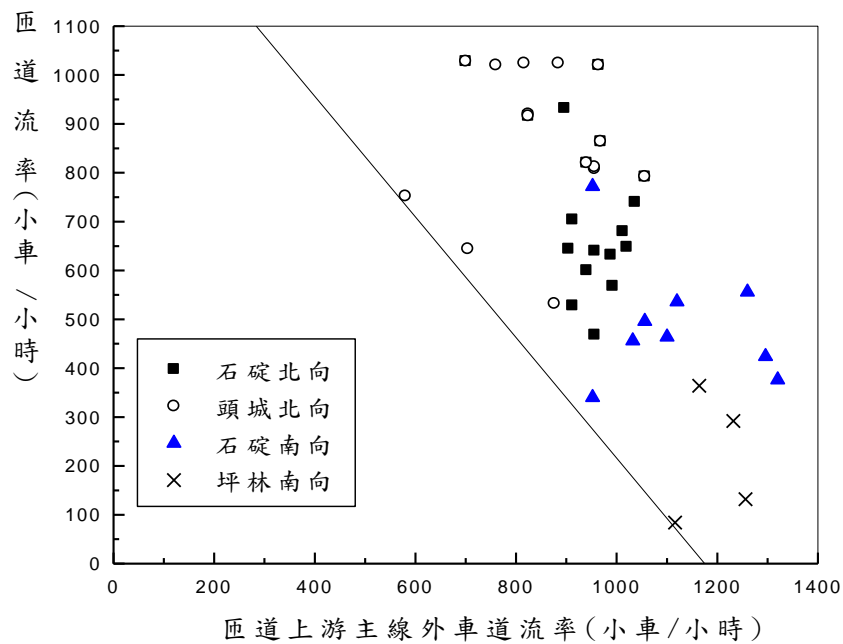


圖 4-140 壅塞狀況開始之前的匝道流率及匝道上游主線外車道之流率

4.5 佔有率與流率的關係

佔有率反映一路段的車流密度，車流密度又影響速率及流率，因此交通機構常根據佔有率與速率或流率的關係來訂定交通管理的策略。

圖 4-141、圖 4-142 及圖 4-143 分別顯示在 7 個地點的佔有率與流率的關係。從圖 4-141 可知佔有率超過大約 23% 之後，車流呈不穩定狀況。其他兩圖則顯示佔有率超過 30% 之後車流才會進入不穩定狀況。車流開始進入不穩定狀況時的佔有率有如此大的差異的原因不詳。這問題尚待在將來進一步探討。

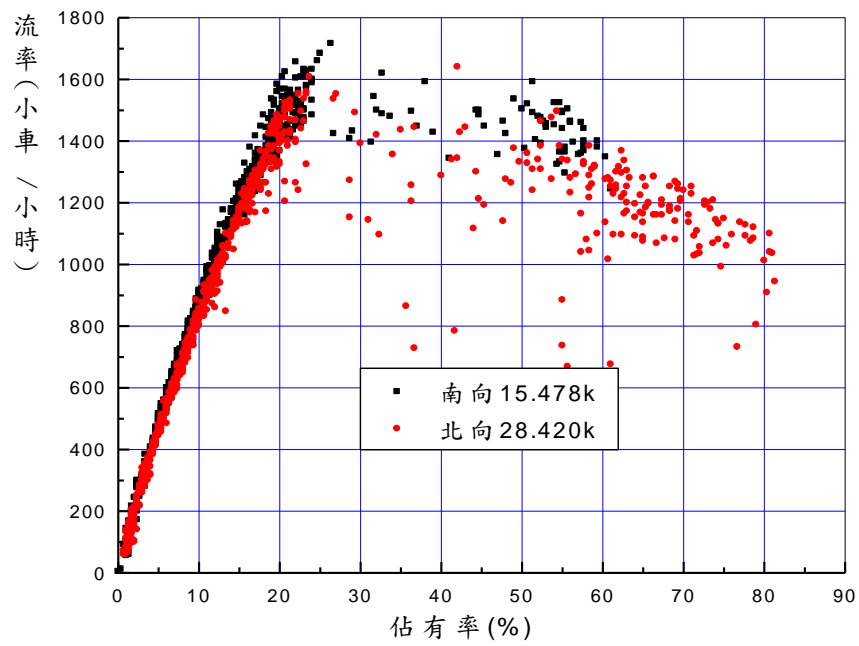


圖 4-141 佔有率與流率關係樣本之一

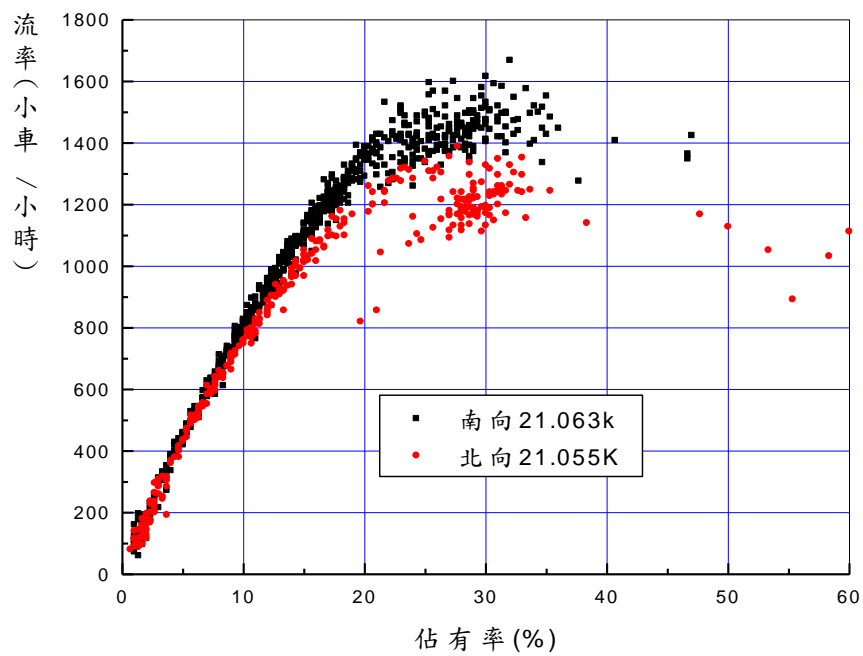


圖 4-142 佔有率與流率關係樣本之二

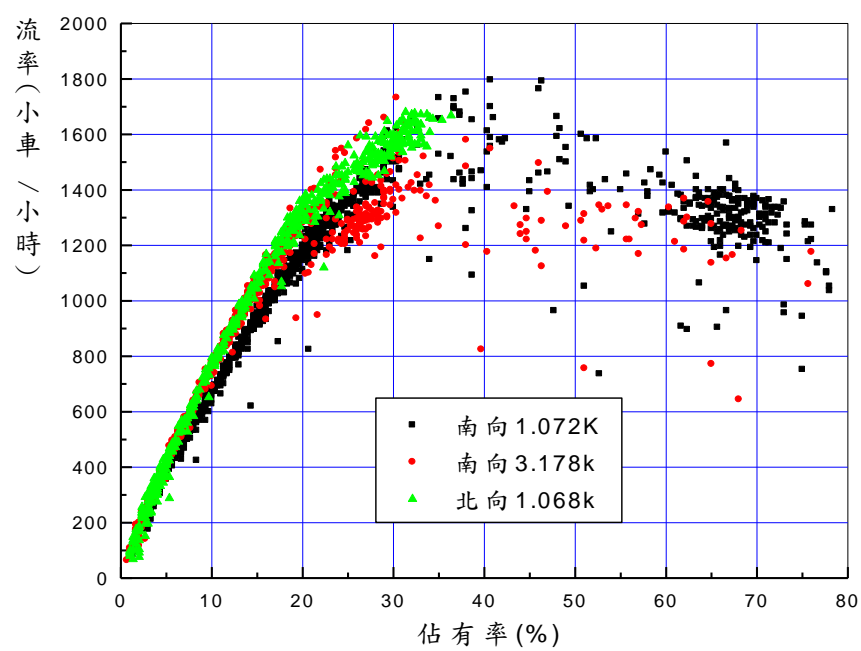


圖 4-143 佔有率與流率關係樣本之三

第五章 容量手冊新章「公路隧道」的編定

為了促進交通界對隧道交通作業的了解，本計畫編定一公路隧道分析方法之初稿，以便將來進一步修定之後納入臺灣公路容量手冊。此初稿，稱為「公路隧道」，列於本報告附錄 B。

「公路隧道」初稿分成下列四節：

- 1.緒論。
- 2.公路隧道車流特性。
- 3.容量及服務水準分析方法。
- 4.應用例題。

本章說明在建立此稿所示之分析方法的過程中所執行，但沒有在本報告第四章描述的工作。

5.1 分析架構

假設欲進入一隧道的需求流率已知，則分析該隧道時，除了須了解隧道本身之功能之外，也須探討隧道作業是否會受下游主線與匝道匯流區作業之影響。因此，「公路隧道」初稿之分析對象包括圖 5-1 所示之隧道，進口匝道及出口匝道。此圖中， Q_{m1} ， Q_{m2} 等代表在不同地點之流率。分析架構如圖 5-2 所示。

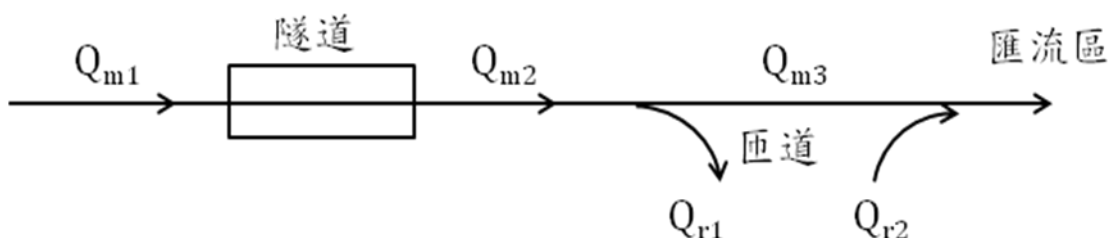


圖 5-1 公路隧道分析對象示意圖

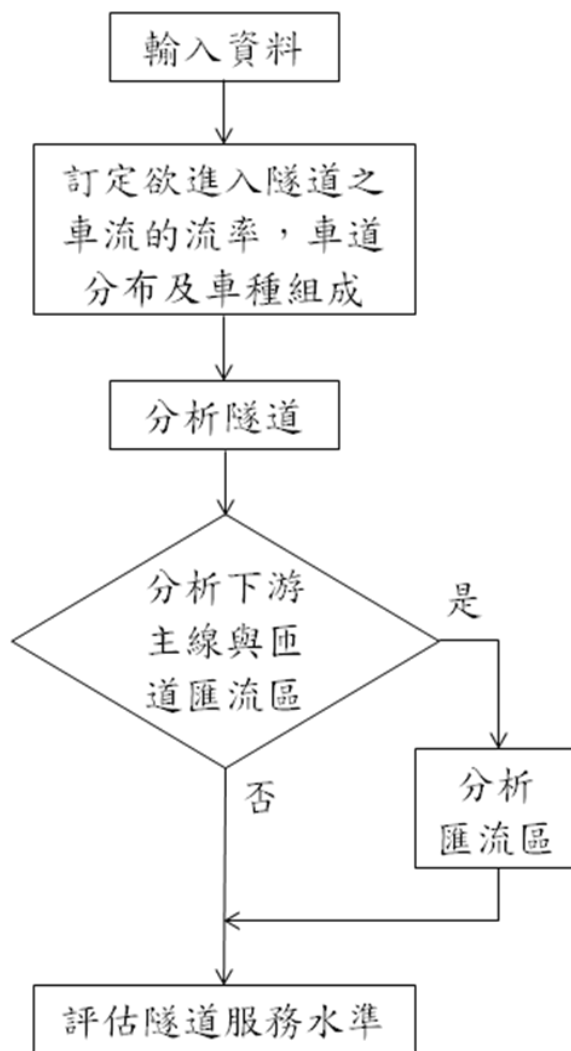


圖 5-2 公路隧道分析架構

目前有關公路隧道作業特性的資料尚不足於用來建立一應用廣泛的分析方法。以國道 5 號公路上的隧道為例，不同的隧道有不同之流率與速率關係。此外，主線與匝道匯流地區的作業特性也缺乏了解。因此將來須進一步探討臺灣其他公路隧道之作業特性，並專題研究主線與匝道匯流區之作業特性及其影響程度。然後改良「公路隧道」初稿之內容。

5.2 輸入資料

分析公路隧道時最少需有幾何設計、交通控制及車流狀況的資

料。因為目前只有國道 5 號公路車流特性的資料，「公路隧道」初稿無法討論幾何設計的影響。換言之，此初稿所提供的分析方法只適用於與國道 5 號公路有相似幾何設計，車流及交控狀況的隧道。主要幾何設計及車流狀況包括：

- 1.主線單方向有 2 車道，進出口匝道只有 1 車道，隧道中車流只有單向行車。
- 2.車道寬為 3.5 公尺，隧道內兩旁路肩最少有 0.3 公尺的寬度並且有寬 1 公尺之人行道，隧道行車淨高最少 4.6 公尺。
- 3.隧道坡度在 2% 以下，平曲線之曲率半徑最少 1,000 公尺。
- 4.自由速率在 70~90 公里/小時之範圍。
- 5.禁行大型車；隧道中不能變換車道。
- 6.長隧道（約 10 公里以上）內之車輛須維持最少 50 公尺之間距。

車流狀況除了自由速率之外，也包括需求流率，車種組成，及車流之車道分布。需求流率宜採用尖峰 15 分鐘之流率。

5.3 訂定欲進入隧道之車流的流率，車種組成及車道分布

分析一現存隧道的作業時，欲進入隧道的尖峰 15 分鐘流率通常可從現場資料來訂定，或根據已知的尖峰小時流率及一適當的尖峰小時係數(peak hour factor)估計如下：

$$Q_{15} = \frac{Q_{60}}{PHF} \quad (5.1)$$

此式中，

Q_{15} = 欲進入隧道之尖峰 15 分鐘流率（輛/小時），

Q_{60} = 欲進入隧道之尖峰小時流率（輛/小時），

PHF = 尖峰小時係數。

規劃及設計新隧道時， Q_{15} 可估計如下：

$$Q_{15} = \frac{ADT \times K \times D}{PHF} \quad (5.2)$$

此式中，

ADT = 設計年(design year)之平均每日流量 (輛)，

K = 尖峰小時流量係數，

D = 車流方向係數，

Q_{15} ， PHF = 如前所示。

國道 5 號公路的資料顯示隧道中內外車道的流率速率關係常有顯著差異，這現象很可能也存在於其他公路的隧道。所以「公路隧道」之分析方法將內外車道分開分析。因此之故，欲進入隧道之需求流率 Q_{15} 須分成內外車道之流率。

圖 5-3 顯示北上車流在石碇及彭山隧道進口，及南下車流在雪山隧道進口的內外車道流率有明顯的線性關係。圖 5-4 亦顯示雪山隧道北上出口內、外車道流率有明顯的線性關係。雖然此關係的變異性較圖 5-3 所示之 3 個關係大，但變異範圍大致相同。例如內車道之流率為 1,400 小車/小時，圖 5-3 之外車道的流率在 1,100 與 1,500 小車/小時之範圍內。圖 5-4 之外車道流率絕大多數也在同一範圍內。為了簡化分析程序，「公路隧道」初稿之分析方法用上述各地點的平均關係來代表內外車道流率的關係。此關係如下：

$$Q_2 = 25 + 0.906 Q_1 \quad (5.3)$$

此式中，

Q_2 = 外車道流率 (小車/小時)，

Q_1 = 內車道流率 (小車/小時)。

如 Q_{m1} (等於 Q_{15}) 代表欲進入隧道之尖峰 15 分鐘流率 (見圖 5-1)，則隧道進口處內外車道的流率可估計如下：

$$Q_1 = 0.525 Q_{m1} - 13 \quad (5.4)$$

$$Q_2 = 0.475 Q_{m1} + 13 \quad (5.5)$$

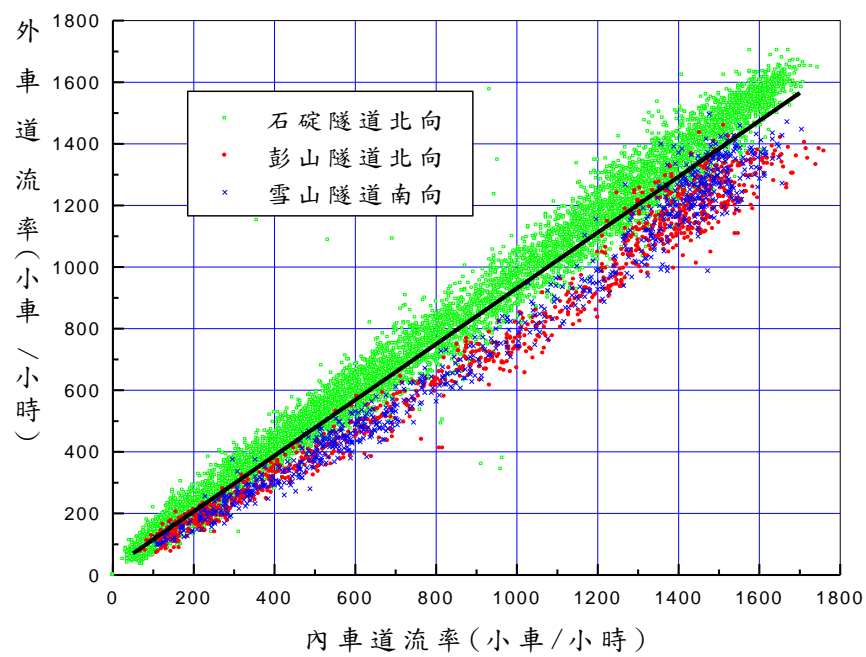


圖 5-3 國道 5 號公路 3 隧道進口附近內外車道流率之關係

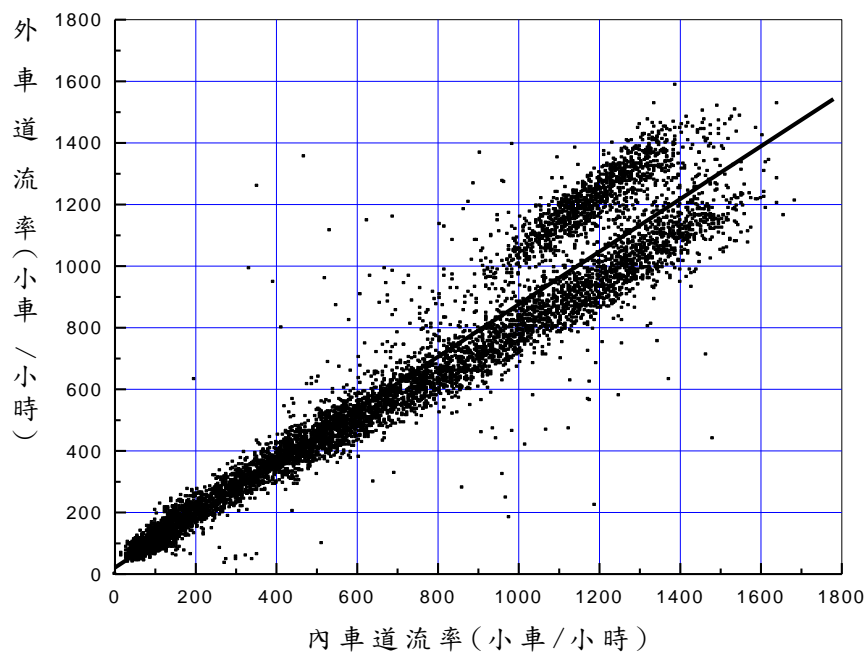


圖 5-4 雪山隧道北上進口附近內外車道流率之關係

至於車種組成，國道 5 號公路之車種可分成小車及大客車兩種。其他公路上的隧道可能有大貨車或聯結車。這些非小車之車輛對於隧道車流之影響，目前尚未能確定。因此「公路隧道」初稿之分析方法暫時用一般平坦而且無隧道高速公路上各車種的小客車當量，將一車流轉換成對等大車車流。大車之當量值為 1.5。

5.4 分析隧道

在圖 5-2 之分析架構中，分析隧道的工作重點在於根據欲進入隧道之需求流率評估隧道作業的服務水準。此工作不考慮隧道下游主線與匝道匯流區對隧道作業的影響。服務水準的評估仍根據代表性流率與速率的關係。

本報告第四章指出，在同一隧道內，不同地點的流率與速率關係及其容量有差異，整個隧道的交通功能受限於作業效率最差的地點。國道 5 號公路隧道中作業效率最差的地點包括：(1)石碇隧道北上進口附近；(2)石碇隧道南下出口附近；(3)彭山隧道南北向中點附近；(4)雪山隧道南北向中點附近。這些地點的流率與速率關係不相同。目前沒有足夠資料探討這些關係有差異的實際原因，並進一步訂定一套能用來分析各式各樣隧道的流率與速率關係。在這情況下，本計畫根據上述地點隧道及匝道之設置，將目前資料能合理分析的隧道分成 6 類型，如表 5.1 所示。

各類型的作業特性由下列地點之作業特性來代表：

類型 1：雪山北上隧道中點附近(21.055K)

類型 2：雪山南下隧道中點附近(21.063K)

類型 3：彭山北上隧道中點附近(11.178K)

類型 4：彭山南下隧道中點附近(11.158K)

類型 5：石碇北上隧道進口附近(3.198K)

類型 6：石碇南下隧道進口附近(3.178K)

表 5.1 隧道類型

類型	隧道長度 (公里)	隧道與上下游進口匝道之距離 (公里)	
		上游	下游
1	≥ 10	≥ 1	< 1
2	≥ 10	≤ 1	> 1
3	3~5	≥ 1	> 3
4	3~5	> 3	> 1
5	2~3	< 1	> 3
6	2~3	> 3	< 1

流率與速率關係涵蓋穩定車流狀況及不穩定（壅塞）車流狀況。規劃及設計一公路設施時不必考慮不穩定狀況下的流率與速率關係。另一方面，一現存設施的作業進入不穩定狀況之後，其服務水準低，不能接受，因此在這情況下流率與速率有何關係也無關緊要，因此本計畫在訂定分析表 5.1 各種隧道型態之流率與速率關係時，不考慮不穩定狀況。此外，從附錄 A 的代表性關係可知，流率低於 200 小車/小時之相關速率有時低於在較高流率時之速率。這反常的現象是因為這些流率及速率資料涵蓋早上 4 點到 6 點之間，視線較差而且駕駛員之精神可能不高昂的狀況。本計畫將這些反常的速率根據流率與速率關係的趨勢調高。

在建立分析用之代表性流率與速率關係時遭遇到另一問題。多數地點的內車道及外車道各只有 2 代表性流率與速率關係。這些關係代表在速限 70 及 80 公里/小時狀況下的作業特性，但是其相關的自由速率沒有規則性。為了讓分析方法能應用於較廣泛的情況，本計畫根據偵測器資料所顯示之流率與速率關係，訂定在較廣泛之自由速率範圍，而且每隔 5 公里/小時的代表性流率與速率關係。這工作也根據下列流率與速率關係的特性：

1. 一車道上不同地點的流率與速率關係與自由速率息息相關。流率相同時，自由速率較高的車流通常有較高的速率。
2. 流率相同時，內車道車流之速率通常不會低於外車道上之速率。

上述工作的結果如圖 5-5~圖 5-16 所示。這些圖中的代表性流率與速率關係可用分析性模式來代表。「公路隧道」初稿提供上述各圖及

相關模式以利分析。使用這些圖或模式之前必須估計自由速率才能選擇適用的代表性流率與速率關係。

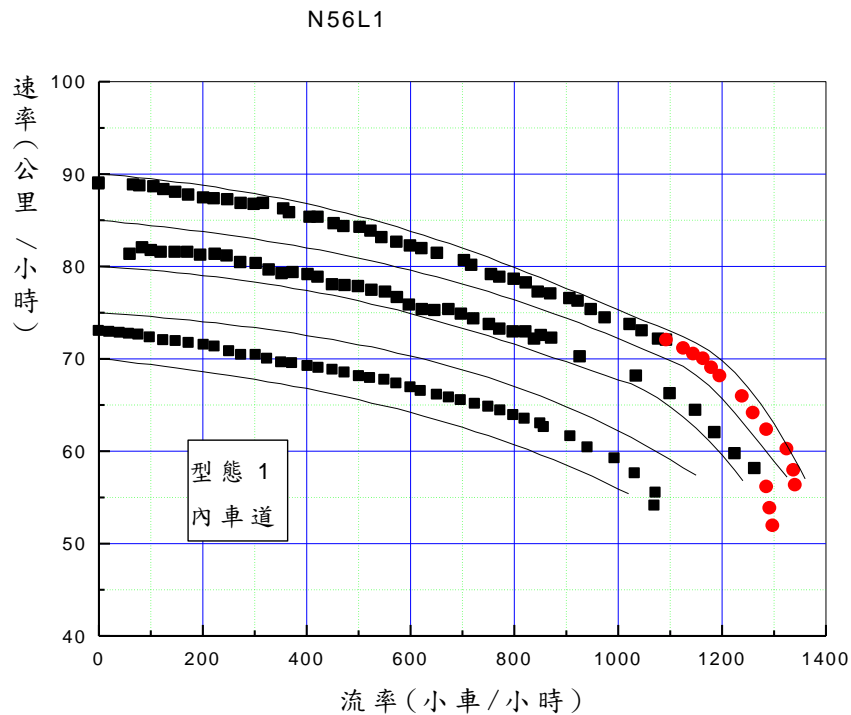


圖 5-5 型態 1 隧道內車道之代表性流率與速率關係

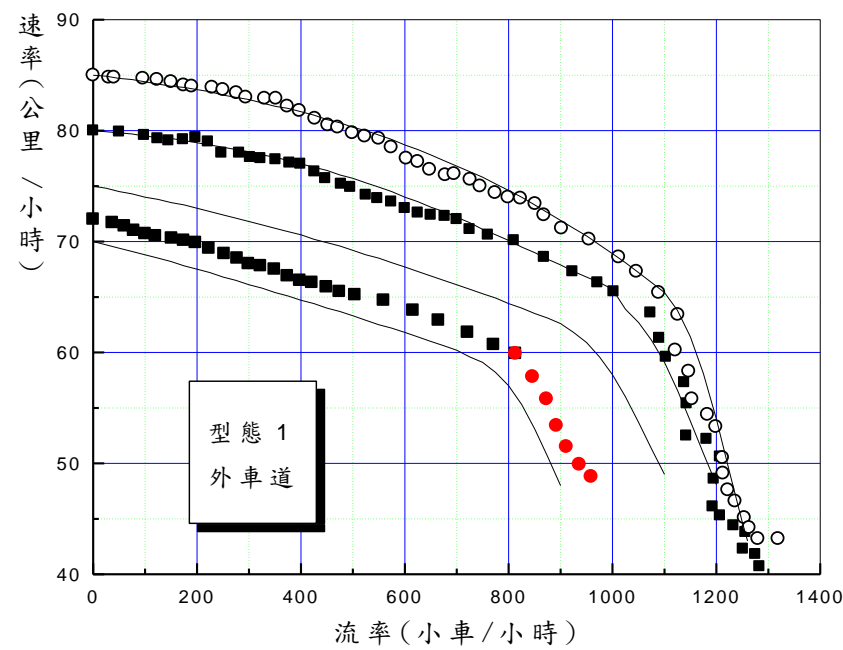


圖 5-6 型態 1 隧道外車道之代表性流率與速率關係

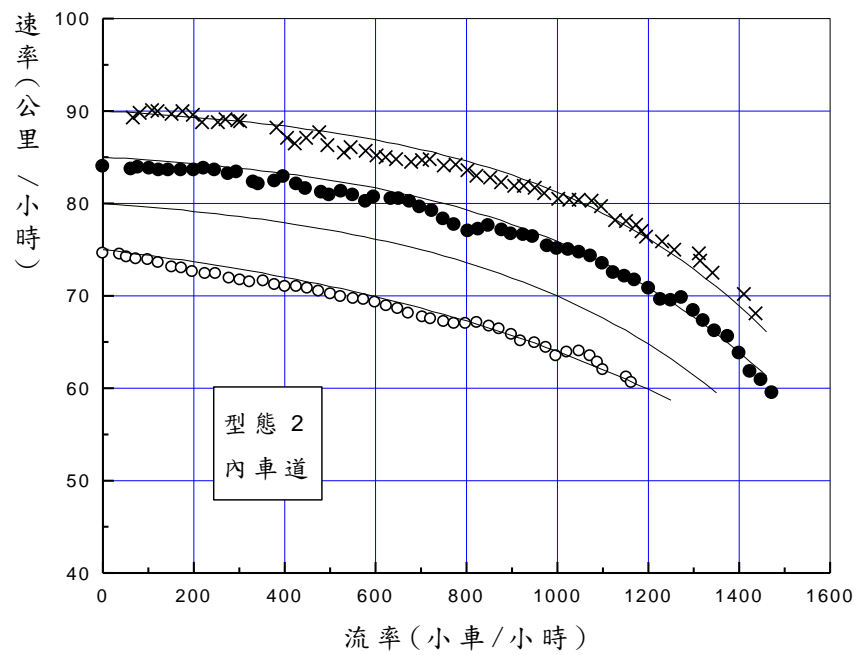


圖 5-7 型態 2 隧道內車道之代表性流率與速率關係

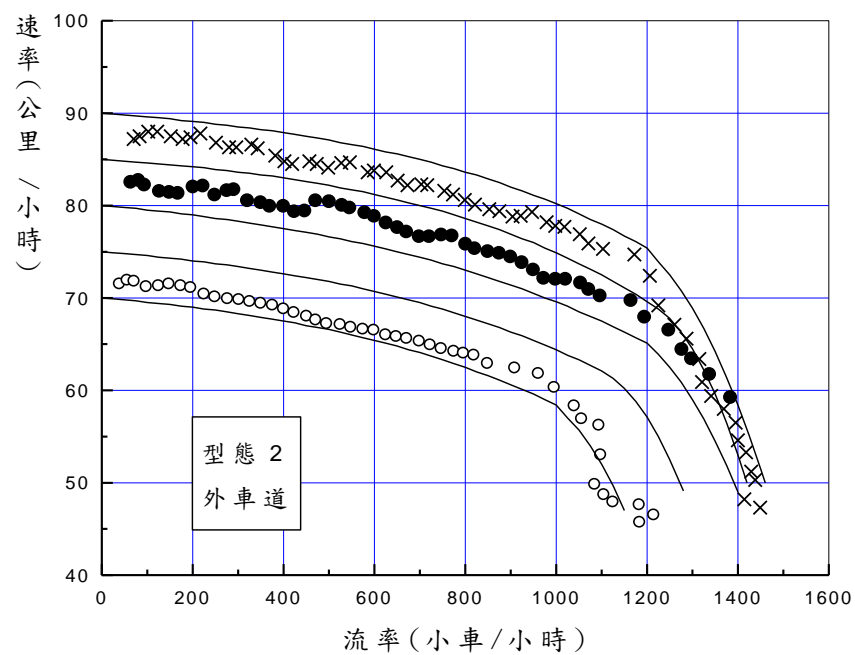


圖 5-8 型態 2 隧道外車道之代表性流率與速率關係

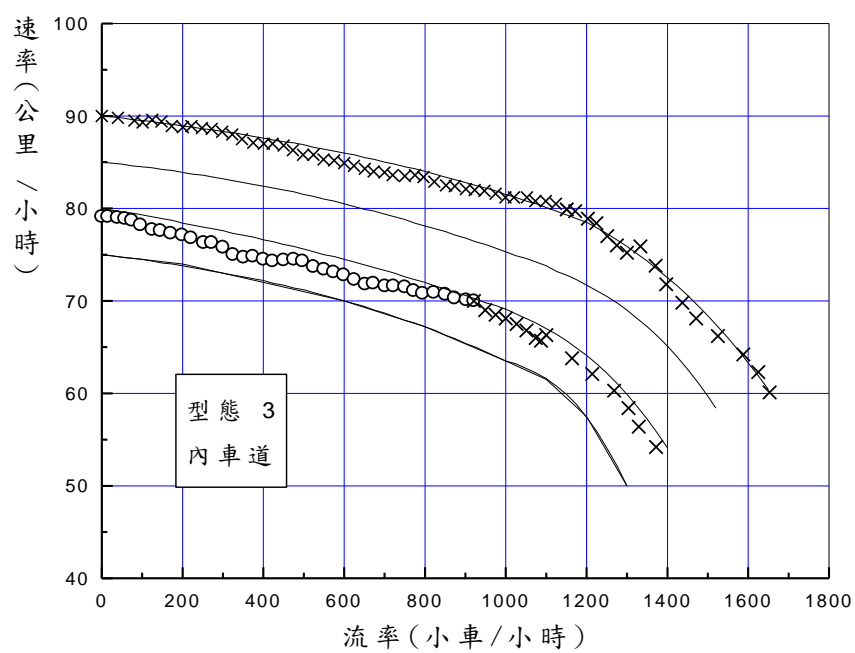


圖 5-9 型態 3 隧道內車道之代表性流率與速率關係

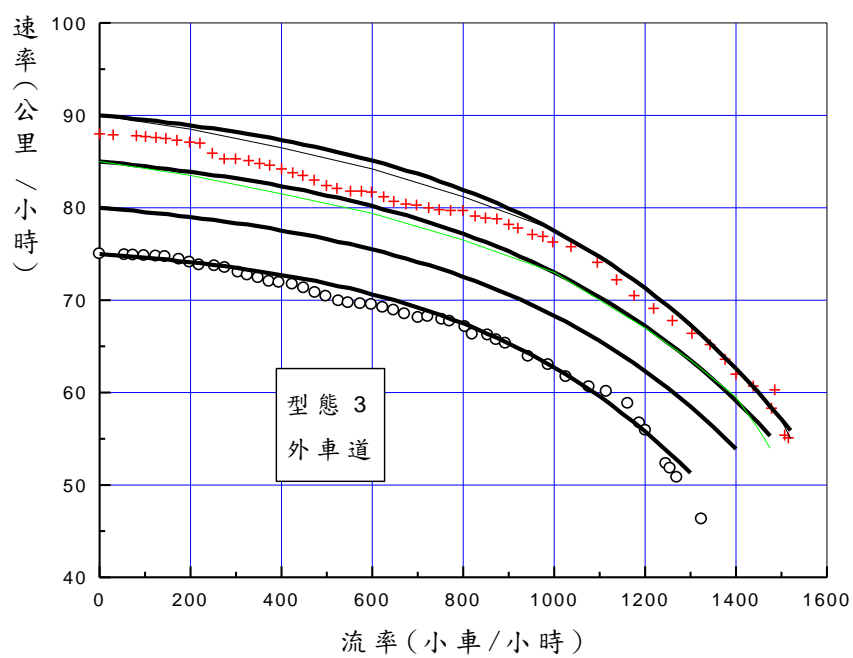


圖 5-10 型態 3 隧道外車道之代表性流率與速率關係

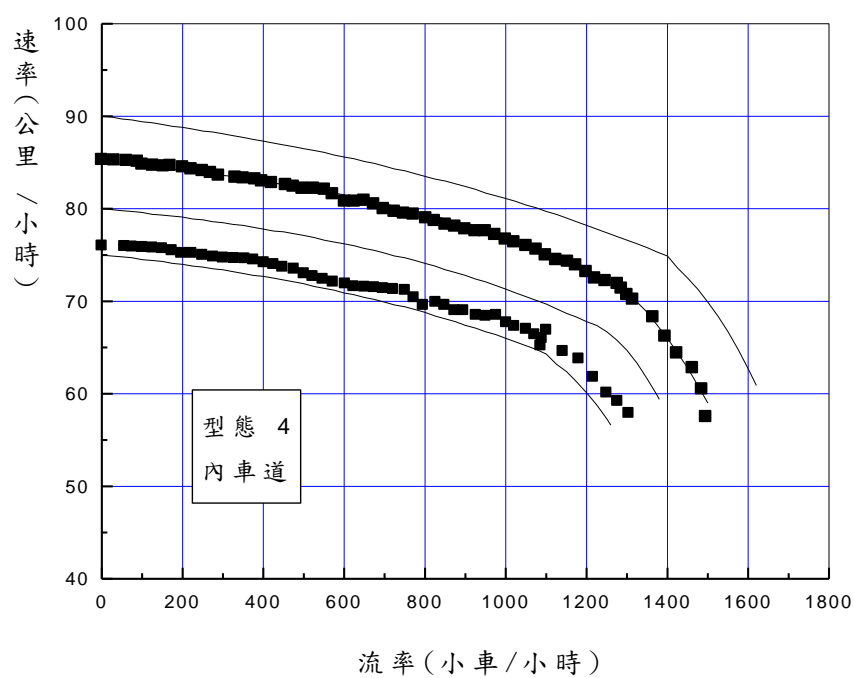


圖 5-11 型態 4 隧道內車道之代表性流率與速率關係

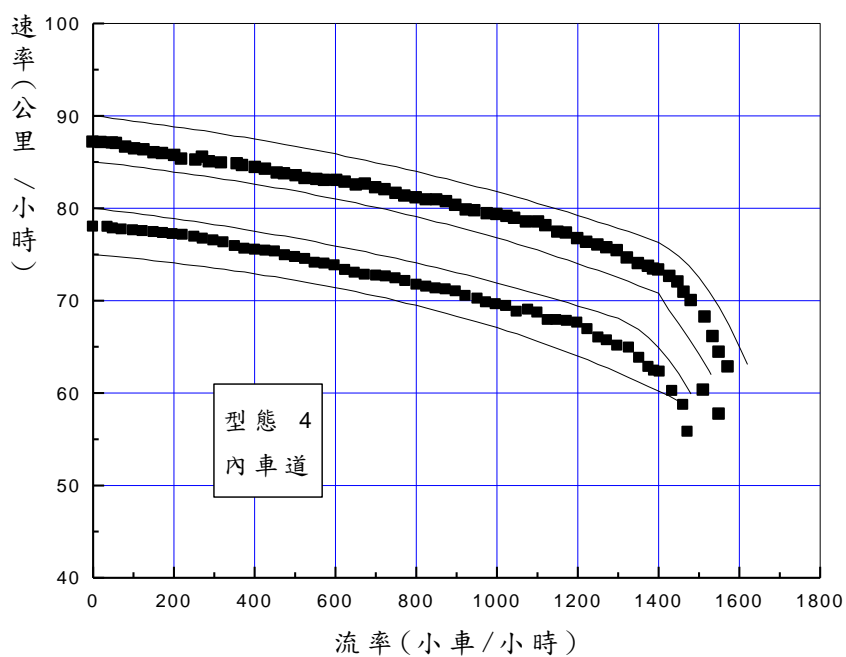


圖 5-12 型態 4 隧道外車道之代表性流率與速率關係

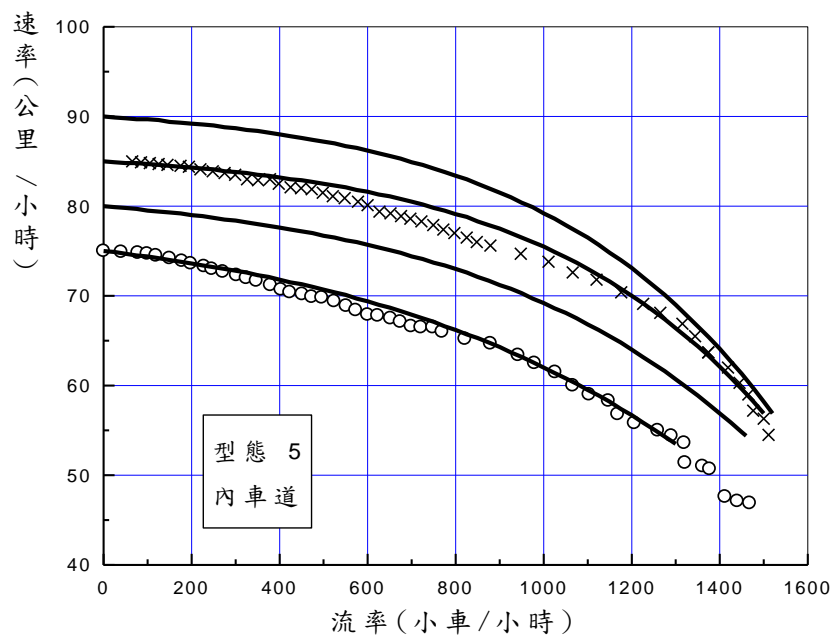


圖 5-13 型態 5 隧道內車道之代表性流率與速率關係

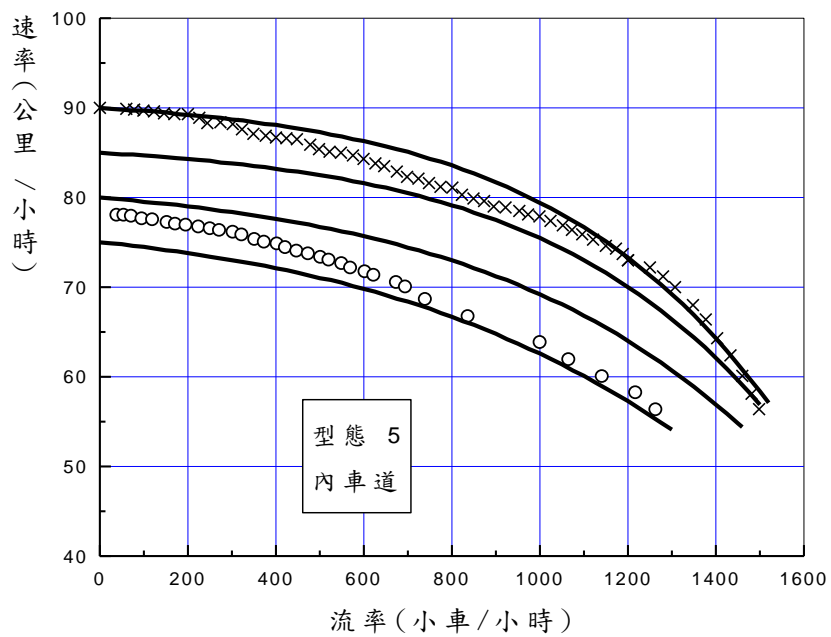


圖 5-14 型態 5 隧道外車道之代表性流率與速率關係

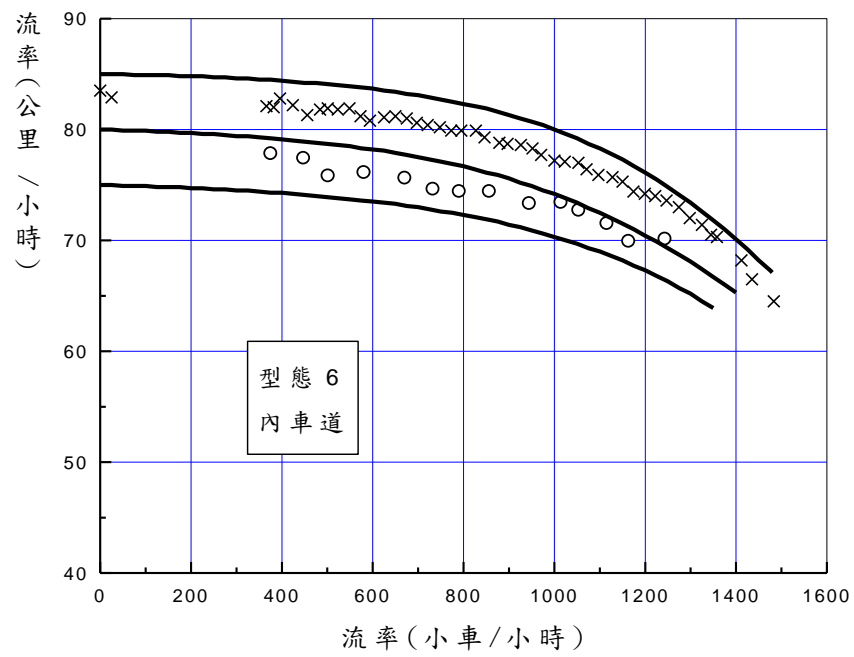


圖 5-15 型態 6 隧道內車道之代表性流率與速率關係

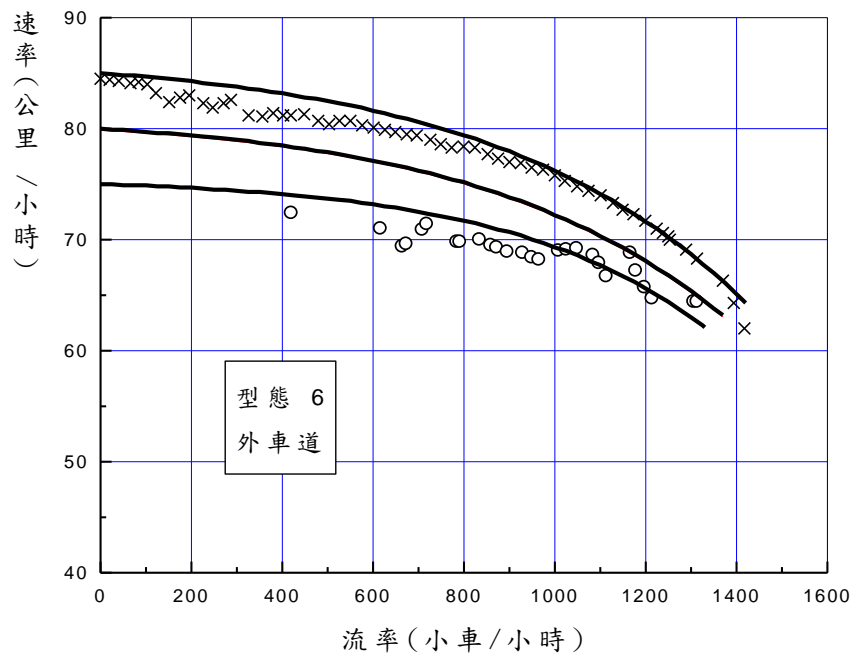


圖 5-16 型態 6 隧道外車道之代表性流率與速率關係

國道 5 號公路隧道作業較差地點的自由速率如表 5.2 所示。根據這些自由速率的特性，「公路隧道」初稿用表 5.3 所列的簡化關係來估計自由速率。分析現存隧道時，最好蒐集現場資料以準確的估計自由速率。

表 5.2 國道 5 號公路隧道作業功能較差地點之自由速率

方向	地點	車道	速限（公里/小時）		
			70	80	80/90*
南下	石碇隧道 3.178K	內	79.4	85.7	86.2
		外	76.0	84.6	84.4
	彭山隧道 11.158K	內	79.5	88.4	88.0
		外	76.6	84.8	85.1
	雪山隧道 21.063K	內	74.3	84.3	90.4
		外	71.7	82.3	87.4
北上	石碇隧道 3.198K	內	78.9	85.4	89.3
		外	74.9	81.1	84.5
	彭山隧道 11.178K	內	79.9	86.5	91.0
		外	76.5	83.1	88.3
	雪山隧道 21.055K	內	71.9	80.5	88.2
		外	70.0	77.9	84.5

* 雪山隧道速限＝90；其他隧道速限＝80

表 5.3 隧道內自由速率與速限之代表性關係

速限 （公里/小時）	特殊狀況	車道	隧道長度（公里）	
			2～4	>10
70	—	內	80	74
		外	76	71
80	上游速限 80 公里/小時	內	86	82
		外	83	80
80	上游速限 90 公里/小時	內	90	—
		外	87	—
90	—	內	—	89
		外	—	86

5.5 分析下游主線與匝道匯流區

此項工作的目的，在於探討隧道下游主線與進口匝道匯流的狀況是否會對隧道的服務水準有負面的影響。因此，如果上述隧道分析之工作已確定隧道之車流會進入不穩定（壅塞）狀況，則沒有必要分析下游匯流區之作業狀況。

一般而言，下游匯流區離隧道越遠，其作業會影響隧道作業的可能性越低。但是如果匯流區有壅塞，而且壅塞狀況持久不散，則慢速行向匯流區之車隊也可能向上游回堵好幾公里。換言之，下游匯流區離隧道須多遠才不必分析沒有規則可遵行。以國道 5 號公路主線與進口匝道匯流路段的狀況而言，全天流量大約在 40,000 輛以上時，匯流區就可能會有壅塞現象。此外，南下車流之壅塞狀況有時從彭山隧道延伸到石碇隧道（大約 5 公里）。「公路隧道」初稿指出這現象以協助決定是否分析匯流區之作業。

須要分析下游匯流區時，圖 5-1 中行向匯流區之流率 Q_{m2} 等於進入隧道之需求流率 Q_{m1} 。如果在隧道及進口匝道之間有進口匝道，則抵達進口匝道上游主線路段的流率可估計為：

$$Q_{m3} = Q_{m2} - Q_{r1} \quad (5.6)$$

主線與進口匝道匯流區是否會有壅塞狀況須依據進口匝道流率 Q_{r2} 及匝道上游主線外車道之流率來評估。

圖 5-17～圖 5-20 顯示進口匝道上游內車道與外車道流率有明顯而且相似的線性關係。這些關係可用表 5-4 之迴歸關係來代表。

表 5-4 進口匝道上游主線內外車道流率之關係

進口匝道地點	迴歸模式	模式之 r^2
石碇北上	$Q_2 = 16.7 + 0.872 Q_1$	0.97
頭城北上	$Q_2 = 28.7 + 0.824 Q_1$	0.92
石碇南下	$Q_2 = 21.3 + 0.830 Q_1$	0.94
坪林南下	$Q_2 = 32.0 + 0.831 Q_1$	0.97

註： Q_1 ＝內車道流率（小車/小時）， Q_2 ＝外車道流率（小車/小時）。

為應用方便起見，「公路隧道」初稿採用表 5-4 各模式所代表的之平均關係來估計內外車道之流率。此平均關係如下：

$$Q_2 = 25 + 0.829 Q_1 \quad (5.7)$$

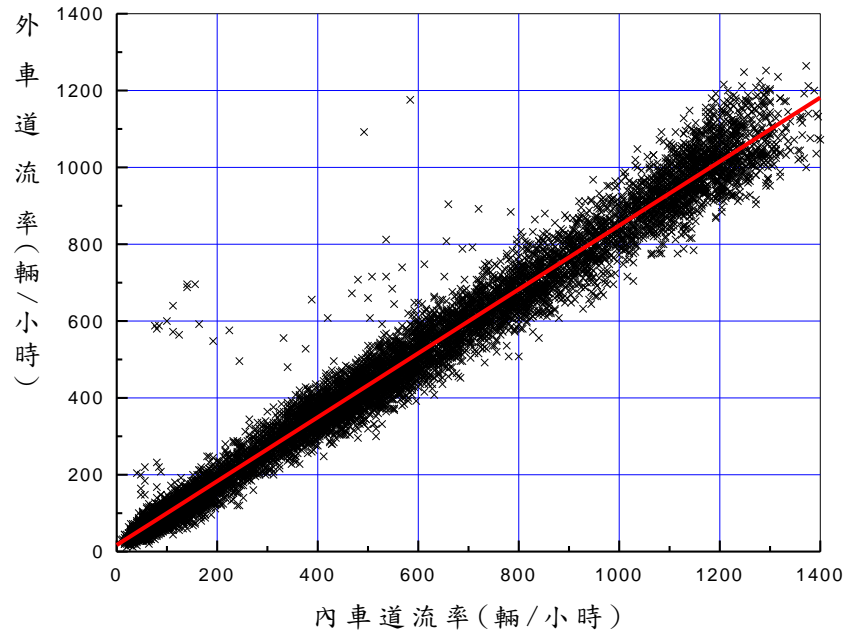


圖 5-17 石碇北上進口匝道上游主線內外車道之流率關係(4.058K)

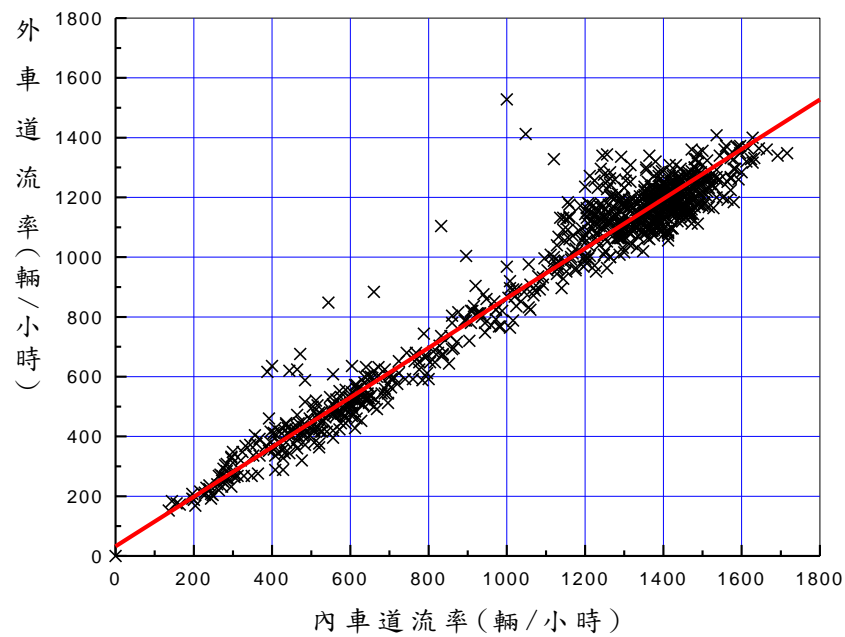


圖 5-18 坪林南下進口匝道上游主線內外車道之流率關係(14.540K)

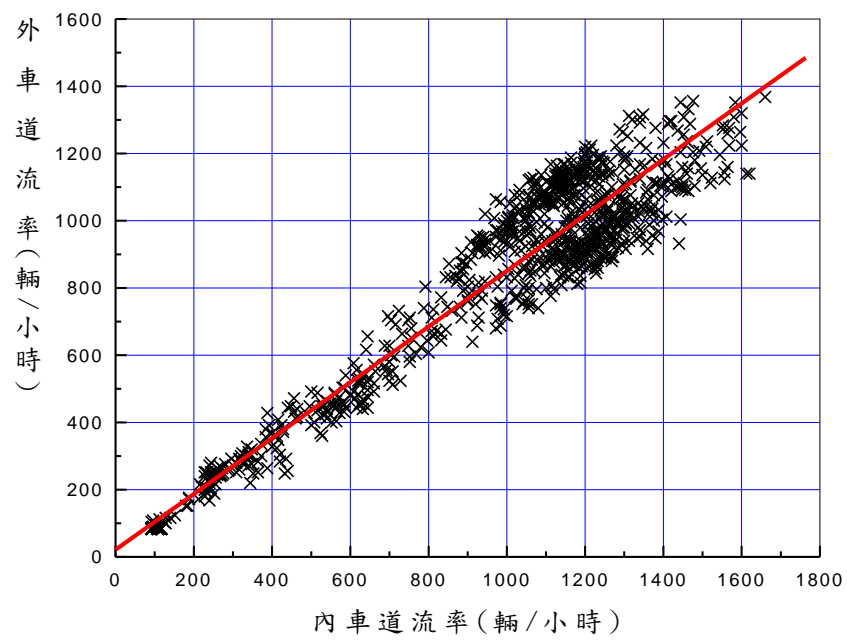


圖 5-19 石碇南下進口匝道上游主線內外車道之流率關係(4.016K)

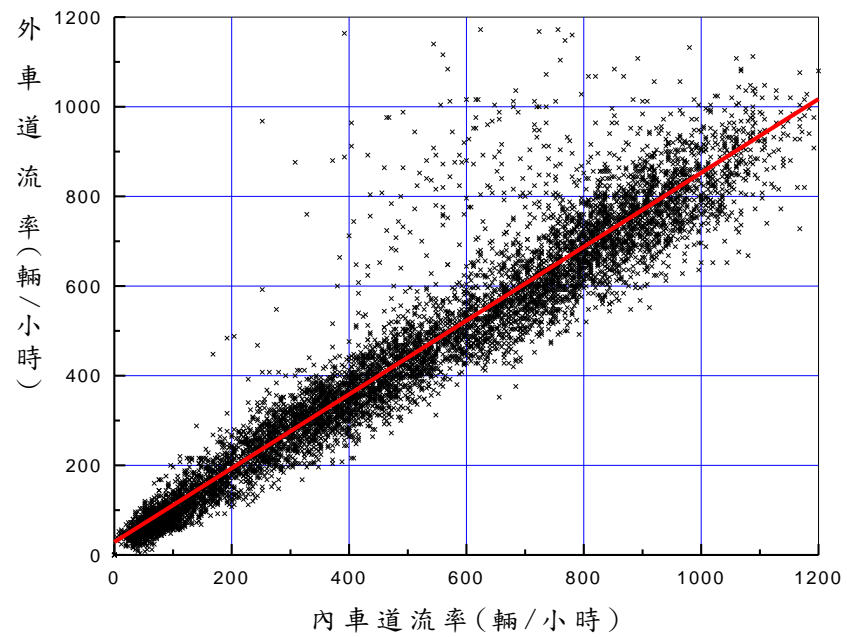


圖 5-20 頭城北上進口匝道上游主線內外車道之流率關係(30.100K)

因為內外車道流率 Q_1 及 Q_2 之和等於 Q_{m3} ，所以式 5.7 可用來將 Q_{m3} 分成：

$$Q_1 = 0.547 Q_{m3} - 14 \quad (5.8)$$

$$Q_2 = 0.453 Q_{m3} + 14 \quad (5.9)$$

根據外車道流率 Q_2 及進口匝道流率，本報告第四章圖 4-140 可用來探討匯流區有壅塞的可能性。如果有壅塞的可能，則隧道分析結果顯示的服務水準可能降低。但是目前的分析方法不能衡量降低的程度。

國道 5 號公路之偵測器資料顯示了一些匯流區壅塞之後，車流疏散的特性。如圖 5-21 及圖 5-22 所示。坪林交流道南下進口匝道下游之主線進入壅塞狀況之後(在早上 8 點半與下午 1 點半之間)，速率越低，流率也有越低的現象，但流率仍能夠維持在 1,200~1,400 輛/小時之範圍內。如果壅塞期間之速率及流率整合成平均值，圖 5-23 顯示國道 5 號公路幾個進口匝道匯流區，在有嚴重壅塞之狀況下(平均速率不到 17 公里/小時)的疏散流率低於 1,000 輛/小時。另一方面，壅塞時如果能維持將近 45 公里/小時的速率，則疏散率可達 1,500~1,600 輛/小時。

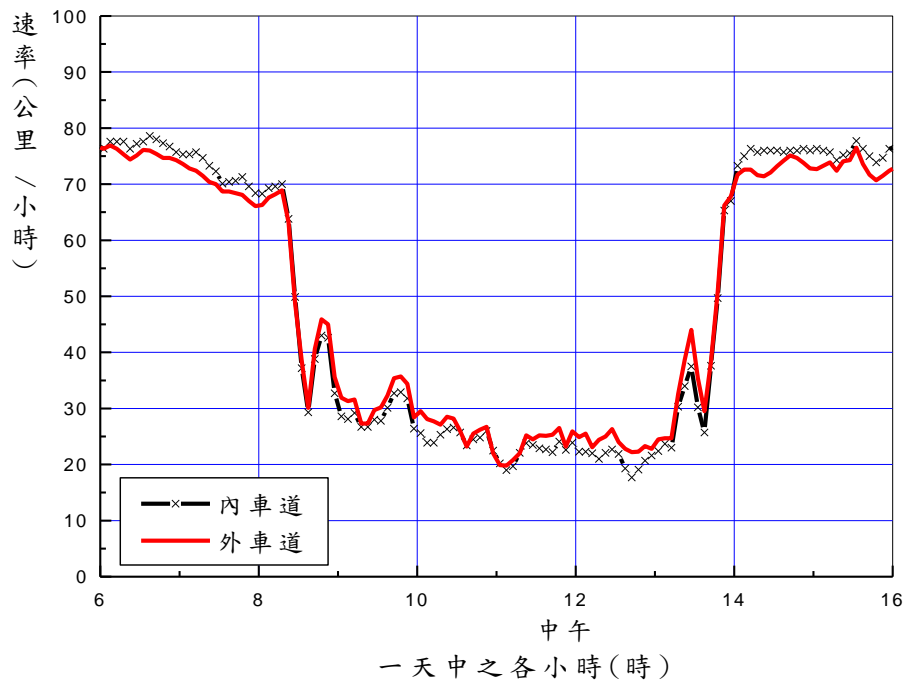


圖 5-21 坪林交流道南下主線與進口匝道匯流區在壅塞狀況時的速率(15.139K)

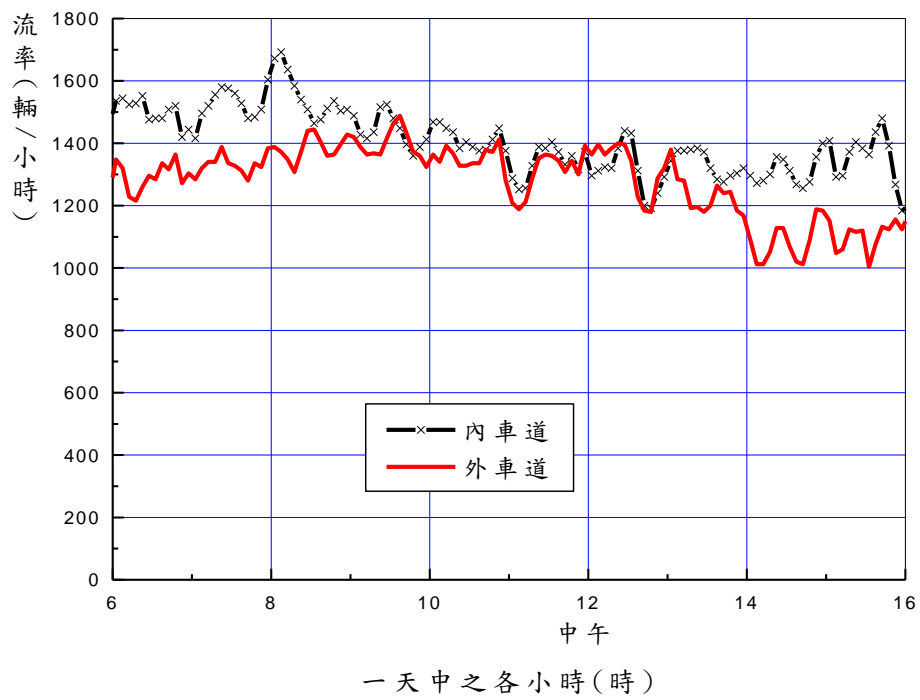


圖 5-22 坪林交流道南下主線與進口匝道匯流區在壅塞狀況時的流率(15.139K)

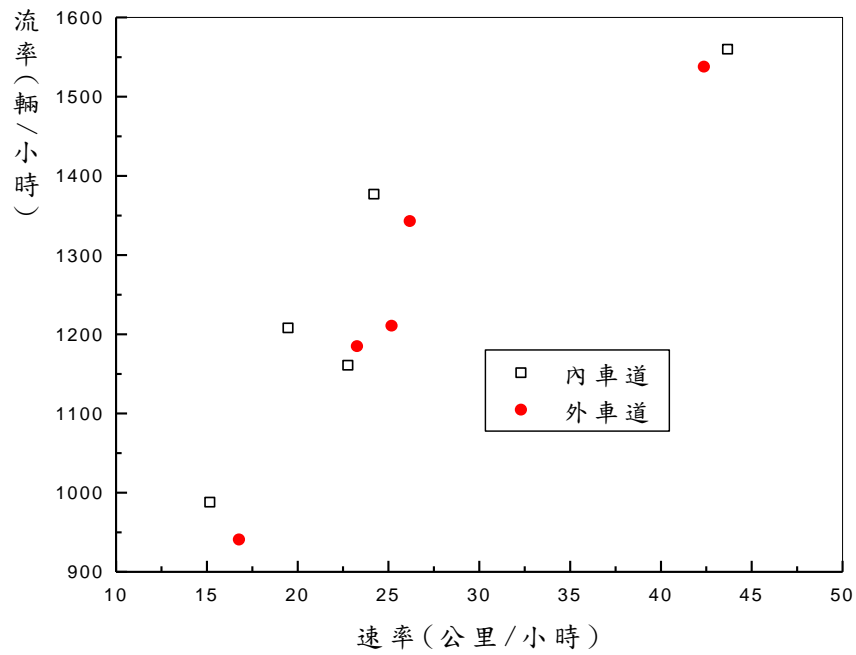


圖 5-23 國道 5 號公路主線與進口匝道匯流區壅塞之後流率與速率的關係

匯流區壅塞之後疏解流率的大小會影響到上游壅塞程度。但是上游隧道服務水準會受到多大的衝擊受到許多其他因素的影響。這些因素包括隧道與匯流區之距離，從上游主線繼續行向匯流區之流率及速率，進口匝道之流率等。這些因素有複雜的互動關係。為了改善服務水準分析方法，並且協助適用的交通控制容量，將來宜對這些互動關係進一步探討。

5.6 評估隧道服務水準

評估服務水準的工作包括：

- 1.根據隧道分析結果，估計在不必考慮下游主線與進口匝道匯流區的情況下之服務水準等級。
- 2.如果有分析下游匯流區，而且分析結果顯示匯流區會有壅塞，則討論匯流區壅塞對隧道服務水準的可能影響。

公路隧道交通作業之服務品質可用需求流率與容量之比值，亦即 V/C 比，及平均速率兩績效指標來衡量。V/C 比反映公路之擁擠程度。速率則是一般用路人最關心的指標。V/C 比及平均速率雖有關聯，但兩者所代表的服務品質有差異。例如一上坡路段的車流有相當低的 V/C 比時，其相關平均速率可能也很低。在這情況下，雖然該坡度路段車流密度低，用路人仍可能認為其服務品質難以接受。此外同一 V/C 比之情況下，速率有很大的變異範圍。以國道 5 號公路在不同地點的代表性流率與速率關係為例。圖 5-24 顯示在同一 V/C 比之速率的差距可經常超過 20 公里/小時。另一方面，從圖 5-24 也可知在同一速率時，V/C 比也有很大的變異性。因此速率不能正確的反映一公路之壅塞程度。因為上述單獨使用 V/C 比或平均速率評估服務水準的缺陷。「公路隧道」初稿採用 V/C 比及平均速率同時做為劃分服務水準等級之標準。

分析公路服務水準的一般做法是將服務水準分成 6 級。從 V/C 比之角度而言，A 級代表密度低，速率等於或接近自由速率的最高級服務品質。V/C 比等於或超過 1.0 時，公路已進入壅塞狀況。這種狀況的

服務水準通常訂為 F 級。至於其他等級則沒有絕對的界限。

從上述圖 5-24 可知，V/C 比在 0.6 以下時，速率的變異範圍大約是 20 公里/小時，而且這變異範圍不隨 V/C 值而有顯著變化。V/C 比增高到 0.85 時，速率之變異範圍擴大到大約 25 公里/小時。V/C 比超過 0.85 之後，速率的變異範圍及速率皆急速增加。這表示 V/C 比高於 0.85 時，車流的穩定性可能已有問題。根據這現象，本計畫建議根據表 5-5 之標準，從 V/C 比之角度來劃分服務水準。

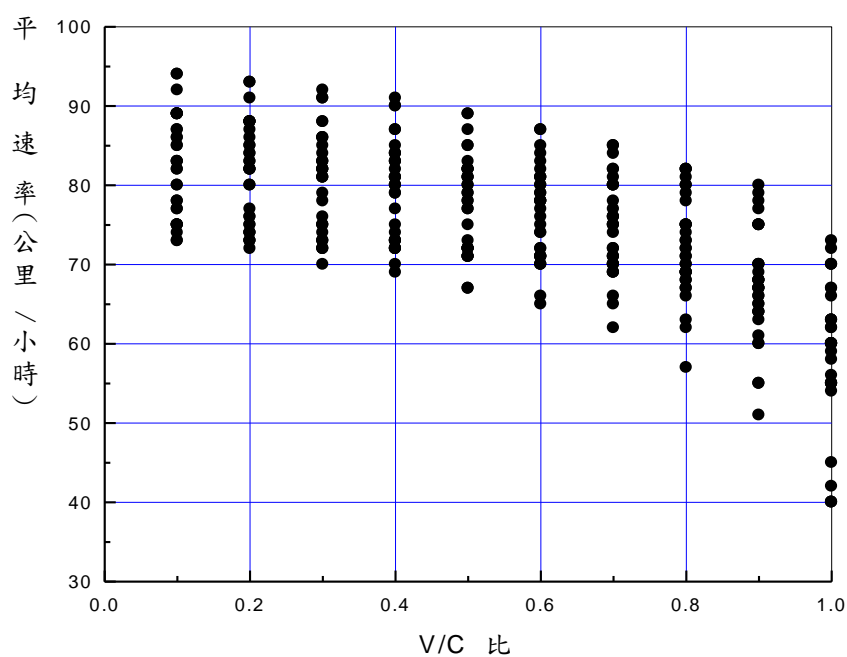


圖 5-24 國道 5 號公路不同地點之 V/C 比與平均速率的關係

表 5.5 根據 V/C 比之服務水準等級劃分標準

服務水準等級	V/C 比
A	0.00~0.34
B	0.35~0.59
C	0.60~0.84
D	0.85~0.94
E	0.95~1.00
F	> 1.00

從平均速率的角度劃分服務水準等級之標準比較難以訂定。因為資源的限制，公路上不同路段可能有不同的設計標準及速限。因此一速率是否代表一可接受的服務品質宜根據該速率與速限或自由速率的差距來衡量。使用速率與自由速率做為一績效指標的缺陷是分析工作會比較困難，因為自由速率必須從現場調查或一模式來估計。如果速限的訂定合理而且執法確實，通常速限與自由速率的差距會在 10 公里/小時之內。為了應用的方便，「公路隧道」初稿之分析方法採用平均速率與速限的差距來劃分服務水準等級。

國道 5 號公路的車流從穩定進入不穩定狀況之後的速率一般在 45 公里/小時以下。比較常見的壅塞速率在 25 公里/小時左右。所以如果速限為 70 公里/小時，則下降 25~45 公里/小時之後的速率非常難以接受。

另一方面，根據國道 5 號公路在不同地點的資料，圖 5-25 顯示速限與速率的差距（速限減掉速率）隨 V/C 比之升高而增加。V/C 比等於 1.0 時的最高差距達 40 公里/小時。但是在任何一 V/C 比時的差距有相當大的變化。速率若是高於速限，或是只比速限約低 5 公里，則此速率可算是很良好的速率。但是速率若比速限低 25 公里/小時以上，則多數駕駛員可能很不滿意，而且速率有可能急速降到壅塞速率的範圍。

根據上述的觀察，「公路隧道」初稿採用表 5.6 之標準將服務水準依照速限與速率的差距分成 6 等級。

表 5.6 根據速限與速率差距之服務水準等級劃分標準

服務水準 等級	速限減速率 (公里/小時)	大約狀況
1	≤ 5	自由行車
2	6~10	穩定，速率受限輕微
3	11~15	穩定，速率受限顯著
4	16~25	穩定，速率受限程度高
5	26~35	接近快進入壅塞或輕微壅塞
6	> 35	嚴重壅塞

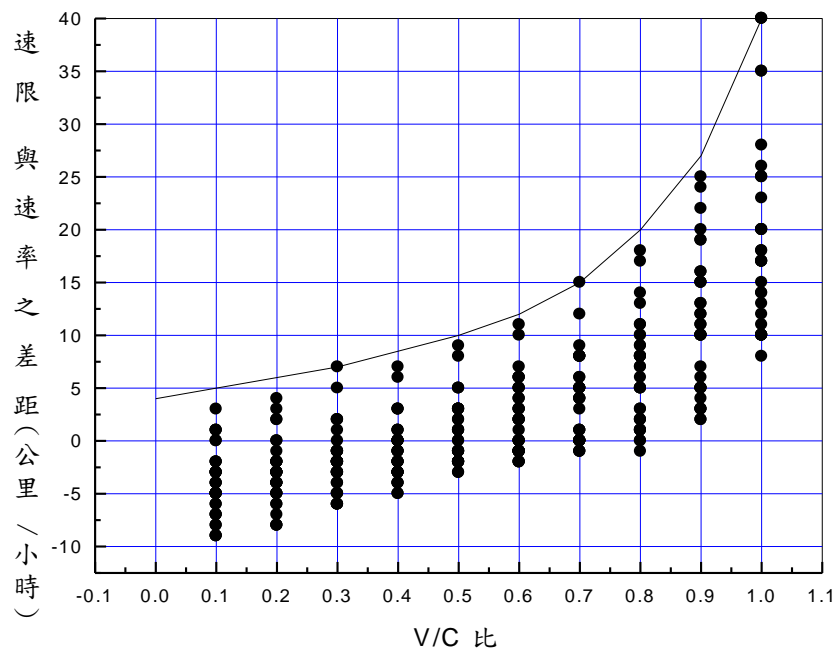


圖 5-25 國道 5 號公路速限與速率差距隨 V/C 值之變化

在應用表 5.5 及 5.6 之劃分標準評估一隧道作業時必須用 2 個代號代表該設施的服務水準。第一代號是 A 到 F，第二代號是 1 到 6。例如一隧道的 V/C 比值為 0.4，其相關的平均速率為 70 公里/小時，速限則為 80 公里/小時，則該設施的服務水準為 C2。

一般分析高速公路交通作業時都有產生 V/C 比及平均速率的估計值。所以上述的服務水準劃分標準在應用上不會增加困擾。規劃及設計一隧道時，須先選擇一可接受的 V/C 比值來訂定幾何設計，然後依據幾何設計從速限與速率的差距評估相關服務水準。

第六章 都市地下道資料蒐集與初步分析

6.1 基本說明

本計畫蒐集都市地下道車流特性資料之目的，在於提供下一期修訂公路容量手冊所需之資料。

臺灣市區中有不少的地下道，例如臺中市有 14 個地下道，彰化及員林各有 2 及 3 個地下道，高雄市則有 11 個地下道。大多數的市區地下道長度不超過 400 公尺，比較長的市區地下道包括臺北市之復興北路地下道（穿越松山機場）、林森南路地下道（穿越中正紀念堂）及基隆路地下道（穿越市府廣場及忠孝東路），這些地下道將近 700 公尺。臺中市中興大學地下道（約 600 公尺）也比較長。臺灣最長之市區地下道為高雄市新生地下道（過港隧道），其長度約 1,600 公尺。

多數之市區地下道有混合車道讓汽、機車共用。出口附近約 100 公尺之內通常有號誌控制，所以從公路容量分析之立場而言，地下道內的容量及服務水準可根據容量手冊第十三章「號誌化交叉路口」的方法來分析。但是地下道有上、下坡。從幾何設計的應用而言，須對小車及大車在地下道內之自由速率的變化有了解。從容量分析之立場而言，則須了解地下道下游號誌化路口飽和疏解率是否與一般市區號誌化路口之疏解率有顯著差異。因此本計畫交通特性資料蒐集之對象包括：

1. 地下道下游號誌化路口之疏解率。
2. 地下道大、小車之自由速率。

一般而言，如果停等車隊不會從下游號誌化路口之停止線延伸進入地下道，則車流不會受地下道坡度路段之影響。在此情形之下，地下道可視同一般市區道路。如果停等車隊常延伸進入地下道，則下游號誌化路口之飽和疏解率，可能低於一般市區號誌化路口之疏解率。為了探討這問題，並且提供分析之用的飽和疏解率，本計畫先選擇幾個地下道作為調查飽和疏解率之對象。這些地下道與下游號誌化路口之距離應越短越理想。短距離增加停等車延伸到地下道之可能性。如

果在這些地下道下游號誌化路口之疏解率與民國 96 年運研所所蒐集之市區號誌化路口的飽和流率[3]沒有顯著差別，則沒有必要進一步探討其他地下道下游號誌化路口之飽和疏解率。

飽和流率資料之蒐集必須在尖峰時段來執行，車隊之樣本數最少應有 60。現場資料必須包括：

- 1.調查地點路口與地下道之幾何設計。
- 2.地下道與平面道路交接處與路口之距離。
- 3.號誌之週期長度、綠燈及黃燈時間。
- 4.停等車隊中每停等位置上車輛之車種及後輪在綠燈亮後通過停止線之時間（可用碼表或錄影計時）。
- 5.停等車隊中在地下道之車數。

這些資料將整理成每一停等位置及車種的平均疏解車距。然後與如圖 6-1 所示的一般市區號誌化路口停等車隊之飽和疏解率相比較。

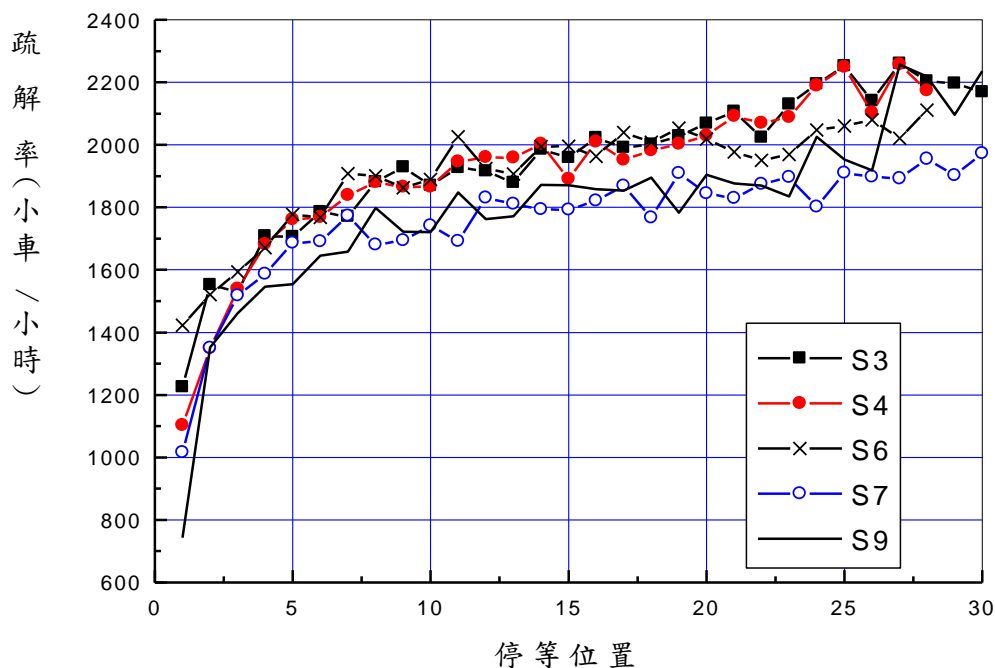


圖 6-1 一般市區直行停等車隊疏解率特性之樣本

6.2 市區地下道資料蒐集

本計畫針對在臺北市區內之地下道作為探討對象。其他市區的地下道建議將來運研所於更新容量手冊之工作中，由各市區之學術單位或顧問公司來進一步蒐集。

以下為臺北市主要的市區地下道，概述如下：

1. 復興北路地下道

南北向，位於民族東路與濱江街之間，為雙孔隧道，單向有兩車道，長度約 677 公尺，最深位置與地面之高差約 12.83 公尺，最陡坡度往北方向為 8.00%，往南方向為 7.75%；內側為快車道（禁行機車），外側為混合車道（禁行腳踏車），隧道出口與號誌化路口之距離相當近，故停等車通常在坡度上停等號誌；速限為 40 公里/小時；北向出口接鄰濱江街，與南向出口接鄰民族東路之車道配置情形如圖 6-2 所示。

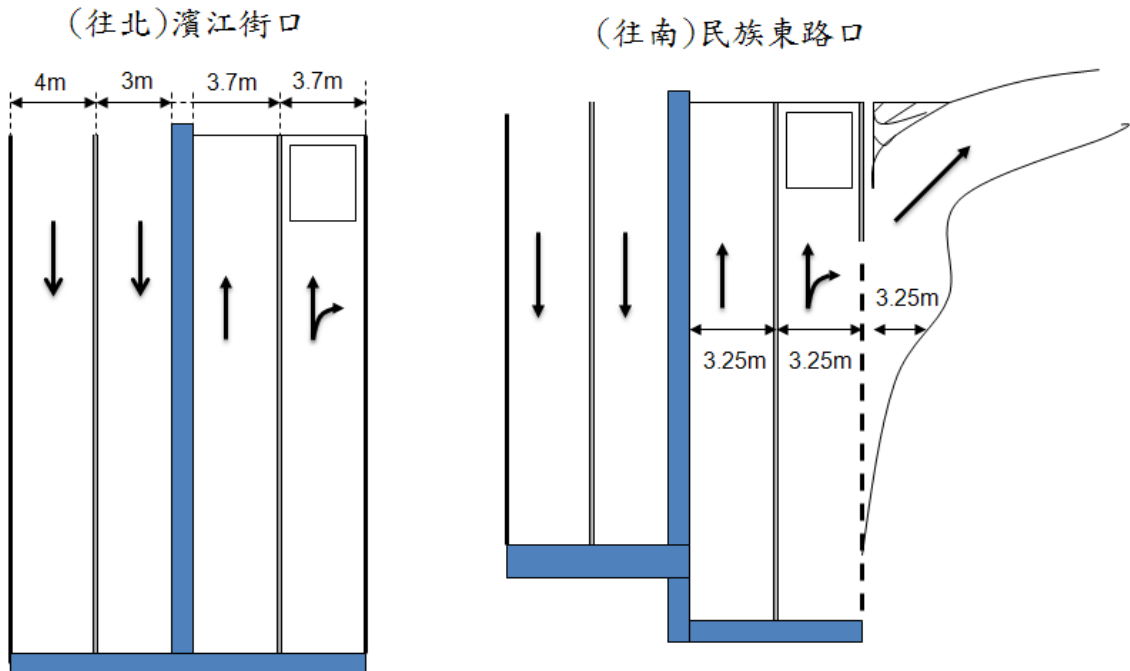


圖 6-2 臺北市復興北路地下道之出口車道配置示意圖

2.基隆路地下道

南北向，位於信義路與松隆路之間，為雙孔隧道，單向有兩車道（均禁行機車），長度約 1,080 公尺，最深位置與地面之高差約 10.81 公尺，最陡坡度往北方向為 5.937%；北向隧道出口與號誌化路口之距離約 23 公尺，故停等車常有於坡度上停等號誌之情形，南向出口則距離信義路約 170 公尺；速限為 50 公里/小時；隧道出口之緊鄰號誌化路口車道配置情形如圖 6-3 所示。

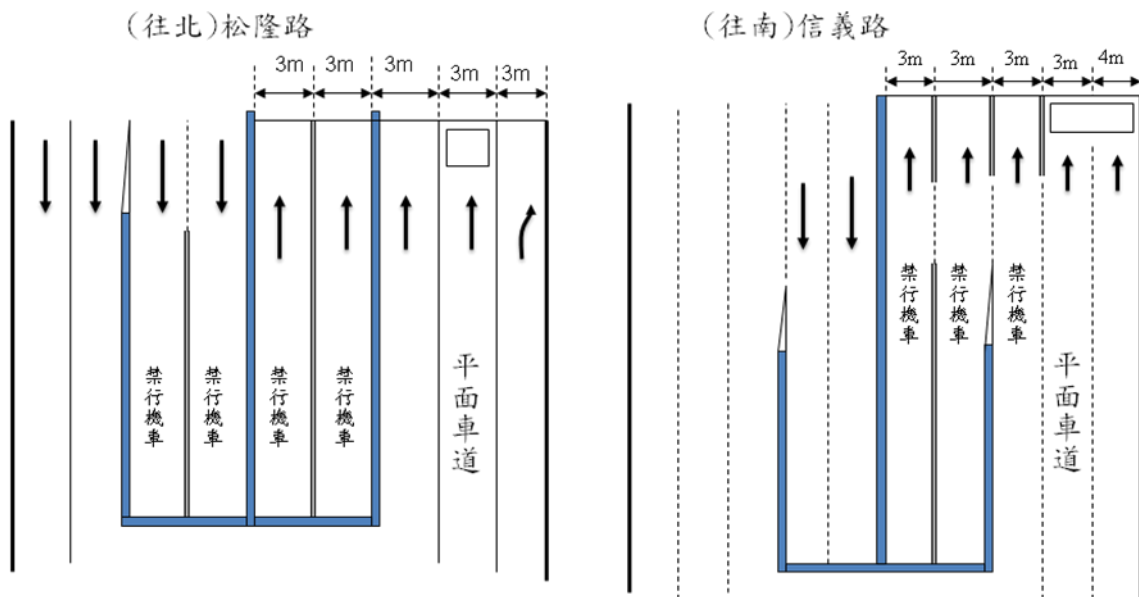


圖 6-3 臺北市基隆路地下道之出口車道配置示意圖

3.信義路地下道

東西向，位於松仁路與松德路之間，單向向東之單孔隧道，有兩車道（內側禁行機車，外側混合使用），長度約 370 公尺，最深位置與地面之高差約 6.74 公尺，最陡坡度為 6.50%；隧道出口與下游松德路號誌化路口之距離約 110 公尺，停等車偶有在隧道內停等；速限為 50 公里/小時；隧道出口之緊鄰號誌化路口車道配置情形如圖 6-4 所示。

4.忠孝東/西路地下道

東西向，位於天津街與公園路路之間，雙向各一車道之單孔隧道，對向以分向限制線（雙黃實線）劃分；雙向均禁行機車，

長度約 230.8 公尺，主要穿越中山南北路；向東隧道之坡度為 5.8%，上坡長度約 100 公尺，坡度終點與下游天津街約距離 50 公尺，停等車會於隧道內停等；向西與公園路口距離約 50 公尺，但因為公園路沒有設開口，故隧道出口與下游號誌化路口（館前路）距離超過 350 公尺，該路口之疏解受此地下道影響關係並不明顯；速限為 50 公里/小時。

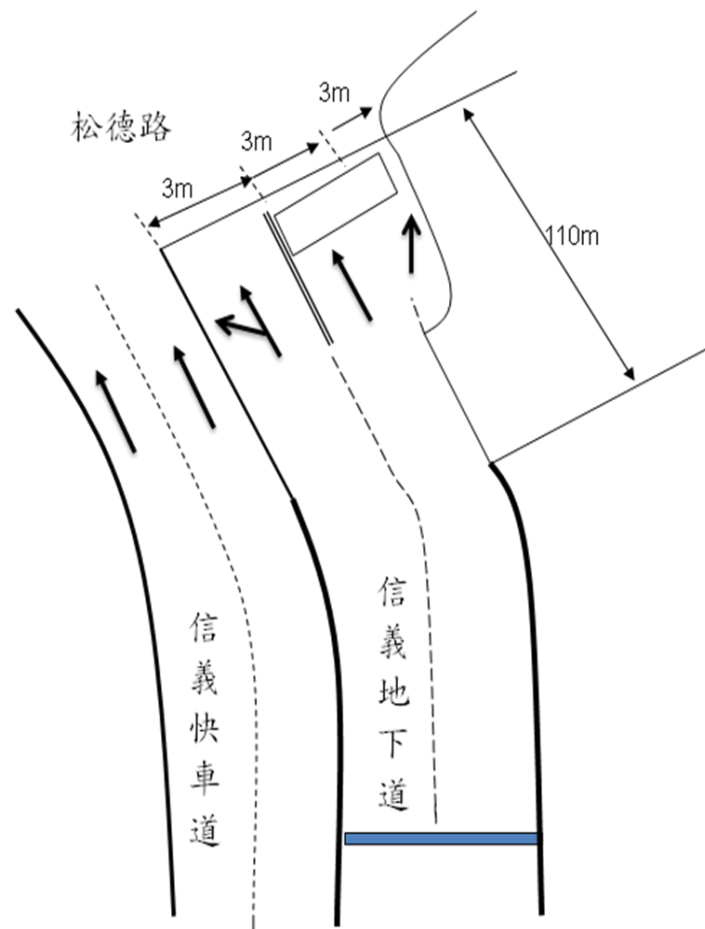


圖 6-4 臺北市信義路地下道之出口車道配置示意圖

5. 林森南路地下道

南北向，位於仁愛路與羅斯福路之間，為向南之單孔單向隧道，共有兩快車道及 1 機車道，長度約 680 公尺，最深位置與地面之高差約 7.24 公尺，最陡坡度為 6.00%；隧道出口與號誌化路口相緊鄰，所有停等車必須在坡度上停等號誌，速限為 50 公里/小時；與羅斯福路之車道配置情形如圖 6-5 所示。

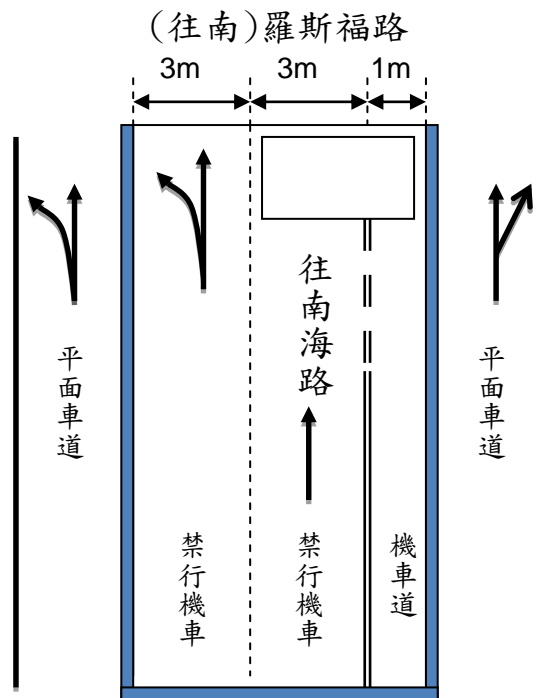


圖 6-5 臺北市林森南路地下道之出口車道配置示意圖

6. 辛亥路地下道

東西向，位於復興南路與芳蘭路之間，為雙孔單向各五車道，均禁行機車，長度約 450 公尺，主要地下穿越寬度約 40 公尺之基隆路；向東方向隧道道出口與芳蘭路號誌化路口之距離約 50 公尺，停等車可能會在坡度上停等號誌，向西方向之隧道車口距離下游號誌化路口（復興南路）之距離超過 350 公尺，該路口之停等車疏解可能不會受到該地下道之影響；該路段速限為 50 公里/小時。

7. 汀州路三段地下道

呈南北/東西向，南下方向由辛亥高架橋下橋後進入地下道，而後右轉彎上升到平面汀州路，緊鄰的下游橫交道路為師大路，設有號誌；北上方向沿汀州路往東後進入地下道，經一約 90 度的左轉彎，陸續上升平面道路，隨即有上匝道進入辛亥路高架道路；長度約 760 公尺，雙向實體分隔，各有 2 車道，均禁行機慢車；由於北端沒有號誌化路口，西端地下道出口距離下游號誌化路口超過 350 公尺，故本地下道不進行資料蒐集工作。

8.羅斯福路公館地下道

略成西北往東南方向，位於舟山路與萬盛街之間，為單孔隧道，單向各有一車道，中央以分向限制線（雙黃實線）劃分行車方向，長度約 324 公尺；由於該地下道已於 2007 年 4 月配合羅斯福路公車專用道之實施，該地下道限制專供大客車行駛；因此，本計畫暫時不進行該地下道之資料蒐集工作。。

經向臺北市政府工務局洽取各地下道之竣工圖資料，以了解縱斷面幾何特性，但由於圖管單位資料庫維護之故，研究團隊僅取得部分地下道的資料。另經前述對於各地下道之觀察與了解，本計畫於今年度乃進行以下地下道於下游號誌化路口之停等車疏解率調查。

- 1.復興北路地下道/濱江街往北之內車道。
- 2.復興北路地下道/民族東路往南之內車道。
- 3.基隆路地下道/松隆路往北之內車道。
- 4.忠孝東路地下道/天津街往東之車道。
- 5.林森南路地下道/羅斯福路往南之內車道。
- 6.信義路地下道/松德路往東之內車道。

前述第 1 至第 3 調查地點均為中央實體分隔，均有 2 車道，所調查之內車道均禁行機慢車，第 1 及第 2 地下道緊鄰號誌化路口，第 3 地下道出口與下游號誌化路口之距離約 23 公尺，故可作為比較疏解率之用。第 4 地下道為中央標線分隔，禁行機車，地下道緊鄰下游號誌化路口，故蒐集該車道資料可作為比較疏解率之用。至於第 5 及第 6 車道為直行/左轉共用車道，第 5 地下道緊鄰下游號誌化路口，第 6 地下道則有約 110 平面路段，可進行相互之比較，但由於時間緊促，本年期計畫主要討論前四個地下道之相關車流特性。

停等車疏解車距資料蒐集之方法，係以號誌化路口之停止線為參考線（原則上參考線應在第一部停等車車頭下游約 1~2 公尺之處），參考線不能在第一部停等車車尾之上游（示意圖如圖 6-6）。調查員必須注意因號誌而停等之車隊狀況，檢視號誌轉換為綠燈之瞬間之車隊

尾端（必須默記其車輛特徵）；並自號誌轉換為綠燈之瞬間利用有記憶體之碼錶(stopwatch)開始計時，分別紀錄每一部停等車之車尾通過參考線之時間（以後輪通過參考線之時間為準）。第一部停等車之疏解車距則是綠燈啟亮至第一部停等車後輪通過參考線之車距(headway)，第二部停等車以後之疏解車距，則為前一部車通過參考線到該車輛通過參考線之車距。如有大車則必須特別紀錄其停等位置。本計畫目前之各項討論係以小車為對象，分析時暫時將大車及其後之樣本資料捨棄不用。綠燈時段完畢之後後輪尚未通過參考線但可疏解之車輛，則歸屬於燈號轉換期間內（包括黃燈與紅燈）之疏解車輛。由此，每一號誌週期如有大量之停等車輛，即可獲得適當之一筆停等車疏解車距資料。

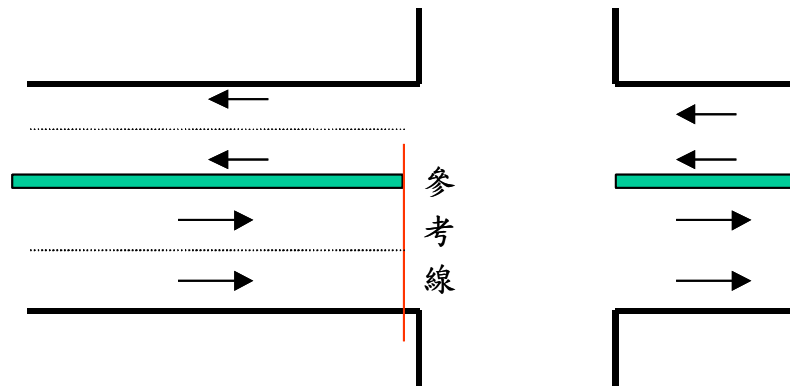


圖6-6 號誌化路口停等車疏解車距調查示意圖

市區號誌化路口通常有較長之停等車隊，號誌週期較長（每一週期僅能蒐集一筆資料），故資料蒐集時間非常耗時。但為了能有較高的資料可靠度，各停等位置之疏解車距資料，本計畫均要求必須在估計誤差在0.2秒之內。

這些地下道之調查工作，除疏解車距之調查外，亦進行地下道之自由車流速率 (free-flow speed，以下簡稱自由速率)調查。由於蒐集市區地下道內自由速率變化資料有技術上之困難，且大多數地下道沒有車輛偵測器，因此工作人員須利用雷射測速槍蒐集樣本。但工作人員不宜滯留地下道，而且測速時難免影響駕駛行為。原本本計畫預計於地下道點、中點或最低點、地下道終點等地蒐集自由速率資料，但因

為各地下道內受限於空間，均沒有可立足之處，實在無法在不影響車流正常運作下來觀測個別車輛之自由速率。另一方面，考量到都市地下道上坡停等號誌之車輛，以及坡度終點與下游號誌化路口之距離，均可能影響下游號誌化路口之疏解率。因此，本計畫綜合考量相關因素後，乃進行臺北市都市地下道停止線上游約 50 公尺處之自由速率調查，以嘗試探討上坡度對於停等車疏解率影響之關係研究。

6.3 市區地下道資料分析

6.3.1 直行車疏解車距

本計畫已經進行之 4 個地下道停等車疏解車距資料，如表 6.1～表 6.4 所示。各停等車位置之平均疏解車距的估計誤差 ($=1.96 \frac{\text{平均值}}{\text{標準差} / \sqrt{\text{樣本數}}}$) 均低於 0.2 秒。

表 6.1 復興北路地下道往北之停等車疏解車距

停等位置	疏解車距(秒/車)			疏解率 (輛/小時)	樣本數
	平均值	標準差	估計誤差		
1	3.25	0.82	0.17	1108	94
2	2.89	0.67	0.14	1246	91
3	2.63	0.59	0.12	1369	88
4	2.58	0.59	0.12	1395	87
5	2.44	0.61	0.13	1475	87
6	2.31	0.52	0.11	1558	86
7	2.15	0.39	0.09	1674	81
8	2.13	0.40	0.09	1690	79
9	2.03	0.39	0.09	1773	69
10	2.06	0.38	0.10	1748	57
11	2.16	0.46	0.13	1667	51
12	2.11	0.38	0.11	1706	45
13	2.13	0.40	0.13	1690	36
14	1.95	0.29	0.10	1846	30
15	1.93	0.39	0.15	1865	24
16	1.94	0.27	0.13	1856	17
17	1.98	0.40	0.20	1818	15
18	1.98	0.28	0.16	1818	11
19	1.83	0.35	0.20	1967	10

表 6.2 復興北路地下道往南之停等車疏解車距

停等 位置	疏解車距(秒/車)			疏解率 (輛/小時)	樣本數
	平均值	標準差	估計誤差		
1	3.16	0.79	0.14	1139	119
2	2.87	0.66	0.12	1254	119
3	2.43	0.60	0.11	1481	117
4	2.17	0.53	0.10	1659	114
5	2.24	0.44	0.08	1607	106
6	2.21	0.50	0.09	1629	105
7	2.05	0.39	0.08	1756	105
8	2.12	0.44	0.09	1698	96
9	2.04	0.40	0.08	1765	84
10	1.99	0.35	0.08	1809	82
11	1.96	0.29	0.07	1837	68
12	1.91	0.26	0.06	1885	64
13	1.91	0.30	0.07	1885	61
14	1.99	0.32	0.08	1809	62
15	2.00	0.41	0.11	1800	57
16	1.85	0.23	0.06	1946	51
17	1.92	0.37	0.10	1875	51
18	1.98	0.35	0.10	1818	43
19	1.98	0.32	0.10	1818	43
20	1.89	0.31	0.10	1905	37
21	1.93	0.24	0.08	1865	34
22	1.89	0.28	0.10	1905	30
23	1.84	0.21	0.07	1957	29
24	1.81	0.20	0.08	1989	25
25	1.85	0.19	0.09	1946	17
26	1.83	0.20	0.11	1967	14
27	1.77	0.19	0.10	2034	13

表 6.3 基隆路路地下道往北之停等車疏解車距

停等 位置	疏解車距(秒/車)			疏解率 (輛/小時)	樣本數
	平均值	標準差	估計誤差		
1	2.85	0.93	0.19	1263	93
2	2.82	0.67	0.13	1277	97
3	2.32	0.55	0.11	1552	93
4	2.16	0.51	0.10	1667	98
5	2.19	0.62	0.12	1644	98
6	2.04	0.56	0.11	1765	93
7	2.04	0.53	0.11	1765	96
8	2.03	0.56	0.11	1773	97
9	2.02	0.57	0.11	1782	94
10	2.05	0.63	0.13	1756	96
11	2.00	0.53	0.11	1800	95
12	1.91	0.45	0.09	1885	91
13	1.96	0.48	0.10	1837	82
14	2.03	0.56	0.12	1773	84
15	2.08	0.13	0.13	1731	80
16	2.07	0.13	0.13	1739	77
17	2.09	0.15	0.15	1722	75
18	2.06	0.14	0.14	1748	68
19	2.09	0.14	0.14	1722	60
20	2.05	0.16	0.16	1756	52
21	2.01	0.16	0.16	1791	44
22	2.14	0.20	0.20	1682	36
23	2.04	0.20	0.20	1765	37
24	2.03	0.18	0.18	1773	35
25	2.02	0.19	0.19	1782	30
26	2.03	0.22	0.20	1773	28
27	2.09	0.18	0.18	1722	24
28	1.89	0.23	0.20	1905	22

表 6.4 忠孝東路地下道往東之停等車疏解車距

停等位置	疏解車距(秒/車)			疏解率 (輛/小時)	樣本數
	平均值	標準差	估計誤差		
1	3.54	1.01	0.20	1017	98
2	2.69	0.60	0.12	1338	96
3	2.53	0.55	0.11	1423	97
4	2.40	0.58	0.12	1500	95
5	2.25	0.54	0.11	1600	98
6	2.19	0.55	0.11	1644	89
7	2.09	0.61	0.12	1722	96
8	2.09	0.50	0.11	1722	86
9	2.13	0.59	0.12	1690	87
10	1.92	0.37	0.08	1875	73
11	2.03	0.42	0.10	1773	70
12	1.91	0.35	0.13	1885	67
13	2.05	0.54	0.14	1756	61
14	2.04	0.50	0.14	1765	46
15	2.00	0.61	0.18	1800	46
16	2.13	0.78	0.20	1690	44
17	2.37	0.71	0.20	1519	33
18	2.06	0.68	0.20	1748	35
19	1.83	0.51	0.19	1967	27
20	2.05	0.48	0.20	1756	20
21	2.07	0.40	0.20	1739	15

目前臺灣公路容量手冊第13章對於各類直行車道之停等車疏解性質，主要區分為表6.5之各類型。依此，前述各都市地下道之路型，復興北路地下道（民族東路與濱江街之間）往北及往南、基隆路地下道（信義路與忠孝東路、松隆路之間）往北，均屬於S1路型。忠孝東/西路地下道（公園路與天津街之間）往東，則屬於S5路型。

表6.5 直行快車道類型劃分

類型代號	車道之性質
S1	中央實體分隔、無快慢分隔、無緊鄰公車專用道
S2	中央實體分隔、無快慢分隔、有緊鄰公車專用道
S3	中央實體分隔、快慢分隔
S4	中央標線分隔、快慢分隔
S5	中央標線分隔、無快慢分隔
S6	緊鄰左側快慢分隔島

本計畫將實體分隔對向之復興北路地下道往北與往南、基隆路地下道往北之停等車疏散車距，轉換成停等位置與疏散率（3600/平均疏散車距）之關係，如圖 6-7 與表 6.6。其中 S1 為目前臺灣地區公路容量手冊第 13 章之資料。

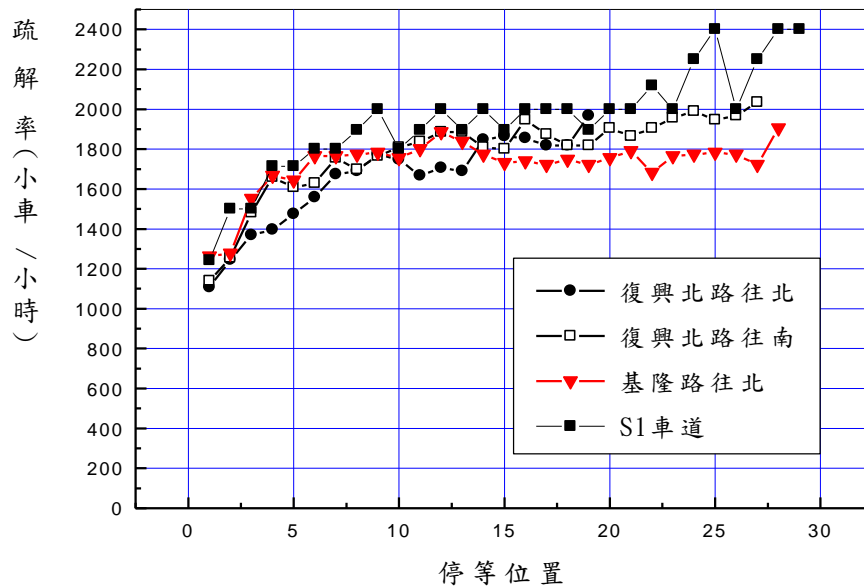


圖 6-7 實體分隔之地下道疏散率

由圖 6-7 可知，這三個地下道之疏散率均沒有在第 4 或第 5 部停等車之後，迅速的達到一穩定的疏散率，即使是第 15 部停等車之後。這現象與先前市區直行車道（S1 車道）所觀察的現象相似。但是，圖 6-7 顯示這三個地下道之疏散率均明顯低於 S1 車道。由表 6.6 可知，於第 15 停等位置時，S1 車道之疏散率為 1,895 輛/小時，三個地下道分別是復興北路往北 1,865 輛/小時、復興北路往南 1,800 輛/小時、基隆路往北 1,731 輛/小時。這三個實體分隔的地下道之間，亦存在差異。大致而言，復興北路地下道往北及往南之疏散率較為接近，均高於基隆路往北之疏散率。

中央以標線分隔之忠孝東路地下道，其停等位置與疏散率之關係，如圖 6-8。其中 S5 為目前臺灣地區公路容量手冊第 13 章之中央標線分隔直行車道。圖 6-8 顯示標線分隔之忠孝東路地下道疏散率，明顯

較低 S5 車道，由表 6.6 知，於第 15 停等位置時，S5 車道之疏解率為 2,014 輛/小時，忠孝東路則為 1,800 輛/小時，相差約 200 輛/小時。

表 6.6 地下道之疏解率(輛/小時)

停等位置	中央實體分隔之直行車道疏解率(輛/小時)				中央標線分隔之直行車道疏解率(輛/小時)	
	S1 類型	復興北路 往北	復興北路 往南	基隆路 往北	S5 類型	忠孝東路 往東
1	1241	1108	1139	1263	1084	1017
2	1500	1246	1254	1277	1319	1338
3	1500	1369	1481	1552	1544	1423
4	1714	1395	1659	1667	1765	1500
5	1714	1475	1607	1644	1797	1600
6	1800	1558	1629	1765	1791	1644
7	1800	1674	1756	1765	1817	1722
8	1895	1690	1698	1773	1860	1722
9	2000	1773	1765	1782	1847	1690
10	1800	1748	1809	1756	1867	1875
11	1895	1667	1837	1800	1998	1773
12	2000	1706	1885	1885	1835	1885
13	1895	1690	1885	1837	1984	1756
14	2000	1846	1809	1773	1939	1765
15	1895	1865	1800	1731	2014	1800
16	2000	1856	1946	1739	1920	1690
17	2000	1818	1875	1722	1926	1519
18	2000	1818	1818	1748	1951	1748
19	1895	1967	1818	1722	1959	1967
20	2000		1905	1756	1976	1756
21	2000		1865	1791	2012	1739
22	2118		1905	1682	2021	1791
23	2000		1957	1765	1957	1818
24	2250		1989	1773	2021	
25	2400		1946	1782	2038	
26	2000		1967	1773	2060	
27	2250		2034	1722	2063	
28	2400			1905	2131	
29	2400				2164	

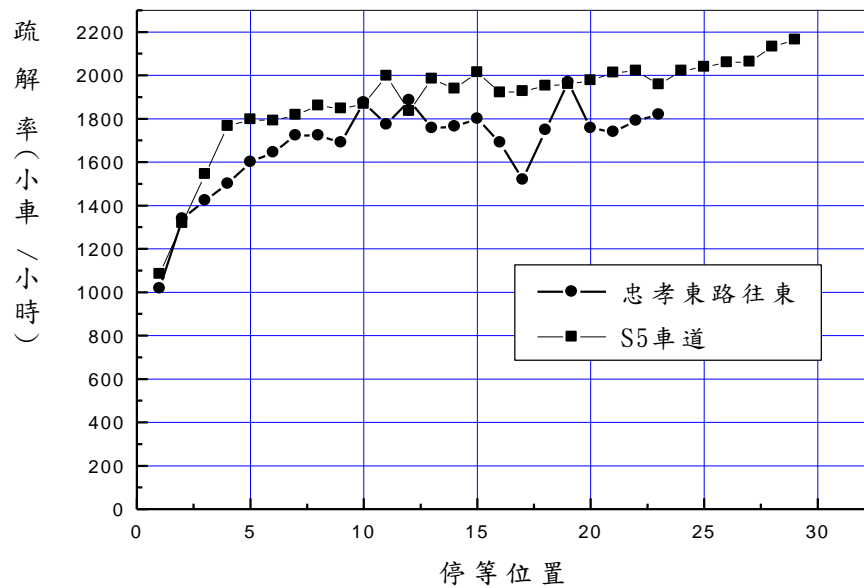


圖 6-8 標線分隔之地下道疏解率

6.3.2 直行大車之直行小車當量

直行大車之直行小車當量 E_{TS} 可訂定如下：

$$E_{TS} = \frac{H_B(G)}{H_S(G)} \quad (6.1)$$

此式中，

$H_B(G)$ = 在綠燈時段為 G 秒中直行大車平均疏解車距（秒）；

$H_S(G)$ = 在綠燈時段為 G 秒中直行小車平均疏解車距（秒）。

在調查期間內於各地下道所蒐集到大車平均疏解車距，如表 6.7 所示。本計畫利用停等位置在第 10 停等位置後之小車平均疏解車距，進行比較，經利用式 6.1 可估計各地下道之直行大車的直行小車當量約在 2.34~2.60 之間，此數值明顯大於一般平坦車道，顯示地下道出口之幾何狀況的確會影響下游號誌化路口之疏解特性。

表 6.7 大車平均疏解車距

地下道	方向	大車平均疏解車距(秒/車)	樣本數	小車平均疏解車距(秒/車)	<i>pce</i>
復興北路	北	5.34	14	2.05	2.60
復興北路	南	4.93	16	1.93	2.55
基隆路	北	4.80	49	2.03	2.36
忠孝東路	東	4.72	9	2.02	2.34

註：表中小車平均疏解車距係指第 10 停等位置之後的平均疏解車距。

6.3.3 綠燈時段與疏解車數之關係

本計畫進一步利用表 6.1～表 6.4 之資料，建立綠燈時段長度與疏解直行小車數之關係，分別如圖 6-9 及圖 6-10 所示。各地下道直行車道綠燈時段(g)與可疏解小車數(N_{gyi})之關係，可整理如表 6.8 之關係式。從圖 6-9 及圖 6-10 顯示，各地下道之疏解率大致均低於基準車道 S1 車道或 S5 之疏解率。

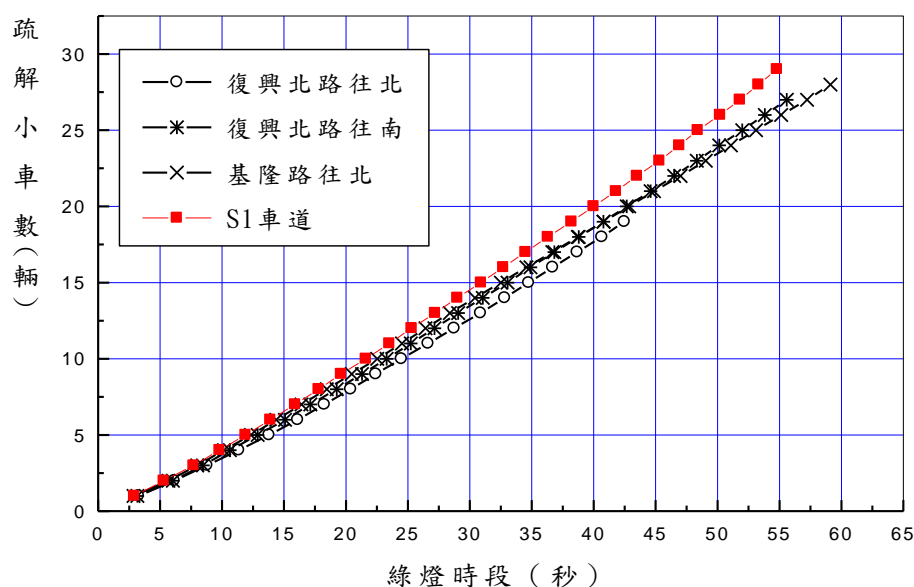


圖 6-9 實體分隔之地下道綠燈時段長度與可疏解小車數之關係

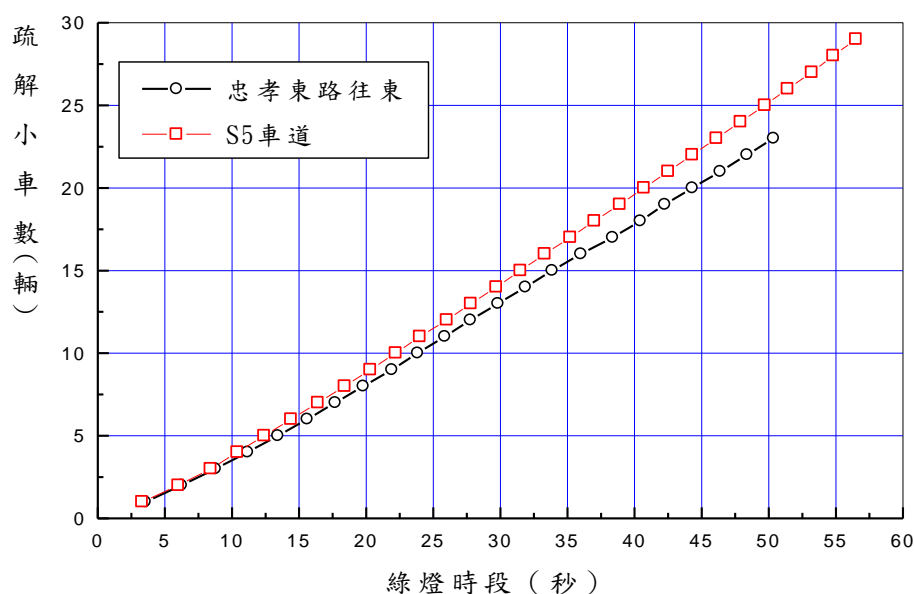


圖 6-10 標線分隔之地下道綠燈時段長度與可疏散小車數之關係

表 6.8 直行快車道 N_{gyi} (小車)之估計模式

車道類型	估計模式	g 之範圍(秒)
S1 基準車道	$N_{gyi} = -0.77 + 0.475 g + 1.273 \times 10^{-3} g^2$ $N_{gyi} = -3.69 + 0.598 g$	5~55 >55
復興北路地 下道往北	$N_{gyi} = -0.36 + 0.368 g + 2.096 \times 10^{-3} g^2$	5~45
復興北路地 下道往南	$N_{gyi} = -0.69 + 0.435 g + 1.112 \times 10^{-3} g^2$	5~55
基隆路地下 道往北	$N_{gyi} = -0.73 + 0.475 g + 1.917 \times 10^{-4} g^2$	5~50
S5 基準車道	$N_{gyi} = -0.71 + 0.422 g + 1.500 \times 10^{-3} g^2$ $N_{gyi} = -8.68 + 0.638 g$	5~70 >70
忠孝東路地 下道往東	$N_{gyi} = -0.841 + 0.438 g + 7.418 \times 10^{-4} g^2$	5~50

本計畫利用表 6.8 之各式，可以分別計算不同綠燈時段長度(g)時，各直行快車道可疏散車數 N_{gyi} (小車)。以 S1 及 S5 車道之可疏散車數為基準，其他地下道直行車道小車疏散率，可利用與基準疏散率(S1 與 S5)之比值來表示，如表 6.9，表中之比值會隨綠燈長度而變。

表 6.9 各地下道直行車道小車疏解率與基準疏解率(S1 與 S5)之比值

綠燈 時段 (秒)	S1 車道 疏解車數 (輛)	與 S1 之比值			S5 車道 疏解車數 (輛)	與 S5 之比值 忠孝(東)
		復興(北)	復興(南)	基隆(北)		
5	1.6	0.96	0.95	1.03	1.4	0.90
7	2.6	0.89	0.93	1.00	2.3	0.94
9	3.6	0.87	0.92	0.99	3.2	0.95
11	4.6	0.86	0.92	0.98	4.1	0.96
13	5.6	0.85	0.92	0.98	5.0	0.97
15	6.6	0.85	0.92	0.98	6.0	0.97
17	7.7	0.84	0.91	0.96	6.9	0.97
19	8.7	0.85	0.92	0.96	7.8	0.97
21	9.8	0.85	0.91	0.95	8.8	0.97
23	10.8	0.85	0.92	0.95	9.8	0.97
25	11.9	0.85	0.91	0.95	10.8	0.97
27	13.0	0.85	0.91	0.94	11.8	0.97
29	14.1	0.86	0.91	0.94	12.8	0.97
31	15.2	0.86	0.91	0.93	13.8	0.97
33	16.3	0.86	0.91	0.93	14.8	0.97
35	17.4	0.87	0.91	0.93	15.9	0.97
37	18.5	0.87	0.91	0.92	17.0	0.97
39	19.7	0.87	0.91	0.92	18.0	0.97
41	20.8	0.88	0.91	0.92	19.1	0.97
43	22.0		0.91	0.91	20.2	0.96
45	23.2		0.91	0.91	21.3	0.96
47	24.4		0.91	0.90	22.4	0.96
49	25.6		0.91	0.90	23.6	0.96
51	26.8		0.91	0.90	24.7	0.96
53	28.0		0.91			
55	29.2		0.91			

實體分隔的三個直行車道疏解率，在綠燈起亮 5 秒左右，復興北路往北及往南之疏解率約為 S1 車道之 95%，但基隆路往北則為 S1 車道之 103%。綠燈起亮 11 秒左右，復興北路往北與往南之疏解率約為 S1 車道之 86%及 92%，基隆路往北則為 S1 車道之 98%。在綠燈始亮

39 秒之後約為 S1 車道疏解率之 87%，往南方向則為 91%；基隆路則為 S1 車道之 92%。大致上而言，復興北路往北車道之疏解率約為 S1 車道之 87%，往南車道之疏解率約為 S1 車道之 91%，基隆路則約為 S1 車道之 93%。

復興北路地下道往北及往南之坡度直接緊鄰停止線，故可能造成疏解率低於 S1 車道之現象；至於基隆路地下道往北車道，疏解率相對較高，可能與地下道爬坡結束後，與下游停止線還有 23 公尺有關。

中央標線分隔之忠孝東路地下道往東車道之疏解率，與 S5 車道之比較，綠燈剛開始之初，疏解率略低於 S5 車道（約為 90%），11 秒之後該車道約略都維持在 S5 車道之 97% 左右。這可能是因為該地下道主要穿越中山北路，縱坡度較緩（5.8%，坡度長度約 100 公尺）、坡度終點與下游天津街之距離約 50 公尺有關。

6.3.4 地下道出口路段之自由速率

本計畫進行臺北市都市地下道停止線上游約 50 公尺處之自由速率調查，以嘗試探討市區地下道對於下游號誌化路口停等車疏解率之影響關係。關於觀測地點，如有地下道迴轉道（如復興北路地下道往北），則利用迴轉道之上方（游）進行觀測；如號誌化路口有行人陸橋或下游建築物（如基隆路地下道往北、林森南路往南），則利用行人天橋或借用建物進行觀測；如無適當地點，則以下游路側或道路分隔島在有遮蔽狀況（不影響車流運行）下，進行自由速率資料之蒐集。

自由速率之觀測樣本蒐集，主要觀測在離峰時段之綠燈後段車輛，其前方約 4~5 秒行車間隔無其他車輛之速率。此項資料相當不易蒐集，一方面是市區道路（地下道亦然）通常處於高流率狀況（自由速率必須是低流率車流狀況），故通常於一個離峰號誌化週期，僅能蒐集很少數的樣本（甚至沒有樣本）；另一方面，為確保對自由車流車輛之認定，此項工作均由共同主持人實地蒐集。本計畫目前已蒐集之市區地下道上游 50 公尺自由速率資料如表 6.10 所示。表 6.10 顯示，同一地下道之內車道與外車道小車平均自由速率差異不大，例如基隆路

北向、復興北路北向、林森南路南向等之地下道；但不同地下道之間，則存在一些差異。

表 6.10 市區地下道停止線上游 50 公尺之直行小車自由速率

地下道	方向	車道別	小車自由速率			樣本數
			平均值	標準差	估計誤差	
復興北路	北	內車道	42.05	4.98	0.94	108
復興北路	北	外車道	41.48	3.80	0.83	81
復興北路	南	內車道	42.05	4.49	0.85	108
基隆路	北	內車道	54.89	6.77	1.24	114
基隆路	北	外車道	54.48	5.64	1.63	45
林森南路	南	內車道	47.81	6.69	1.24	112
林森南路	南	外車道	46.77	7.04	1.37	101
信義路	東	內車道	47.14	4.69	1.02	81

6.3.5 幾何設計與平均自由速率、疏解率關係

為探討市區地下道幾何設計狀況對下游號誌化路口之疏解特性的影響，有必要進一步了解市區地下道之縱剖面。本計畫雖函請臺北市政府工務局協助取得臺北市的地下道竣工圖，但實際接洽結果顯示，資料庫相當不完整，僅能順利取得零星的地下道資料。因此，本計畫利用很有限的現場資料、幾何設計資料等，整理得表 6.11。

表 6.11 地下道基本特性比較分析

地下道	方向	與基準疏解率之比值	平均自由速率(km/h)	地下道長度(m)	坡度終點與停止線距離(m)	停止線上游 50 公尺之坡度(%)	最低點與坡度終點之高程差(m)	速限(km/h)
復興北路	北	0.87	42.05	677	0	7.8	16.15	40
復興北路	南	0.91	42.05	677	0	8.0	14.66	40
基隆路	北	0.93	54.89	1050	23	5.9	10.96	50
林森南路	南	--	47.81	685	0	6.5	6.50 [*]	50
信義路	東	--	47.14	370	110	0.0	6.53	50
忠孝東路	東	0.97	--	231	50	0.0	4.85	50

*：林森南路之數值為估計值。

由表 6.11 有以下觀察：

1. 只有復興北路地下道之速限為 40 公里/小時，其餘地下道均為 50 公里/小時。而這些地下道中，復興北路地下道之平均自由速率相對較低，顯示速限可能影響平均自由速率。
2. 長度較長之地下道，於地面下之平直路段相對較長，小車於通行地下道時之自由速率，可能較高。
3. 地下道坡度終點如緊鄰下游號誌化路口，其停等車必定明顯受到坡度之影響，疏解率可能相對較低。若是坡度終點與下游停止線之距離較長，則可有較高的平均自由速率。
4. 停止線上游 50 公尺處之坡度，理論上會與停等車疏解特性有關；亦即如果坡度較陡，則較不易疏解，平均自由速率可能較低，而如果停止線上游 50 公尺之坡度平緩，則可能有較高平均自由速率。
5. 市區地下道最低點與路面之高程差，顯示由地下道向下游擬通過路口時，必須要較大的向上運動，阻力可能較大，會影響疏解率。

經由前述之討論，本計畫利用表 6.11 資料構建估計平均自由速率的模式，以下兩式的統計參數均顯著，但從方便應用的觀點，以式(6.3)較為何宜。

$$V_f = 17.643 + 0.0181 L + 0.4559 SL - 0.7726 G \quad (6.2)$$

$$R^2 = 0.99 \quad F = 0.016$$

$$V_f = 8.202 + 0.0168 L + 0.5626 SL + 0.0419 D \quad (6.3)$$

$$R^2 = 0.99 \quad F = 0.000$$

此兩式中，

V_f = 地下道下游路口停止線之上游 50 公尺處之平均自由速率
(公里/小時)；

L = 地下道長度 (公尺)；

SL = 地下道之速限 (公里/小時)；

G = 停止線上游 50 公尺之坡度 (%)；

D = 地下道坡度終點與停止線之距離 (公尺)。

至於這些地下道幾何條件與疏解率（與基準車道之疏解車數比值表示）之關係，目前因為樣本還太少，只觀察到其與最低點與坡度終點之高程差可能有關，未來還需要更多現場資料，以進行相關的討論與分析。

本計畫預計在後續的研究，繼續進行以下工作：

- 1.繼續蒐集疏解率與自由速率資料。
- 2.繼續探討自由速率與幾何設計之關係。
- 3.探討地下道停等車疏解率與其幾何設計、平均自由速率的關係。
- 4.構建都市地下道容量估計方法。

第七章 高速公路坡度路段車流特性

7.1 背景

交通界對臺灣各種公路上坡度路段車流特性的了解很欠乏，因此目前沒有可靠的資料可供規劃及設計之用。為了克服這問題，運研所從 2010 年起開始在高速公路上蒐集有關坡度車流特性的資料[7]。因為資料蒐集不易，所以當年的工作對象只限於國道一號三義路段的自由速率特性。坡度路段車流特性研究工作的最終目的是了解流率與速率關係如何受到車流狀況(如重車比例及流率)、幾何設計及速限的影響。

坡度路段的車流特性受車種及幾何設計的影響很大。目前研究工作最大的困擾是很難取得長路段(2~5 公里)縱切面(profile)的完整資料(如縱切線開始地點，終止地點及相關坡度)。另一個問題是國道公路上雖然有車輛偵測器，但是偵測器不一定在需要探討車流特性的地點，而且偵測器資料也可能因車流不大或其他因素而不適用。因此目前的工作著重於探討坡度上之平均自由旅行速率。自由速率對流率與速率的關係有很大的影響。

2010 年研究工作的對象限於國道一號公路三義北上路段。此路段及其反向(南下)路段在 148K+173 及 155K+200 之間有詳細的縱切面資料，亦有一連串不同坡度的上坡及下坡，所以適合探討大車在坡度路段的行車特性。三義北上路段蒐集的自由速率資料曾用於測試及微調一將來擴充之後可用來模擬坡度路段交通作業的一模式。此模式稱為「貨車速率模擬模式(Truck Speed Simulation Model，簡稱 TSS 模式)」。

TSS 模式每 1/10 秒，估計重車的加速率一次，然後推進模擬車輛。使用此模式時須考慮許多行車狀況做為輸入資料[7]。主要的輸入資料包括：

- 在模擬路段起點的平均自由速率
- 在平坦路段的平均自由速率

- 在下坡時之最高平均自由速率
- 每一縱切線之起點，終點及坡度
- 車輛之質重(mass)
- 車輛之馬力

2010 年之研究顯示 TSS 模式能合理的模擬北上大車在三義路段的自由速率。但是該模式是否能合理的模擬其他路段上大車的自由速率是一疑問。另外一問題是在長的下坡路段上，駕駛員可能須煞車以避免車速增高到危險或違法的程度，但是目前對下坡時駕駛員願意維持的最高速率則一無所知。

針對上述問題，本計畫繼續在國道一號高速公路上數個地點蒐集自由速率的資料，然後整合這些資料及 2010 年的資料來探討自由速率特性並測試及微調 TSS 模式。

7.2 北上 149K+773 及 147K+950 之間自由速率

國道一號高速公路北上在 149K+773 及 147K+50 之間的路段在三義附近。根據 2010 年的資料[7]，此路段上三地點之坡度及外車道上大車（包括大貨車及聯結車）之平均自由速率如下：

149K+773（坡度＝－2.84%）：83.0 公里／小時

148K+873（坡度＝－2.60%）：86.7 公里／小時

148K+173（坡度＝－3.85%）：91.7 公里／小時

從這些資料可見，大車在下坡時，速率可能增高。但是速率會增高到什麼程度則須進一步探討 148K+173 下游下坡地點的自由速率。從 148K+173 到下坡終點 146K+800 還有 1.4 公里左右，但是因為沒有適合讓調查人員在路旁站立之地點，本計畫只能在 148K+173 下游 223 公尺處(147K+950)用雷射槍蒐集自由速率樣本。結果列於表 7.1。

表 7.1 三義路段北上車輛在 148K+173 及 147K+950 之平均自由速率

車道	車種	148K+173 (2010 年資料) ; 坡度=-3.85%			147K+950 (2011 年資料) ; 坡度=-3.19%		
		自由速率			自由速率		
		樣本數	平均數 (Km/h)	標準差 (Km/h)	樣本數	平均數 (Km/h)	標準差 (Km/h)
1	小車	80	103.7	5.7	114	103.5	5.6
2	小車	84	100.8	5.9	219	99.9	6.6
	公車	30	98.8	4.7	27	98.1	5.3
	貨車	30	98.4	6.5	30	98.0	5.8
3	小車	81	97.1	7.8	83	99.2	8.4
	公車	89	96.2	5.4	72	95.8	6.2
	貨車	91	91.7	6.7	232	90.9	9.5

表 7.1 中之貨車包括大貨車及聯結車。從此表可知從 148K+173 繼續下坡到 147K+950 時，各車種的平均自由速率沒有明顯的變化。中間車道（第 2 車道）上貨車平均自由速率維持在 98 公里/小時左右。外車道（第 3 車道）上之貨車可能總重量較高，所以平均自由速率較低。如將貨車根據載重情況分為載重車（大貨車有貨物或聯結車有載重）及非載重車（包括空車或貨物不多、操作較靈活之車輛），表 7.2 顯示在 147K+950 處載重及非載重大車自由速率的差距在 4 公里/小時以內。載重聯結車之速率比非載重聯結車之速率高。這可能是樣本車性能及駕駛行為不同所造成。

表 7.2 三義路段貨車在 147K+950（坡度：-3.175%）之自由速率

車道	車種	自由速率		
		平均數 (Km/h)	標準差 (Km/h)	樣本數
2	非載重貨車	92.9	12.9	59
	載重貨車	89.5	8.4	114
3	非載重聯結車	91.0	5.4	10
	載重聯結車	91.9	8.8	49

備註：第 3 車道為外車道。

7.3 南下 146K+948 及 154K+000 之間的平均自由速率

2010 年期間運研所曾在 146K+948 及 154K+000 之間五個地點蒐集自由速率資料。此路段在三義附近，其上坡方向有一爬坡道，爬坡道上下游則有 3 個車道。這路段的幾何設計縱切面如圖 7.1 所示。本計畫在接近下坡終點 153K+850 及 154K+000 兩地點補充蒐集自由速率資料。這些資料蒐集工作的結果如表 7.3 所示。

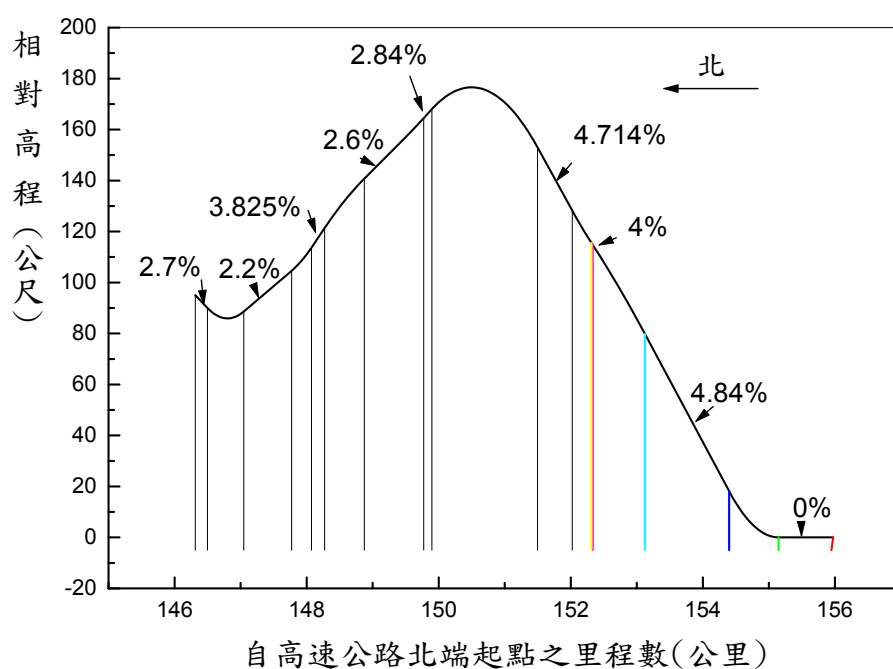


圖 7.1 三義附近上下坡路段縱切面

表 7.3 所列之自由速率有下列的現象：

- 1.內車道小車從 146K+948 爬坡 1.3 公里到達 148K+273 時的平均自由速率只降低 4 公里/小時，而且仍能夠維持在 100 公里/小時以上，坡度減少或變成下坡之後，車速稍微增加。
- 2.不論車種，越往外側的車輛有越低的自由速率。這現象反映一段不願意開快車及重量較大之車輛有靠右行駛的習慣。
- 3.即使上坡長度只有 1.3 公里，而且坡度不超過 3.9%，大車及小車的自由速率有顯著的差別。下坡時這兩種車輛自由速率的差距則縮小。

表 7.3 三義附近南下之上下坡路段平均自由速率

位置	坡度 (%)	車道	車種	自由速率		
				樣本數	平均數 (Km/h)	標準差 (Km/h)
146K+948	+1.29	1	小車	80	105.8	5.8
		2	小車	81	98.6	5.6
		2	公車	32	97.7	4.9
		2	貨車	34	94.2	5.9
		3	小車	81	96.4	7.4
		3	公車	85	93.7	6.0
		3	貨車	93	87.1	7.6
148K+273	+3.852	1	小車	82	101.8	5.7
		3	小車	79	97.8	8.0
		3	公車	79	88.9	5.0
		3	貨車	82	85.8	7.1
		4	小車	93	88.1	10.4
		4	公車	56	86.9	5.7
		4	貨車	78	75.7	8.5
149K+898	+2.84	1	小車	80	102.8	6.7
		3	小車	82	96.5	8.2
		3	公車	80	89.6	5.8
		3	貨車	82	85.5	9.9
		4	小車	35	86.8	6.9
		4	公車	43	88.5	6.8
		4	貨車	91	69.0	13.5
152K+023	-4.714	1	小車	81	101.3	6.9
		2	小車	80	98.2	7.0
		2	公車	57	94.9	3.9
		2	貨車	18	91.7	5.3
		3	小車	65	92.8	8.5
		3	公車	87	89.7	6.2
		3	貨車	80	86.7	7.6
152K+323	-4.000	1	小車	80	105.4	6.2
		2	小車	78	101.2	6.4
		2	公車	32	95.9	4.1
		2	貨車	33	97.0	5.5
		3	小車	81	95.6	8.6
		3	公車	46	91.5	7.5
		3	貨車	84	87.2	6.5

表 7.3 三義附近南下之上下坡路段平均自由速率(續)

位置	坡度 (%)	車道	車種	自由速率		
				樣本數	平均數 (Km/h)	標準差 (Km/h)
153K+850	-4.840	1	小車	114	103.5	5.6
		2	小車	219	99.9	6.6
		2	公車	27	98.1	5.3
		2	貨車	30	98.4	5.8
		3	小車	83	99.2	8.4
		3	公車	72	95.8	6.2
		3	貨車	163	90.7	9.9
146K+948	+1.29	1	小車	173	103.4	6.0
		2	小車	274	99.0	5.8
		2	公車	27	96.8	6.1
		2	貨車	6	97.8	5.5
		3	小車	106	97.4	8.5
		3	公車	48	95.6	5.9
		3	貨車	234	87.2	5.9

註：車道 1 為內車道，車道 4 為爬坡車道。

4.下坡時外車道(車道 3)貨車的平均自由速率從 152K+023 處之 86.7 公里/小時，增高到 152K+323 處之 87.2 公里/小時，然後繼續增高到 153K+850 處之 90.7 公里/小時。但是行進到 154K+000 處時，平均自由速率降到 87.2 公里/小時。這些速率變化可能是在上述各地點樣本車駕駛行為、車輛性能及車重不同所造成。此外，從 152K+023 到 154K+000，將近 2 公里的下坡（坡度 $-4\% \sim -4.84\%$ ）沒有造成平均自由速率持續而且顯著的增加，這現象表示駕駛員煞車以保持一安全速率。外車道的貨車較重，其下坡最高平均自由速率大約在 90 公里/小時左右（相當於大車速限）。中間車道（車道 2）之最高平均自由速率大約在 98 公里/小時左右。

7.4 南下 136K+400 及 137K+200 之間縱切線上自由速率

苗栗交流道附近南下 136K+400 及 137K+200 之間的路段為一上坡縱切線，其坡度為 5%。在 136K+400 處有 3 車道。上坡之後有一增設

的爬坡道。本計畫在 136K+400 處蒐集所有 3 車道之自由速率資料，亦在 137K+200 處蒐集最內側車道（車道 1）及最外側 2 車道（車道 3 及 4）之自由速率資料。結果如表 7.4 所示。

表 7.4 苗栗交流道附近南下 136K+400 及 137K+200 之間
上坡（坡度 5%）縱切線上自由速率

車道	車種	136K+400			137K+200		
		自由速率			自由速率		
		樣本數	平均數 (Km/h)	變異數 (Km/h)	樣本數	平均數 (Km/h)	變異數 (Km/h)
1	小車	137	103.7	6.0	184	98.9	6.3
2	小車	205	99.3	7.4	—	—	—
	公車	20	95.3	5.0	—	—	—
	非載重車	15	94.0	7.0	—	—	—
	載重車	—	—	—	—	—	—
	非載重 聯結車	—	—	—	—	—	—
	載重 聯結車	3	86.7	5.9	—	—	—
3	小車	77	95.8	10.8	212	92.7	9.9
	公車	52	93.8	6.1	109	84.6	7.5
	非載重車	72	92.0	6.6	85	83.6	7.9
	載重車	71	82.0	6.7	22	73.3	9.3
	非載重 聯結車	17	90.8	8.0	20	83.4	8.6
	載重 聯結車	49	82.0	6.6	5	75.2	9.8
4	小車	—	—	—	10	86.7	15.3
	公車	—	—	—	4	79.0	9.8
	非載重車	—	—	—	45	78.2	9.0
	載重車	—	—	—	56	67.4	8.7
	非載重 聯結車	—	—	—	15	80.6	7.6
	載重 聯結車	—	—	—	70	57.6	11.7

從表 7.4 可知在上述上坡路段的平均自由速率有下列現象：

1. 5%之上坡在 800 公尺之距離內對小車的自由速率有明顯的影響。內車道（車道 1）小車平均自由速率降低了 4.8 公里/小時。外車道小車（第 3 車道）進入爬坡道行進 800 公尺之後的平均自由速率降低了 9.1 公里/小時。繼續使用第 3 車道的小車也約減少了 3.1 公里/小時的速率。
2. 上述上坡路段對外車道上大客車，貨車及聯結車的平均自由速率有很大的影響。以有載重的貨車為例，從第 3 車道（外車道）進入爬坡道並行進 800 公尺之後，平均自由速率從 82 公里/小時降到 67.4 公里/小時。載重聯結車速率的下降程度更大（從 82 公里/小時降到 57.6 公里/小時）。非載重之大貨車或聯結車受上坡的影響比較小。
3. 不論車種，越往外側的車輛有越低的平均自由速率。這車流特性與其他路段上之車流特性相同。

7.5 北上 136K+400 及 137K+250 之間縱切線上自由速率

苗栗交流道附近北上 136K+400 及 137K+250 之間的路段為一下坡路段，其坡度為 5%。此路段有 3 車道。現場資料所顯示之平均自由速率列於表 7.5。

表 7.5 中有關第 2 車道上大車及第 3 車道上非載重聯結車的平均自由速率因樣本數不充足，所以代表性不佳。內車道小車從 137K+250 行進到 136K+400 時，平均自由速率從 103.6 公里/小時增加到 106.4 公里/小時。外車道上非載重大貨車的平均自由速率從 89.2 公里/小時增高到 95 公里/小時。載重大貨車及聯結車在 136K+400 地點的平均自由速率不超過 91 公里/小時。這現象與前述在三義下坡路段（152K+023 到 154K+000）的自由速率特性相似。因此在沒有現場資料的情況下，速限 90 公里/小時下坡路段上載重及非載重大貨車及聯結車的最高平均自由速率可分別假設為 90 及 97 公里/小時。

表 7.5 北上 136K+400 及 137K+250 之間下坡

(坡度 5%) 縱切線上自由速率

車道	車種	137K+250			136K+400		
		自由速率			自由速率		
		樣本數	平均數 (Km/h)	變異數 (Km/h)	樣本數	平均數 (Km/h)	變異數 (Km/h)
1	小車	183	103.6	6.1	221	106.4	6.5
2	小車	308	98.9	5.9	226	100.8	6.7
	公車	22	93.7	7.0	30	98.9	5.2
	非載重車	11	94.0	5.8	18	96.5	7.2
	載重車	8	94.1	6.1	5	104.0	4.6
	非載重 聯結車	3	94.3	2.1	5	96.4	4.6
	載重 聯結車	3	88.3	4.0	5	94.2	5.3
3	小車	148	95.1	8.0	93	98.0	8.6
	公車	79	90.4	6.2	71	95.4	5.4
	非載重車	55	89.2	7.2	61	95.0	6.7
	載重車	81	85.3	7.9	58	87.4	8.0
	非載重 聯結車	10	89.1	5.2	18	95.3	5.2
	載重 聯結車	60	81.1	7.2	73	91.0	6.3

備註：第 3 車道為外車道。

7.6 測試及微調 TSS 模式

車輛之馬力及重量是影響加速性能及最高速率之主要因素。現場調查自由速率時，無法取得樣本車重量及馬力的資料。根據臺灣車輛測試中心在 2003~2007 年間合格發証的大車馬力及核定之總載重 [7]，表 7.6 顯示大車馬力及質重的範圍及中位數。測試 TSS 模式時，本計畫假設大貨車的馬力為 190KW，聯結車的馬力為 250KW，大貨車及聯結車之整合代表性馬力為 220KW。至於質重，本計畫在表 7.6 所列之範圍內，尋找最能反映現場自由速率特性的質重。

表 7.6 臺灣公路上大車質重及馬力範圍

車種	質重(Kg)			馬力(KW)		
	最高	最低	中位數	最高	最低	中位數
大貨車	38,400	12,540	11,870	220	160	190
半聯結車	47,250	12,000	37,415	340	160	250
全聯結車	45,780	11,140	34,130	340	170	—

初步模擬結果顯示在下坡路段上，如果駕駛員不換檔，不改變引擎速率，而且不煞車以控制車速，則模擬車輛在很短距離就會加速達到在下坡時欲維持的最高速率。現場資料則顯示大車在較長的距離才會達到最高速率。通常在長或陡的下坡路段駕駛員可能換檔，不加油，或煞車以避免速率持續增高到危險或違法的程度。為了反映這些行為所造成的行車特性，本計畫在 TSS 模式根據大車性能所估計，在下坡的加速率用下式來調整：

$$A = A_{\max} \left(0.98 - \frac{2.3363}{1 + e^{\frac{1.0976V - 81.142}{10.964}}} \right) \quad (7.1)$$

上式中，

A = 下坡加速率（公尺/秒²），

A_{\max} = 根據車輛性能，坡度及其他行車環境，但不受人為因素影響時之下坡加速率估計值，

V = 車速（公里/小時）。

從式 7.1 所估計之加速率若低於 $0.12A_{\max}$ ，則下坡加速率須進一步調整如下：

- 1.如下坡之坡度不超過 4%，則 $A=0.12A_{\max}$ 。
- 2.如下坡之坡度等於或大於 4%，而且速率不超過 82.3 公里/小時，則 $A=0.12A_{\max}$ 。
- 3.如下坡之坡度等於或大於 4%，而且速率等於或大於 82.3 公里/小時，則 $A=0.05A_{\max}$ 。

微調後的 TSS 模式列於附於附錄 C。根據此模式，本計畫比較現場及模擬的平均自由速率。結果如表 7.7～表 7.10 所示。

表 7.7 北上從 155K+200 到 148K+173 外側車道大型車
(貨車和聯結車) 自由速率觀測與模擬比較

位置	坡度 (0%)	自由速率觀測值	自由速率模擬值
155K+200	0	92.2	92
153K+123	+4.84	43.1	44.8
152K+318	+4.00	46.5	46.1
151K+496	+4.70	43.2	45.1
149K+773	-2.84	83.0	80.7
148K+873	-2.60	86.7	86.7
148K+173	-3.85	91.7	91.0
147K+950	-3.19	90.9	91.0
模擬輸入： 車重 29,500 公斤，馬力 220 千瓦，起始速度 92 公里/小時； 水平面最高速度 92 公里/小時； 下坡最高速度 91 公里/小時。			

表 7.8 南下從 146K+948 到 154K+000 外側車道大型車
(貨車和聯結車) 自由速率觀測與模擬比較

位置	坡度 (0%)	自由速率觀測值	模擬自由速率
146K+313	-2.70	—	86.0
146K+948	+1.29	87.1	88.0
148K+273	+3.84	75.7	72.6
149K+898	+2.83	69.0	70.4
152K+023	-4.71	86.7	87.7
152K+323	-4.00	87.2	89.0
153K+850	-4.84	90.7	89.0
154K+000	-4.84	87.2	89.0
模擬輸入： 車重 24,500 公斤，馬力 220 千瓦，起始速度 86 公里/小時； 水平面最高速度 92 公里/小時； 下坡最高速度 89 公里/小時。			

表 7.9 南下 136K+400 和 137K+200（坡度 5%）之間
觀測與模擬平均自由速率比較

車種	136K+400 處第 3 車 道速率 (Km/h)	上坡所 用車道 代號	在 137K+200 處之 平均自由速率 (Km/h)		模擬輸 入馬力 (KW)	模擬輸 入質重 (Kg)
			模擬值	觀測值		
非載重 貨車	92.0	3	83.6	83.2	190	9,000
載重 貨車	82.0	3	73.4	73.4	190	12,000
非載重 聯結車	90.8	3	83.3	83.1	250	13,500
載重 聯結車	82.0	3	75.2	75.7	250	16,000
非載重 貨車	92.0	4	78.2	79.0	190	10,000
載重 貨車	82.0	4	67.4	67.3	190	14,500
非載重 聯結車	90.8	4	80.6	80.8	250	14,500
載重 聯結車	82.0	4	57.6	57.6	250	26,500

表 7.10 北上 136K+400（坡度-5%）外車道自由速率
觀測值與模擬值比較

車種	載重 情形	觀測值		模擬值		
		137K+250	136K+400	136K+400 處速度 (Km/h)	輸入 馬力 (KW)	輸入 重量 (Kg)
單體 貨車	載重	85.3	87.4	89.9	190	14,000
	非載重	89.2	95.0	94.3	190	9,000
聯結 車	載重	81.1	91.0	88.5	250	14,000
	非載重	89.1	95.3	94.7	250	12,000

備註：137K+250 至 136K+400 處第 3 車道之車輛移動

表 7.7 及表 7.8 比較不將大車依車種及載重情況分類時，外車道大車在三義北上及南下 146K 及 156K 之間有上下坡時的現場及模擬平均自由速率。表 7.7 中 147K+950 處的自由速率觀察值是根據本計畫之調查結果（見表 7.1），其他自由速率觀察值取自運研所 2010 年之一研究報告[7]。表 7.8 之自由速率觀察值取自表 7.3。

三義北上因為有陡的上坡，所以大車的平均自由速率隨地點的變化相當大。南下速率的變化則較小。TSS 模式之模擬值能合理的反映這些現象。但是模擬北上及南下車輛所用的輸入質重分別為 29,500 公斤及 24,500 斤，相差 5,000 公斤。從這現象可推測北上樣本車的總車重遠高於南下之車重。如將南下大車的質重調高到 26,500 公斤，則在 148K+273 及 149K+898 處的模擬平均自由速率會降低約 2.5 公里/小時。

表 7.9 及表 7.10 之分析對象為大車從一縱切線起點走到同一切線終點的平均自由速率。模擬分析時用起點平均自由速率的現場觀察值做為起始的模擬速率，然後比較在縱切線終點平均自由速率之觀察值及模擬值。此工作將大車依車種及載重情況分類。此外，車輛亦根據車道之使用劃分成從起點第 3 車道（外車道）繼續使用同一車道之車道及從第 3 車道轉進爬坡道（第 4 車道）的車輛。

一般而言，在有爬坡道之路段上，轉進爬坡道的大車預期會比繼續使用原來車道的車輛重。此外，聯結車平均總重量應比大貨車之平均總重量高，因此載重聯結車之速率應比載重大貨車之速率低。表 7.9 及表 7.10 之模擬車輛之質重及自由速率合理的反應上述預期的現象。但表 7.10 中在 136K+400 載重聯結車的自由速率（91.0 公里/小時）反而比在同一地點載重大貨車的自由速率（87.4 公里/小時）高。因此載重聯結車的模擬質重特別低，只有 14,000 公斤。

大車爬坡時之速率深受坡度、坡長及車重的影響。為了分析高速公路坡度路段車流特性，將來應根據在不同地磅站所蒐集及車種及車重資料建立不同區域內代表性車種及車重之分布。

第八章 結論與建議

8.1 結論

- 1.本計畫的主要工作在於探討國道 5 號高速公路上隧道車流特性並編訂一臺灣公路容量手冊新章「公路隧道」之初稿。此外，本計畫亦蒐集都市區地下道車流特性資料以便將來修訂容量手冊第十章。本計畫另外一工作牽涉到高速公路坡度路段上車輛自由速率之調查。此工作之目的在於測試及微調 TSS 模式，以利將來發展分析坡度路段分析方法。
- 2.國道 5 號公路有密集的車流偵測器可提供流量、速率、佔有率及車種組成的資料。多數偵測器的資料可合理的用來探討流率與速率關係。但是目前偵測器所提供的車種資料不可靠。一般而言，國道 5 號公路偵測器的可靠性及準確性仍須進一步改善。探討高速公路主線及進出口匝道交接處車流互動關係所須的資料更須有高度的準確性。本報告第三章的分析資料可供擬定改善方針的參考。
- 3.本報告第四章詳細討論國道 5 號公路上各路段的車流特性，並且指出此公路上限制交通作業效率的地點。比較容易有壅塞情況的路段包括：北上石碇隧道進口附近到其上游約 4 公里之處，北上雪山隧道中點附近到上游之頭城交流道（約 10 公里），及南下石碇隧道一直到彭山隧道（約 10 公里）。
- 4.雪山隧道北上在隧道中點附近的容量只有 2,600 小車/小時（內外車道各為 1,340 及 1,260 小車/小時）。北上隧道進口附近的容量稍高，達 2,700 小車/小時（內外車道各為 1,440 及 1,260 小車/小時）。但是進口進入壅塞狀況然後開始疏解時的流率高於容量。因隧道中點附近的容量不足，所以在假日高流量期間容易造成往上游傳遞的衝擊波，造成隧道進口及其上游路段壅塞情況的惡化。
- 5.北上彭山隧道的容量大約為 3,150 小車/小時（內外車道各為 1,660

- 及 1,490 小車/小時)。北上從雪山隧道到彭山隧道出口的路段很少有嚴重壅塞之情況。這現象可能是進入彭山隧道之流率受能通過雪山隧道流率之限制，而且從坪林交流道進口匝道進入主線的流率不大，因此進入彭山隧道之流率也很少超過彭山隧道之容量。
6. 石碇隧道北上路段的容量大約為 3,150 小車/小時（內外車道各為 1,560 及 1,590 小車/小時）。此隧道進口及上游路段因受進口附近進口匝道車流的影響，在假日時常有嚴重壅塞情況。
7. 石碇隧道南下路段的容量大約為 2,950 小車/小時（內外車道各為 1,480 及 1,470 小車/小時）。從此隧道進口一直到彭山隧道中點附近約 10 公里長的路段在假日期間有嚴重塞車的現象。
8. 彭山隧道南下路段的容量大約為 2,990 小車/小時（內外車道各為 1,550 及 1,440 小車/小時）。雪山隧道南下路段及北上路段在隧道中點附近皆有最低的容量。南下路段的容量為 2,880 小車/小時（內外車道各為 1,440 及 1,440 小車/小時），比北上的容量高 280 小車/小時。南下從彭山隧道出口到雪山隧道出口之路段沒有嚴重塞車的現象。其中一原因是從坪林交流道進口匝道進入主線前往雪山隧道的流率很低。
9. 國道 5 號公路之速限曾數度調高。速限從 70 公里/小時調高為 80 公里/小時之後，容量顯著增加。但雪山隧道之速限從 80 公里/小時又調高到 90 公里/小時之後，容量沒有顯著變化。另一方面，速限提高之後，各隧道在不同需求流量狀況下之里程生產量普遍提高。
10. 本計畫所編訂之「公路隧道」初稿根據國道 5 號公路上隧道及主線與進口匝道匯流區之車流特性提供一分析公路隧道服務水準的方法。此方法考慮隧道本身之車流特性，隧道下游主線與進口匝道匯流區之車流特性，及衝擊波之影響以評估隧道交通作業。服務水準等級劃分根據 V/C 比及速限與平均速率之差距。
11. 市區地下道之資料下游號誌化路口停等車的疏散率，可能受到地下道位置及幾何設計的影響。地下道下游停等車之疏散率，有比一

般市區號誌化路口疏解率低的現象。

- 12.大車在上坡路段的平均自由速率深受坡度、坡長、車種及載重情況之影響。TSS 模式能合理的模擬大車在一車串上下坡上不同地點之自由速率。此模式可在將來納入一規模較大的模式來模擬在各種上下坡，流量及車種組成情況下的交通作業。這種模式為協助建立分析坡度路段之一重要工具。

8.2 建議

- 1.「公路隧道」初稿之分析方法只根據國道 5 號公路上隧道車流之特性。國道 1、國 3 及國 6 號高速公路上計有 23 個長 150 公尺到 2.5 公里的隧道。這些隧道對主線交通作業的影響沒有資料可供參考。為了增進「公路隧道」分析方法之適用性，宜在上述隧道中選擇數個代表性隧道作為 2012 運研所在修訂「臺灣公路容量手冊」工作之一研究對象。研究路段須有高尖峰流率，而且最好有車輛偵測器。
- 2.高速公路主線與進口匝道匯流區在高流率的狀況下很容易造成嚴重壅塞。國道 5 號公路上頭城交流道及石碇交流道之進口匝道車流已常造成嚴重壅塞。在彭山隧道及雪山隧道之間的坪林交流道進口匝道目前因車流不大，尚未造成嚴重壅塞，但將來如何控制國道 5 號及其他國道上進口匝道車流以達到最好的交通作業效率應有一策略。訂定管制策略的先決條件是了解匯流區主線及匝道之容量及匯流區進入壅塞狀況前後主線與匯流車流之互動關係。運研所可考慮推動一專案研究這些問題。
- 3.目前有關高速公路、快速道路、多車道公路及雙車道公路上坡路段車流特性的資料普遍缺乏。探討坡度路段車流特性之工作不易。其中一主要原因是缺乏坡度路段幾何設計縱切面及平面線形之詳細資料。因此難以訂定幾何設計與車流特性之關係。研究坡度路段車流特性的路段宜包括一連串上下坡。這工作最少需要知道每一縱切線之起點、終點及坡度。平曲線之起點、終點及曲率

半徑，也是重要幾何設計資料。運研所宜考慮在不同類型公路網內各選擇一套適合研究之路段，然後利用現存資料或實地量測來訂定每一研究路段之幾何設計。選擇研究對象時除了須考慮上下坡的存在之外，也須考慮是否有高的尖峰車流及是否有車輛偵測器可自動蒐集流量、速率及車種組成等資料。

4. 偵測器資料的正確性對將來發展分析方法或交通控制策略有深遠之影響。建議高公局定期測試偵測器之資料並做必要之維護工作。

參考文獻

- 1.交通部運輸研究所，「2001 年台灣地區公路容量手冊」，90-16-1183，民國 90 年 3 月。
- 2.交通部運輸研究所，「臺灣地區多車道郊區公路容量及特性研究（三）」，94-78-1221，民國 94 年 5 月。
- 3.交通部運輸研究所，「市區號誌化路口容量分析及服務水準之研究(2/2)」，96-113-1244，民國 96 年 9 月。
- 4.交通部運輸研究所，「機車專用道、公車設施及都市幹道容量與服務水準研究(2/3)」，99-95-1275，民國 99 年 7 月。
- 5.交通部運輸研究所，「機車專用道、公車設施及都市幹道容量與服務水準研究(3/3)」，99-113-1282，民國 99 年 11 月。
- 6.交通部運輸研究所，「機車專用道、公車設施及都市幹道容量與服務水準研究(1/3)」，97-94-1248，民國 97 年 7 月。
- 7.交通部運輸研究所，「高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性之研究(1/3)」(期末報告初稿)，民國 99 年 11 月。
- 8.*HCM2010, Highway Capacity Manual*, Vol.1~3, Transportation Research Board, National Science Council, Washington, D.C., 2010.
- 9.*Underground Transportation Systems in Europe: Safety Operations and Emergency Response*, FHWA-PL-06-016, Federal Highway Administration, USDOT, Washington, D.C., June 2006.
10. National Fire Protection Association, *NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited Access Highway*, Quincy, Massachusetts, 2011.
11. *National Tunnel Inspection Standards*, Federal Highway Administration, USDOT, Washington, D.C., <http://www.federalregister.gov>, accessed 7/22/2010.
12. Lemke, K., "Road Safety in Tunnels," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1740, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000, pp. 170-174.
13. Sala, G., Brignolo, R., Carrubba, E., Jallasse, U., and Shinar, D., "Improvement of Accident Prevention in Road Tunnel through Intelligent Infrastructures and Intelligent Vehicles Operation," *Proceedings of Intelligent Transportation Systems*, 2003.
14. "Caldecott Tunnel Fire-Definition," www.wordig.com, accessed

12/26/2010.

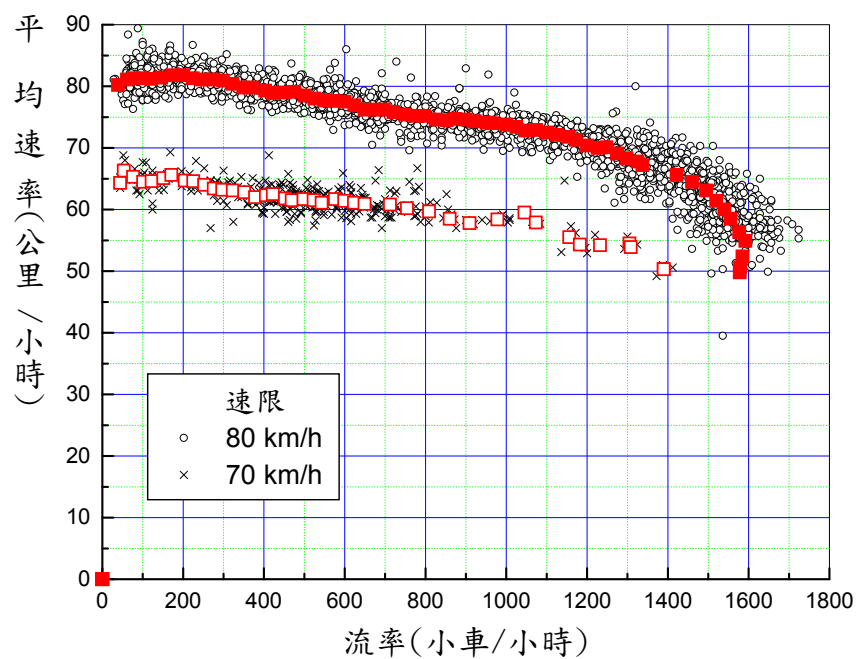
15. "Mont Blanc Tunnel," en.wikipedia.org, accessed 12/26/2010.
16. "Tauern Road Tunnel," en.wikipedia.org, accessed 12/26/2010.
17. "Gotthard Road Tunnel," en.wikipedia.org, accessed 12/26/2010.
18. Khoury, G. A., "EU Tunnel Fire Safety Action," *Tunnels and Tunnelling International*, April 2003, pp.20-23.
19. Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on Minimum Safety Requirements for Tunnels in the Trans-European Road Network, *Official Journal of the European Union* L 201/56 of 7 June, 2004.
20. *FHWA Road Tunnel Design Guidelines*, FHWA-IF-05-023, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C., July 2004.
21. *European Road Lighting Technologies*, FHWA-PL-01-034, USDOT, Federal Highway Administration (International Technology Exchange Program), Sep. 2001.
22. *Best Practices for Roadway Tunnel Design, Construction, Maintenance, Inspection and Operations*, NCHRP20-68A, Scan 09-05, U.S. Domestic Scan Program (Completion date: 12/26/2011).
23. *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements*, American Association of State Highway and Transportation Officials, June 2010.
24. "Regulations, Standards and Guidelines," *Workshop on Safety and Security in Roadway Tunnels*, NCHRP 20-7 Task 230, Irvine, California, Nov. 28-29, 2008.
25. Liu, Z. G., Kashef, A., Loughheed, G., Su, J. Z., Benichou, N., and Almand, R. H., "An Overview of the International Road Tunnel Fire Detection Research Project," www.nfpa.org/assets/files/PDF/Proceedings, accessed 12/26/2010.
26. Liu, Z. G., Kashef, A., Loughheed, G., and Crampton, G. P., "Investigation on the Performance of Fire Detection Systems for Tunnel Applications - Part 1: Full-Scale Experiments at a Laboratory Tunnel," *Fire Technology*, Vol. 47, No. 1, 2010, pp. 164-189.
27. Liu, Z. G., Kashef, A., Loughheed, G., and Crampton, G. P., "Investigation on the Performance of Fire Detection Systems for Tunnel Applications - Part 2: Full-Scale Experiments under

- Longitudinal Airflow Conditions,” *Fire Technology*, Vol. 47, No. 1, 2010, pp. 191-220.
28. Kashef, A., Liu, Z. G., Loughheed, G., Crampton, K., Yoon, G., Hadjisphocleous, and Almand, K. H., “Findings of the International Road Tunnel Fire Detection,” *Fire Technology*, Vol. 45, No. 2, 2008, pp. 221-237.
 29. Manser, M. P., and Hancock, P. A., “The Influence of Perceptual Speed Regulation on Speed Perception, Choice and Control: Tunnel Wall Characteristics and Influence,” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 39, No. 1, 2007, pp. 69-78.
 30. Amundsen, F. H., “Studies of Driver Behavior in Norwegian Road Tunnels,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 9., Issue 1, Jan. 1994, pp. 9-15.
 31. Yousif, S., and Al-Obaedi, J., “Close Following Behavior: Testing Visual Angle Car Following Model Using Various Sets of Data,” *Transportation Research F: Traffic Psychology and Behavior*, Dec. 2010.
 32. Thamm, B.,” Human Factors of Road Tunnel Safety,” *Roads*, World Road Association – PIARC, Vol. 315, No. 314, pp.43-53, 2002.
 33. “Gotthard Tunnel Reopens,” Dec. 21, 2001, Articles.cnn.com, accessed 12/26/2010.
 - 34.張瓊文、林豐博、曾平毅，「雪山隧道內車流特性與容量之分析」，*中國土木水利工程學刊*，第二十二卷第三期，民國 99 年 9 月，頁 141-148。
 35. Washington State Department of Transportation, News Archives, “State Re-evaluate Safety Campaign,” Access May 2008, <http://www.wsdot.wa.gov/news>, 2006
 36. “Anton Anderson Memorial Tunnel,” Alaska State Department of Transportation, www.dot.state.ak.us, accessed 12/26/2010.
 37. Levinson, H. S., Golenberg, M. and Howard, J., ” Callahan Tunnel Capacity Management,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1956, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1985, pp.1-10.
 38. Chin, H. C., and May, A. D., “Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1320, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1991, pp.75-82.

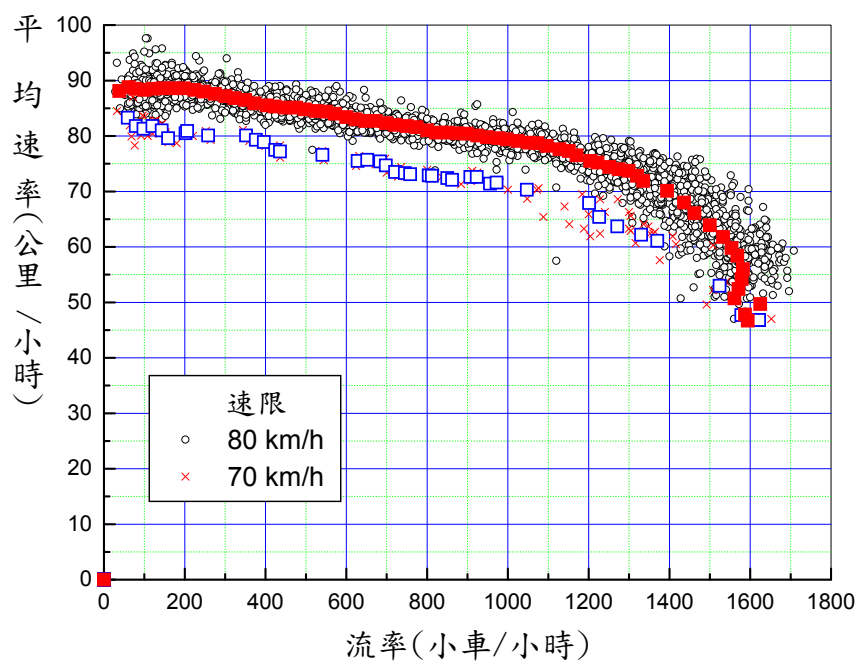
39. *Hub Bound Travel Report*, New York Metropolitan Transportation Council, 2008.
40. Koshi, M., Kuwarara, M. and Acahane, M., “Capacity of Sags and Tunnels on Japanese Motorways,” *ITE Journal*, Vol. 62, No.5, 1992, pp.17-22.
41. *Highway Capacity Manual*, Korea Ministry of Construction, 1992.
42. 林豐博、蘇振維，「國道5號雪山隧道車流特性之研究」，*運輸計劃季刊*，第三十八卷第一期，民國98年3月，頁85-120。
43. *HCM2010 Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2010.
44. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C., 2004.

附錄 A：國 5 隧道內之速率與流率關係

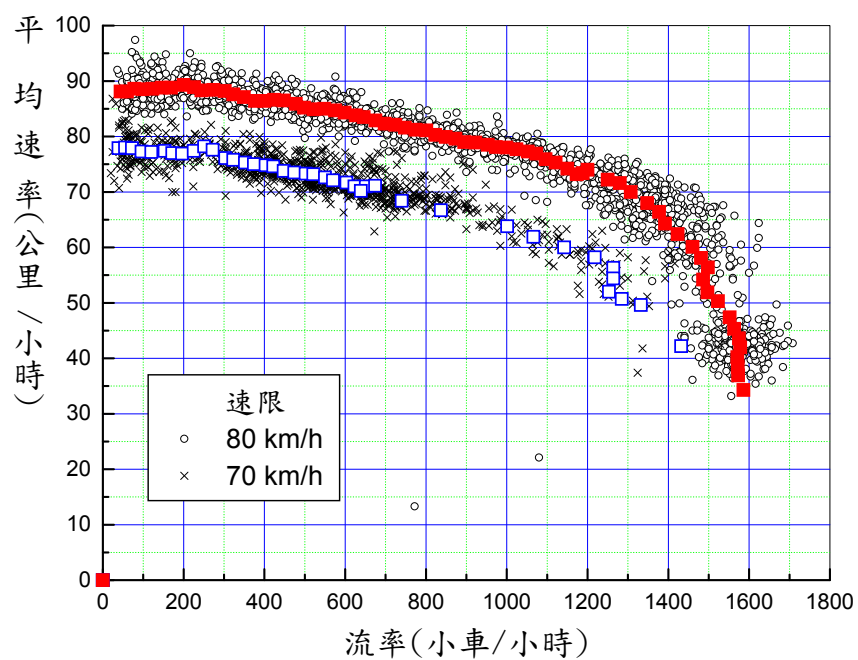
A-1 北上內車道之速率與流率關係



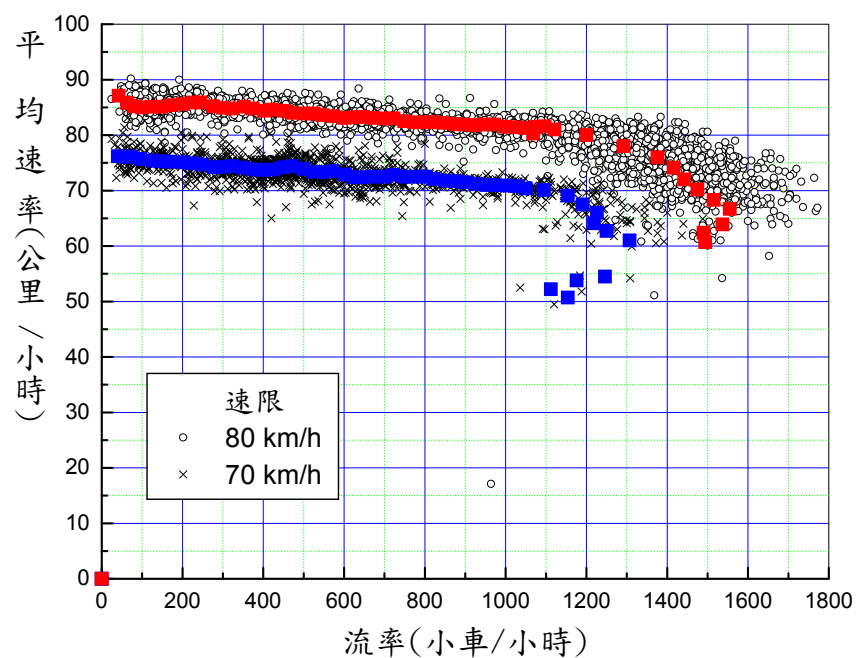
圖A-1NL1 北向0.706k內車道之速率與流率關係



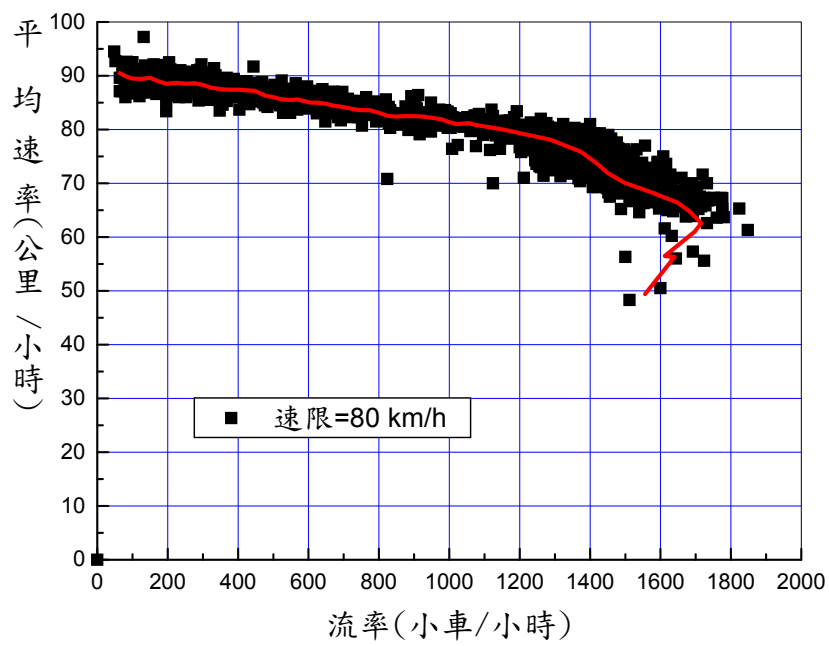
圖A-2NL1 北向1.068k內車道速率與流率關係



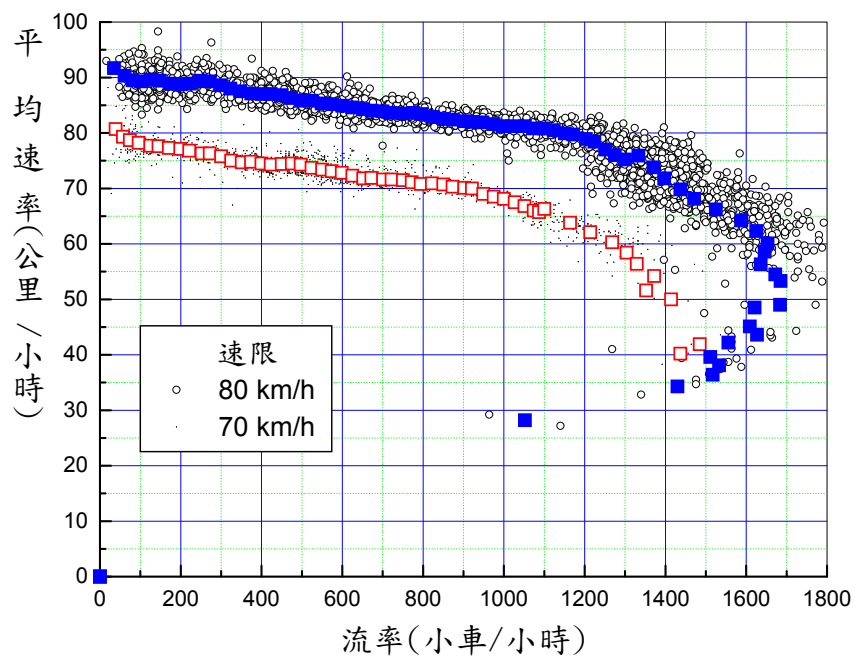
圖A-3NL1 北上3.198k內車道速率與流率關係



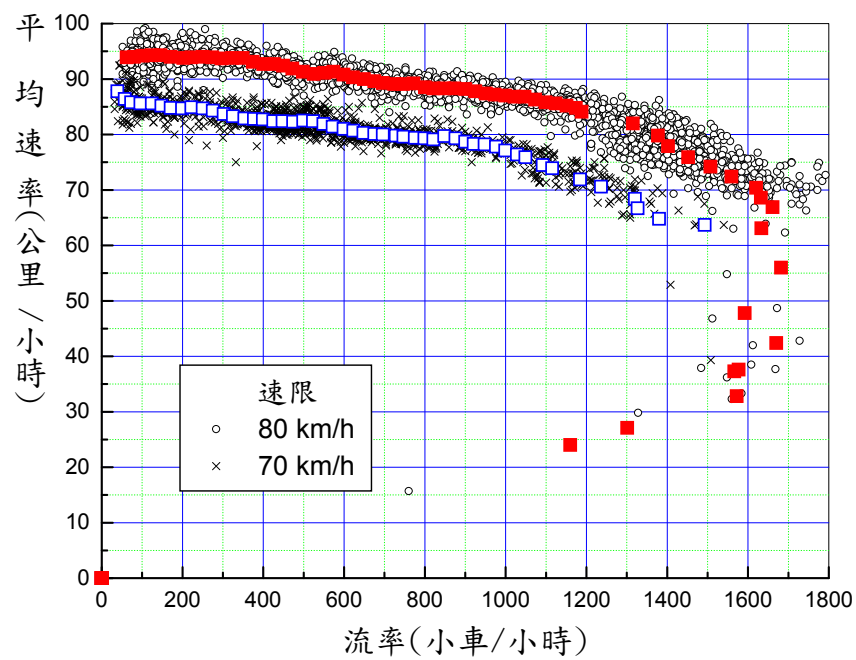
圖A-4NL1 北上9.373k內車道速率與流率關係



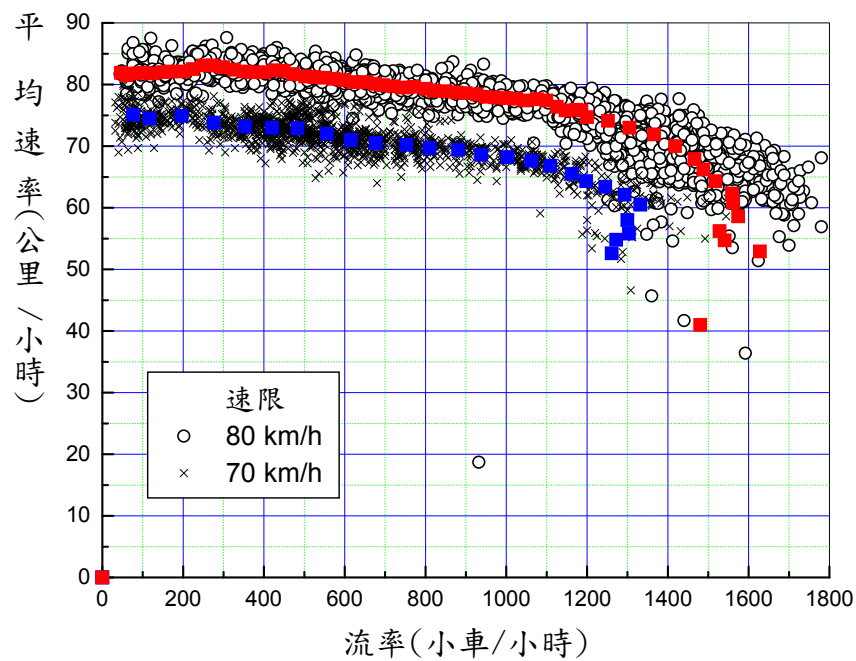
圖A-5NL1 北上9.840k內車道速率與流率關係



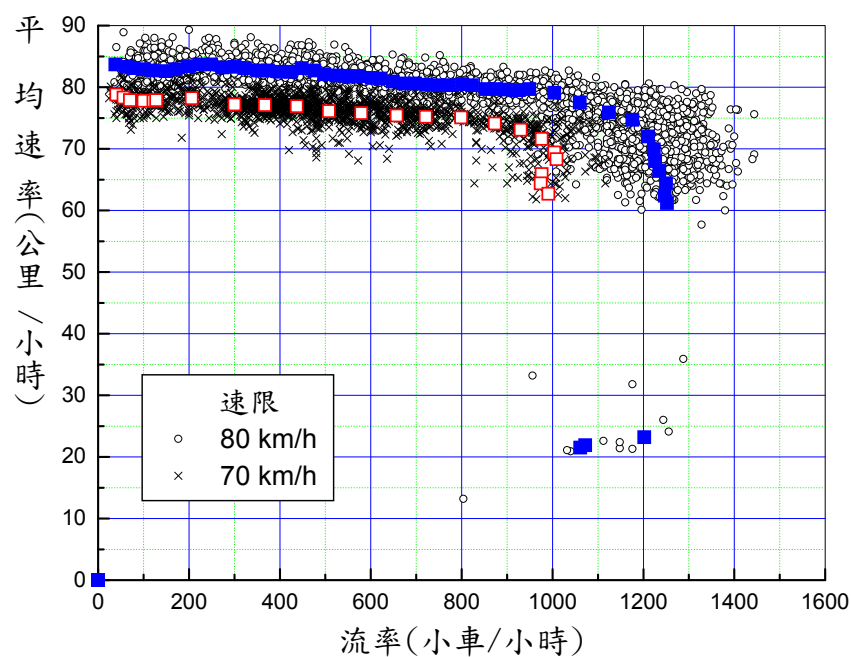
圖A-6NL1 北上11.178k內車道速率與流率關係



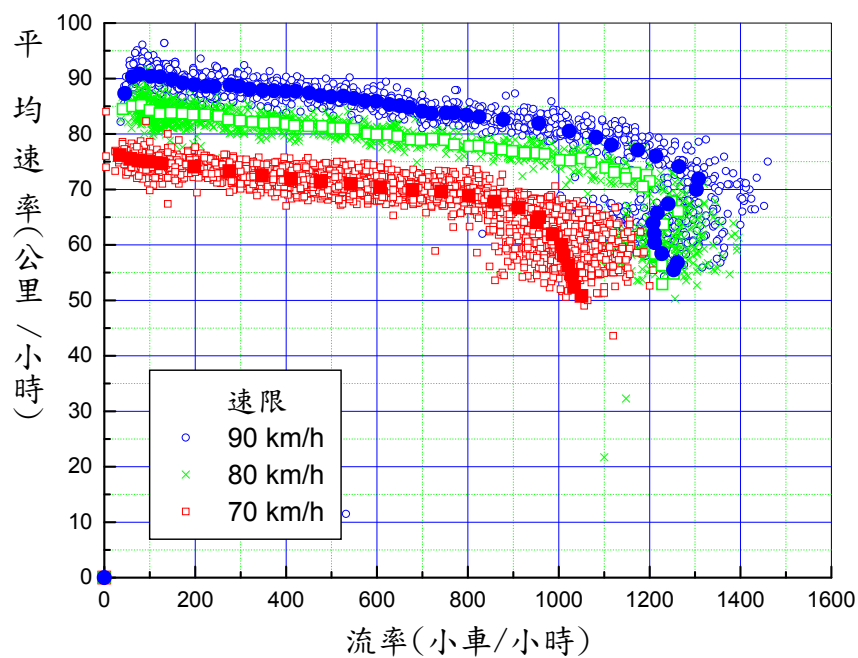
圖A-7NL1 北上12.922k內車道速率與流率關係



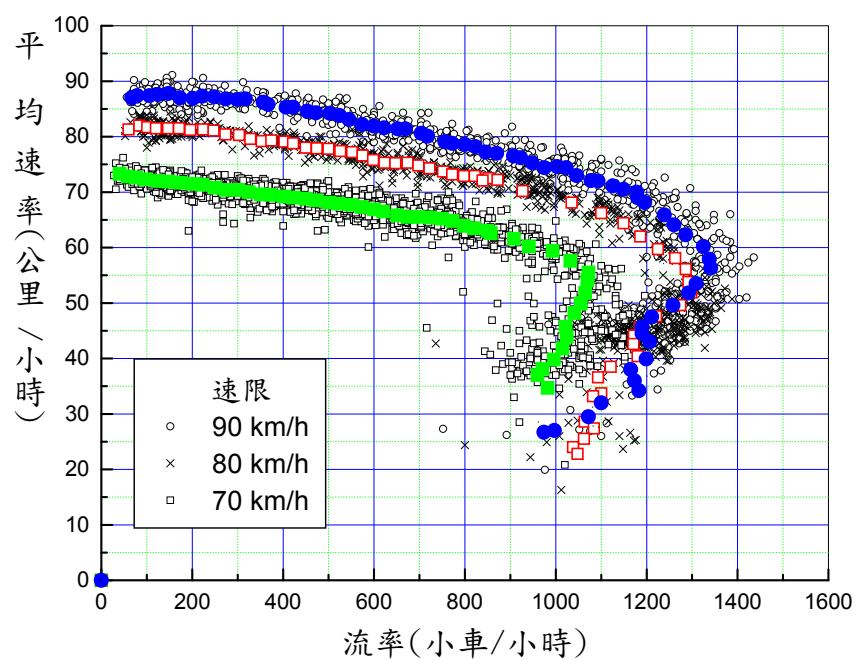
圖A-8NL1 北上13.348k內車道速率與流率關係



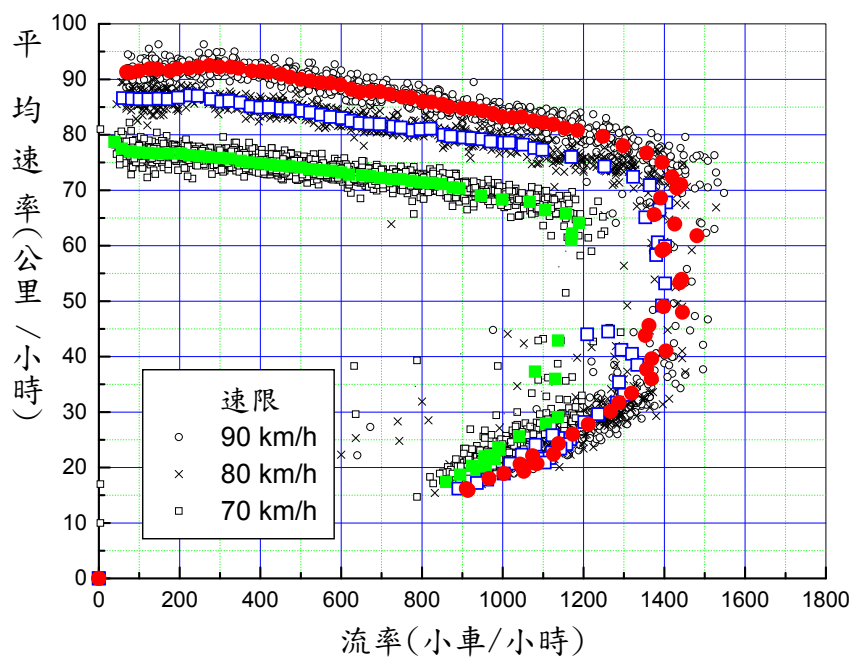
圖A-9NL1 北上14.800k內車道速率與流率關係



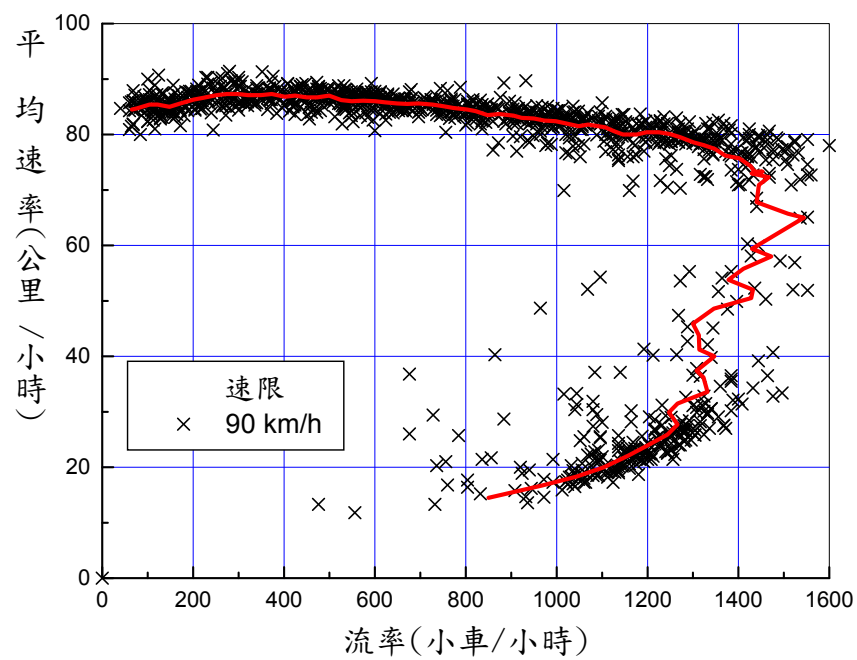
圖A-10NL1 北上15.488k內車道速率與流率關係



圖A-11NL1 北上21.055k內車道速率與流率關係

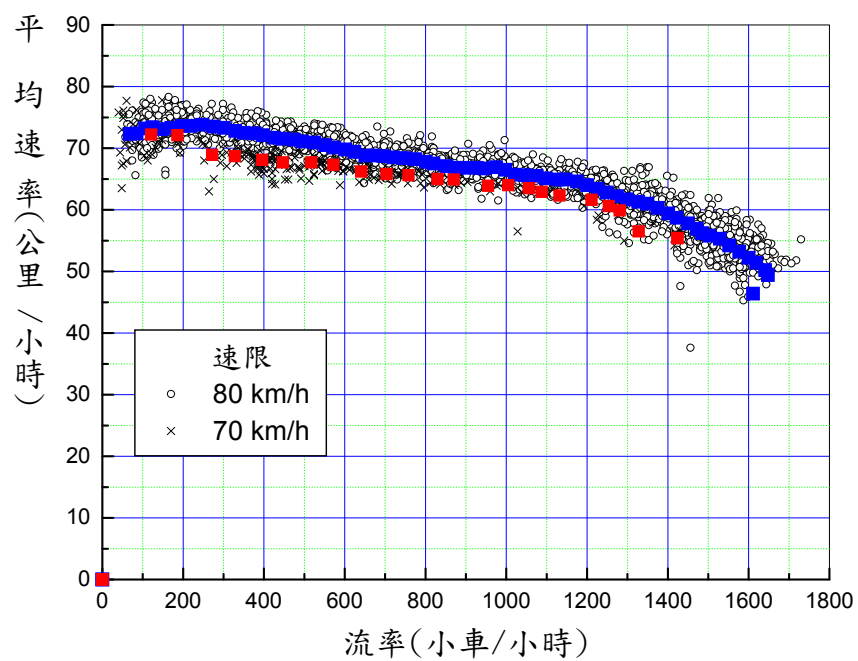


圖A-12NL1 北上27.779k內車道速率與流率關係

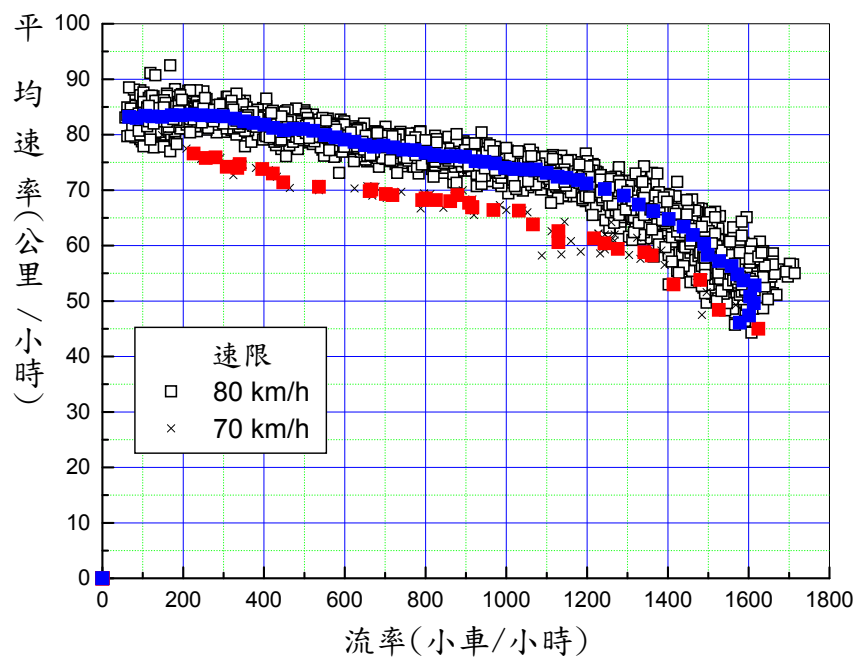


圖A-13NL1 北上28.420k內車道速率與流率關係

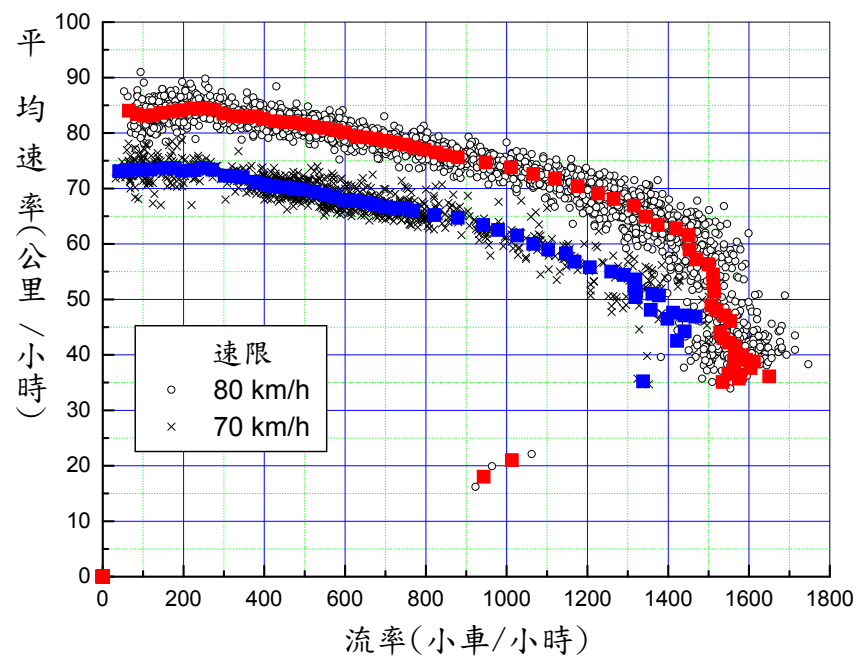
A-2 北上外車道之速率與流率關係



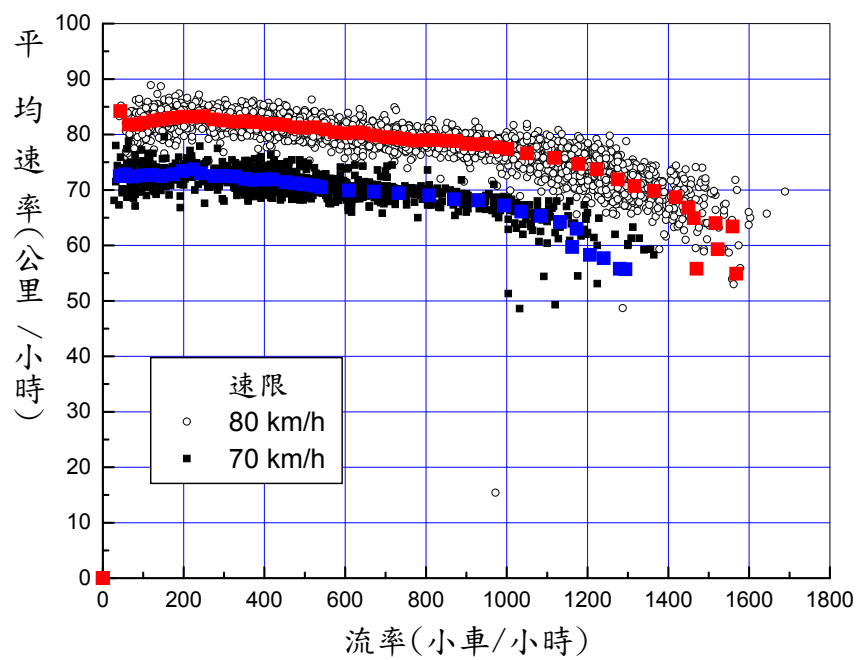
圖A-1NL2 北上0.706k外車道速率與流率關係



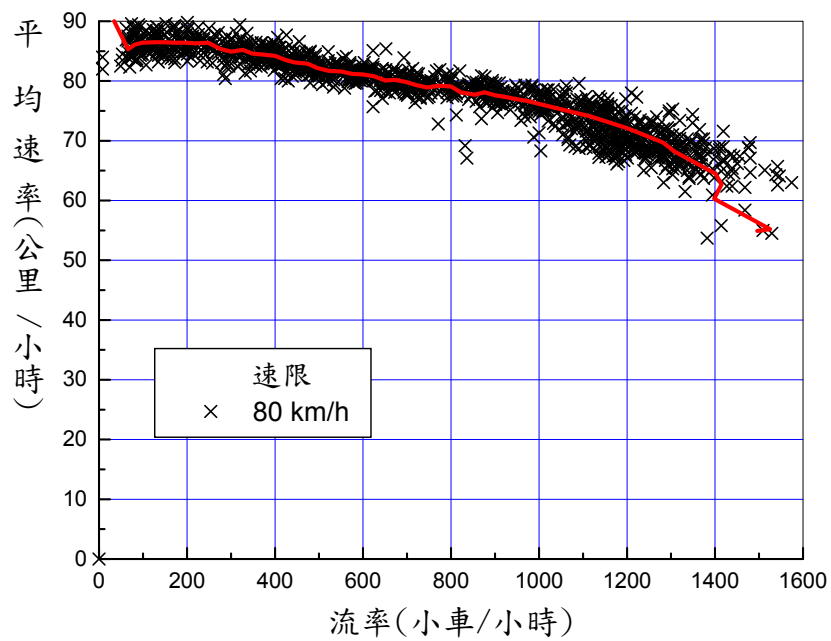
圖A-2NL2 北上1.068k外車道速率與流率關係



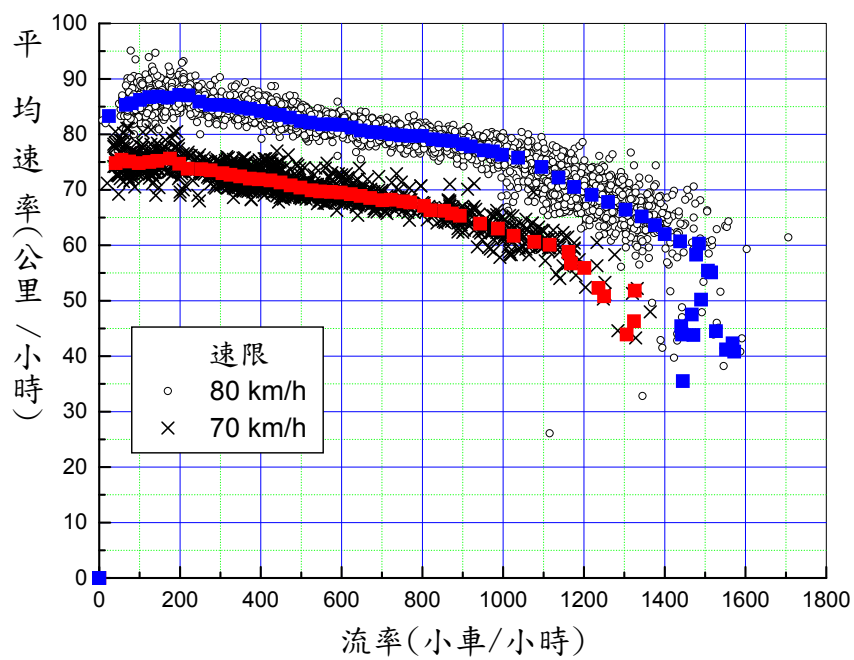
圖A-3NL2 北上3.198k外車道速率與流率關係



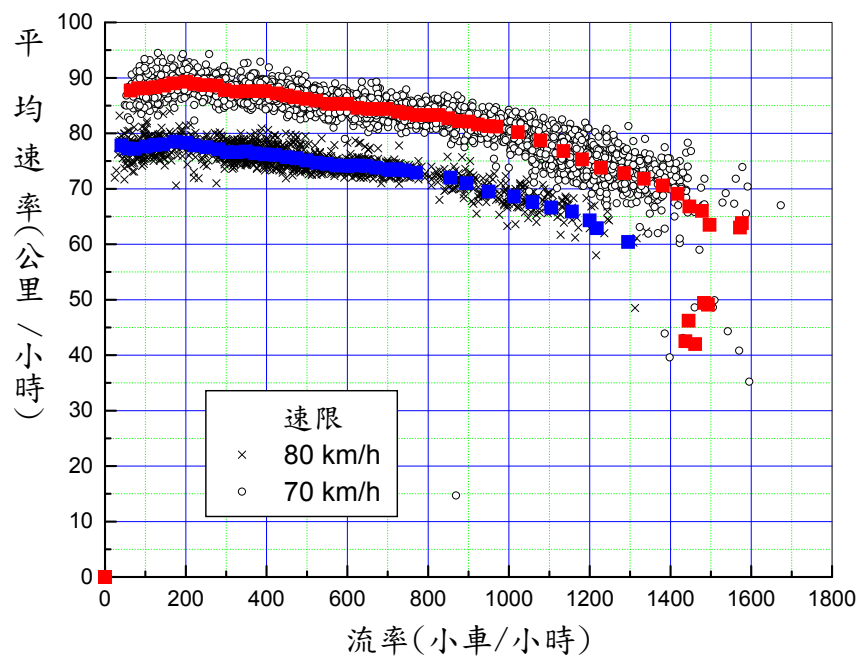
圖A-4NL2 北上9.373k外車道速率與流率關係



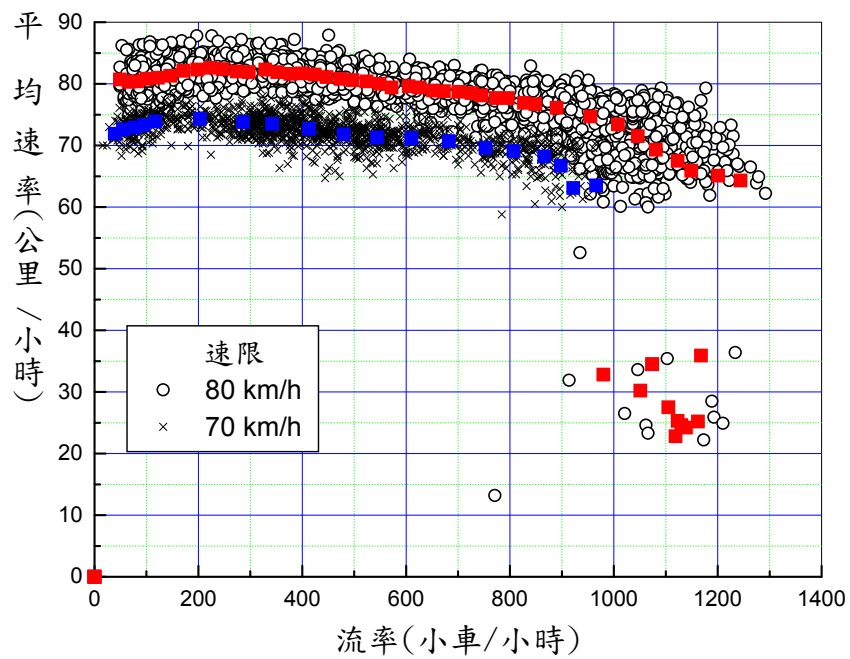
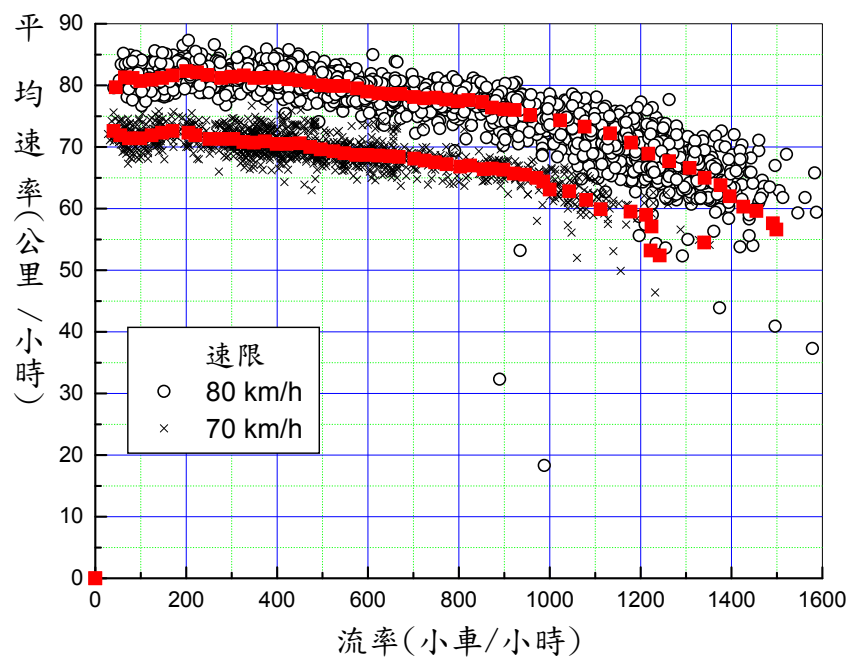
圖A-5NL2 北上9.840k外車道速率與流率關係

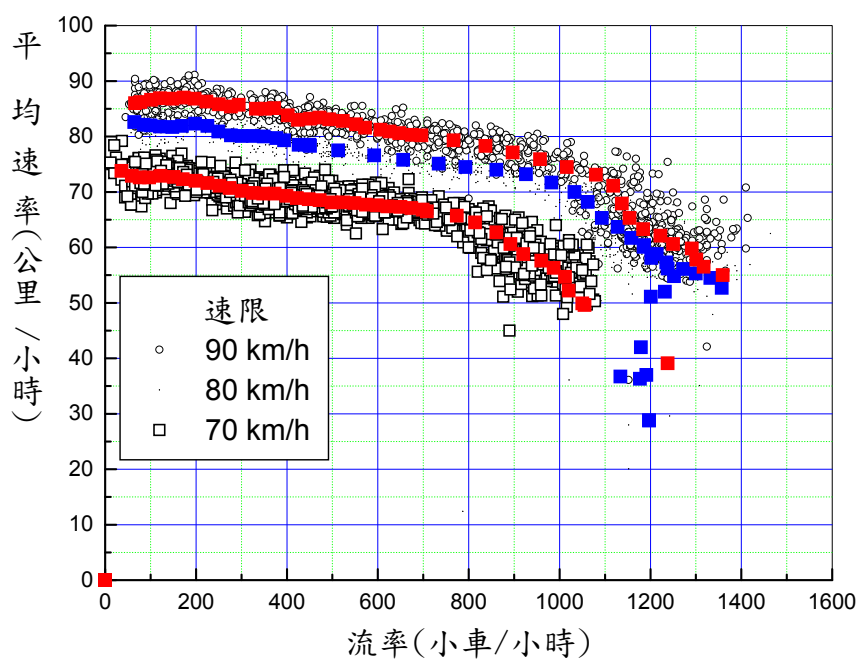


圖A-6NL2 北上11.178外車道速率與流率關係

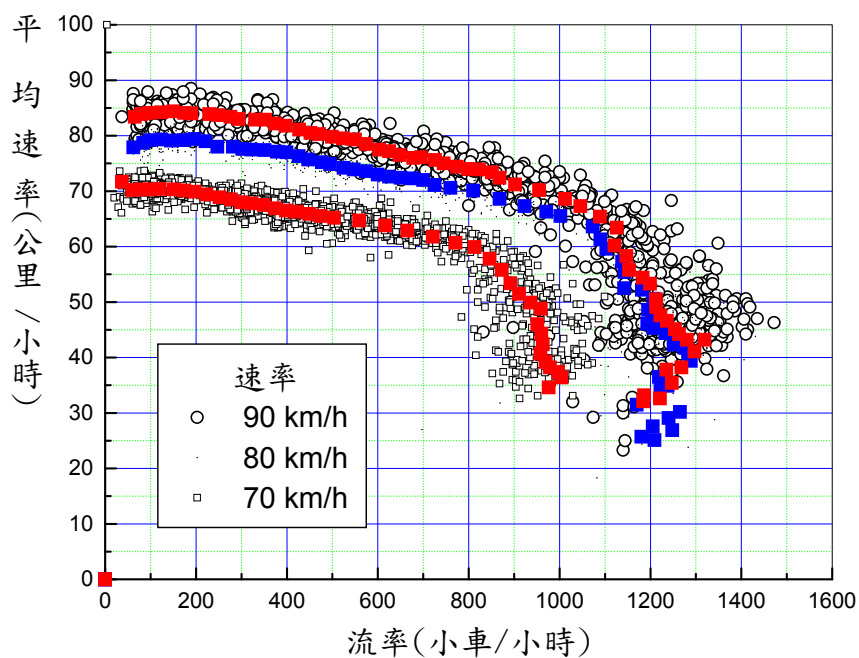


圖A-07NL2 北上12.922k外車道速率與流率關係

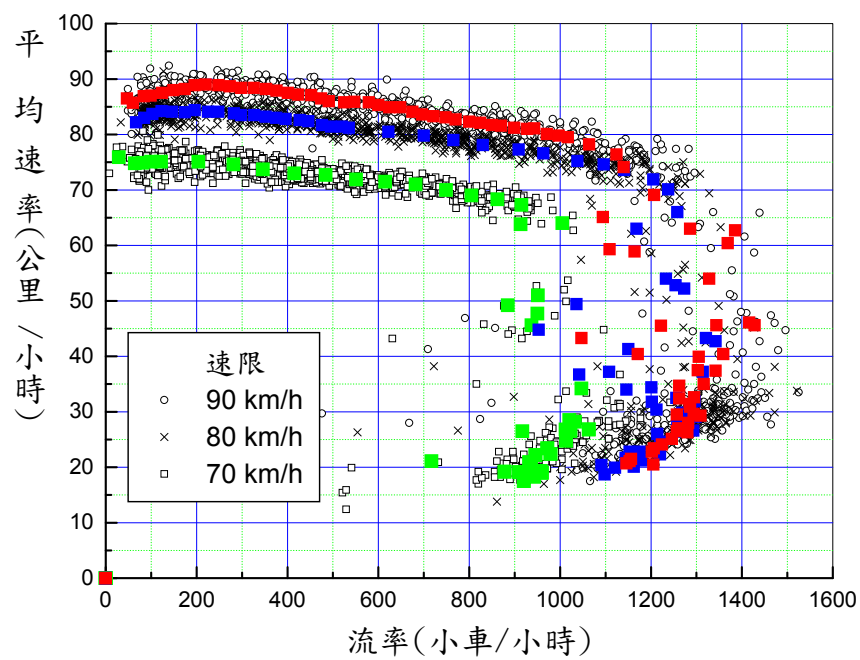




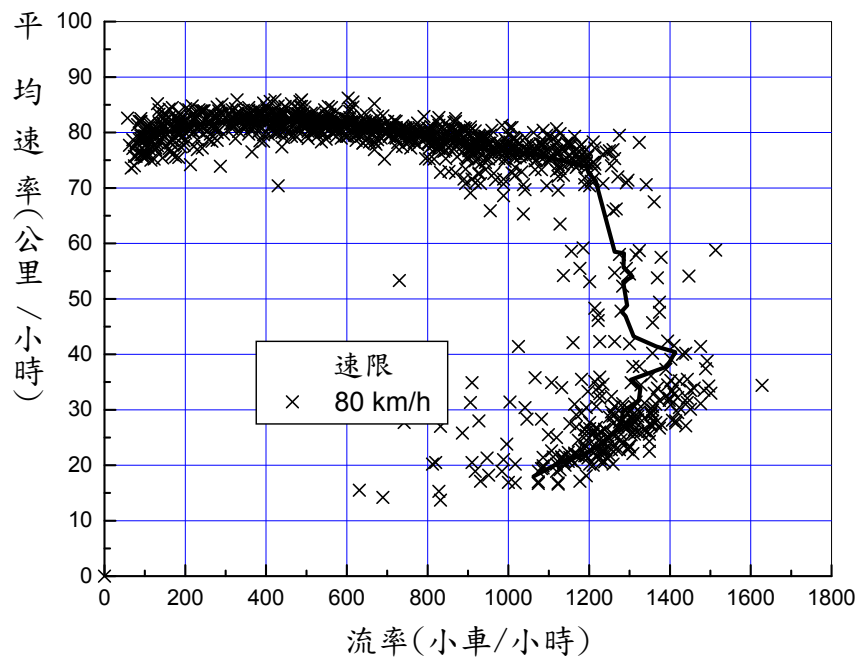
圖A-10NL2 北上15.488k外車道速率與流率關係



圖A-11NL2 北上21.055k外車道速率與流率關係

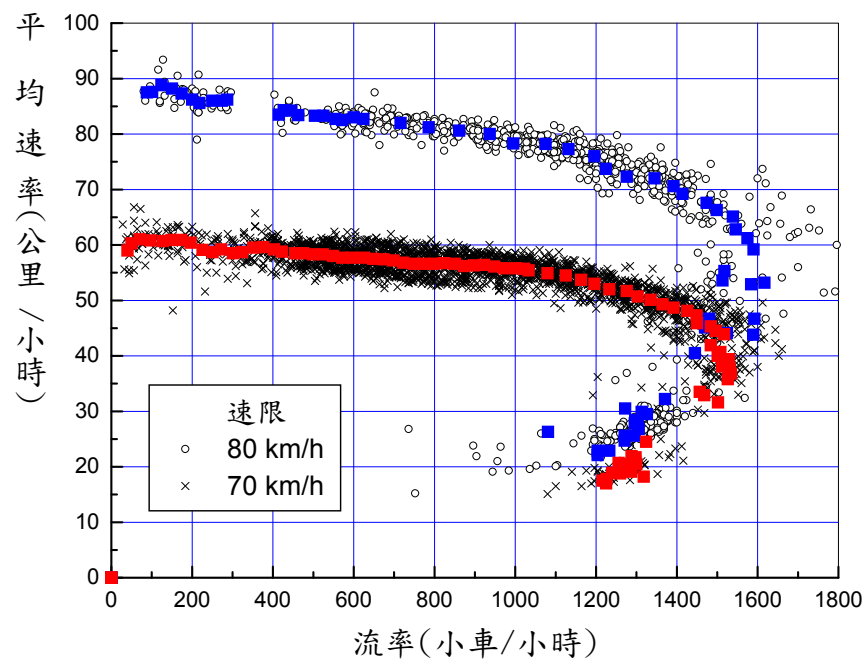


圖A-12NL2 北上27.779k外車道速率與流率關係

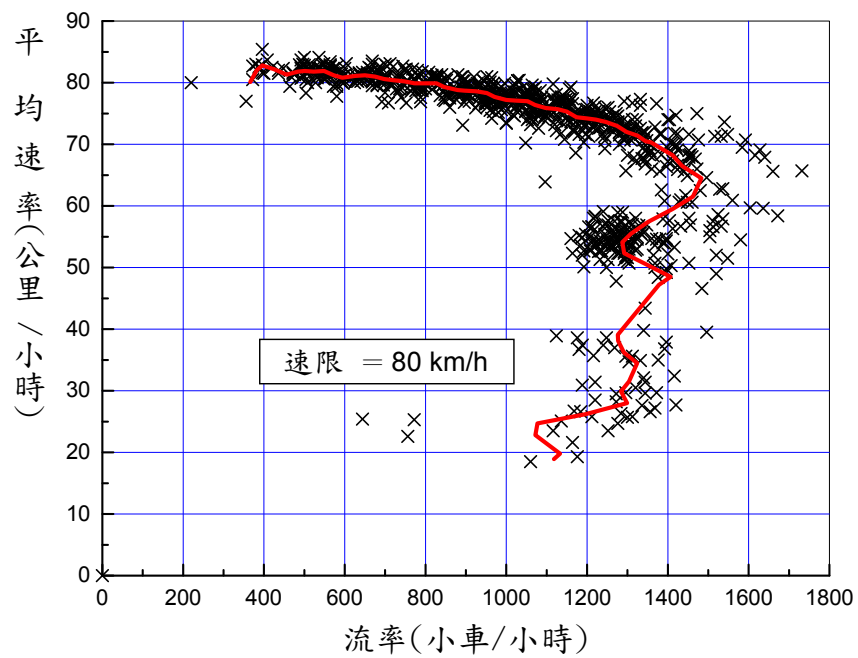


圖A-13NL2 北上28.420k外車道速率與流率關係

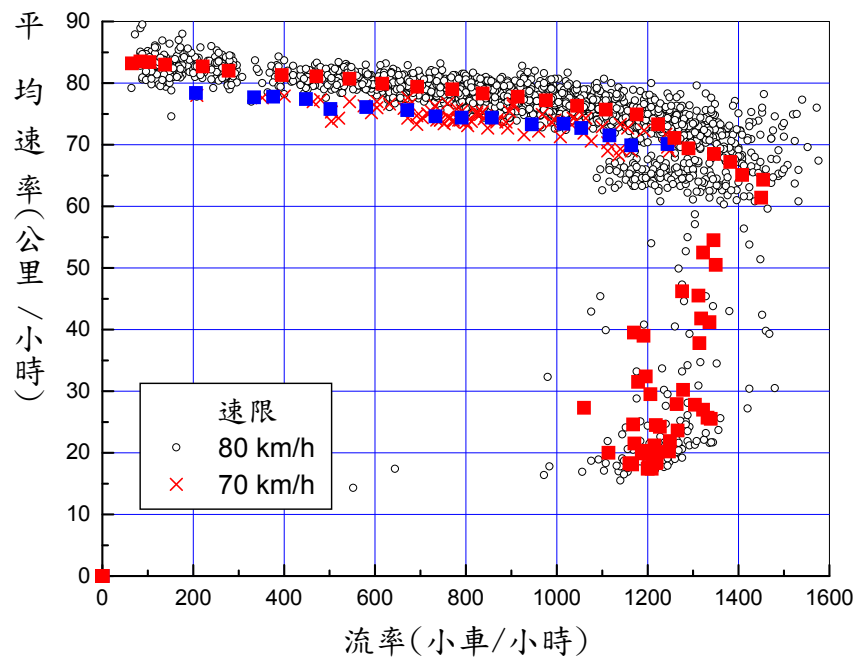
A-3 南下內車道之速率與流率關係



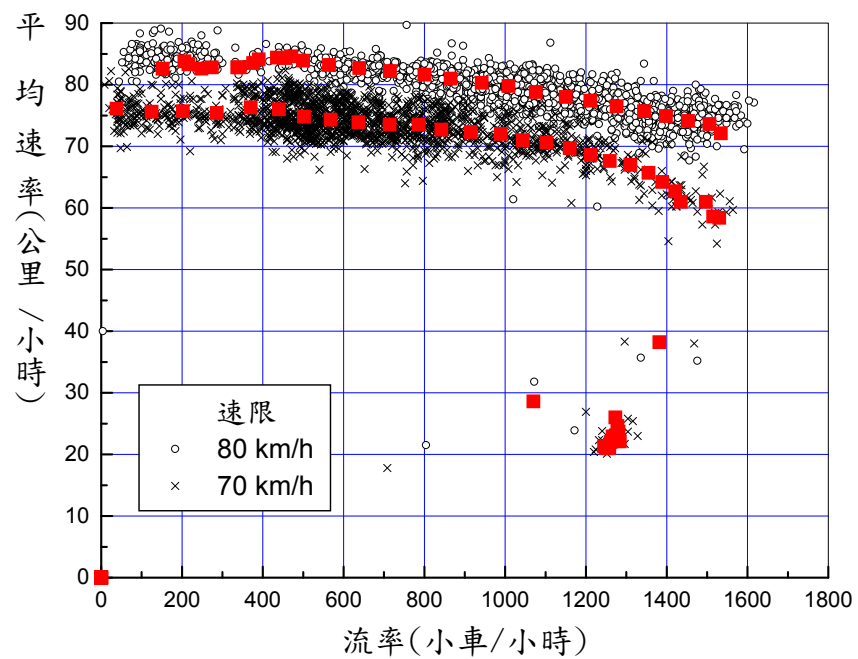
圖A-1SL1 南下1.072k內車道速率與流率關係



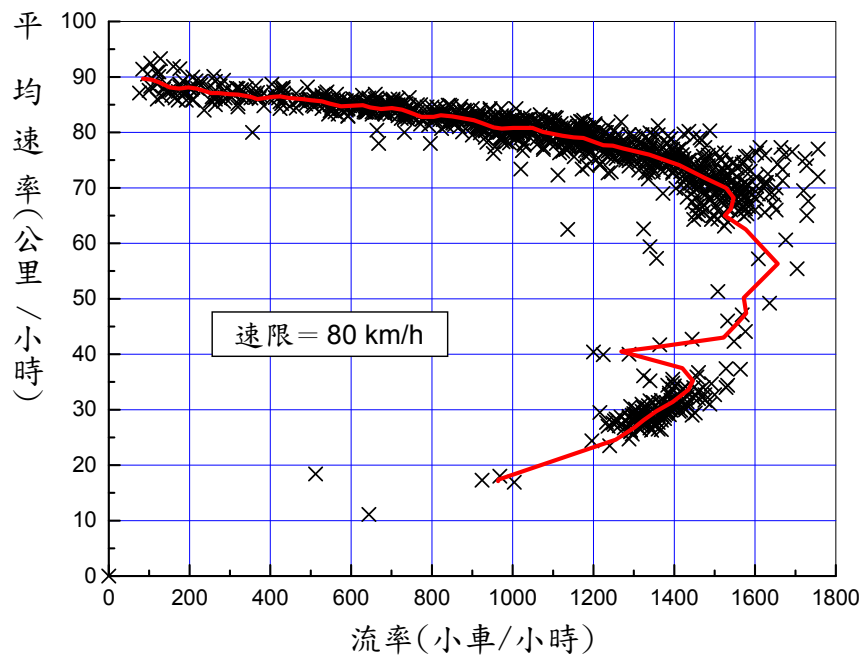
圖A-2SL1 南下3.178k內車道速率與流率關係



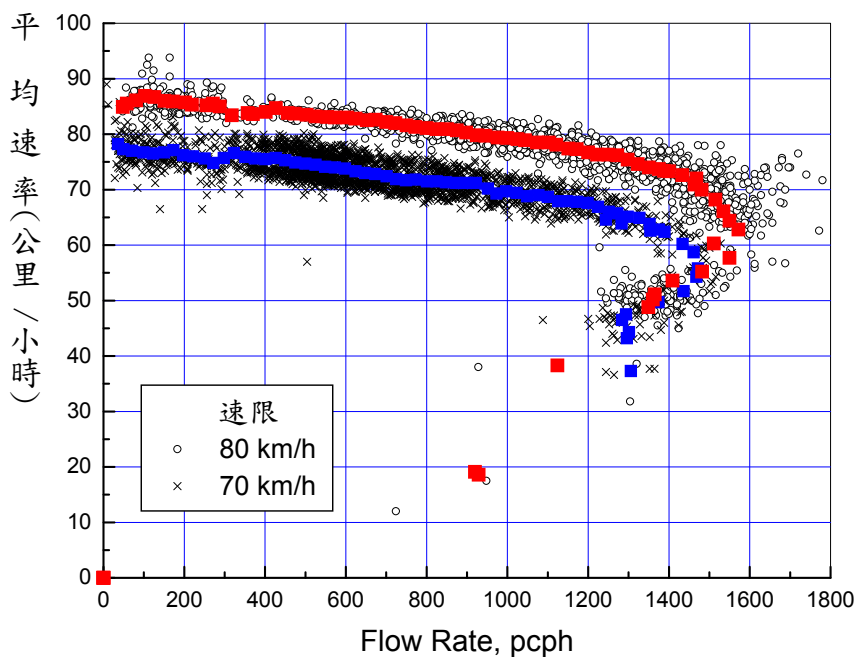
圖A-3SL1 南下3.506k內車道速率與流率關係



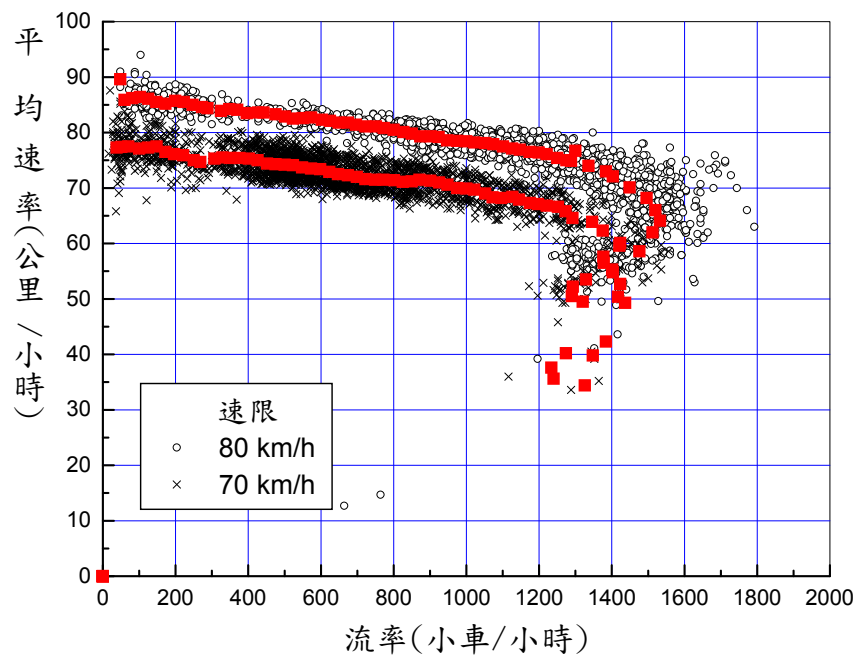
圖A-4SL1 南下9.32k內車道速率與流率關係



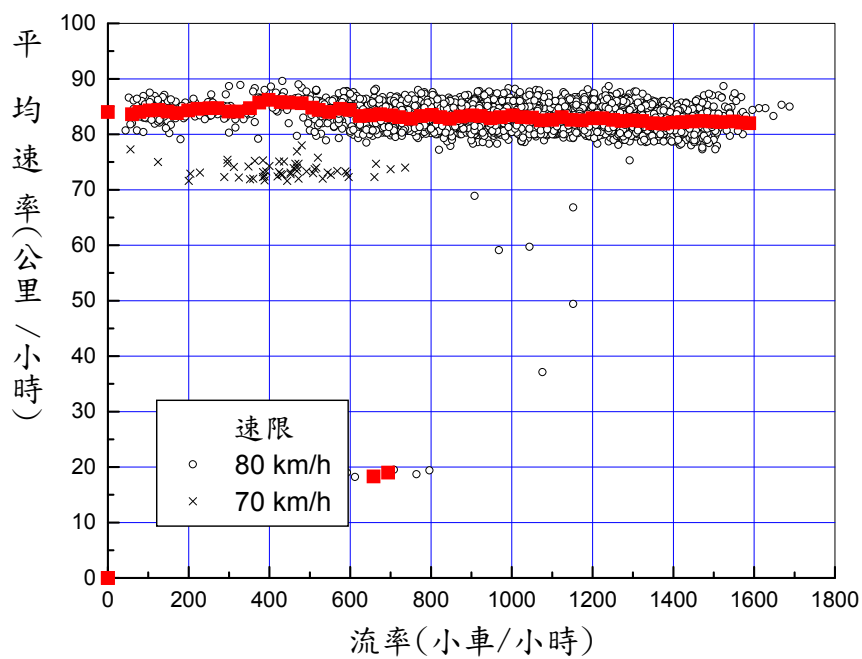
圖A-05SL1 南下9.840k內車道速率與流率關係



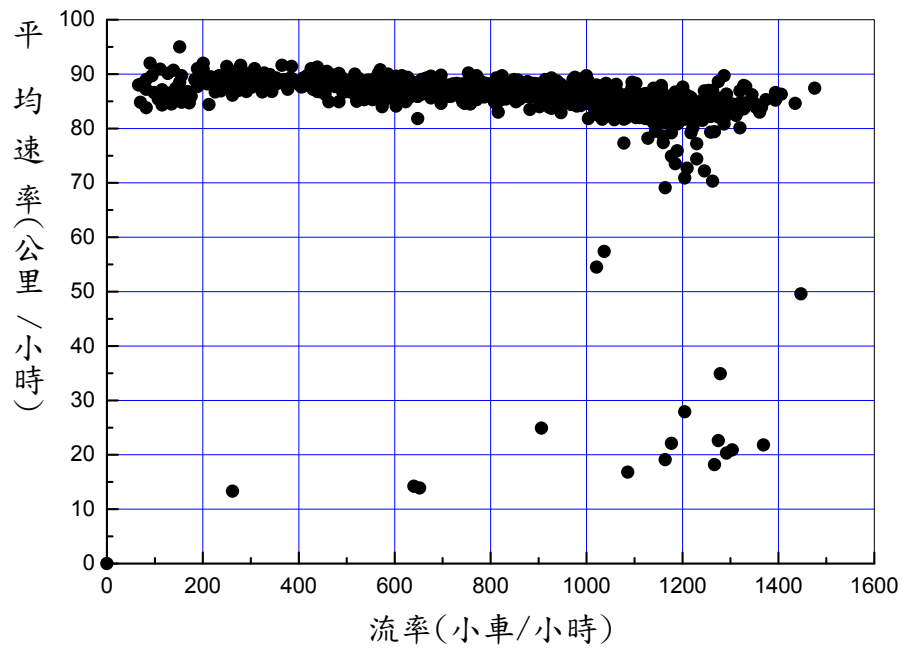
圖A-6SL1 南下11.158k內車道速率與流率關係



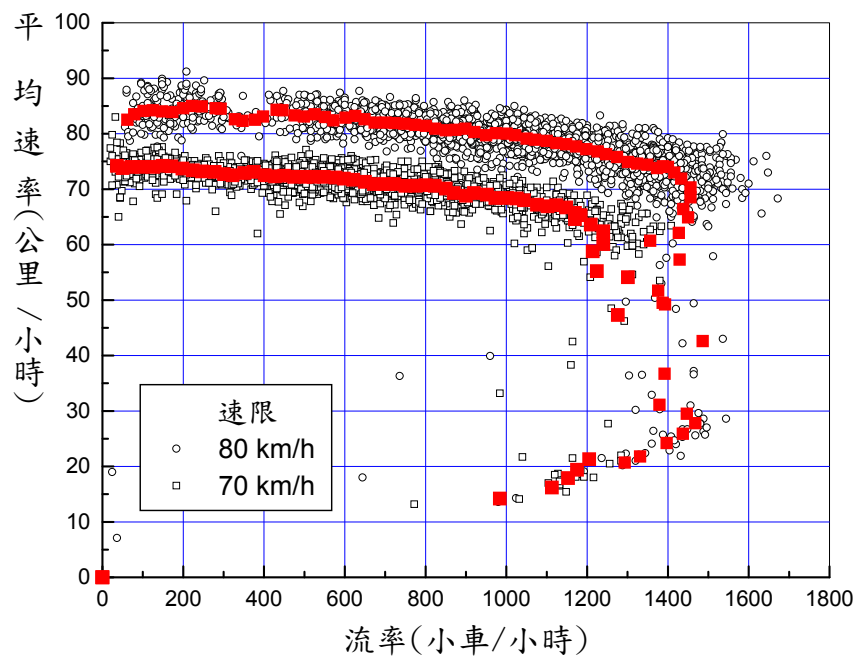
圖A-7SL1 南下12.945內車道速率與流率關係



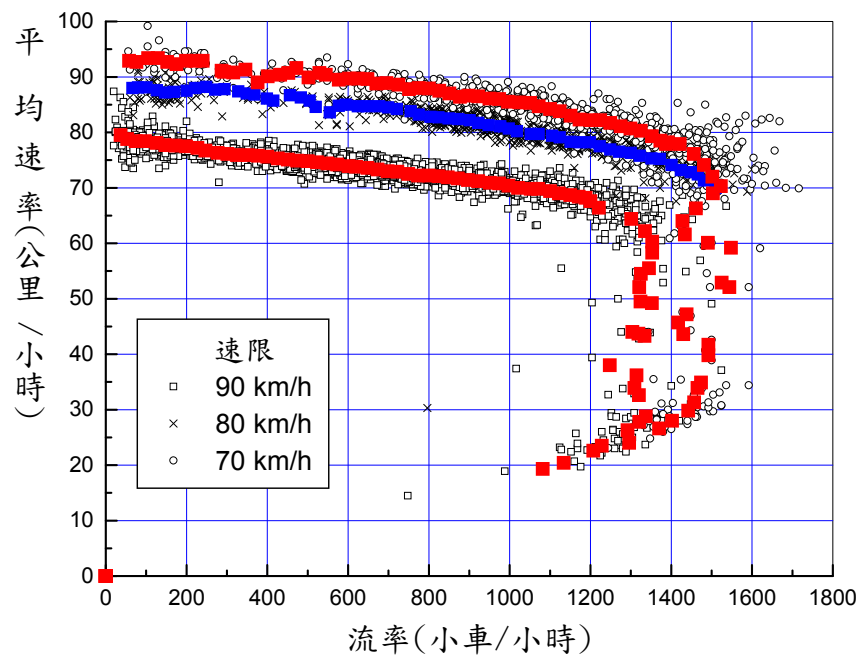
圖A-8NL1 南下14.356k內車道速率與流率關係



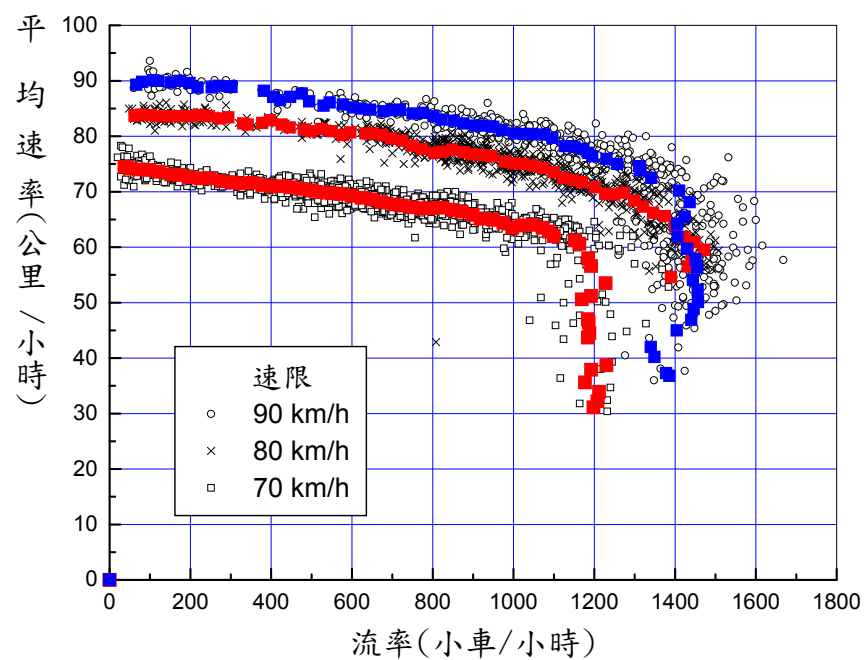
圖A-9SL1 南下14.540k內車道速率與流率關係



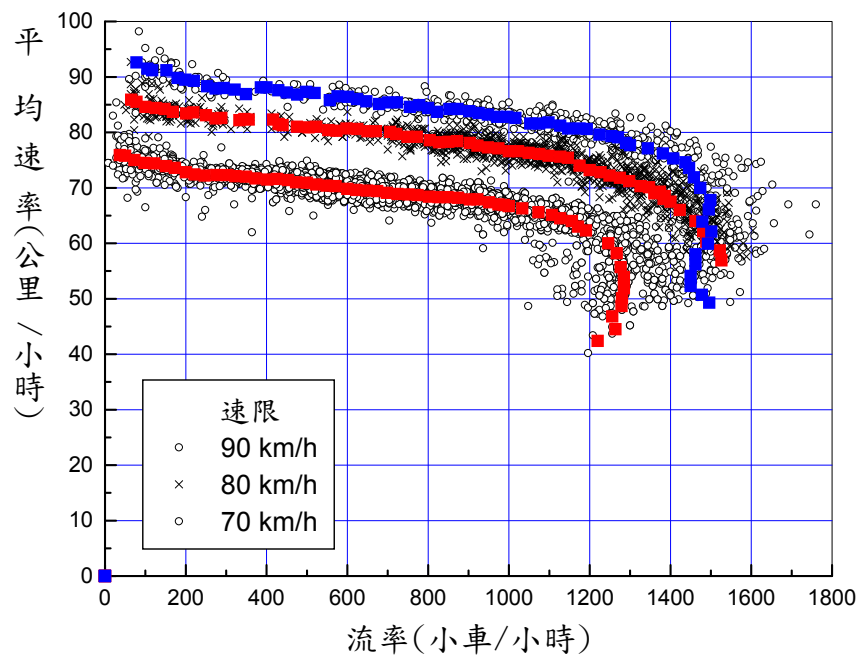
圖A-10SL1 南下15.139k內車道速率與流率關係



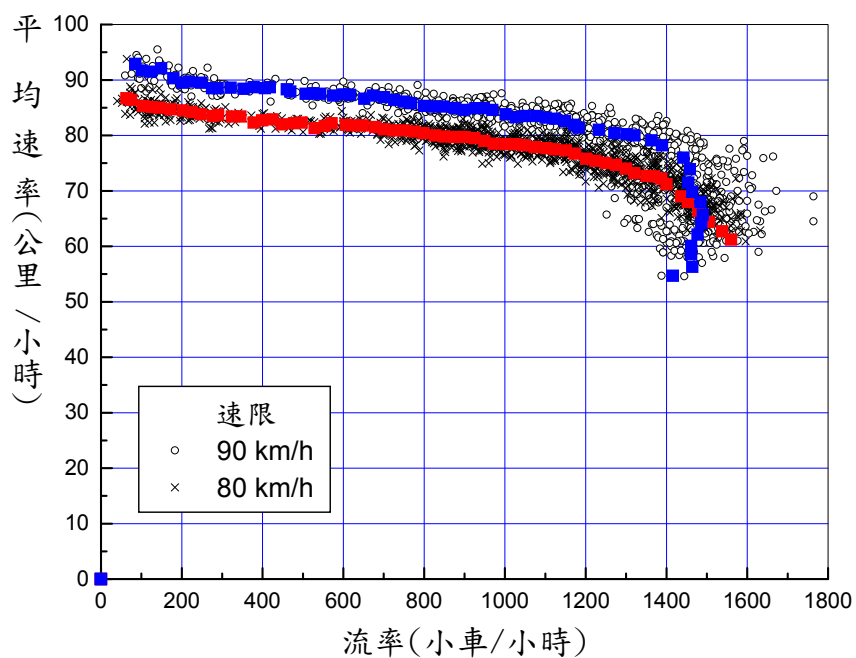
圖A-11SL1 南下15.478k內車道速率與流率關係



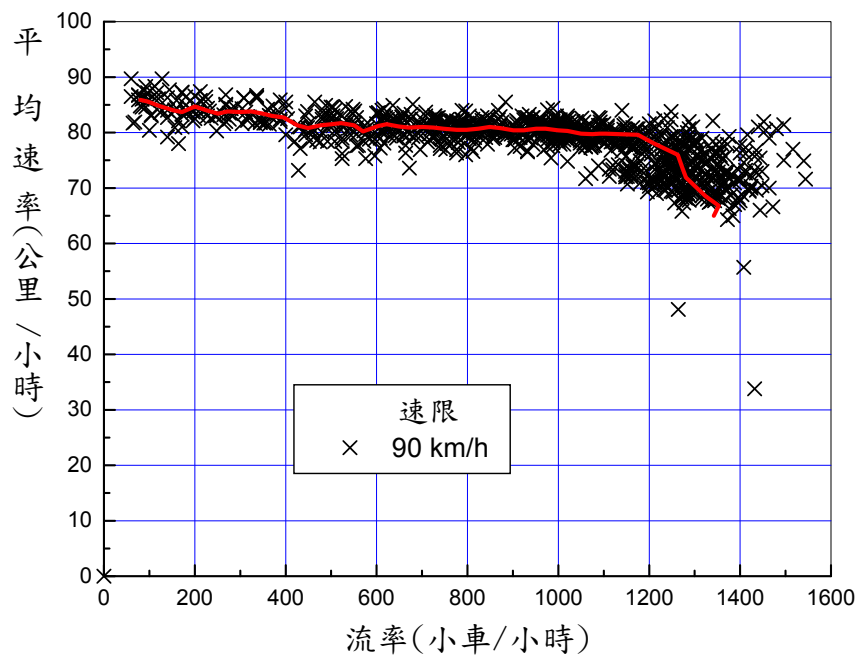
圖A-12SL1 南下21.036k內車道速率與流率關係



圖A-13SL1 南下27.442k內車道速率與流率關係

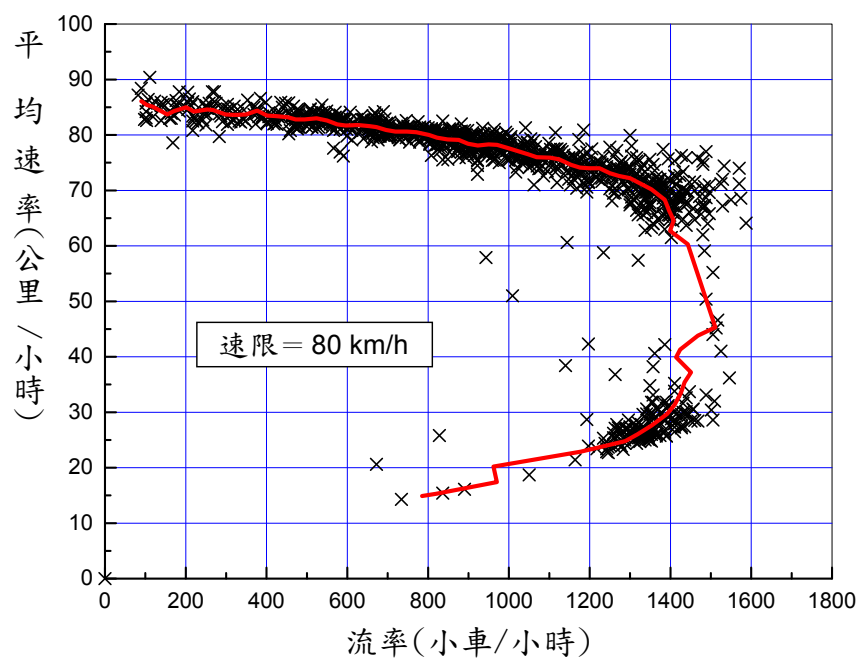


圖A-14SL1 南下27.748k內車道速率與流率關係

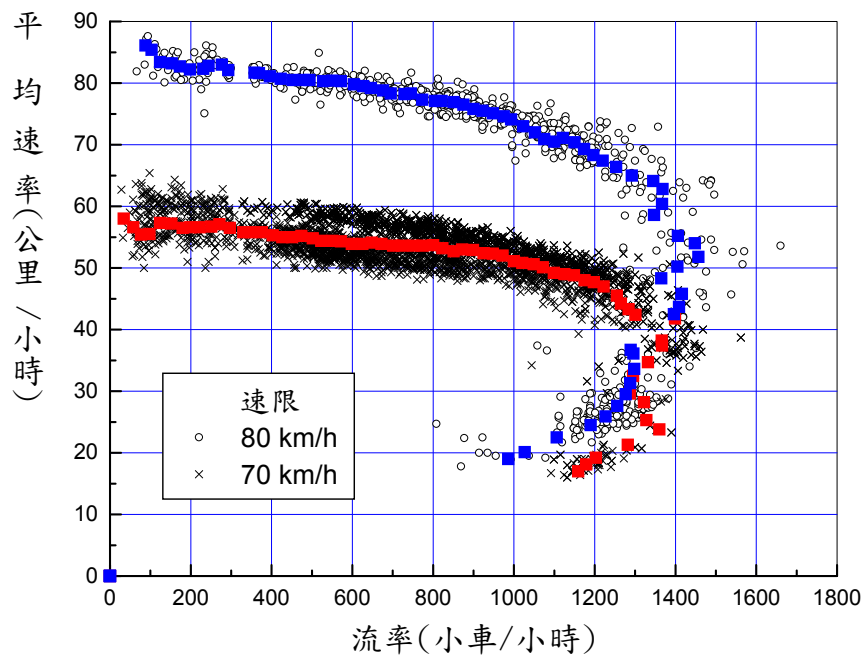


圖A-15SL1 南下28.236k內車道速率與流率關係

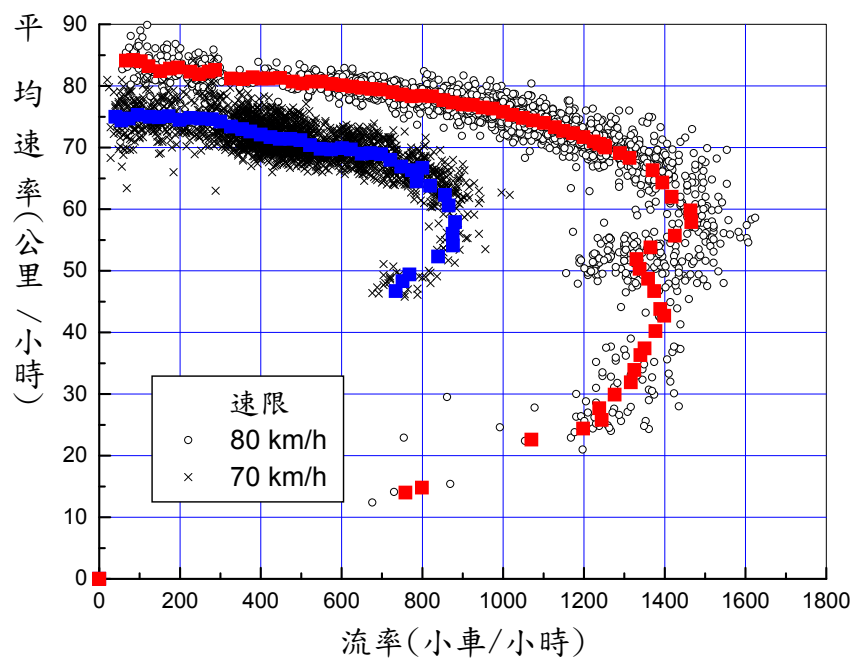
A-4 南下外車道之速率與流率關係



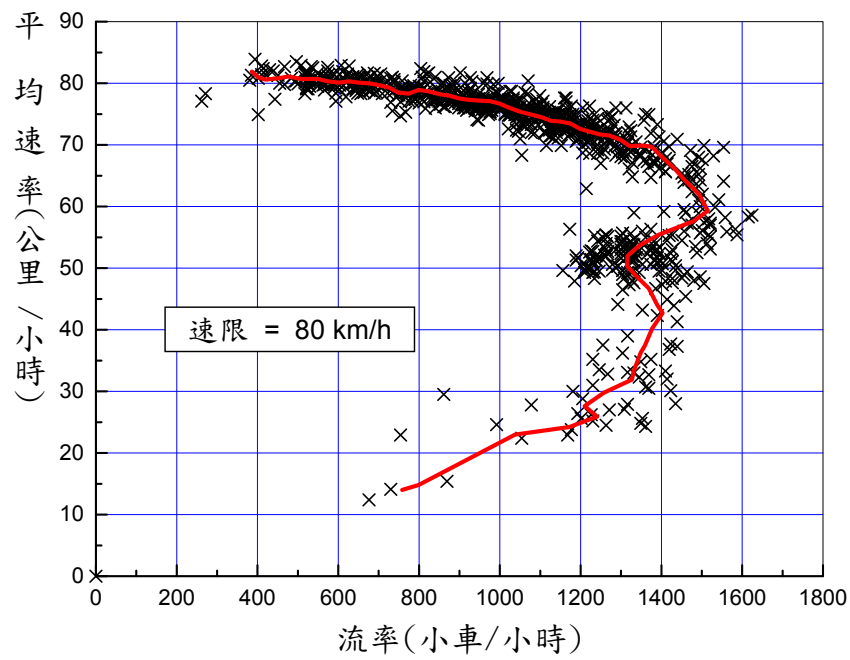
圖A-1SL2 南下9.840k外車道速率與流率關係



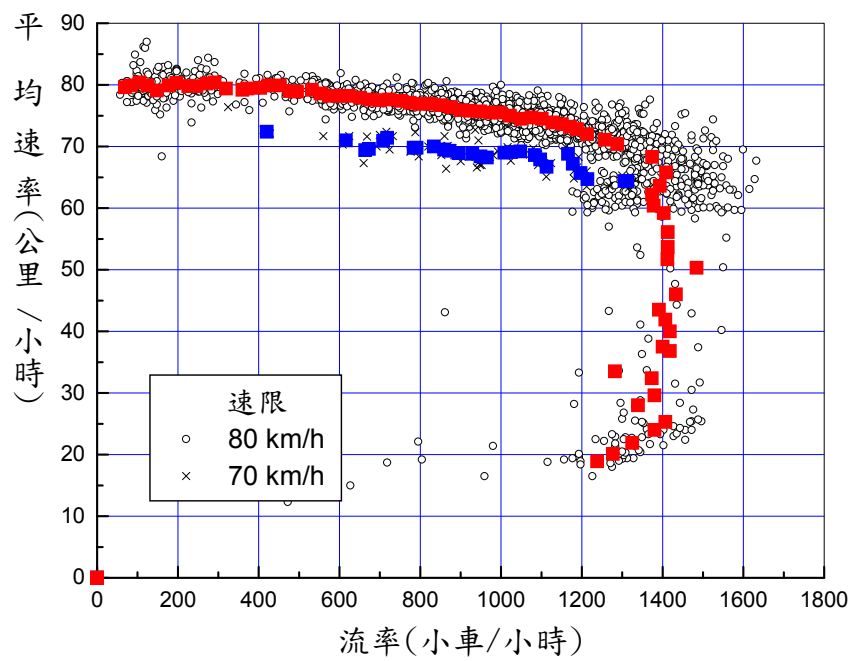
圖A-2SL2 南下1.072k外車道速率與流率關係



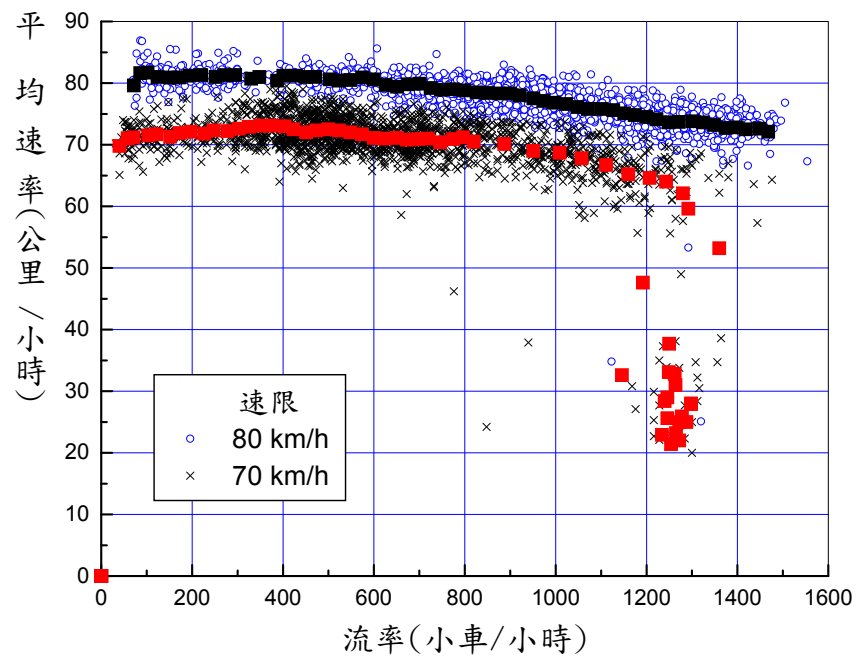
圖A-3SL2 南下3.178k外車道速率與流率關係



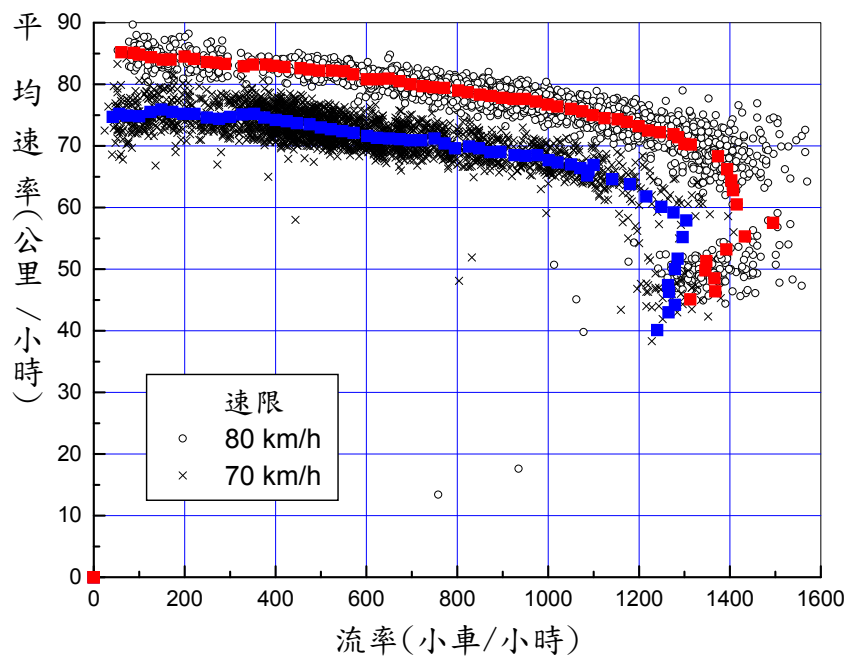
圖A-4SL2 南下3, 178k外車道速率與流率關係



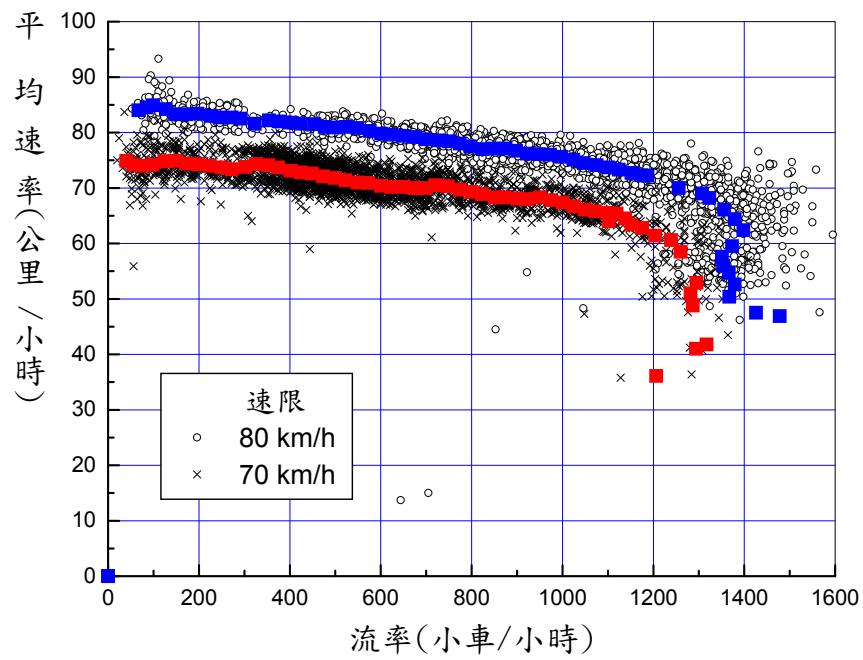
圖A-5SL2 南下3, 506k外車道速率與流率關係



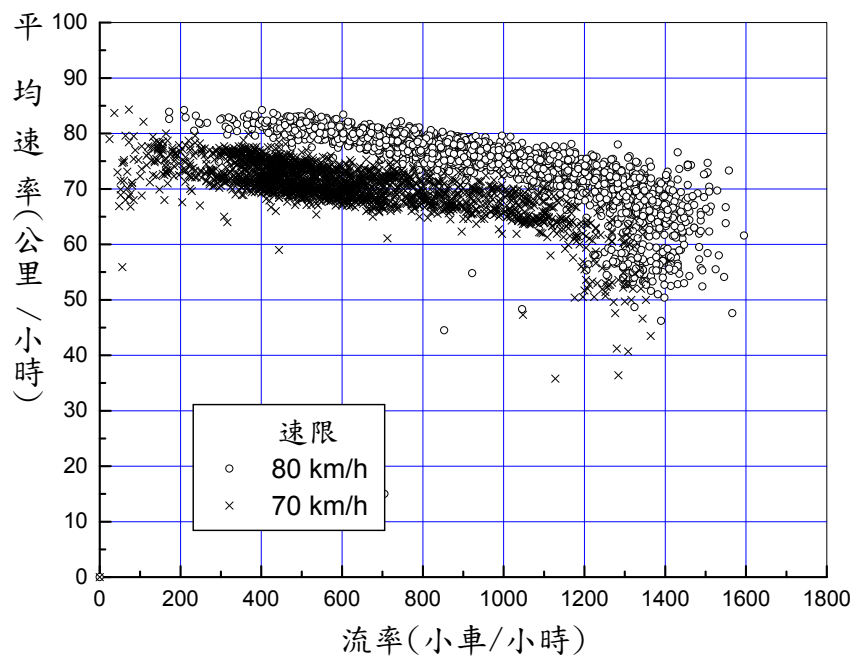
圖A-6SL2 南下9.326k外車道速率與流率關係



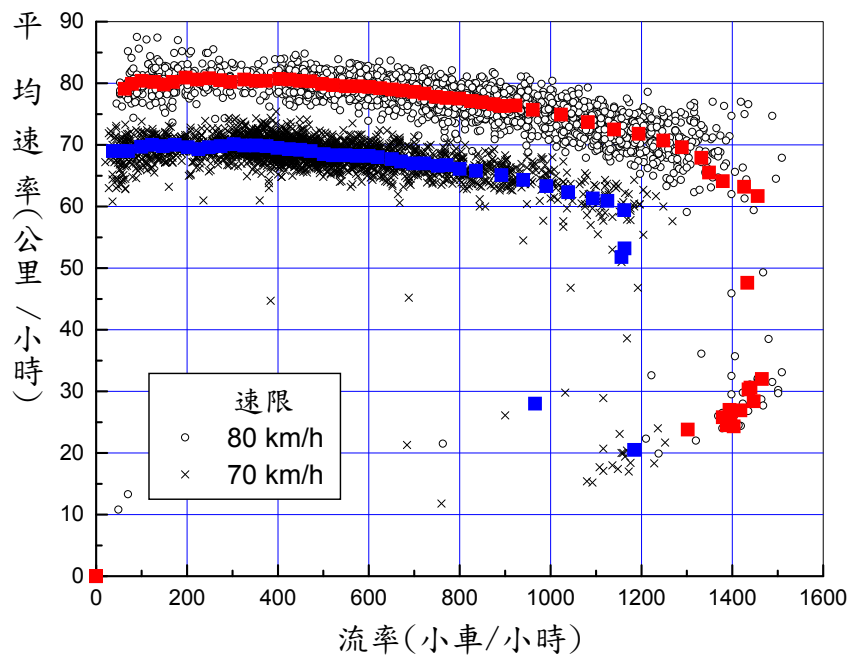
圖A-7SL2 南下11.158k外車道速率與流率關係



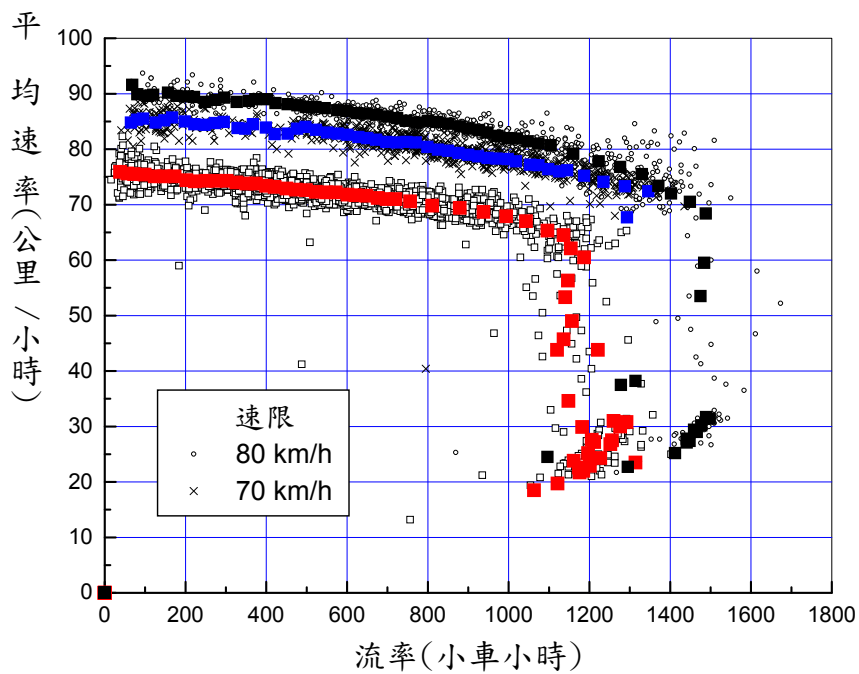
圖A-8SL2 南下12.945k外車道速率與流率關係



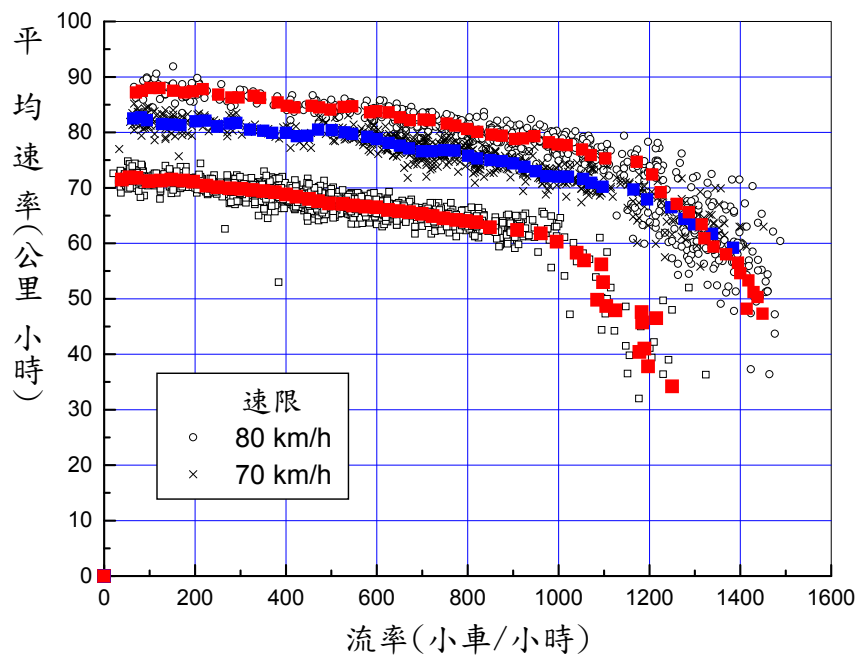
圖A-9SL2 南下28.k外車道速率與流率關係



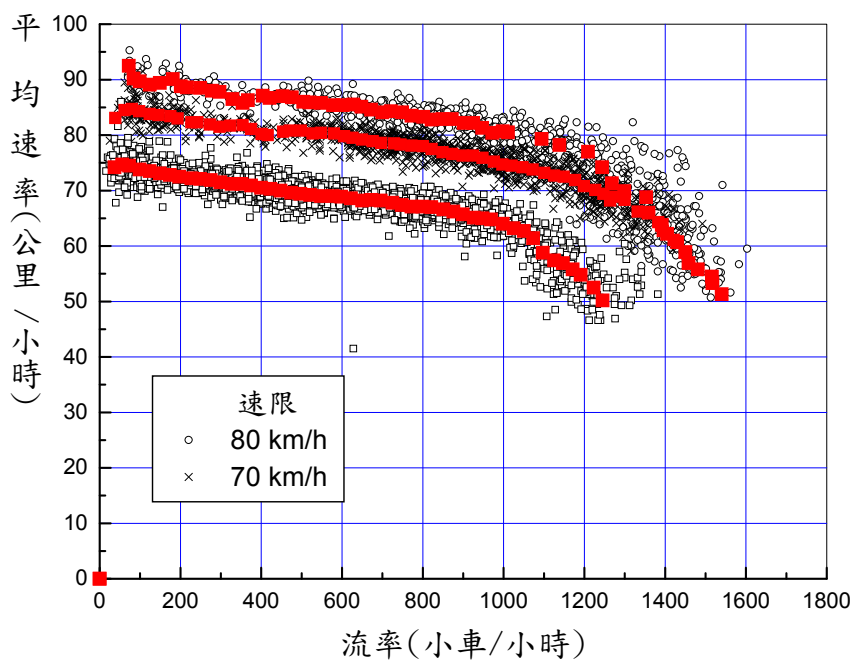
圖A-10SL2 南下15.139k外車道速率與流率關係



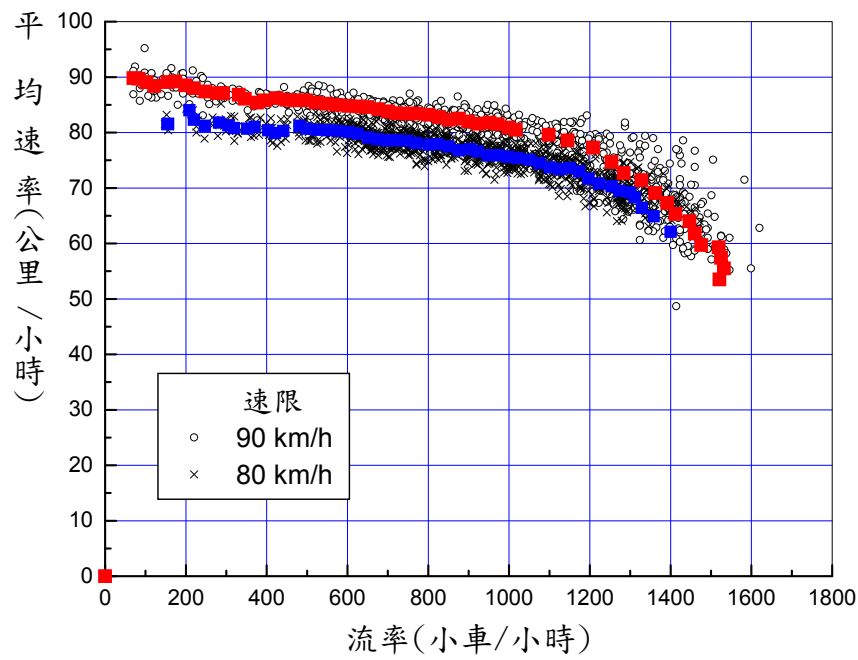
圖A-11SL2 南下15.478k外車道速率與流率關係



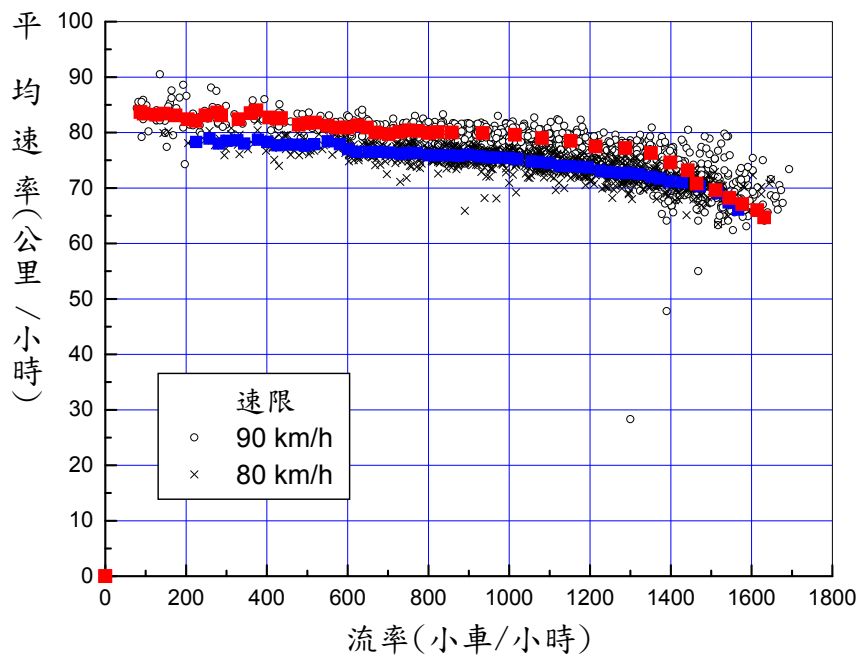
圖A-12SL2 南下21.063k外車道速率與流率關係



圖A-13SL2 南下27.442k外車道速率與流率關係



圖A-14SL2 南下27.748k外車道速率與流率關係



圖A-15SL2 南下28.236k外車道速率與流率關係

附錄 B：公路容量手冊第 20 章「公路隧道」初稿

20.1 緒論

公路隧道指讓公路車流從兩端進出的封閉式結構體。歐洲國家將長度超過 100 公尺之這種結構體定義為隧道[1]。美國的 Federal Highway Administration(FHWA)則不用長度對隧道下定義[2]。多數的公路隧道穿過山嶺區。有些公路隧道則穿過海洋或河流兩岸陸地或大都會區建築物底下。臺灣國道公路上共有 26 個長度最少 150 公尺之隧道，其中長度超過半公里的隧道如表 20.1 所示。這些隧道中最長的包括國道 5 號公路上的雪山隧道（12.7 公里），彭山隧道（3.8 公里），及石碇隧道（2.7 公里）。

公路隧道之作業中，行車安全一向是交通界最注重的問題。公路隧道的肇事率常低於隧道外之路段[1,3,4]。例如 Norway 隧道每百萬車公里的肇事率有 0.13 件，隧道外的肇事率達 0.3 件[1]。但隧道內一有車禍，其後果相當嚴重。1999 年 3 月到 2001 年 10 月之間，在義大利及法國之間的 Mont Blanc（長 11.6 公里），奧地利的 Tauern（長 6.4 公里）及瑞士的 Saint Gotthard（長 16.4 公里）隧道所發生的一連串車禍造成 62 人死亡及隧道的長期封閉[5,6,7]。這些車禍加強世界各國對隧道行車安全的重視。

為了改善隧道之行車安全，歐盟(EU)在 2001 年起展開一連串的大型計畫[8]。歐盟之 European Commission 並在 2004 年發佈一指令(directive)規定在歐洲跨國公路網上長度等於或超過 500 公尺的隧道必須符合最低安全標準[9]。美國之 FHWA 在 2004 年時編訂了公路隧道設計規範[10]。美國的 American Association of state Highway and Transportation Officials(AASHTO)在 2010 年時將此規範更新[9]。美國民間團體 National Fire Protection Association(NFPA)也陸續更新其有關隧道及其他車輛進出受限制之公路設施的設計標準[10]。除此之外，聯合國及許多國家皆曾陸續提供規範、標準或法令，以保障隧道行車安全[11]。

表 20.1 國道隧道里程

道路別	南向（東向）				北向（西向）			
	名稱	起點 里程	終點 里程	長度 (km)	名稱	起點 里程	終點 里程	長度 (km)
國道 1 號	中興	0.004	0.400	0.396	大業	0.566	0.004	0.562
國道 3 號	基隆	0.805	2.060	1.255	基隆	2.118	0.840	1.278
	七堵	5.795	6.325	0.530	七堵	6.300	5.745	0.555
	汐止	8.160	8.826	0.666	汐止	8.818	8.175	0.643
	福德	18.232	19.994	1.762	福德	19.911	18.185	1.726
	木柵	21.888	23.736	1.848	木柵	23.735	21.860	1.875
	景美	23.939	24.503	0.564	景美	24.492	23.919	0.573
	新店	27.219	28.404	1.185	新店	28.392	27.170	1.222
	碧潭	28.559	29.080	0.521	碧潭	29.044	28.541	0.503
	中和	34.223	35.095	0.872	中和	35.093	34.262	0.831
	埔頂 I	59.510	60.040	0.530	埔頂 I	60.065	59.510	0.555
	蘭潭	292.870	294.120	1.250	蘭潭	294.100	292.890	1.210
	中寮	378.795	380.655	1.860	中寮	380.655	378.825	1.830
國道 3 甲	台北 I	2.026	2.826	0.800	台北 I	2.798	2.008	0.790
國道 5 號	石碇	0.783	3.481	2.698	石碇	3.515	0.795	2.720
	彭山	9.442	13.303	3.861	彭山	13.263	9.457	3.806
	雪山	15.203	28.127	12.924	雪山	28.134	15.180	12.954
國道 6 號	國姓 1 號	17.678	20.142	2.464	國姓 1 號	20.138	17.690	2.448
	埔里	27.469	28.768	1.299	埔里	28.728	27.462	1.266

另一方面，交通界對隧道交通作業的特性及如何改善隧道之運輸功能缺乏了解。其中一原因是交通界最關切的隧道作業是行車安全，因而忽視行車效率。另一原因是很少隧道有自動化蒐集車流行為的系統。臺灣國道 5 號公路是一例外。此公路上隧道內外有密集的磁場偵測器(inductive loop detector)可用來蒐集流量，速率，車種及偵測範圍內之佔有率資料。因此本所在 2011 年時展開一研究工作探討國道 5 號公路隧道之作業特性[11]，並將研究結果用來編訂本章以供交通界參考。

本章的重點在於介紹隧道交通管理策略，交通特性及交通作業分析方法。本章所描述的分析方法是根據國道 5 號公路上隧道車流特性所建立，因此只適用於與國道 5 號公路隧道有相似幾何及車流特性的隧道。這些狀況包括：

1. 隧道內外每方向只有 2 車道而且隧道內單向行車。
2. 鄰近進出口匝道只有一車道。
3. 沒有大貨車及聯結車。大客車須使用外車道。
4. 車道寬 3.5 公尺，隧道兩旁路肩最少 0.3 公尺寬，並且在路肩之外有寬約 1 公尺之人行道。
5. 隧道之行車淨高最少 4.6 公尺。
6. 隧道坡度在 2% 以下，平曲線之曲率半徑最少 1,000 公尺。
7. 平均自由旅行速率在 70~90 公里/小時之範圍。

臺灣國道高速公路上許多隧道的幾何設計及車流狀況可能異於國道 5 號公路上之狀況。將來須進一步探討這些隧道之作業特性，並根據研究結果修訂本章，以增進其適用範圍。

20.2 隧道交通管理控制及車流特性

20.2.1 管理及控制概況

在隧道管理方面，管理機構常對進入隧道之車輛及物品加以管制。歐洲的跨國隧道常是經濟大動脈，因此很難完全禁止大型車輛或危險物品通過隧道。因此歐洲國家常用風險管理的觀念及方法，來決定是否讓某種車輛或物品通過某隧道[3]，例如採用 OECD(Organization for Economic Cooperation Risk Development)及 World Road Association (PIARC)所發展之數量化風險評估(Quantitative Risk Assessment)模式。

為了行車安全，公路隧道須有速率的限制。隧道速限一般在 55 及 120 公里/小時之間。速限可分為上限、下限及可變速限。最高速限隨隧道之設計及隧道所在地點土地使用及交通狀況而變。設置下限的一目的是減少慢車阻擋車流，造成壅塞之可能。另一目的是減少因速率

相差太大而產生事故的可能性。一般最高及最低速限之差距在 20~30 公里/小時之範圍。可變速限也是為了減少塞車嚴重性及事故而設定。

臺灣國道 5 號公路的速限在民國 96 年 10 月之前為 70 公里/小時。民國 96 年 10 月起，雪山隧道除外，在頭城交流道以北之路段的速限提高為 80 公里/小時。民國 97 年 3 月及 99 年 11 月，雪山隧道的速限又兩度從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時及 90 公里/小時。

除了速限之外，多數的隧道禁止變換車道及超車，同時亦對車輛尺寸加以限制，以避免車輛撞上隧道之結構或設施。有些隧道限制大貨車之流量，例如在瑞士的 Saint Gotthard 隧道發生嚴重車禍後，瑞士聯邦公路局(Swiss Federal Bureau of Roads)規定在幾個隧道內大貨車必須保持 150 公尺之距離，並且在雙向行車之隧道採取大貨車輪流單向行車。每小時之大貨車流量限於 240 輛。這些措施預期可加強行車安全，但每天能通過 Saint Gotthard 隧道之大貨車從 5,000 輛減少到 3,500 輛[12]，造成嚴重延滯。

臺灣的雪山隧道從 2006 年通車之後，一直無允許大貨車通行。民國 96 年 11 月起，雪山隧道才開放大客車通行。此隧道也有最小行車間距之規定。根據國道高速公路局之規定，車輛在正常情況下必須保持 50 公尺以上之行車距離；如因道路壅塞、事故或其他特殊狀況導致速率低於每小時 20 公里/小時或停止時，仍應保持 20 公尺以上之距離。最近一有關雪山隧道之研究[13]發現雪山隧道內之跟車距離比鄰近之彭山隧道內之跟車距離長很多，但差距逐年縮小，而且已有成穩定狀況之趨勢。

在車流量不大的路段上，最小行車間距的規定可改善行車安全。但是在流量大的公路上這種規定很容易顯著地降低公路容量，因而造成嚴重壅塞。例如美國 Washington 州交通部(State Department of Transportation)及 Washington 州警(State Patrol)在 2006 年合辦一計畫以期改善該州第 5 號公路上一長 3.2 公里路段之行車安全。該計畫之策略是在所選擇的公路上每隔 49 公尺畫一白點，並用標誌要求駕駛員保持最少 2 白點的距離。但這種間距規定違反正常行車行為，因而導致嚴

重塞車。結果本來預定一年的計畫，在 8 月實施一天之後就被迫終止[14]。

從交通管理之觀點，美國阿拉斯加(Alaska)州之 Anton Anderson Memorial Tunnel 很特殊[15]，此隧道只有一車道，而且火車及汽車共用，因此火車及汽車輪流通過該隧道。此外，進入隧道之前車輛必須先在一地區分類，然後一車種分種輪流進入隧道。小車進入隧道之車距控制在大約 2.5 秒，大貨車之行車距離則大約 4.5 秒。

20.2.2 隧道容量

目前有限的資料顯示，公路隧道的容量有相當大的差異性。例如一早期的研究[16]估計在 Boston 海港底下之 Callahan 隧道的容量可達 1,650 輛/小時/車道。此隧道與市區道路連接，而且原來在隧道的一端有收費站。在收費站未廢除之前，隧道的容量只有 1,500 輛/小時/車道左右。相對而言，美國加州之 Caldecott 隧道（900 公尺）容量達 2,200 小車/小時/車道[17]。根據統計資料[18]，進入美國紐約市之 Queen Mitown 隧道（1,955 公尺長）的尖峰小時流率達 2,058 輛/小時/車道。換言之，其容量超過 2,000 輛小時/車道。日本公路隧道容量常在 1,100 ~ 1,350 輛/小時/車道[19]之範圍，但其幾何設計及隧道附近土地使用及道路設置之狀況不詳。韓國公路容量手冊[20]將高速公路在狀況良好情況之容量訂為 2,200 小車/小時/車道。根據此一基本容量及隧道的橫向淨距，韓國 Shingal-Ansan 高速公路上之隧道容量估計值為 $2,200 \times 0.98 = 2,156$ 小車/小時/車道。實際的容量則不詳。

根據 2011 年一研究工作[11]，國道 5 號公路的速限從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時之後，該公路上隧道的容量顯著增加。但是雪山隧道從 80 公里/小時升高到 90 公里/小時之後，容量之增加量很有限。表 20.2 顯示各隧道容量的估計值。

表 20.2 國道 5 號公路隧道容量估計值

隧道	速限 (公里/小時)	容量 (小車/小時)			
		北上		南下	
		內車道	外車道	內車道	外車道
雪山	90	1,340(56)	1,260(50)	1,470(58)	1,420(51)
彭山	80	1,680(53)	1,510(40)	1,580(63)	1,580(63)
石碇	80	1,580(42)	1,570(42)	1,460(65)	1,470(58)
註：()內之數據代表臨界速率 (公里/小時)					
資料來源：[11]					

20.2.3 國道 5 號公路隧道車流特性

國道 5 號公路上除了石碇，彭山及雪山隧道之外，還有南港隧道及烏塗隧道。南港隧道在國道 5 號公路最北端與國道 3 號公路交接處，其長度為 460 公尺。烏塗隧道在彭山隧道北邊，其長度只有 270 公尺。此外，國道 5 號公路在里程 31K 以北之路段有石碇交流道，坪林交流道及頭城交流道。這些交流道的進出口匝道很接近隧道進口或出口，因此車流特性隨地點的變化相當大。上述主要隧道及進出口匝道的配置如圖 20-1 所示。

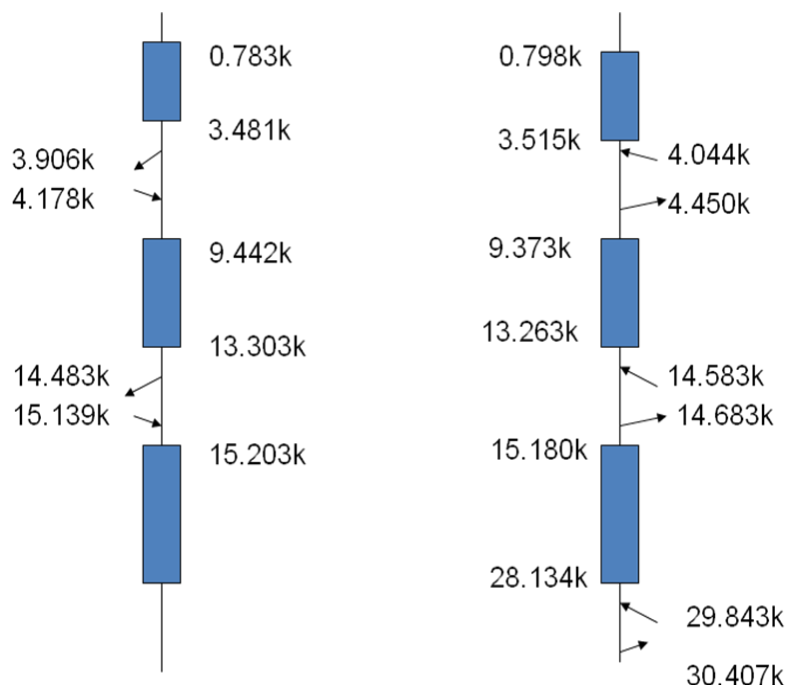


圖 20-1 國道 5 號公路主要隧道及匝道配置示意圖

國道 5 號公路在平常日的單向尖峰時段不長，而且其流率很少超過 2,000 輛/小時。在週末及國定假日剛開始的日期中，有大量南下的車流。假日快結束之前，則有大量北上的車流。假日尖峰流率常超過 2,500 輛/小時，而且這比平常日高的流率可持續 10 小時左右。這現象如圖 20-2 及圖 20-3 所示。

上述假日高流率持久不散的一原因是國道 5 號公路的容量不足。在週末及國定假日期間常有嚴重塞車的現象。北上壅塞狀況比較嚴重的路段包括石碇隧道北上進口附近，及雪山隧道中點附近一直到進口上游的路段。南下在石碇隧道及彭山隧道之間也容易有嚴重塞車的現象。以雪山隧道北上進口附近的路段為例，國定假日時壅塞狀況常持續 10 小時左右，其相關平均速率只有 30 公里/小時左右，如圖 20-4 所示。圖 20-5 亦顯示石碇隧道南下出口附近有壅塞時，平均速率低到 20 公里/小時左右的情形可持續好幾個小時。

國道 5 號公路隧道內外不同地點有不同的交通功能。交通功能較差的地點包括：

1. 石碇隧道北上進口附近。
2. 石碇隧道南下出口附近。
3. 彭山隧道南北向中點附近。
4. 雪山隧道南北向中點附近。

石碇隧道北上進口及南下出口附近交通功能較差的一原因是這兩地點有進出口匝道，而且在假日時主線及進口匝道車輛有高度的衝突。此外在彭山隧道南下進口附近，因壅塞所造成的慢速行進的壅塞車流有時會回堵到石碇隧道。至於雪山及彭山隧道中點附近功能較佳的原因，目前尚未能確定。

圖 20-6～圖 20-9 比較上述交通功能較差地點的流率與速率關係。從這些圖可知雪山隧道之交通功能最差。在同一流率時，雪山隧道所能維持的平均速率比其他兩隧道低。其容量也比其他兩隧道低得多。上述四圖亦顯示，平均自由速率沒有顯著區別時，不同地點的流率與速率關係有時會有相當大的差異。這現象可能是因為不同地點下游的幾何和車流狀況有差異所造成。

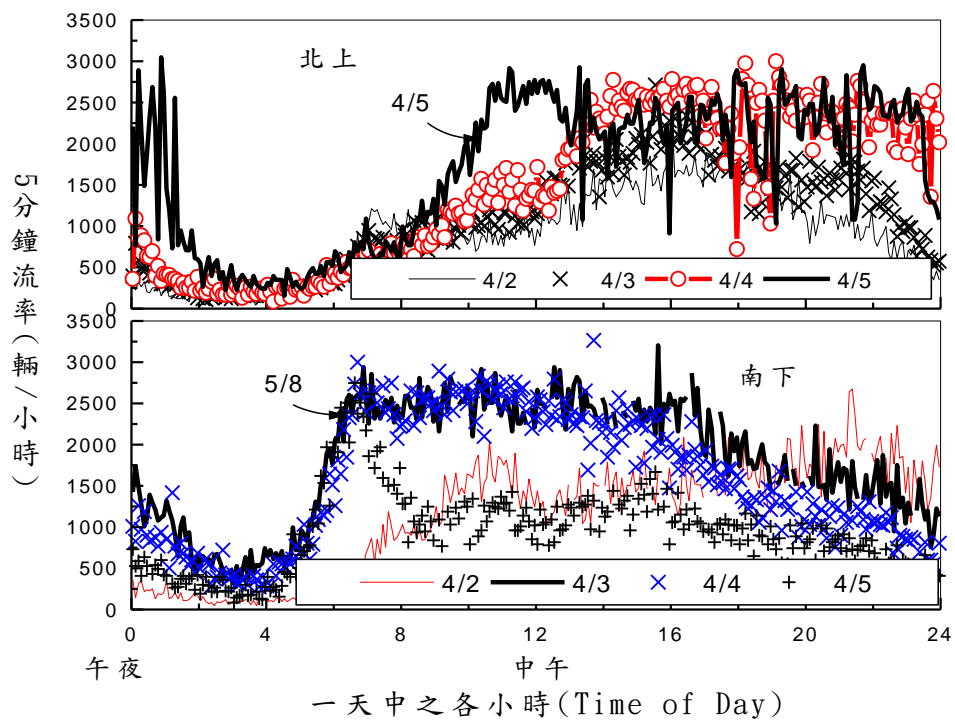


圖 20-2 雪山隧道在 2010 年清明節(4/2~4/5)的車流型態

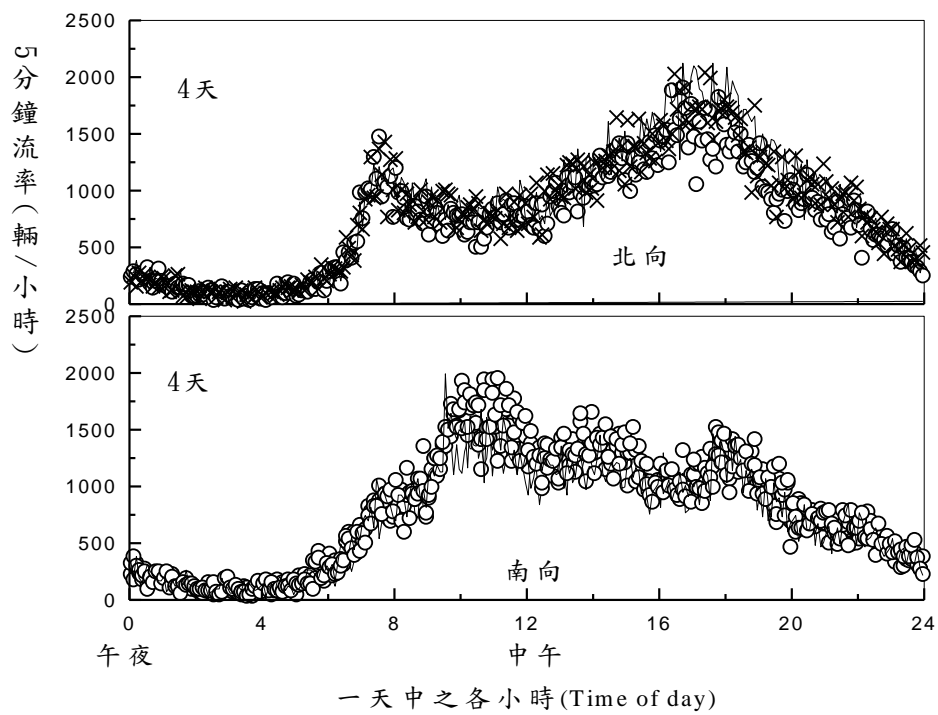


圖 20-3 雪山隧道在 2010 年週三的車流型態

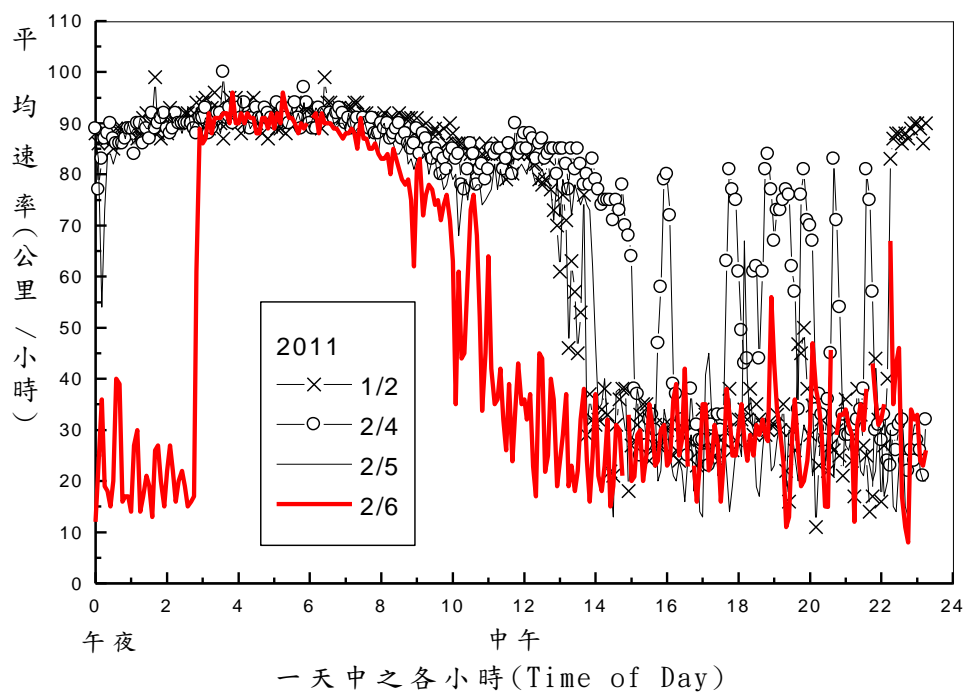


圖 20-4 雪山隧道北上進口在 2011 年春節時速率之變化

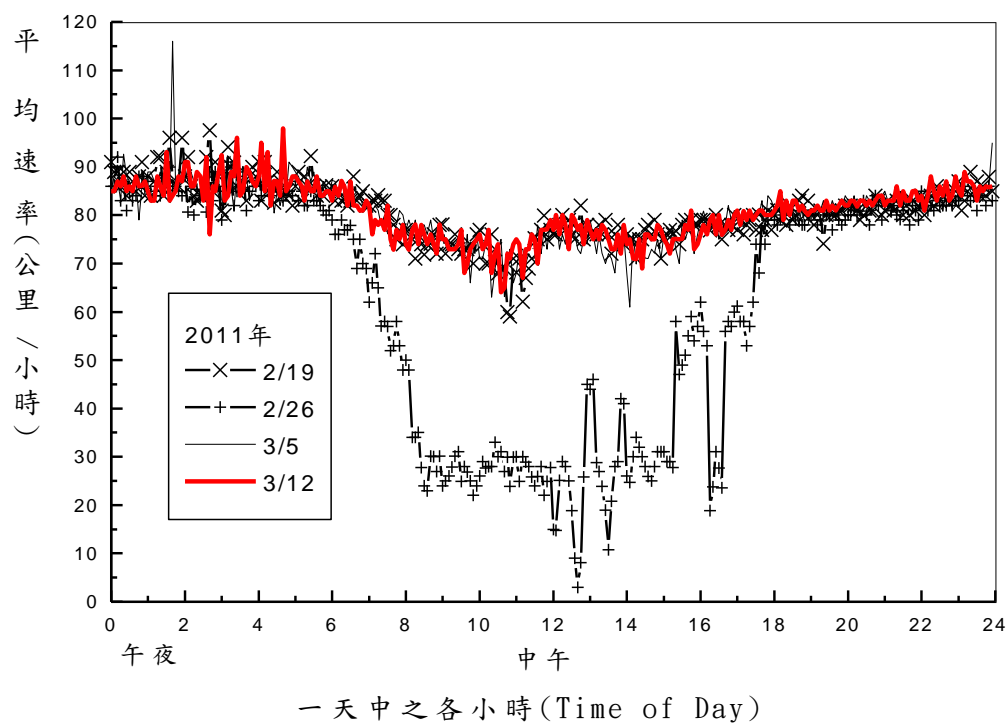


圖 20-5 石碇隧道南下進口在星期六時速率之變化

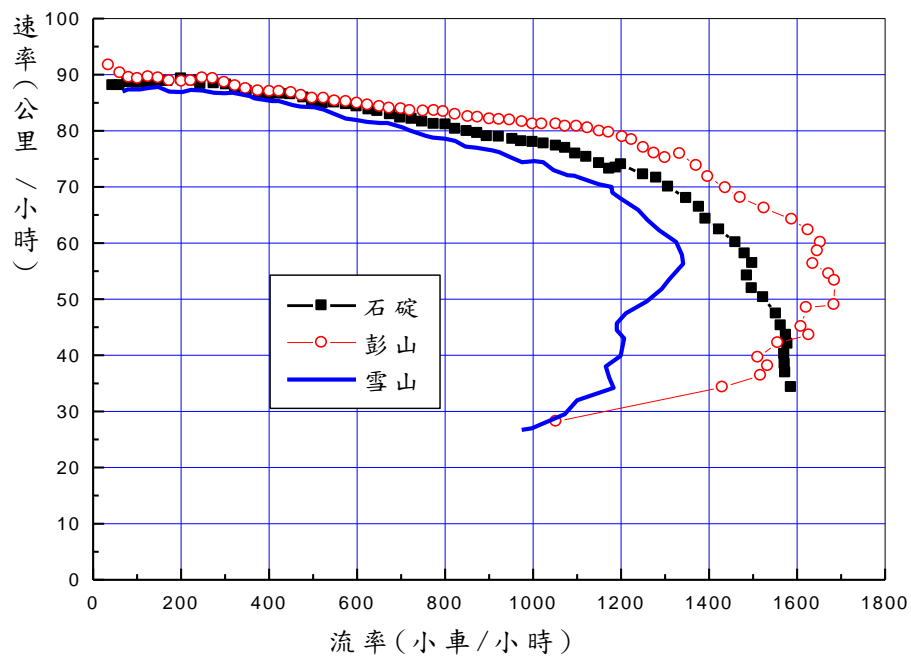


圖 20-6 雪山、彭山及石碇隧道北上內車道流率與速率關係之比較

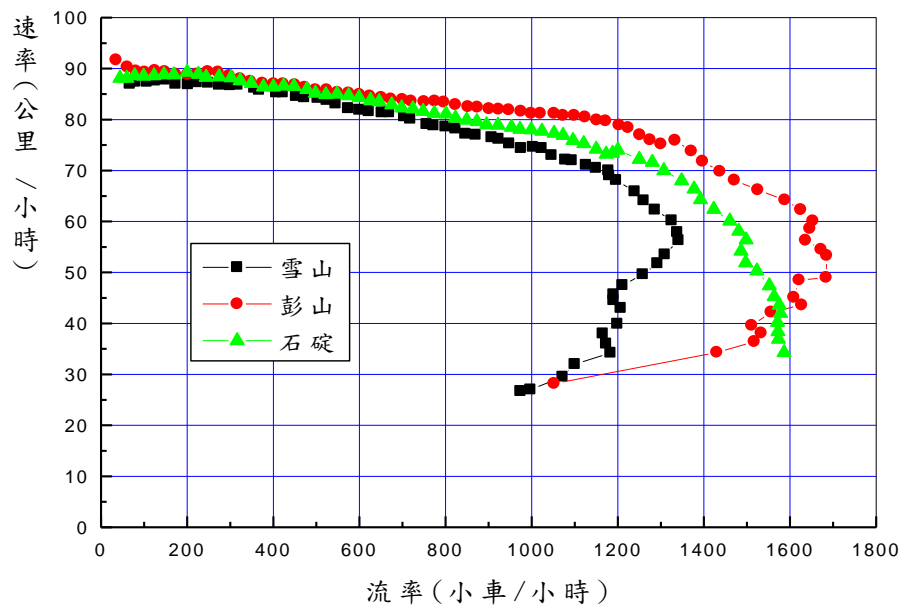


圖 20-7 雪山、彭山及石碇隧道北上外車道流率與速率關係之比較

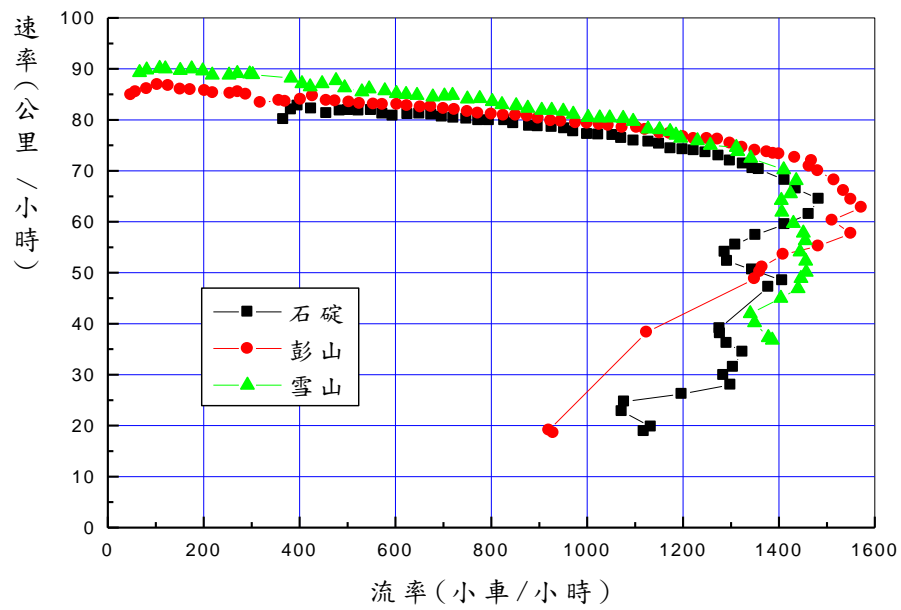


圖 20-8 石碇、彭山及雪山隧道南下內車道流率與速率關係之比較

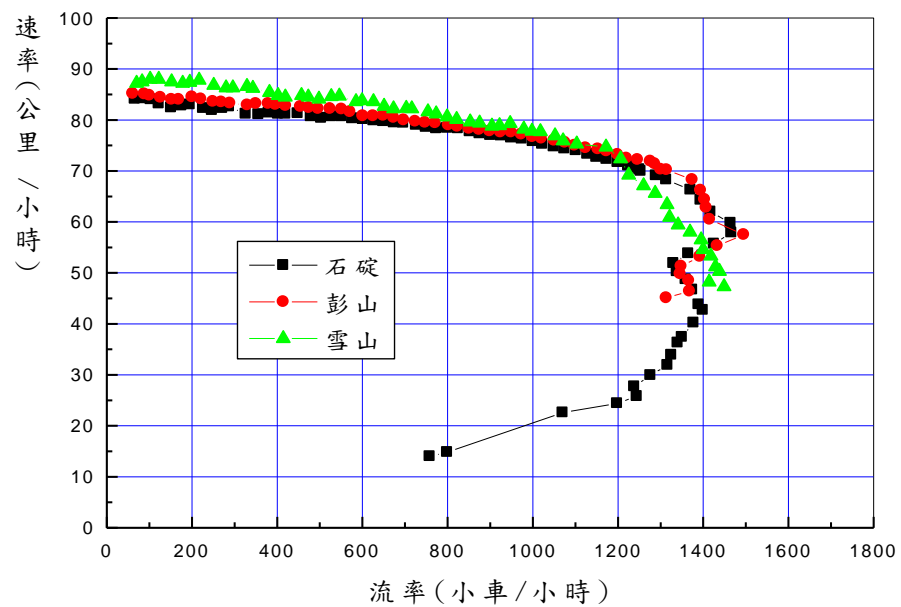


圖 20-9 石碇、彭山及雪山隧道南下外車道流率與速率關係之比較

同一車道上一定點的流率與速率關係受速限的影響。國道 5 號公路的速率從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時之後，在同一流率時能維持的速率及相關容量顯著的增加。但雪山隧道的速限從 80 公里/小時提高到 90 公里/小時之後，容量幾乎沒增加。這現象如圖 20-10 所示。

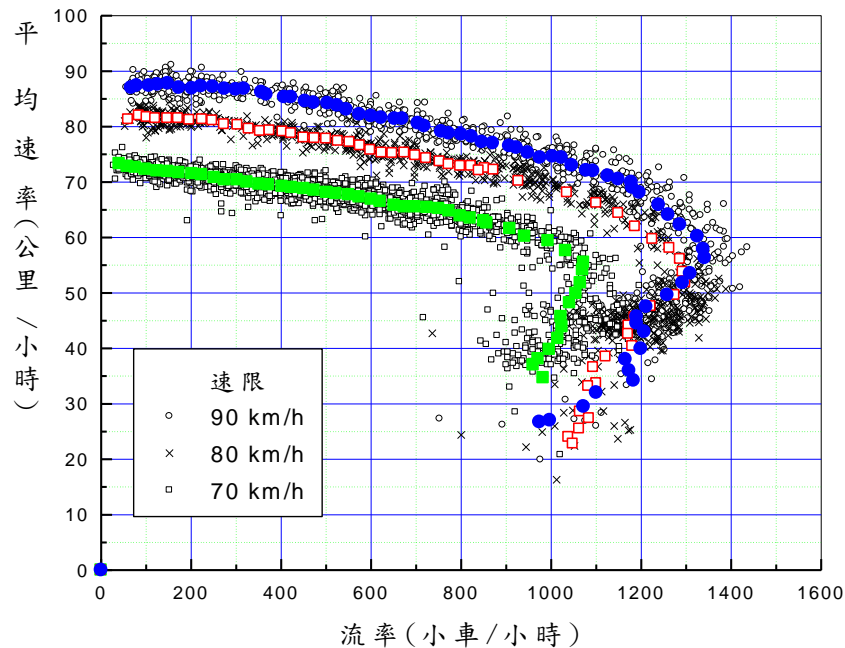


圖 20-10 北上內車道在 21.055K 處流率與速率在不同速限下之關係

雪山隧道的設計速率為 80 公里/小時，隧道內平曲線的曲率半徑最少有 1,000 公尺。如果根據美國 American Association of state Highway and Transportation Officials 的公路設計規範[21]，則最高安全速率在 120 公里/小時以上。但是隧道內必須保持最少 50 公尺行車距離的規定，加上駕駛員與隧道牆壁快速的相對移動，可能迫使駕駛員在高流率時不敢維持高速率，因此速限提高到 90 公里/小時之後，高流率狀況下的流率與速率關係與速限 80 公里/小時的關係沒有大的差別。

從圖 20-10 亦可知，在同一車道之一定點的流率與速率關係與車流在該點的平均自由速率息息相關。在同一流率時，自由速率高的車流有較高的速率，亦即其交通功能較高。因此在分析隧道時，有必要了解分析路段上車流的自由速率。

自由旅行速率隨速限，車道位置及地點而變，如圖 20-11 及圖 20-12 所示。國道 5 號公路之速限從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時之後，石碇隧道內之自由速率只增加 3~5 公里/小時。這現象可能是因為此隧道長度只有 2.7 公里，而且其兩端附近又有交流道，速限從 70 公里/小時提高到 80 公里/小時對彭山隧道及雪山隧道自由速率的影響比較大；彭山隧道的自由速率大約增加了 5~7 公里/小時，雪山隧道的自由速率則增加了 7~10 公里/小時。雪山隧道的速限從 80 公里/小時提高到 90 公里/小時之後，自由速率繼續的增加約 7 公里/小時。同時雖然其他隧道及石碇隧道的自由速率也隨著增加了 3~5 公里/小時。

從圖 20-11 及圖 20-12 也可知在隧道進出口附近及彭山及雪山隧道中點附近的自由速率皆有比鄰近路段低的現象。進出口附近的匝道，隧道進口行車環境的改變，及隧道內人行橫坑的存在可能是這上述地點自由速率下降的原因。

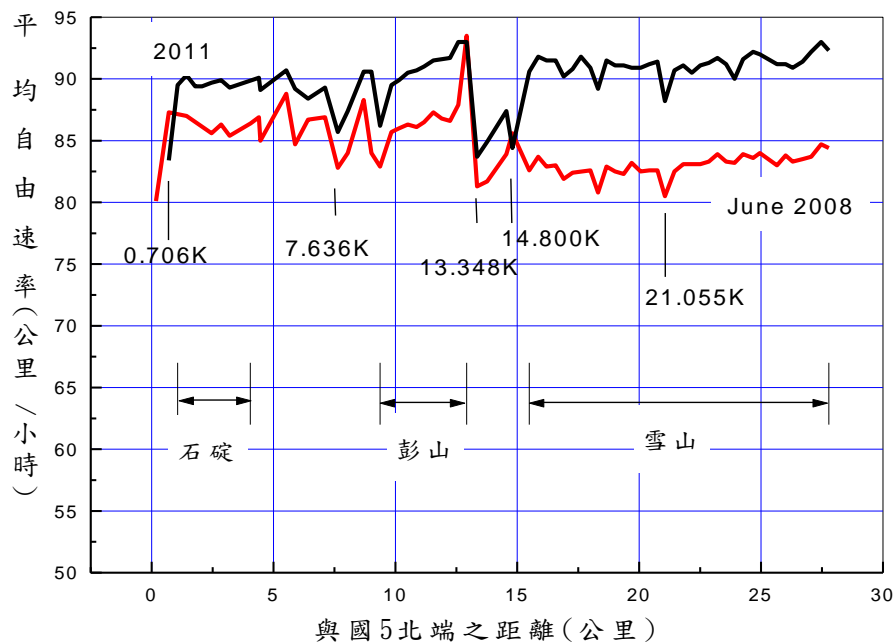


圖 20-11 北上內車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況

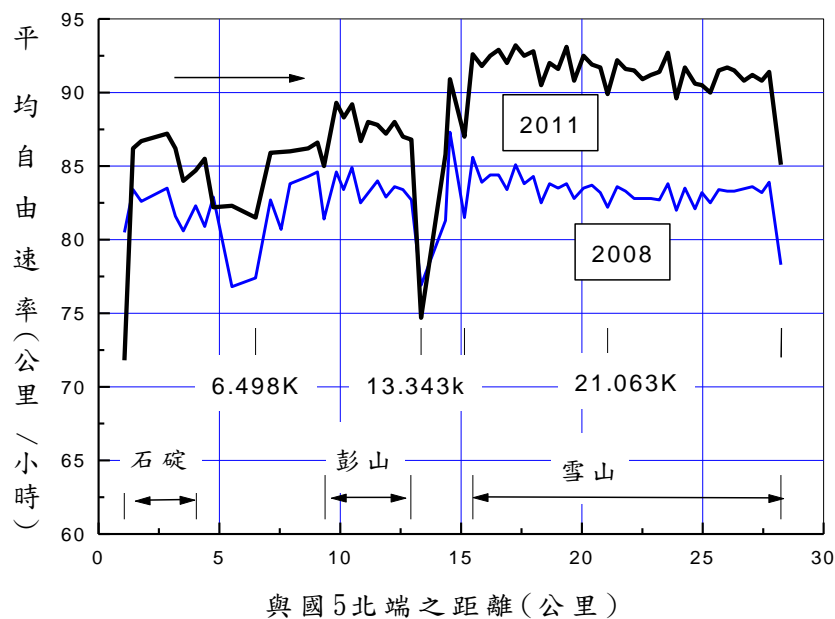


圖 20-12 南下內車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況

國道 5 號公路車流的方向性隨全天流量而變。圖 20-13 顯示雙向之全天流量在 50,000 輛以下時，流量較高方向之流量平均約佔總流量的 52%。全天流量較高時，流量較高方向的流量約佔全天流量的 55%。但是全天流量超過 70,000 時，這百分比可能增高到 64%。這高度不平均的流量分布是因為假日剛開始之期間，大多數的車輛南下到宜蘭、花蓮地區。假日快結束時，這些車輛北上回台北地區。

規劃，設計或評估一公路時，通常用尖峰 15 分鐘的需求流率做基準。估計這尖峰流率時可能須要用到尖峰小時流量係數及尖峰小時係數。尖峰小時流量係數代表尖峰小時流量佔全天流量之比例。尖峰小時係數則一般定義為尖峰小時流量與尖峰 15 分鐘流率（亦即尖峰 15 分鐘流量乘於 4）之比例。

如圖 20-14 所示，國道 5 號公路之尖峰小時流量係數有隨全天流量之增加而減少的趨勢。全天流量增高時，流量在不同時段的分布一般會比較均勻，因此預期其他公路的車流也有近似圖 20-13 所示之趨勢。

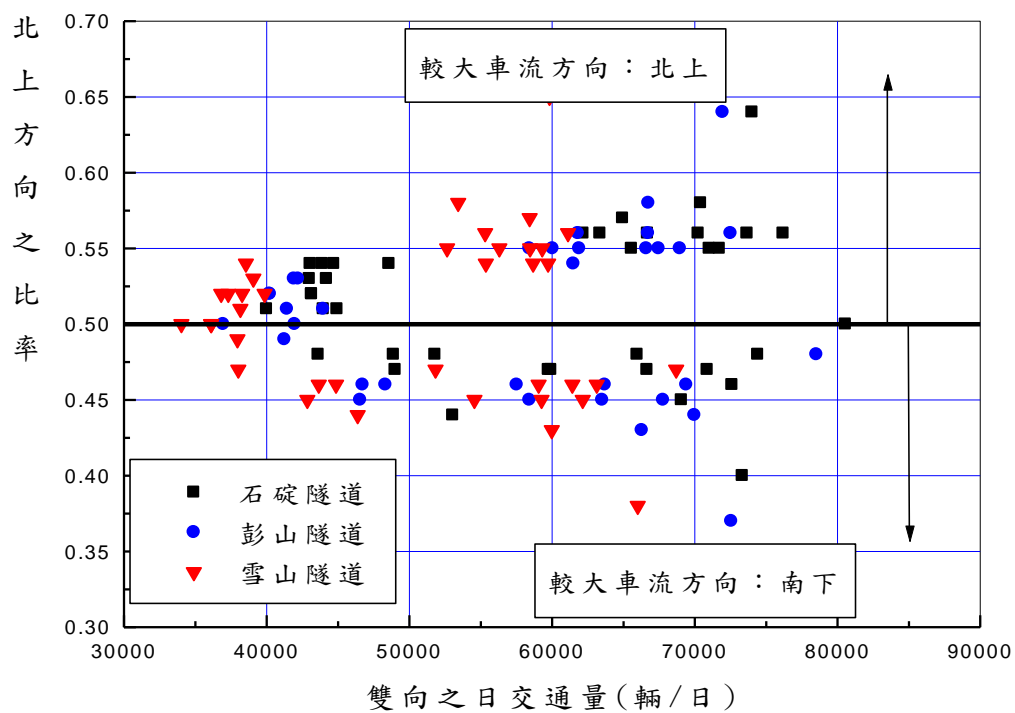


圖 20-13 北上全天流量占雙向總流量之比例

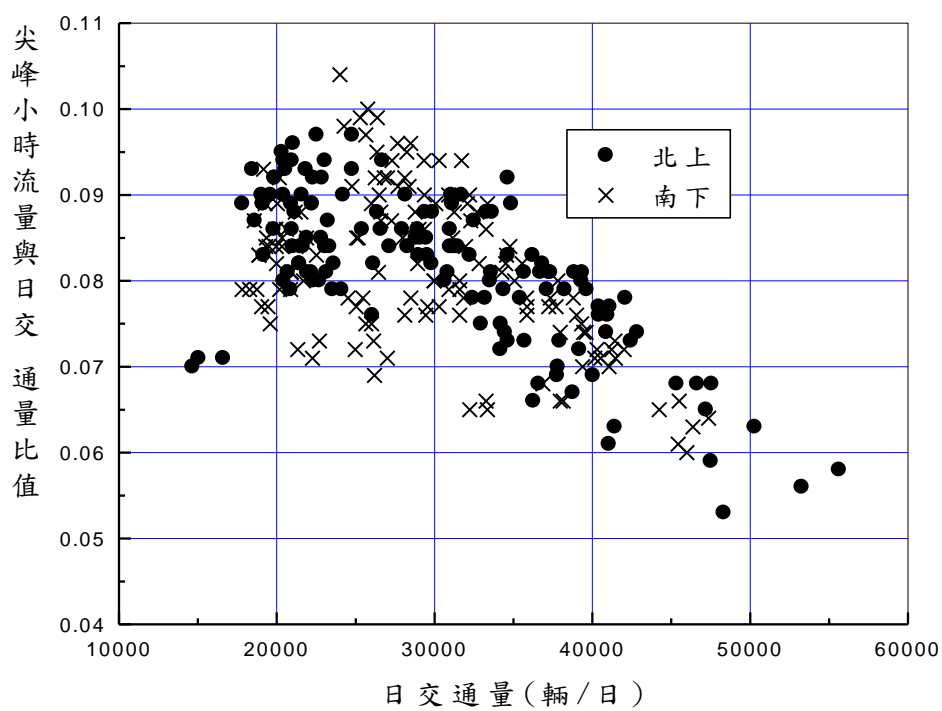


圖 20-14 尖峰小時流量係數與全天流量之關係

至於尖峰小時係數，國道 5 號公路之資料顯示，尖峰小時流量（亦即流率）增高時，尖峰小時係數有增高的趨勢。但兩者的關係有很大的變異性，如圖 20-15 所示。例如尖峰小時流率為 2,500 輛/小時之相關尖峰小時係數可能低到 0.88 或高到 0.98。在規劃一新的公路設施時，為了避免低估需求流率的不良後果，規劃人員可選擇一比較保守的尖峰小時係數。

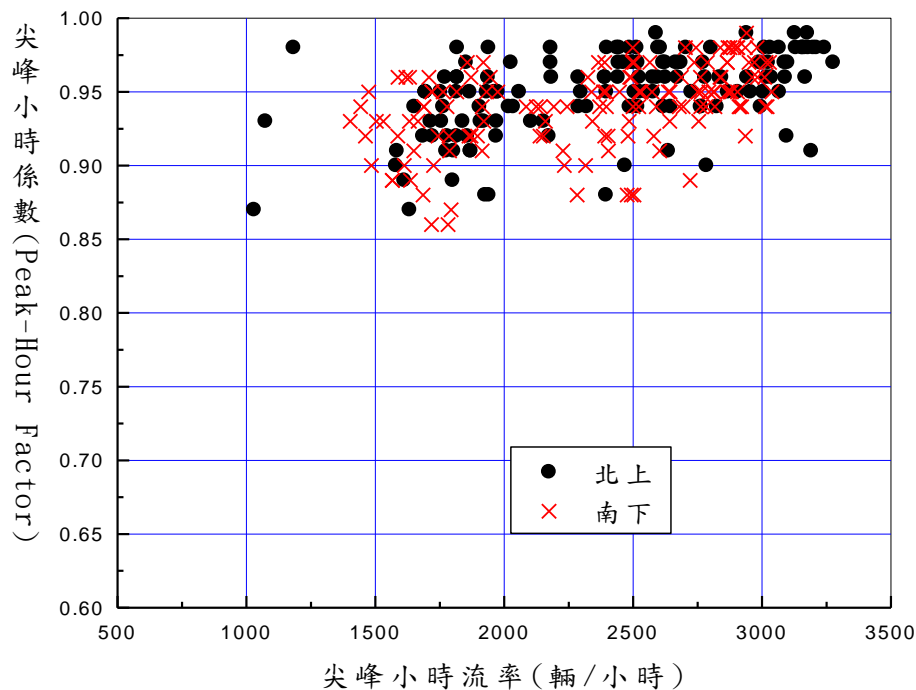


圖 20-15 尖峰小時係數與尖峰小時流率之關係

車流中通常有不同車種，如小客車，休旅車，輕型小貨車，大客車，大貨車，聯結車等。為分析方便起見，或因資料不充分，這些車種可劃分為小車及大車。車種組成會受公路性質及公路所在地的影響。國道 5 號公路因隧道禁行大貨車及聯結車，目前的車種只包括小車及大客車。圖 20-16 顯示大客車佔單向總車輛的比例隨全天流量的增加而減少。通常全天流量增高時，小車之增加量會比大車之增加量高，因此多數公路之車流會有類似圖 20-16 所顯示的趨勢。

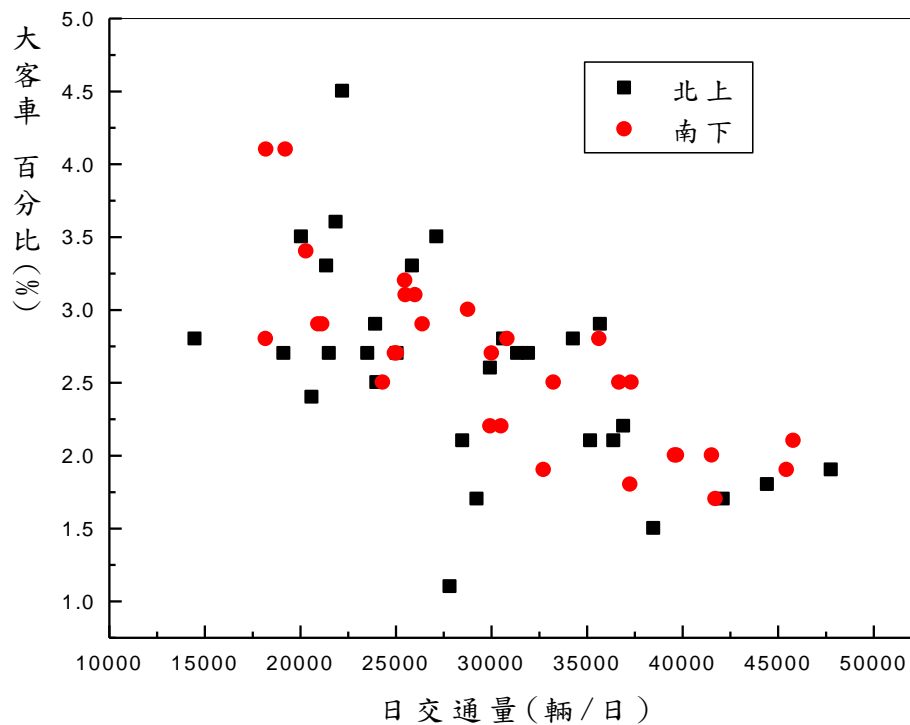


圖 20-16 通過雪山隧道全天流量中之大客車百分比

在一時段內，一公路上的車流並不一定會均勻的分布在各車道上。一般而言，內車道的流率通常比外車道的流率高。此外，國道 5 號公路的資料顯示，雖然在同一地點，不同車道的流率與速率關係可能有顯著差異。圖 20-17 為這現象之一例子。因此本章的分析方法將內外車道分別分析。

分析公路隧道時，有兩個地點的車流在不同車道的分布最值得注意。第一個地點是隧道進口附近。如果隧道內不能變換車道，則在進口車流的車道分布與隧道內應沒有顯著差別。第二個地點是隧道附近進口匝道上游主線路段。主線與進口匝道匯流地點在高流率狀況時，車輛可能有嚴重的衝突。主要衝突則在於主線外車道及匝道車道。

國道 5 號公路上，隧道進口附近內車道與外車道的流率有明顯的線性關係，如圖 20-18 所示。這關係隨隧道稍有差異，但外車道流率大致為內車道流率的 91%。在進口匝道上游主線的內外車道流率也有明顯的關係，如圖 20-19 所示。外車道流率大致等於內車道流率的 83%。

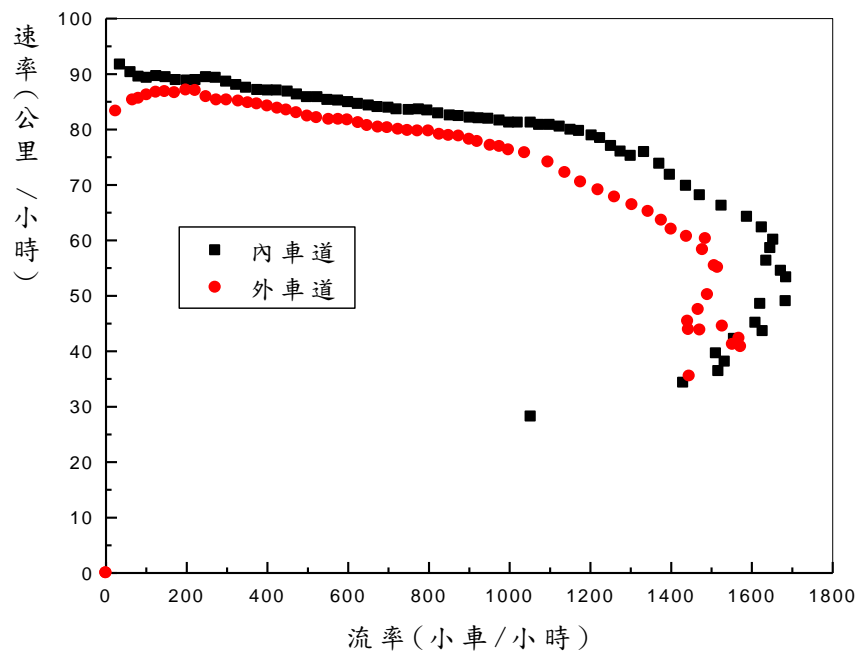


圖 20-17 北上內外車道流率與速率關係之差異(11.178K)

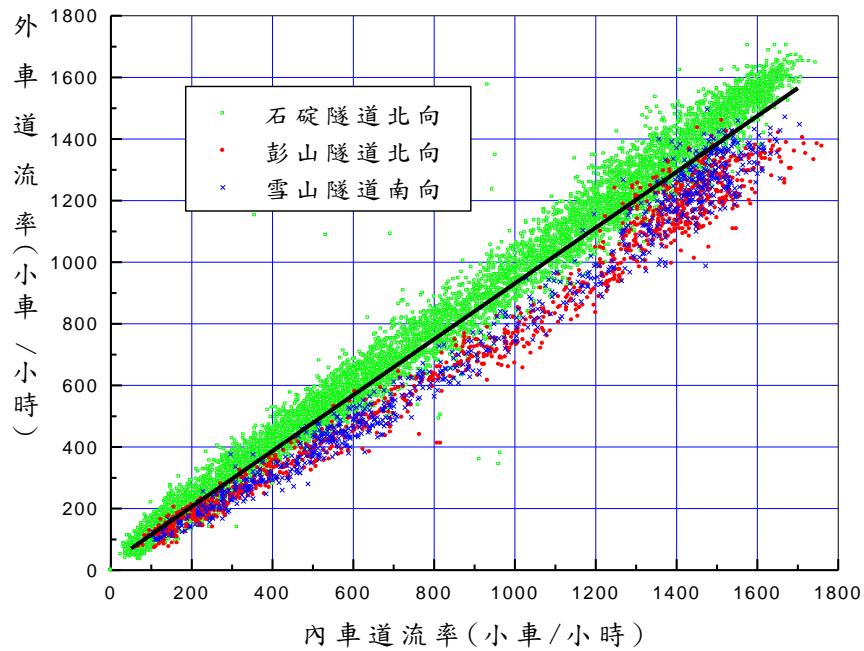


圖 20-18 國道 5 號公路 3 隧道進口附近內外車道流率之關係

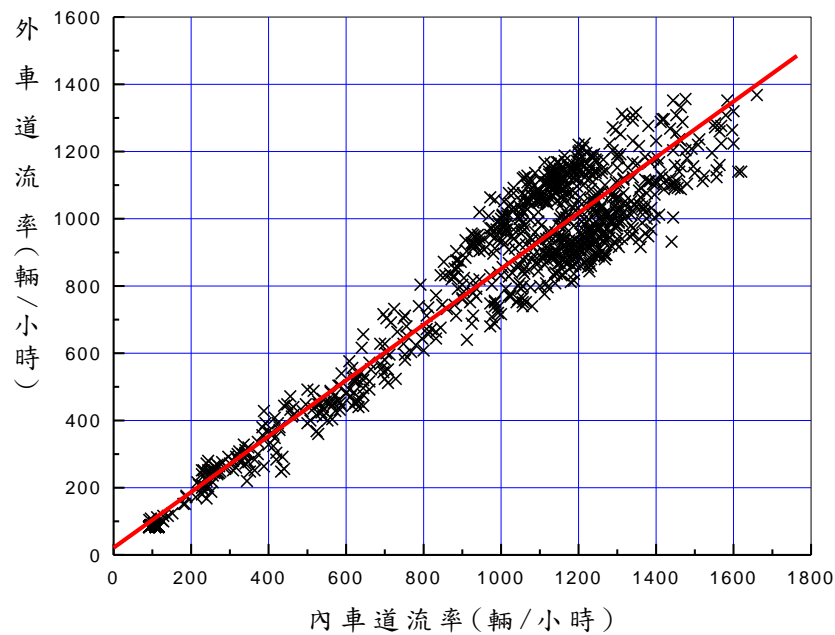


圖 20-19 石碇南下進口匝道上游主線內外車道之流率關係(4.016K)

交通管理機構常用佔有率以監控交通作業狀況，或用這參數訂定交通管理策略。佔有率代表在一時段內，一路段被車輛佔據的百分比。通常佔有率用車輛偵測器（如 inductive loop detector）自動估計。在美國常用的偵測範圍的長度為 6 英尺（1.83 公尺）。國道 5 號公路上偵測站的偵測範圍長度大約有 5 公尺。

圖 20-20～圖 20-21 分別顯示在 5 個地點的佔有率與流率的關係。從圖 20-20 可知佔有率超過大約 23% 之後，車流呈不穩定狀況。其他兩圖則顯示佔有率超過 30% 之後車流才會進入不穩定狀況。車流開始進入不穩定狀況時的佔有率有如此大的差異的原因不詳。這問題尚待在將來進一步探討。

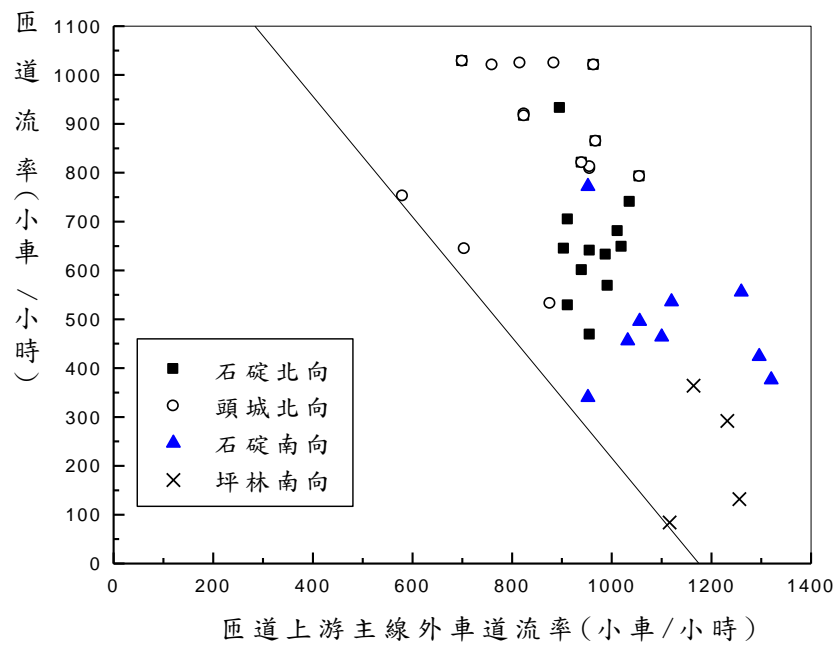


圖 20-20 壅塞狀況開始之前的匝道流率及匝道上游主線外車道之流率

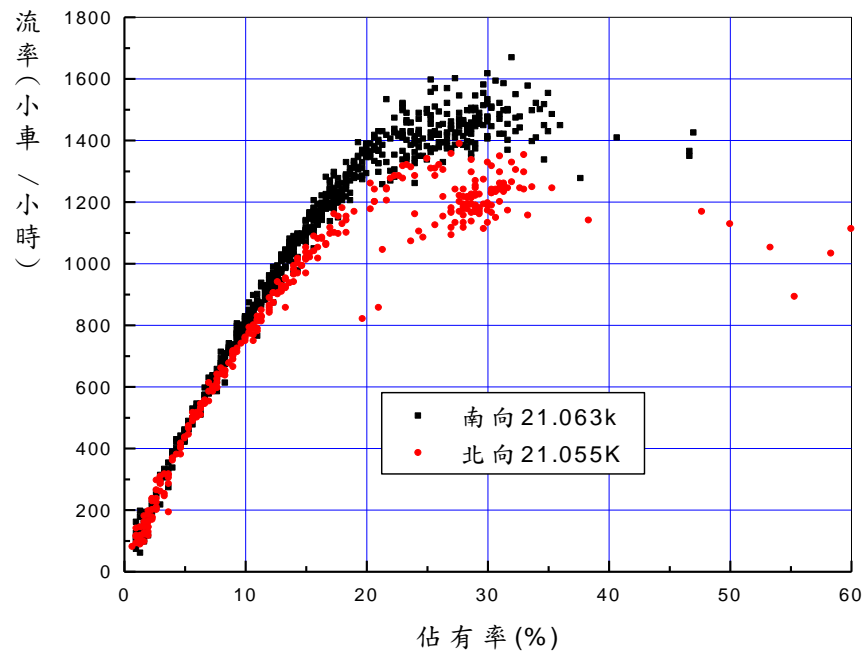


圖 20-21 佔有率與流率關係之樣本

20.3 績效指標及服務水準劃分標準

公路隧道交通作業之服務品質可用需求流率與容量之比值，亦即 V/C 比，及平均速率兩績效指標來衡量。V/C 比反映公路之擁擠程度。速率則是一般用路人最關心的指標。V/C 比與平均速率雖有關聯，但兩者所代表的服務品質有差異。例如一上坡路段的車流有相當低的 V/C 比時，其相關平均速率可能也很低。在這情況下，雖然該坡度路段車流密度低，用路人仍可能認為其服務品質難以接受。此外同一 V/C 比之情況下，速率有很大的變異範圍。以國道 5 號公路在不同地點及不同速限的代表性流率與速率關係為例。圖 20-22 顯示在同一 V/C 比之速率的差距可經常超過 20 公里/小時。另一方面，從圖 20-22 也可知在同一速率時，V/C 比也有很大的變異性。因此速率不能正確的反映一公路之壅塞程度。因為上述單獨使用 V/C 比或平均速率評估服務水準的缺陷。本章採用 V/C 比及平均速率同時做為劃分服務水準等級之標準。

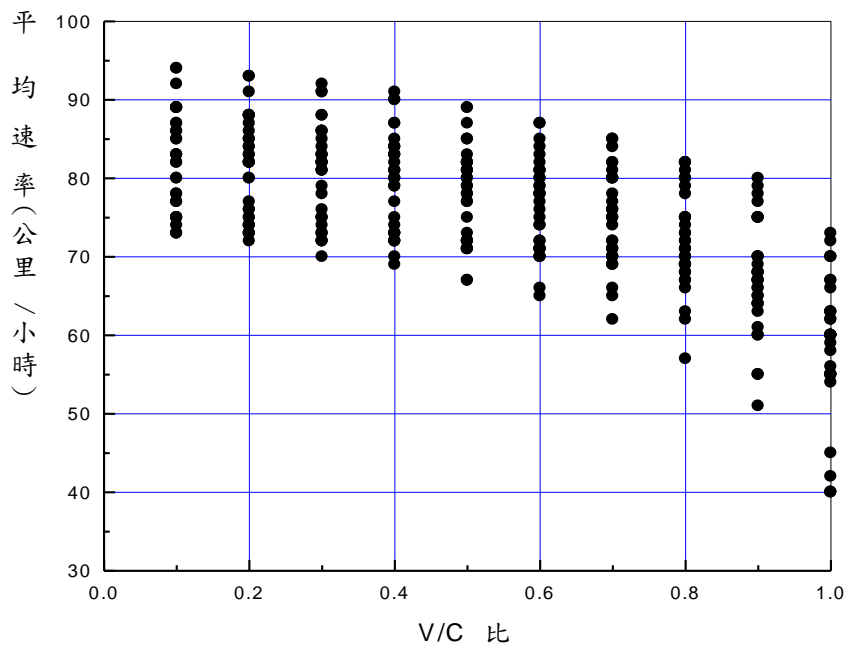


圖 20-22 國道 5 號公路不同地點之 V/C 比與平均速率的關係

分析公路服務水準的一般做法是將服務水準分成 6 級。從 V/C 比之角度而言，A 級代表密度低，速率等於或接近自由速率的最高級服務品質。V/C 比等於或超過 1.0 時，公路已進入壅塞狀況。這種狀況的服務水準通常訂為 F 級。至於其他等級則沒有絕對的界限。

從上述圖 20-22 可知，V/C 比在 0.6 以下時，速率的變異範圍大約是 20 公里/小時，而且這變異範圍不隨 V/C 值而有顯著變化。V/C 比增高到約 0.85 時，速率之變異範圍擴大到大約 25 公里/小時。V/C 比超過 0.85 之後，速率的變異範圍及速率皆急速增加。這表示 V/C 比高於 0.85 時，車流的穩定性可能已有問題。根據這現象，本章根據表 20.3 之標準，從 V/C 比之角度來劃分服務水準。

表 20.3 根據 V/C 比之服務水準等級劃分標準

服務水準等級	V/C 比
A	0.00~0.34
B	0.35~0.59
C	0.60~0.84
D	0.85~0.94
E	0.95~1.00
F	> 1.00

從平均速率的角度劃分服務水準等級之標準比較難以訂定。因為資源的限制，公路上不同路段可能有不同的設計標準及速限。因此一速率是否代表一可接受的服務品質宜根據該速率與速限或自由速率的差距來衡量。使用速率與自由速率做為一績效指標的缺陷是分析工作會比較困難，因為自由速率必須從現場調查或一模式來估計。如果速限的訂定合理而且執法確實，通常速限與自由速率的差距會在 10 公里/小時左右。為了應用的方便，本章之分析方法採用平均速率與速限的差距來劃分服務水準等級。

國道 5 號公路的車流從穩定進入不穩定狀況之後的速率一般在 45 公里/小時以下。比較常見的壅塞速率在 25 公里/小時左右。所以如果速限為 70 公里/小時，則下降 25~45 公里/小時之後的速率非常難以接受。

另一方面，根據國道 5 號公路在不同地點的資料，圖 20-23 顯示速限與速率的差距（速限減掉速率）隨 V/C 比之升高而增加。V/C 比等於 1.0 時的最高差距達 40 公里/小時。但是在任何一 V/C 比時的差距有相當大的變化。速率若是高於速限，或是只比速限約低 5 公里，則此速率可算是很良好的速率。但是速率若比速限低 25 公里/小時以上，則多數駕駛員可能很不滿意，而且速率有可能急速降到壅塞速率的範圍。

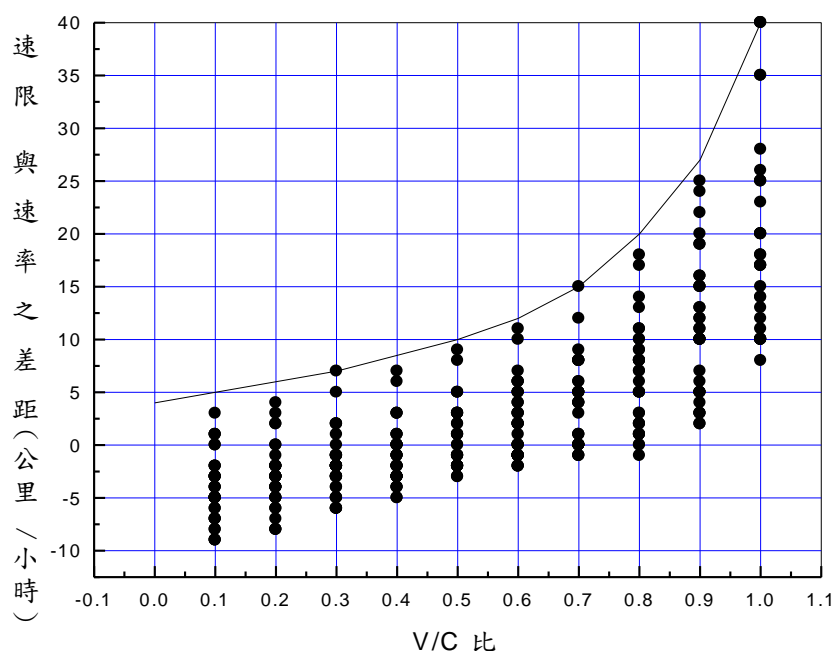


圖 20-23 國道 5 號公路速限與速率差距隨 V/C 值之變化

根據上述的觀察，本章採用表 20.4 之標準將服務水準依照速限與速率的差距分成 6 等級。第 5 級及第 6 級為應該避免的等級。

表 20.4 根據速限與速率差距之服務水準等級劃分標準

服務水準等級	速限減速率（公里/小時）
1	≤ 5
2	6~10
3	11~15
4	16~25
5	26~35
6	> 35

在應用表 20.3 及表 20.4 之劃分標準評估一隧道作業時必須用 2 個代號代表該設施的服務水準。第一代號是 A 到 F，第二代號是 1 到 6。例如一隧道的 V/C 比值為 0.4，其相關的平均速率為 70 公里/小時，速限則為 80 公里/小時，則該設施的服務水準為 C2。

規劃一新的公路設施時可先從 V/C 比之角度選擇一適用的服務水準。一般而言，此服務水準最好是在 D 級以上。如果因資源的限制，則可接近 D 級，但絕對不能用 D 級以下的等級做為設計的準則。設計之後再從速率的角度估計服務水準。根據速限及速率差距的服務水準不宜低於第 4 級。

選擇速限以評估一路段時，應考慮評估的結果須能顯示同一公路（如圖 20-1）或同一等級公路網（如高速公路）上不同路段或車道的相對服務水準。相對服務水準可協助決定在有限資源的限制之下，如何訂定公路改善的優先順序。因此適用的速限為一公路或同一等級公路網中的最高速限。

20.4 分析方法

公路隧道內的車流特性隨地點而變。如果隧道進出口附近有匝道，則隧道內外車流的互相影響可能造成很複雜的車流行為。目前沒有電腦模擬模式可用來分析這種行為。所以本章依賴分析性模式及圖表來分析隧道交通作業。此方法只能分析隧道車流行為不隨時間而變（亦即 steady-state）的作業。此外，隧道之交通功能受制於隧道中容量最低的地點。因此本章用國道 5 號公路上各隧道內容量最低地點的車流特性來訂定分析用之代表性關係[11]。

20.4.1 分析對象及架構

能進入一隧道之流率受到上游路段的幾何設計，交通控制及車流狀況的影響。例如一隧道上游有主線與進口匝道匯流之情形時，能通過匯流區而進入隧道的流率受匯流區容量的限制。一隧道下游如果有主線與進口匝道匯流區，則該區的壅塞可能影響能從隧道離開之流率。

本章的分析方法假設欲進入隧道的流率已知或可合理的估計。在

這情況下，隧道的分析只須考慮隧道本身及下游主線及匝道匯流區，如圖 20.24 所示。此圖中， Q_{m1} ， Q_{m2} 等各代表下述之流率：

Q_{m1} = 尖峰 15 分鐘欲進入隧道之需求流率（輛/小時），

Q_{m2} = 能從隧道離開之流率（輛/小時），

Q_{m3} = 出口匝道上游主線之流率（輛/小時），

Q_{r1} = 出口匝道之流率（輛/小時）。

Q_{r2} = 進口匝道之流率（輛/小時）。

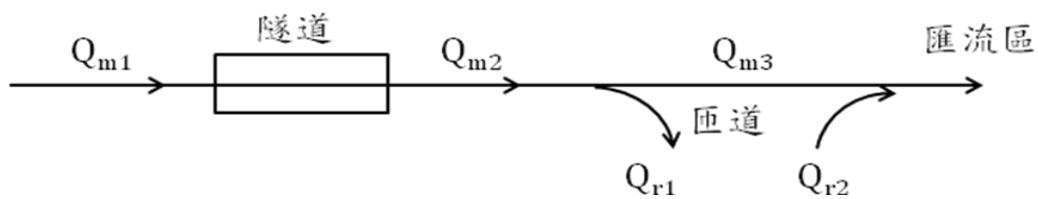


圖 20-24 公路隧道分析對象示意圖

根據 Q_{m1} ， Q_{r1} 及 Q_{r2} 分析隧道交通作業的程度如圖 20-25 所示。

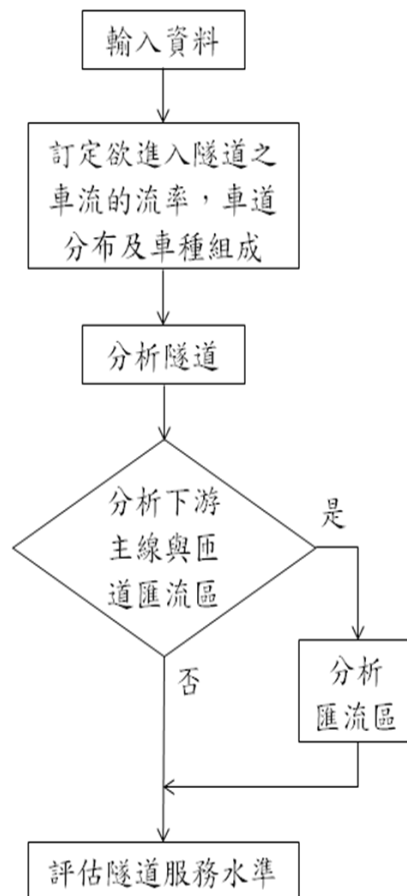


圖 20-25 公路隧道分析架構

20.4.2 輸入資料

分析公路隧道時最少須考慮幾何設計，交通控制及車流狀況。因為目前只有國道 5 號公路的車流特性資料，而且該公路上隧道及匝道配置隨地而異，所以本章無法討論幾何設計的影響。

車流狀況除了需求流率，車種組成及車流的車道分布之外，也須了解車流之自由速率。自由速率最好能從現場資料來估計。如果沒有現場資料，則可從一簡便的方法來估計。

交通控制策略影響自由速率及其他車流行為。自由速率又與一路段的交通功能有密切關係。國道 5 號公路的交通控制包括速限，車種管制。禁止變換車道及公車禁行內車道。此外，在正常情況下，雪山隧道內的車輛必須保持最少 50 公尺的距離。這最小間距的規定在低流率，高速度的狀況下，預期對車流不會有影響。但是高流率時可能造成比沒限制時還長的間距，因此降低了雪山隧道的容量。目前的資料不足於評估最少間距之規定對容量或其他車流特性的影響程度。所以本章分析方法只考慮速限的影響。

20.4.3 訂定欲進入隧道的車流的流率，車種組成及車道分布

分析一現存隧道的作業時，欲進入隧道的尖峰 15 分鐘流率 Q_{m1} 從現場資料來訂定，或根據已知的尖峰小時流率及一適當的尖峰小時係數(peak hour factor)估計如下：

$$Q_{m1} = \frac{Q_{60}}{PHF} \quad (20.1)$$

此式中，

Q_{m1} = 欲進入隧道之尖峰 15 分鐘流率 (輛/小時)，

Q_{60} = 欲進入隧道之尖峰小時流率 (輛/小時)，

PHF = 尖峰小時係數。

規劃及設計一隧道時，式 20.1 中之尖峰小時流率可估計如下：

$$Q_{60} = ADT \times K \times D \quad (20.2)$$

此式中，

ADT = 設計年(design year)之平均每日流量 (輛/小時)，

K = 尖峰小時流量係數，

D = 流量之方向係數。

尖峰小時係數 PHF 一般定義為尖峰小時流量 (或流率) 與尖峰 15 分鐘流率的比值。所以如果尖峰小時流量為 2,000 輛，尖峰 15 分鐘之流量為 600 輛，則尖峰小時係數等於 $2,000/(4 \times 600) = 0.83$ 。此係數有隨尖峰小時流率的增加而升高的現象。尖峰小時流量係數 K 代表尖峰小時流量與平均每日流量的比值。此係隨平均每日流量的增加而減少，如果沒有隧道當地的資料，選擇尖峰小時係數及尖峰流量係數時，可參考表 20.5 及表 20.6。

表 20.5 尖峰小時係數參考值

尖峰小時流率 (輛/小時)	尖峰小時係數
< 1,500	0.90
1,500~2,000	0.91
2,000~2,500	0.92
2,500~3,000	0.93
3,000~3,500	0.94

表 20.6 尖峰小時流量係數參考值

單向全天流量 (輛)	尖峰小時流量係數
20,000~25,000	0.092
25,000~30,000	0.090
30,000~35,000	0.085
35,000~40,000	0.080
40,000~45,000	0.070
45,000~50,000	0.065
> 50,000	0.060

流量之方向係數 D 代表流量較大方向之流量佔雙向線流量的比值。此係數預期會隨隧道所在地及公路的性質而變，但是通常在 0.5 與 0.6 之間。根據國道 5 號公路的資料，流量之方向係數可估計如下：

如 $ADT < 30,000$

$$D = 0.52 \quad (20.3)$$

如 $ADT \geq 30,000$

$$D = 0.52 + 1.5(ADT - 30,000) / 10^6 \quad (20.4)$$

車種組成會受交通管制政策及隧道所在地公路性質影響。所以最好用隧道現場資料，或隧道預定地點附近公路的車種組成來分析。以國道 5 號公路為例，小車大約佔所有車輛的 97%。其他車輛為大客車。所有大車可用小車當量轉換成對等小車。隧道內坡度不超過 2% 時，大車的小客車當量可訂為 1.5。較大坡度路段上大車的小客車當量適用值目前沒有資料可準確的訂定。

因為隧道內、外車道的流率與速度關係常會有顯著差異，所以本章將內、外車道分別分析。將來可探討是否能合理的將單向所有車道合併分析，以便簡化分析工作。國道 5 號公路車流資料顯示隧道內外車道的流率可估計如下：

$$Q_1 = (0.525 Q_{m1} - 13) [1 + P_1(E - 1)] \quad (20.5)$$

$$Q_2 = (0.475 Q_{m1} + 13) [1 + P_2(E - 1)] \quad (20.6)$$

這兩式中，

Q_1, Q_2 = 內車道及外車道個別流率（小車/小時），

Q_{m1} = 欲進入隧道之需求流率（輛/小時），

P_1, P_2 = 車道及外車道個別大車比例，

E = 大車之小車當量（平坦路好建議值：1.5）。

個別車道上大車的比例可估計如下：

$$P_1 = \frac{Q_{m1} P (1 - f)}{0.525 Q_{m1} - 13} \quad (20.7)$$

$$P_2 = \frac{Q_{m1} P f}{0.475 Q_{m1} + 13} \quad (20.8)$$

這兩式中，

P = 大車佔線車輛之比例，

f = 大車中使用外車道之比例。

20.4.4 分析隧道

圖 20-23 所示之分析架構中，分析隧道的工作重點在於根據內外車道的需求流率評估隧道之服務水準。此工作不考慮下游主線與進口匝道匯流區作業的影響。如果後續匯流區之分析發現該區有壅塞的可能，則本工作估計的服務水準等級可能無法維持。

本章將隧道根據其本身及上下游匝道的配置分成六類型來分析。這六類型隧道的性質列於表 20.7。如果分析對象不屬於表 20.7 中之任一類型，可選擇一最相似的類型來分析。例如一長 10 公里的隧道離上下游的進口匝道皆遠超過 1 公里，此隧道不屬於表 20.7 中之任何類型。在這情況下，若將此隧道當作類型 1 隧道分析，則可以了解此隧道最低能維持的服務水準。

表 20.7 隧道類型

類型	隧道長度 (公里)	隧道與上下游進口匝道之距離 (公里)	
		上游	下游
1	≥ 10	≥ 1	< 1
2	≥ 10	≤ 1	> 1
3	3~5	≥ 1	> 3
4	3~5	> 3	> 1
5	2~3	< 1	> 3
6	2~3	> 3	< 1

分析上述六類型隧道的對象是隧道內容量最低地點的服務水準。各類型的容量如表 20.8 所示。這些容量代表車流從穩定狀況進入不穩定狀況之前，經常能維持的最高流率之期望值。現場車流在任何一時段中從穩定進入不穩定狀況時的流量可能高於或低於容量之估計值。

上述各類型隧道的代表性流率與速率關係如圖 20-26~圖 20-37 所示。這些圖中每一曲線代表車流在穩定狀況下的流率與速率關係。曲線上的最高流率等於一隧道之容量。每一曲線可用分析性模式來代表。這些模式列於本章之附錄。

表 20.8 隧道容量估計值

隧道 類型	車道 位置	自由速率（公里/小時）				
		90	85	80	75	70
1	內	1,360	1,325	1,240	1,150	1,020
	外	—	1,260	1,200	1,100	900
2	內	1,540	1,460	1,350	1,250	—
	外	1,460	1,420	1,400	1,280	1,150
3	內	1,650	1,520	1,400	1,300	—
	外	1,520	1,475	1,400	1,300	—
4	內	1,620	1,530	1,480	1,460	—
	外	1,620	1,500	1,380	1,260	—
5	內	1,500	1,500	1,460	1,300	—
	外	1,500	1,500	1,460	1,300	—
6	內	—	1,480	1,400	1,350	—
	外	—	1,420	1,370	1,330	—

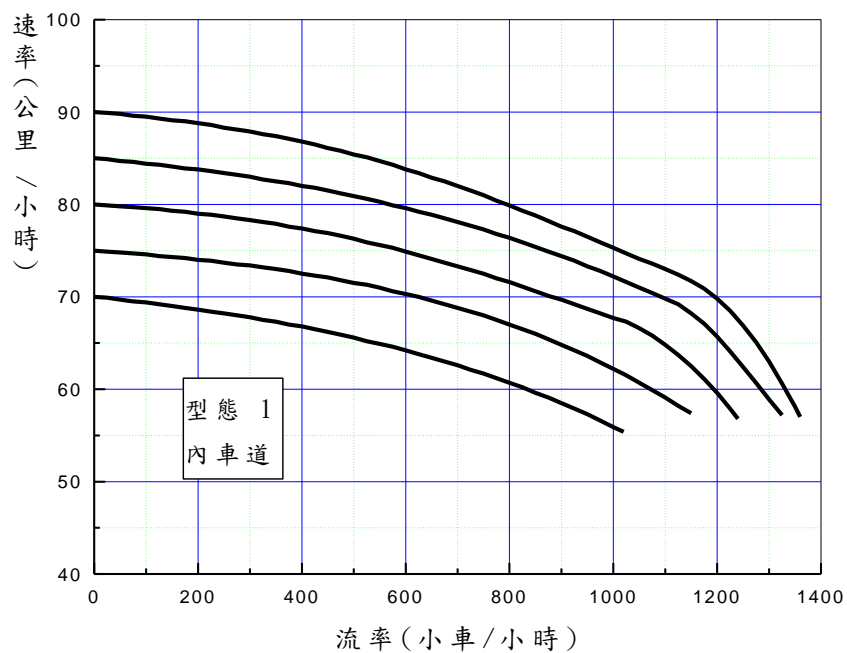


圖 20-26 型態 1 隧道內車道之代表性流率與速率關係

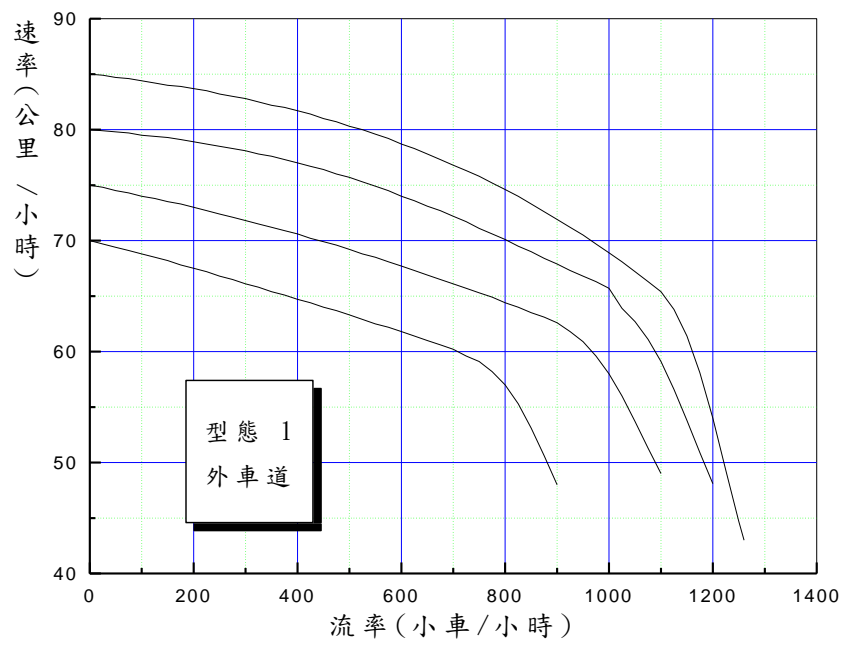


圖 20-27 型態 1 隧道外車道之代表性流率與速率關係

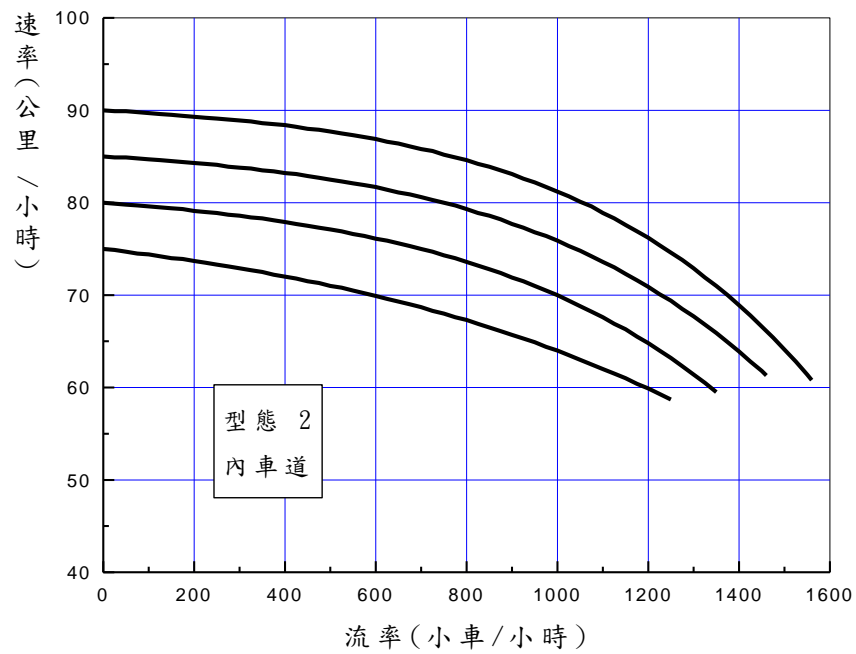


圖 20-28 型態 2 隧道內車道之代表性流率與速率關係

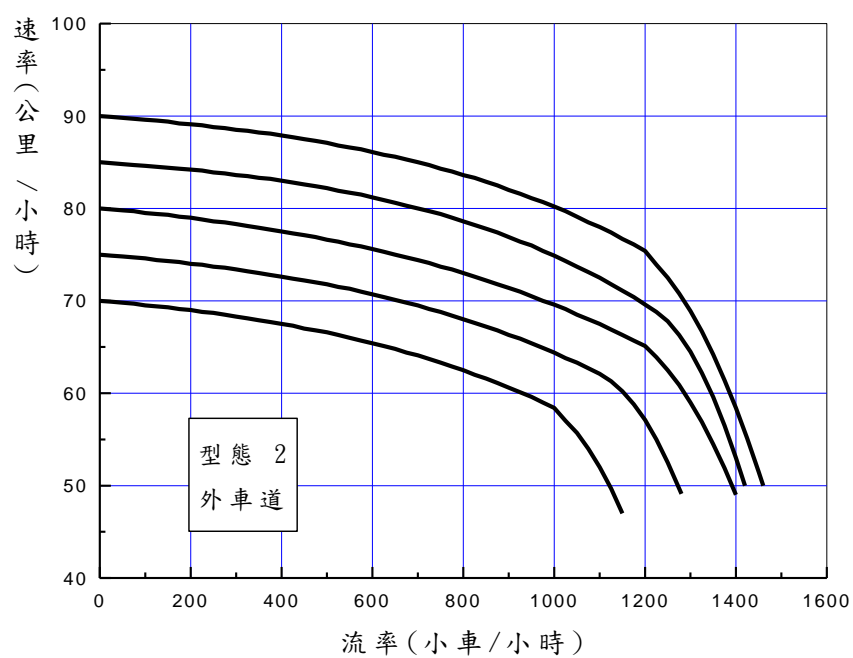


圖 20-29 型態 2 隧道外車道之代表性流率與速率關係

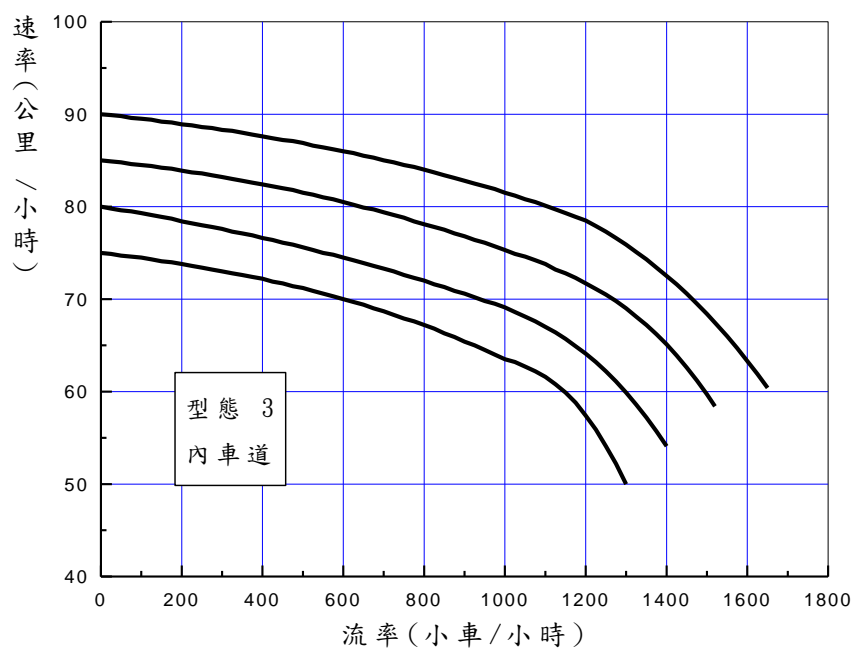


圖 20-30 型態 3 隧道內車道之代表性流率與速率關係

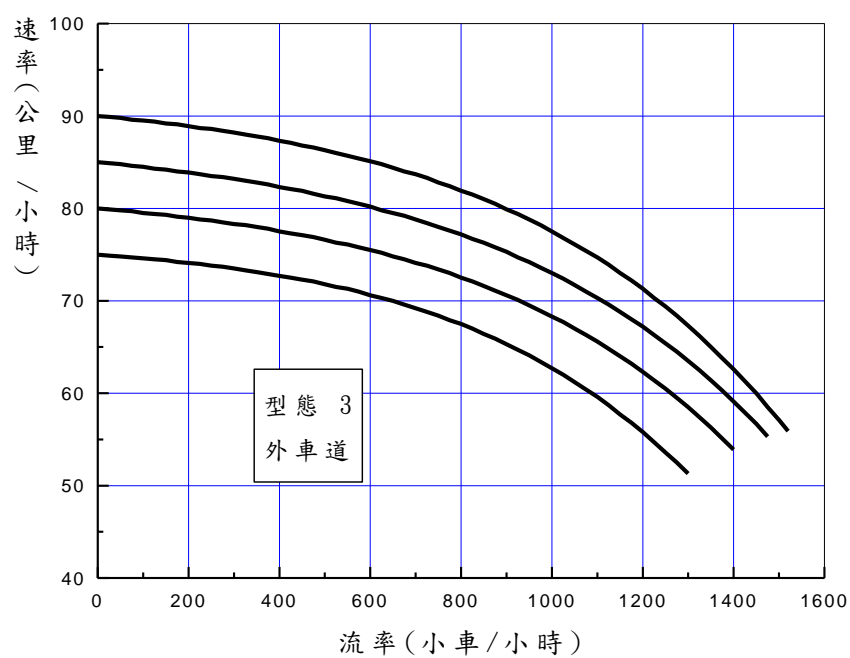


圖 20-31 型態 3 隧道外車道之代表性流率與速率關係

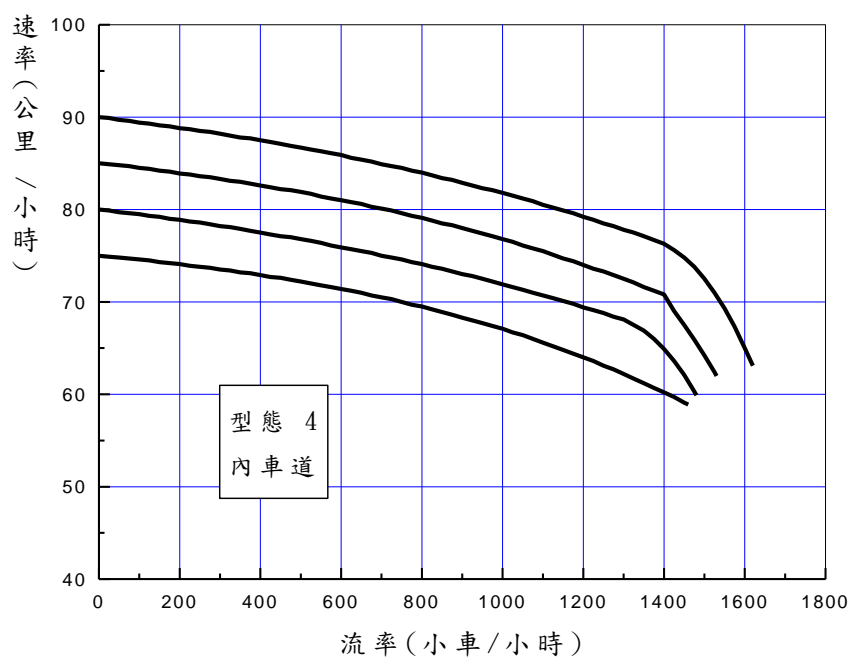


圖 20-32 型態 4 隧道內車道之代表性流率與速率關係

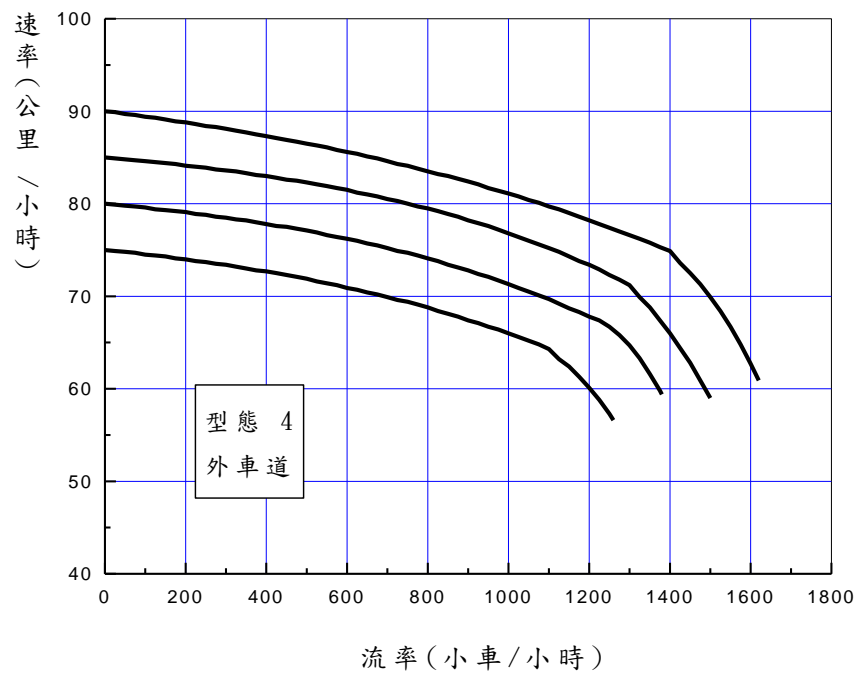


圖 20-33 型態 4 隧道外車道之代表性流率與速率關係

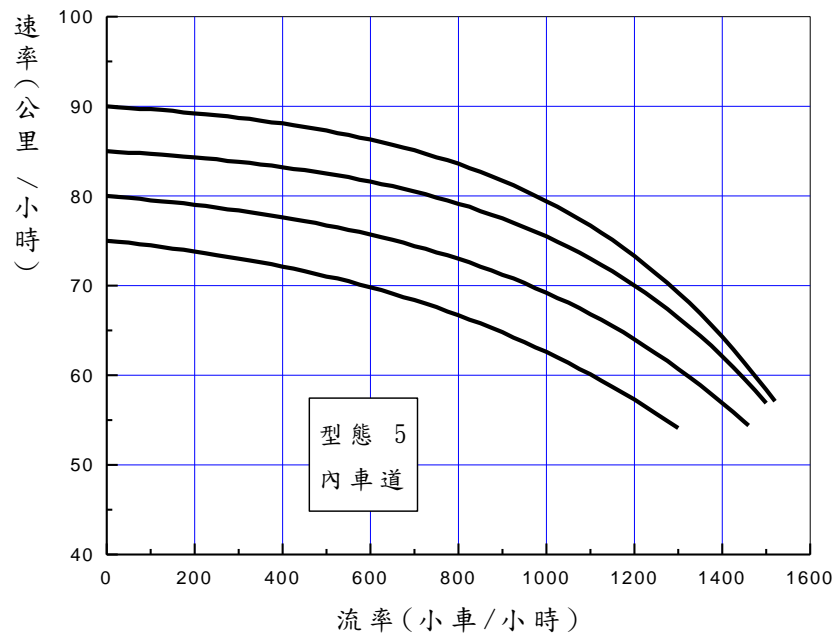


圖 20-34 型態 5 隧道內車道之代表性流率與速率關係

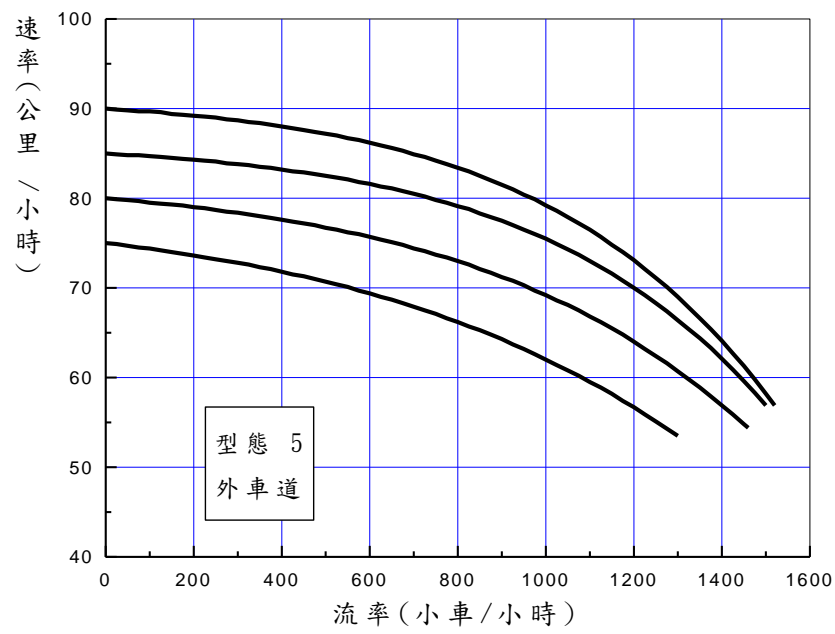


圖 20-35 型態 5 隧道外車道之代表性流率與速率關係

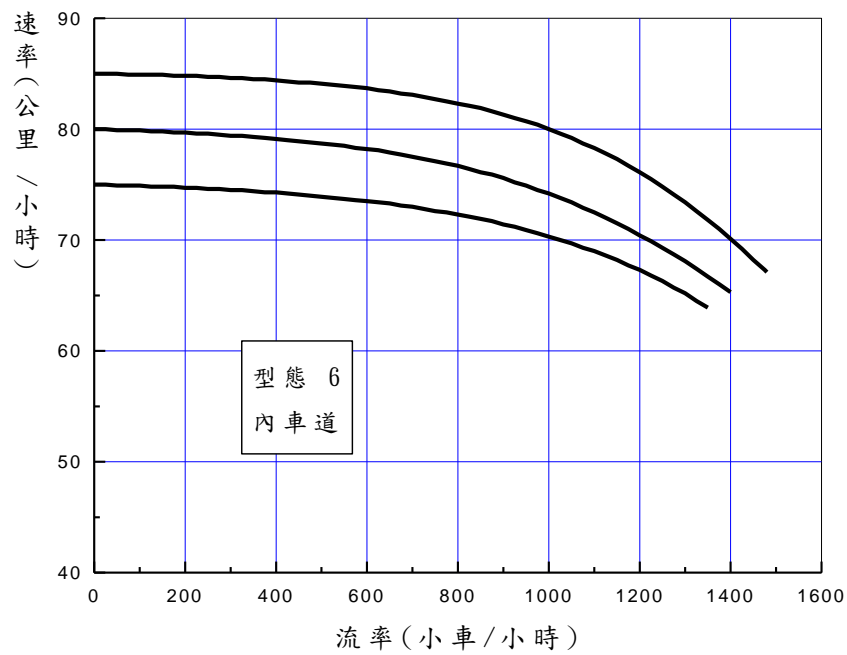


圖 20-36 型態 6 隧道內車道之代表性流率與速率關係

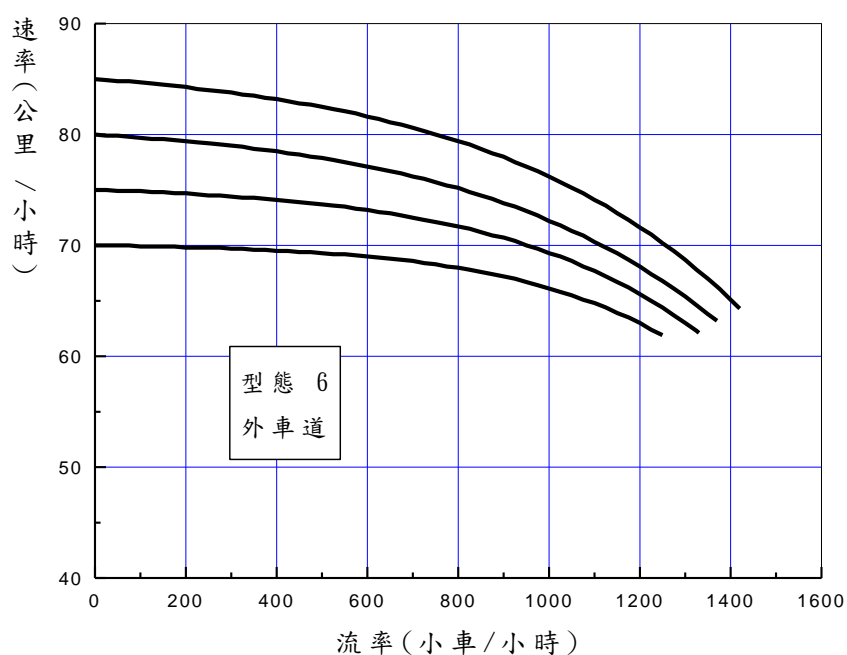


圖 20-37 型態 6 隧道外車道之代表性流率與速率關係

利用上述代表性關係來評估隧道交通作業之前必須根據式 20.5 訂定進入隧道之後車流在內外車道之流率。此外，亦須估計平均自由速率以選擇一適當的代表性流率與速率的關係，做為分析的依據。自由速率最好從現場資料來估計。如果沒有現場資料，自由速率可根據表 20.9 來估計。

表 20.9 隧道內自由速率與速限之代表性關係

速限 (公里/小時)	特殊狀況	車道	隧道長度 (公里)	
			2~4	>10
70	—	內	80	74
		外	76	71
80	上游速限 80 公里/小時	內	86	82
		外	83	80
80	上游速限 90 公里/小時	內	90	—
		外	87	—
90		內	—	89
		外	—	86

圖 20-26～圖 20-37 所示的流率與速率關係所包括的自由速率範圍從 70 公里/小時到 90 公里/小時。但是每隔 5 公里/小時才有一代表性關係。如果一隧道的自由平均速率估計值在兩代表性關係之間，則可採用自由速率較接近的代表性關係來評估服務水準。例如估計的自由速率若在 77.6 及 82.4 公里/小時之間，則可用自由速率為 80 公里/小時之代表關係來分析。

本章的分析方法採用 V/C 比及速限與平均速率的差距兩績效指標。V/C 比可根據內外車道之需求流率及表 20.8 之適用容量來估計。平均速率可根據本章附錄的模式來估計。然後分別用表 20.3 及表 20.4 的服務水準劃分標準訂定服務水準等級。

20.3.5 分析下游主線與匝道匯流區

上述分析隧道的工作不考慮隧道下游進出口匝道車流的影響。如果隧道下游附近有出口匝道，則減速進入出口匝道的車輛可能干擾隧道內車流的行進。一般而言，進口匝道的車流對上游隧道的影響比出口匝道嚴重，所以本章只考慮主線與進口匝道匯流區的影響。

進口匝道有車輛接近主線時，主線外車道的駕駛員可能考慮變換車道。在高車流密度，不容易變換車道的狀況下，主線外車道車流與進口匝道車流之衝突可能造成匯流區壅塞。如果從隧道行向匯流區的流率高於能通過匯流區的流率，則持久的壅塞會造成衝擊波向上游傳遞，因而造成導致上游路段嚴重塞車。

本章分析主線與進口匝道匯流區的目的在於探討匯流區壅塞的可能性，並進一步評估 20.3.4 節所描述之隧道分析工作是否高估隧道能維持的服務水準。目前的資料不足於用來建立一估計匯流區壅塞程度及其影響的方法。所以本章分析匯流區之結果只適合做規劃及設計的參考。

分析匯流區之前必須決定是否有必要分析匯流區。一般而言，下游匯流區離隧道越遠，其作業會影響隧道作業的可能性越低。但是如果匯流區有壅塞，而且壅塞狀況持久不散，則慢速行向匯流區之車隊

也可能向上游回堵好幾公里。換言之，下游匯流區離隧道須多遠才不必分析沒有規則可遵行。以國道 5 號公路主線與進口匝道匯流路段的狀況而言，全天流量大約在 40,000 輛以上時，匯流區就可能會有壅塞現象。此外，南下車流之壅塞狀況有時從彭山隧道延伸到石碇隧道（大約 5 公里）。本章建議在下列狀況下，應分析匯流區上游匝道的影響：

1. 隧道流率與容量比小於 1.0，而且進口匝道在隧道下游 2 公里之內。
2. 隧道流率與容量比小於 1.0，進口匝道在隧道下游 2~5 公里之內，而且平均每日流量超過 20,000 輛/車道。

分析匯流區的一工作是估計如圖 20-22 所示，在進口匝道上游主線的流率 Q_{m3} 。此流率可估計如下：

$$Q_{m3} = Q_{m2} - Q_{r1} \quad (20.9)$$

此式中，

Q_{m3} = 進口匝道上游主線之尖峰 15 分鐘流率（輛/小時），

Q_{m2} = 從隧道離開之尖峰 15 分鐘流率（輛/小時），

Q_{r1} = 從出口匝道離開之尖峰 15 分鐘流率（輛/小時）。

如果在進口匝道與隧道之間沒有出口匝道，則式 20.6 之 Q_{r1} 不存在。此外，因為隧道車流在穩定狀況時 ($V/C < 1.0$) 才須要分析匯流區，所以 Q_{m2} 可視為與欲進入隧道之流率相同，因此式 20.6 可改為：

$$Q_{m3} = Q_{m1} - Q_{r1} \quad (20.10)$$

此式中，

Q_{m1} = 欲進入隧道之尖峰 15 分鐘流率（輛/小時）。

本章評估匯流區是否會有壅塞狀況的工作是根據進口匝道上游主線外車道及進口匝道的流率。國道 5 號公路的車流行為顯示主線外車道的流率可估計如下：

$$(Q_{m3})_2 = 0.453 Q_{m3} + 14 \quad (20.11)$$

此式中，

$(Q_{m3})_2$ = 進口匝道上游主線外車道之流率（輛/小時）。

從式 20.11 所估計得之 $(Q_{m3})_2$ 及進口匝道流率 Q_{r2} 可用在圖 20-36 來探討匯流區壅塞的可能性。此圖顯示在國道 5 號公路上 4 個匯流區進入壅塞狀況之前主線外車道流率及進口匝道流率的組合。目前的資料有限，所以尚未能估計在不同組合下會有壅塞情況之機率。大致而言，如果 $(Q_{m3})_2$ 及 Q_{r2} 的組合在圖 20-36 粗線的右上方，則有壅塞的可能。換言之，如果進口匝道流率符合下列條件，則有壅塞的可能：

$$Q_{r2} > 1450 - 1.23(Q_{m3})_2 \quad (20.12a)$$

$$Q_{r2} > 90 \quad (20.12b)$$

國道 5 號公路上的匯流區進入壅塞狀況之後，車流的平均速率通常在 45 公里/小時以下，而且低速行車的狀況在假日期間可持續好幾個小時，如圖 20-38 所示。石碇隧道北上進口附近匯流區壅塞後之車流速率通常在 35 到 45 公里/小時之間。其他匯流區進入壅塞狀況之後的平均速率很少超過 30 公里/小時。目前沒有方法可準確的預測匯流區進入壅塞狀況後的平均速率。

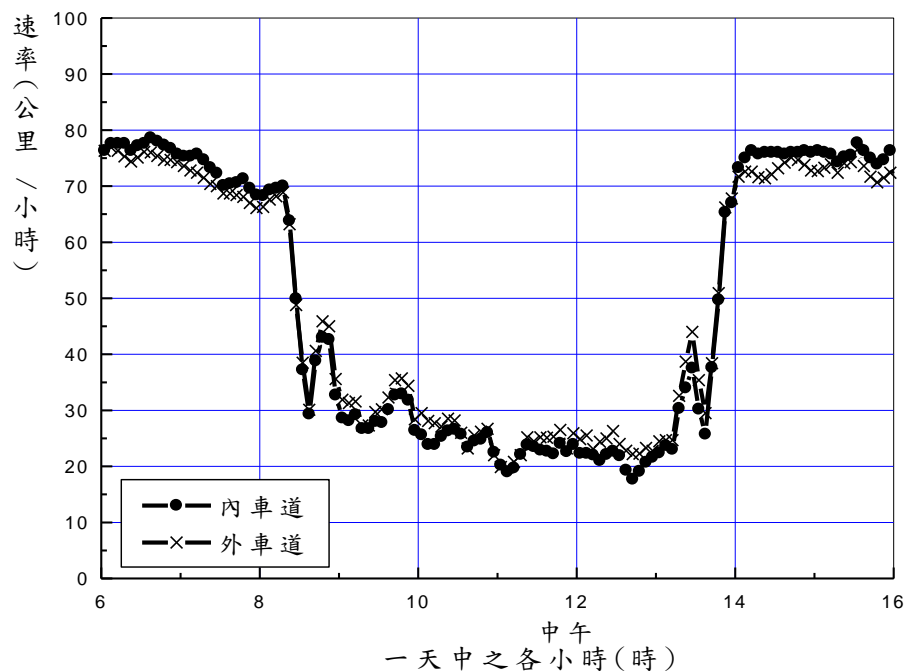


圖 20-38 坪林交流道南下主線與進口匝道匯流區在壅塞狀況時的速率(15.139K)

圖 20-39 顯示匯流區進入壅塞狀況之後，能從匯流區疏解的流率隨壅塞後的平均速率而增高。平均每車道的疏解流率可用下式來估計：

$$Q_d = 208.6 + 59.2 S_d - 0.65 S_d^2 \quad (20.13)$$

此式中，

Q_d = 匯流區壅塞之後平均每車道之疏解流率（輛/小時/車道）；

S_d = 匯流區壅塞之後的平均速率（公里/小時）；建議值：23 公里/小時。

一般匯流區上游主線內車道的流率及速率皆比外車道高。所以匯流區壅塞之後對內車道的影響比較迅速。本章用內車道流率與速率估計匯流區壅塞的影響。匯流區上游內車道的流率可估計如下：

$$(Q_{m3})_1 = 0.547 Q_{m3} - 14 \quad (20.14)$$

此式中，

$(Q_{m3})_1$ = 匯流區上游主線內車道之流率（輛/小時），

Q_{m3} = 匯流區上游主線流率（輛/小時）。

此流率的相關速率可從圖 20-40 或下式來估計：

$$S_m = A + \frac{B - A}{1 + e^{\frac{(Q_{m3})_1 - C}{D}}} \quad (20.15)$$

此式中，

S_m = 匯流區上游主線內車道之平均速率（公里/小時），

A, B, C, D = 表 20.11 所示的參數。

式 20.15 中之 $(Q_{m3})_1$ ，如大於表 20.11 之容量值，則表示 $(Q_{m3})_1$ ，不能通過匯流區上游路段。在這情形下，應該用容量相關的平均速率來探討匯流區的影響。

表 20.11 式 20.15 之參數

自由速率 (公里/小時)	參數				容量 (輛/小時)
	A	B	C	D	
95	95.925	21.028	3515.4	803.37	1550
90	90.375	50.210	2298.1	519.64	1500
85	85.761	11.944	2420.9	530.76	1400
80	83.278	16.554	2597.4	876.36	1200
75	77.369	30.510	1995.1	680.02	1000

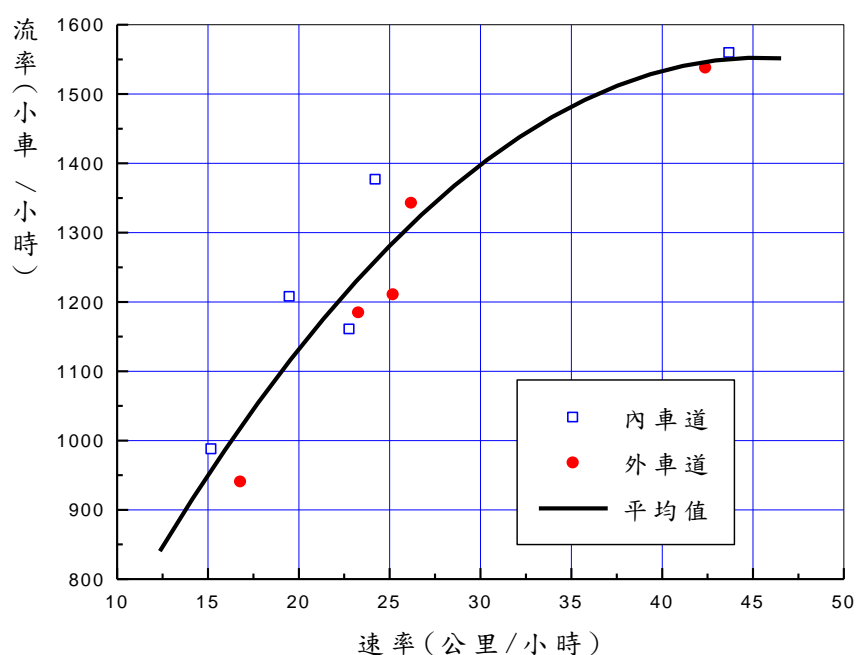


圖 20-39 壅塞狀況下匯流區流率與速率之關係

利用圖 20-39 或式 20.15 之前必須估計匯流區上游主線內車道的平均自由速率。此工作可參考表 20.12 之建議值。

表 20.12 匯流區上游主線內車道自由速率估計值

速限 (公里/小時)	自由速率 (公里/小時)
70	75~80
80	85
90	90~95

圖 20-40 顯示匯流區壅塞之後，車輛在壅塞車隊及壅塞車隊上游的近似時空軌跡。在壅塞車隊內，車流的流率為 Q_d （見式 20.13），其平均速率為 S_d （建議值：23 公里/小時）。壅塞車隊上游主線內車道之流率及平均速率各為式 20.14 所式之 $(Q_{m3})_1$ ，及 s_m （從圖 20.40 之估計值）。

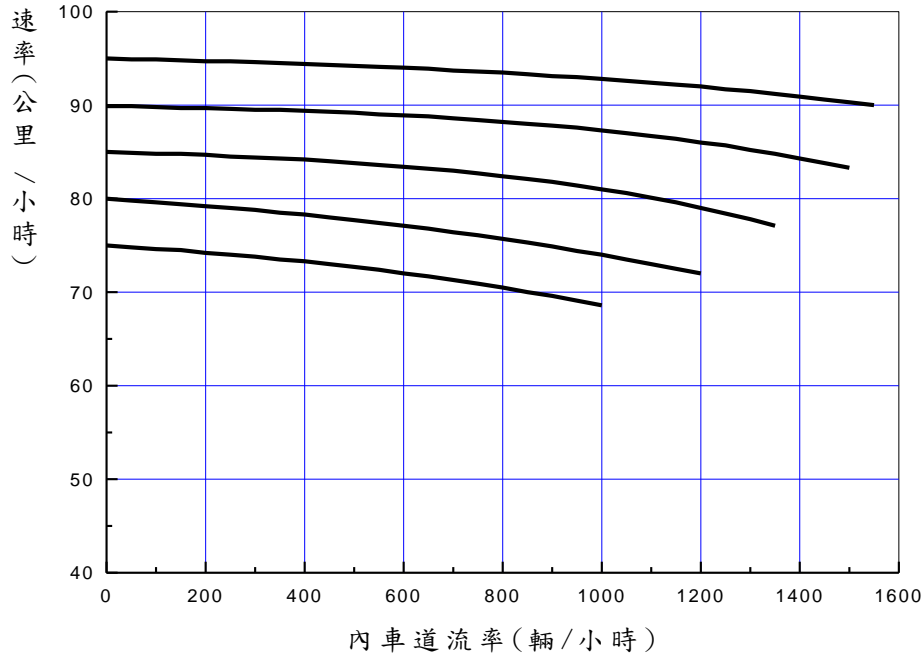


圖 20-40 匯流區上游主線內車道流率與速率關係

上游車輛以高速加入壅塞車隊時，壅塞車隊的尾端可能向下游移動，但也可能向上游移動。壅塞車隊尾端相對路面的移動可稱為衝擊波。圖 20-41 中箭頭 AB 代表壅塞車隊尾端向上游移動，換言之，壅塞車隊向上游擴展。在這種情況之下，鄰近的上游隧道交通作業可能受影響。

假設壅塞車隊及其上游車流中每一車輛皆保持同樣的速率（ S_d 及 S_m ）及車距 $[1/Q_d$ 及 $1/(Q_{m3})_1]$ ，則衝擊波的速率可估計如下：

$$V = \frac{Q_d - (Q_{m3})_1}{K_d - K_m} = \frac{Q_d - (Q_{m3})_1}{Q_d / S_d - (Q_{m3})_1 / S_m} \quad (20.16)$$

此式中，

V = 衝擊波速率（公里/小時）

K_d = 壅塞車隊之密度（輛/公里），等於 Q_d / S_d ，

K_m = 壅塞車隊上游車流密度（輛/公里），等於 $(Q_{m3})_1 / S_m$ 。

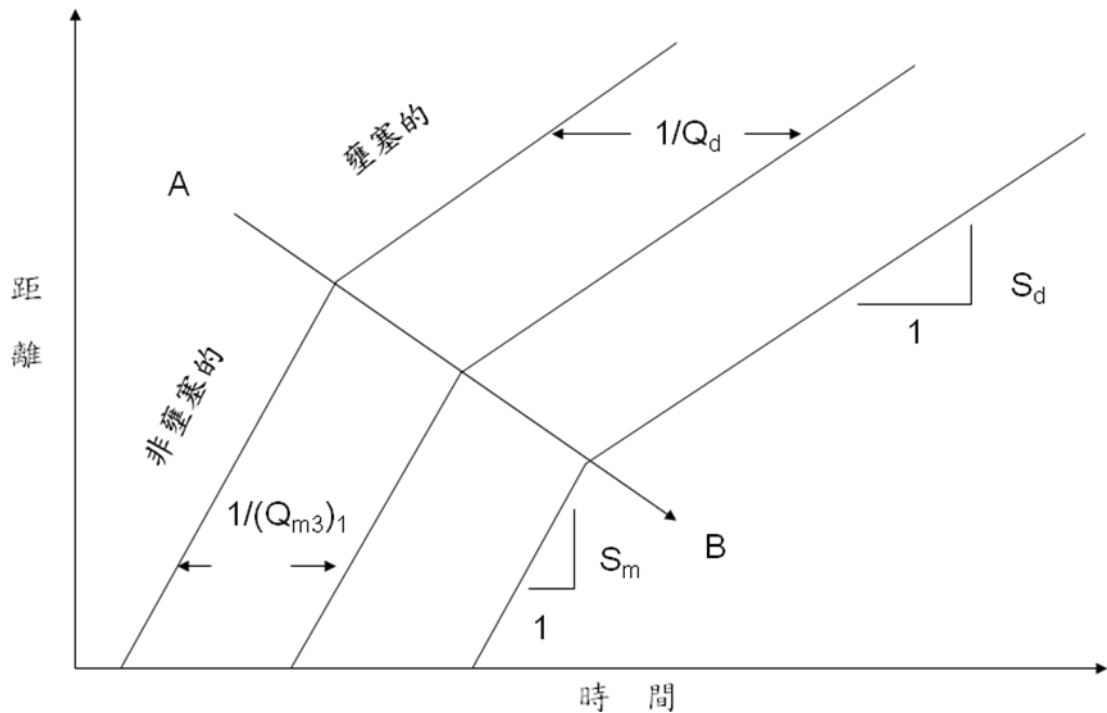


圖 20-41 衝擊波形成的示意圖

從式 20.15 所估計的衝擊波速率值可正可負。衝擊波速率為正值表示壅塞車隊尾端向前移動。在此情況下，上游隧道之交通作業不會受影響。如果衝擊波之速率為 -5 公里/小時，則壅塞車隊尾端每小時會向上游延伸 5 公里。因此，如果其他車流狀況不變，匯流區上游 5 公里之內的隧道在 1 小時之後會受壅塞車隊回堵的影響，因而不能維持原先估計的服務水準。

20.4 應用例題

20.4.1 例題一

國道 3 號公路上有一長 3 公里之隧道。隧道內單向通車，有 3 車道。試問此隧道可否用本章的方法來分析。

討論：

本章方法只能分析有 2 車道的隧道。但是，如果分析人員能將所有車道分成 1 外車道及 1 代表性內車道，並且能估計各型車道之流率狀況，則本章的分析方法仍可提供大約的評估。

20.4.2 例題二

國道 3 號公路上有一長 6 公里之隧道。此隧道有 2 車道。車輛只能單向行車。隧道上游 6 公里處有一進口匝道。下游 1.2 公里處有一進口匝道。此隧道的幾何設計類似國道 5 號公路上之隧道。試問本章分析法可否用來分析上述隧道。

討論：

上述隧道不屬於表 20.7 中任何一類型的隧道。但與類型 4 隧道最相近。因此如沒有其他較好的資料可參考，可用本章分析方法將上述隧道當作類型 4 隧道來分析。

20.4.3 例題三

國道 5 號公路上一隧道下游 2 公里處有一進口匝道。此匝道的尖峰 15 分鐘流率為 600 輛/小時。在尖峰 15 分鐘內從隧道行向匯流區的兩車道總流率為 2,700 輛/小時。隧道下游的速限為 80 公里/小時。試問隧道的交通作業是否會受到匯流區車流的影響。

解：

根據式 20.11，匯流區上游主線外車道之流率為

$$(Q_{m3})_2 = 0.453 \times 2700 + 14 = 1237 \text{ 輛/小時}$$

因此進口匝道流率(600 輛/小時)符合式 20.12a 及式 20.12b 之條件。換言之，匯流區可能有壅塞的可能。在此情況下有必要進一步估計壅塞對上游隧道的影響。因為壅塞後車隊之疏解流率 Q_d 及速率 S_d 不能確定，所以假設 Q_d 等於 1,225 輛/小時及 S_d 等於 23 公里/小時。

匯流區上游主線內車道的流率可從式 20.14 來估計：

$$(Q_{m3})_1 = 0.547 \times 2700 - 14 = 1463 \text{ 輛/小時}$$

匯流區上游主線內車道的自由速率可訂為 85 公里/小時（表 20.11）。根據此自由速率，表 20.11 顯示匯流區上游主線的容量只有 1,400 輛/小時，比從隧道離開的 1,463 輛/小時還小。在這情形下，宜估計主線未進入壅塞之前的速率。所以須將 1,463 輛/小時改為 1,400 輛/

小時，並用圖 20-40 或式 20.15 來估計相關速率。

此速率 S_m 等於 76 公里/小時。這速率代表 1,463 輛/小時之車流在未進入壅塞狀況之前的速率。

根據上述狀況，衝擊波速率可從式 20.16 估計如下

$$V = \frac{1225 - 1463}{1225 / 23 - 1463 / 76} = -7 \text{ 公里/小時}$$

衝擊波之速率為負值，這表示壅塞車流會向上游延伸。上游隧道距離匯流區只有 2 公里，所以壅塞車隊在 2/7 小時，或大約 17 分鐘，就會回堵到隧道。

20.4.4 例題四

一高速公路上單向有 2 車道。此公路的速限為 90 公里/小時，但是其一長 8 公里的隧道速限為 80 公里/小時。隧道的幾何設計與國道 5 號隧道的設計相似。此隧道上游一公里處有一進口匝道，下游一公里處有一出口匝道，其流率為 600 輛/小時。出口匝道下游 500 公尺處有一進口匝道，此進口匝道之流率為 300 輛/小時。在尖峰小時內欲進入隧道的流率等於 2,000 輛/小時，其尖峰小時係數為 0.9。5% 的車輛為大車，其餘為小車。大車須行駛外車道。試估計此隧道的容量及服務水準。

解：

1. 需求流率

總流率（式 20.1）

$$Q_{m1} = 2,000 / 0.9 = 2222 \text{ 輛/小時}$$

內車道大車比例（式 20.7）

$$P_1 = [2,222 \times 0.05 \times (1 - 1)] / (0.525 \times 2,222 - 13) = 0$$

外車道大車比例（式 20.8）

$$P_2 = [2,222 \times 0.05 \times 1] / (0.475 \times 2,222 + 13) = 0.1$$

內車道流率（式 20.5）

$$Q_1 = (0.525 \times 2,222 - 13)[1 + 0(1.5 - 1)] = 1154 \text{ 小車/小時}$$

外車道流率（式 20.6）

$$Q_2 = (0.475 \times 2,222 + 13)[1 + 0.1(1.5 - 1)] = 1,122 \text{ 小車/小時}$$

2. 隧道類型（表 20.7）及自由速率（表 20.9）

此隧道不屬於表 20.7 所列任何一類型，但是最類似類型 1 隧道。所以當作類型 1 隧道來分析。

內車道自由速率（表 20.9）：90 公里/小時，

外車道自由速率（表 20.9）：87 公里/小時，用 85 公里/小時。

3. 容量（表 20.8）

內車道：1,360 小車/小時

外車道：1,260 小車/小時

4. 平均速率（圖 20-26 及圖 20-27 或附錄表 1）

內車道：71 公里/小時（根據 $Q_1 = 1,154$ 小車/小時）

外車道：64 公里/小時（根據 $Q_2 = 1,122$ 小車/小時）

5. 隧道服務水準（在不受下游匯流區影響之狀況）

內車道： $V/C = 1,154/1,360 = 0.85$

外車道： $V/C = 1,122/1,260 = 0.89$

- 為了顯示隧道內與隧道外之相對服務水準，宜採用隧道外之速限（90 公里/小時）從速率角度評估服務水準。

內車道：速限減速率

$$90 - 71 = 19 \text{ 公里/小時}$$

外車道：速限減速率

$$90 - 64 = 26 \text{ 公里/小時}$$

- 根據表 20.3 及 20.4，內外車道之服務水準為 D4 或 D5。從壅塞程度及速率的角度而言，此隧道的服務品質不佳。
- 因為服務水準高於 F（未進入壅塞狀況），所以進一步評估下游匯流區之影響。

6. 匯流區上游（進口匝道上游）主線流率（式 20.10）

$$Q_{m3} = 2,222 - 600 = 1622 \text{ 輛/小時}$$

7. 匯流區上游（進口匝道上游）主線外車道流率（式 20.11）

$$(Q_{m3})_2 = 0.453 \times 1,622 + 14 = 749 \text{ 輛/小時}$$

8. 匯流區壅塞可能性

式 20.12a 右邊之值為 $1,450 - 1.23 \times 749 = 529$ 輛/小時。進口匝道流率($Q_{r3} = 300$ 輛/小時)低於此值。因此，匯流區壅塞的可能性不高，隧道交通作業不會受匯流區車流之影響。

9. 結論

隧道的交通作業不太可能會受下游主線與進口匝道匯流區之影響。但是隧道內外車道的服務水準各為 D4 及 D5。不論從壅塞程度或平均速率的角度，此隧道的服務水準都不理想。

參考文獻

1. *Underground Transportation Systems in Europe: Safety Operations and Emergency Response*, FHWA-PL-06-016, Federal Highway Administration, USDOT, Washington, D.C., June 2006.
2. *National Tunnel Inspection Standards*, Federal Highway Administration, USDOT, Washington, D.C.,
<http://www.federalregister.gov>, accessed 7/22/2010.
3. Lemke, K., "Road Safety in Tunnels," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1740, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000, pp. 170-174.
4. Sala, G., Brignolo, R., Carrubba, E., Jallasse, U., and Shinar, D., "Improvement of Accident Prevention in Road Tunnel through Intelligent Infrastructures and Intelligent Vehicles Operation," *Proceedings of Intelligent Transportation Systems*, 2003.
5. "Mont Blanc Tunnel," en.wikipedia.org, accessed 12/26/2010.
6. "Tauern Road Tunnel," en.wikipedia.org, accessed 12/26/2010.
7. "Gotthard Road Tunnel," en.wikipedia.org, accessed 12/26/2010.
8. Khoury, G. A., "EU Tunnel Fire Safety Action," *Tunnels and Tunnelling International*, April 2003, pp.20-23.
9. Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on Minimum Safety Requirements for Tunnels in the Trans-European Road Network, *Official Journal of*

the European Union L 201/56 of 7 June, 2004.

10. *FHWA Road Tunnel Design Guidelines*, FHWA-IF-05-023, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C., July 2004.
11. *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements*, American Association of State Highway and Transportation Officials, June 2010.
12. 交通部運輸研究所，高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性之研究(2/3)—期末報告初稿，民國 100 年 11 月。
13. “Gotthard Tunnel Reopens,” Dec. 21, 2001, Articles.cnn.com, accessed 12/26/2010.
14. Kashef, A., Liu, Z. G., Lougheed, G., Crampton, K., Yoon, G., Hadjisphocleous, and Almand, K. H., “Findings of the International Road Tunnel Fire Detection,” *Fire Technology*, Vol. 45, No. 2, 2008, pp. 221-237.
15. Washington State Department of Transportation, News Archives, “State Re-evaluate Safety Campaign,” Access May 2008, <http://www.wsdot.wa.gov/news>, 2006
16. “Anton Anderson Memorial Tunnel,” Alaska State Department of Transportation, www.dot.state.ak.us, accessed 12/26/2010.
17. Levinson, H. S., Golenberg, M. and Howard, J., ” Callahan Tunnel Capacity Management,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1956, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1985, pp.1-10.
18. Chin, H. C., and May, A. D., “Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1320, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1991, pp.75-82.
19. *Hub Bound Travel Report*, New York Metropolitan Transportation Council, 2008.
20. Koshi, M., Kuwarara, M. and Acahane, M., “Capacity of Sags and Tunnels on Japanese Motorways,” *ITE Journal*, Vol. 62, No.5, 1992, pp.17-22.
21. *Highway Capacity Manual*, Korea Ministry of Construction, 1992.

附錄 C：貨車速率模擬模式（TSS 模式）原始碼

```
COMMON/B1/GRADE,XMASS,POWER,POWERE,PAXLE,ALTI,DRAG,AIR,AREA,
1 FMAX,FRICT,TIRE1,TIRE2,ROLL
DIMENSION XLO(99999),SPEE(99999),GRA(50),S1(50),S2(50),HIGH(50)
DIMENSION GRAA(50),S11(50),S22(50)
DIMENSION ACCC(99999)
C*****Open input file : truck.txt
OPEN(5,FILE='truck.txt')
C*****Open output file: truckout.txt
OPEN(7,FILE='truckout.txt')
MU=-1
C ORIGIN=146313
C MU=1
C WRITE(7,*)'LOCATION Speed Acceleration'
C WRITE(7,*)' M KPH m/s/s'
C TRUCK FEATURES
C***** ENGINE POWER KW:223KW(300 hp) to 485(650 hp), 261KW=350 hp.
C POWER=261*0.9
C POWER=250
C*****POWER EFFICIENCY: 94%
POWERE=0.94
C*****TRUCK MASS kg: 22200 to 44000 kg
C USE 31852 kg for ib/hp ratio of 200
C XMASS=31852.
C XMASS=30000
C*****Altitude of highway, m
ALTI=100.
C***** DRAG COEFFICIENT: single unit truck 0.7; tractor-semitrailer 0.7;
C no aerodynamic aid 0.78; aerodynamic aid on roof 0.64;
C full aerodynamic aid 0.58
DRAG=0.78
C***** AIR coef for air density at sea level at 15 degrees C
AIR=0.047285
C***** ROLLING COEFFICIENT: concrete 1.0(excellent) to 2.0(poor);
C Asphalt1.25(good) to 2.25 (poor)
ROLL=1.25
C***** ROLLING RESISTANCE Tire1 (0.0438 for bias ply tires; 0.0328 for
C radial tires) and Tire2 (6.100 for biase ply, 4.575 for radial)
TIRE1=0.0328
TIRE2=4.575
C***** FRONTAL AREA of trucks, square Meters(semi-trailer van type 10;
C semi-trailer van type body 10.7; straight truck van type 8.9;
C tanker and flat bed 7 to 7.9
C Dump truck 6.8
AREA=10.7
```

```

C%***** mass acting on tractive axles(0.356 to 0.410)
      PAXLE=0.375
C***** FRICTION COEF(concrete 0.6 to 0.8; asphalt 0.4 to 0.6)
      FRICT=0.6
C      XMASS=X(2)
C      POWER=X(3)
C      FMAX=9.8066*XMASS*PAXLE*FRICT
C*****READ INITIAL SPEED(KPH), maximum speed(KPH)
      READ(5,*)VO1, VMAXA,VMAXB,VO2,VMAX3,VMAX4
      LEV1=VMAXA
      LGV1=VMAXB
      LEV2=VMAX3
      LGV2=VMAX4
C      CONVERT TO ft/s
      VMAXA=VMAXA*32.8/36
      VMAXB=VMAXB*32.8/36
      VMAX3=VMAX3*32.8/36
      VMAX4=VMAX4*32.8/36
      VO1=VO1*32.8/36
      VO2=VO2*32.8/36
C*****READ NUMBER OF DIRECTIONS to be analyzed
      READ(5,*)IDIR

C*****READ NUMBER OF GRADES and features for the first direction
      DO 909 IDR=1,IDIR
        IF(IDR.EQ.1)WRITE(7,*)'          *****DIRECTION 1*****'
        IF(IDR.EQ.1)THEN
          WRITE(7,*)' '
          WRITE(7,*)' Maximum allowable speed on level segment, km/h=',
1      LEV1
          WRITE(7,*)' Maximum allowable speed on downgrade, km/h=',
1      LGV1
        ENDIF
        IF(IDR.EQ.2)WRITE(7,*)'          *****DIRECTION 2*****'
        IF(IDR.EQ.2)THEN
          WRITE(7,*)' Maximum allowable speed on level segment, km/h=',
1      LEV2
          WRITE(7,*)' Maximum allowable speed on downgrade, km/h=',
1      LGV2
        ENDIF
C*****INITIAL CONDITIONS
      NHIGH=0
      IF(IDR.EQ.1)THEN
        VMAX=VMAXA
        VMAX2=VMAXB
        V2=VO1
      ELSE

```

```

      VMAX=VMAX3
      VMAX2=VMAX4
      V2=VO2
ENDIF
      IF(IDR.EQ.1)READ(5,*)NGRADE
DO 5 KG=1,NGRADE
C      READ % GRADE, START and end locations in m
      IF(IDR.EQ.1)READ(5,*)GRA(KG),S1(KG),S2(KG)
C      WRITE(7,*)'KG GRA S2=',KG,GRA(KG),S2(KG)
      IF(IDR.EQ.1)THEN
C*****  STORE DATA FOR OPPOSITE DIRECTION
          MGX=NGRADE-KG+1
          GRAA(MGX)=-GRA(KG)
          S11(MGX)=S2(KG)
          S22(MGX)=S1(KG)
          ELSE
          GRA(KG)=GRAA(KG)
          S1(KG)=S11(KG)
          S2(KG)=S22(KG)
      ENDIF
C*****
      IF(KG.EQ.1)THEN
          ORIGIN=S1(KG)
          IF(S1(KG).GT.S2(KG))IADD=-1
          IF(S1(KG).LT.S2(KG))IADD=1
          IF(S1(KG).EQ.S2(KG))THEN
              WRITE(6,*)'Error: The start and the end of grade 1'
              WRITE(6,*)'          is at the same location'
              STOP
          ENDIF
      ENDIF
C      DISTANCE FROM ORIGIN
      S1(KG)=ABS(ORIGIN-S1(KG))*1000
      S2(KG)=ABS(ORIGIN-S2(KG))*1000
C      WRITE(7,*)'S1 2=',KG,S1(KG),S2(KG)
C      CONVERT S1 and S2 to ft
      S1(KG)=S1(KG)*3.28
      S2(KG)=S2(KG)*3.28
      IF(S1(KG).GE.S2(KG))THEN
          WRITE(6,*)'ERROR: End point of Grade:',KG
          WRITE(6,*)'          is closer to the origin'
          WRITE(6,*)'          than the starting point'
          STOP
      ELSEIF(KG.GT.1.AND.S1(KG).LT.S2(KG-1))THEN
          WRITE(6,*)'ERROR: STARTING POINT OF GRADE:',KG
          WRITE(6,*)'          is before the end point of the'
          WRITE(6,*)'          previous grade'
      ENDIF

```

```

5      CONTINUE
C*****READ 1 data to determine whether to read one more
      IF(IDR.EQ.1)READ(5,*)IYES
C    WRITE(7,*)'IDR IYES=',IDR,IYES
      IF(IYES.EQ.1)THEN
C*****CHANGE
C          WRITE(7,*)'IDR=',IDR
C      IF(IDR.EQ.1)READ(5,*)POWER,XMASS,AREA,ALTI
      IF(IDR.EQ.1)READ(5,*)POWER
      IF(IDR.EQ.1)READ(5,*)XMASS
      ENDIF
C*****DETERMINE HIGH POINTS
      DO 300 IG=1,NGRADE
C    WRITE(7,*)'IG GRADE=',IG,GRA(IG)
C    WRITE(7,*)'S2 S1=',S2(IG)/3.28,S1(IG+1)/3.28
      IF(IG.EQ.NGRADE)THEN
          IF(GRA(IG).GT.0)THEN
              NHIGH=NHIGH+1
              HIGH(NHIGH)=S2(IG)
C          WRITE(7,*)'last HIGH=',IG,S2(IG)/3.28
          ENDIF
      ELSE
          IF(GRA(IG).GT.0)THEN
              IF(GRA(IG+1).LE.0)THEN
C                THERE IS A HIGH POINT
                NHIGH=NHIGH+1
                Y1=S1(IG+1)-S2(IG)
                Y2=GRA(IG+1)-GRA(IG)
C            WRITE(7,*)'Y1 Y2=',Y1,Y2
C            WRITE(7,*)'S1 S2=',S1(IG+1)/3.28,S2(IG)/3.28
                XX=-GRA(IG)*(S1(IG+1)-S2(IG))/(GRA(IG+1)-GRA(IG))
C            WRITE(7,*)'XX XX/3.28=',XX,XX/3.28
                HIGH(NHIGH)=S2(IG)+XX
C            WRITE(7,*)'IG XX high=',IG,XX/3.28,HIGH(NHIGH)/3.28
            ENDIF
          ENDIF
      ENDIF
300    CONTINUE
C    WRITE(7,*)'NHIGH=',NHIGH
C*****DETERMINE SPEED at 0.1 s intervals
C    MHIGH=ID of high point encountered
      MHIGH=0
C    ID of CURRENT GRADE MG
      MG=1
      IT=0

C*****ADVANCE veh at 1/10 of a secon intervals
      TIT=IT*0.1

```

```

DO 70 KG=1,NGRADE
IF(KG.EQ.1)WRITE(7,55)GRA(KG)
55  FORMAT(5X,'FIRST GRADE  ',F7.2,'%')
IF(KG.EQ.1.AND.IT.EQ.0)THEN
C*****START OF SIMULATION, ACC=acceleration, S=distance from origin
ACC=0
S=S1(KG)
C  WRITE(7,*)'TIT S=',TIT,S
WRITE(7,771)ORIGIN+(IADD*S/3.28)/1000.,V2*3.6/3.28,ACC/3.28,
1  GRA(KG)
771  FORMAT(F9.3,F8.1, F8.2,F8.2,
1  ' LOCATION (km) Speed (km/h) Acceleration (m/s/s) grade (%)')
C*****NEW TIME TO output data (once every second)
NEXT=IT+10
ENDIF
GRADE=GRA(KG)
C  WRITE(7,*)' GRADE=',GRADE
72  CONTINUE
CALL TRUCK(V2,ACC)
C*****TO BE SCRUBBED
C  WRITE(7,*)'OLDG GRADE=',OLDG,GRADE
IF(IT.EQ.1)THEN
OLDG=GRADE
ELSE
IF(GRADE.LT.0)THEN
IF(OLDG.LE.0)THEN
IF(GRADE.GT.OLDG)THEN
C      reduce calculated acc
IF(ACC.GT.0)ACC=0.10*ACC

ELSE
C      REDUCE ACCELERATION
IF(V2.LT.80)THEN
C      IF(ACC.GT.0)ACC=0.55*ACC
ELSE
C      IF(ACC.GT.0)ACC=0.10*ACC
ENDIF

IF(ACC.GT.0)THEN

AAA=ACC
C      ACC=AAA*(1.013-25.132/(1.+EXP(-(V2-152.45)/21.681)))
C      IF(V2.GT.76)ACC=0.07*AAA
C      IF(V2.GT.76)ACC=0.07

ACC=AAA*(0.98-2.3363/(1.+EXP(-(V2-81.142)/10.964)))

C      ACC=AAA*(-0.02268+0.14274*EXP(-(V2-75)/14.9836))

```

```

        IF(ACC.LT.0.12*AAA)THEN
        IF(GRADE.GT.-4.0)ACC=0.12*AAA
        IF(GRADE.LE.-4.0)THEN
            IF(V2.LT.75)ACC=0.12*AAA
            IF(V2.GE.75)ACC=0.05*AAA
        ENDIF
    ENDIF

C          ENDIF
C    GG=ABS(GRADE)
C    IF(GG.GT.2.5)ACC=ACC*(1-0.15*(GG-2.5))
        ENDIF

        ENDIF
    ELSE
        IF(ACC.GT.0)ACC=0.2*ACC
    ENDIF
ELSE
    IF(OLDG.LE.0)THEN
C        MAINTAIN CALCULATED ACC
    ELSE
        IF(OLDG.GT.GRADE)THEN
C            MAY ACC, but reduce calculated ACC
            IF(ACC.GT.0)ACC=0.2*ACC
            ELSEIF(OLDG.EQ.GRADE)THEN
C                WRITE(7,*)'  ACC=',ACC
                IF(ACC.LE.0)ACC=1.0*ACC

            ELSE
C                IF(ACC.GE.0)ACC=-0.05
                IF(ACC.LT.0)ACC=0.7*ACC
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF
    OLDG=GRADE
ENDIF
C        WRITE(7,*)'OLDC ACC=',OLDC,ACC,ACC/OLDC
C*****STORE GRADE OF THE CURRENT TANGENT
    OLDG=GRADE
    IT=IT+1
C    WRITE(7,*)'IT V2 ACC=',IT,V2,ACC
    IF(GRA(KG).GE.0.)THEN
C        LEVEL OR UPGRADE, speed cannot exceed VMAX
        IF(V2+ACC*0.1.GT.VMAX)THEN
            ACC=(VMAX-V2)*10
C        WRITE(7,*)'V2 VMAX ACC=',V2,VMAX,ACC
    ENDIF

```

```

        ELSE
C      DOWNGRADE, speed cannot exceed VMAX2
C      WRITE(7,*)'negative VMAX2=',VMAX2
        IF(V2+ACC*0.1.GT.VMAX2)THEN
            ACC=(VMAX2-V2)*10
C      WRITE(7,*)'V2 VMAX2 ACC=',V2,VMAX2,ACC
        ENDIF
    ENDIF
C*****ASSUME MAC DECELERATION IS 7 ft/s/s
        IF(ACC.LT.-7)ACC=-7
C*****UPDATE SPEED AND LOCATION
        V2=V2+ACC*0.1
        S=S+V2*0.1+0.5*ACC*0.01
        IF(IT.EQ.NEXT)THEN
            WRITE(7,71)ORIGIN+(IADD*S/3.28)/1000.,V2*3.6/3.28,ACC/3.28,GRADE
            NEXT=NEXT+10
        ENDIF
C*****STORE LOCATION, ACCELERATION, AND SPEED AT time=IT
        XLO(IT)=S
        SPEE(IT)=V2
        ACCC(IT)=ACC
        IF(IT.GT.1)THEN
            IF(ACCC(IT-1).LT.0.AND.ACCC(IT).GT.0)THEN
C      REACH low SPEED
            SZ=ORIGIN+(IADD*XLO(IT)/3.28)/1000
            WRITE(7,309)SZ,SPEE(IT)/3.28*3.6
309      FORMAT('  ** location of low speed (km)=' ,F9.3,
1      ' Speed (km/h)=' ,F7.1)
            ENDIF
            DO 600 N=1,NHIGH
            IF(XLO(IT-1).LE.HIGH(N).AND.XLO(IT).GT.HIGH(N))THEN
C      Reaches one of the high points in this 1/10 of a second
                WRITE(7,506)HIGH(N)/3.28,SPEE(IT-1)/3.28*3.6
            ENDIF
600      CONTINUE
            ENDIF
            DO 608 N=1,NGRADE
            IF(IT.EQ.1)GO TO 608
            IF(XLO(IT-1).LE.S1(KG).AND.XLO(IT).GT.S1(KG))THEN
                WRITE(7,609)KG,SPEE(IT-1)*3.6/3.28
609      FORMAT('Start of Grade ',I5,' Speed (km/h)=' ,F7.1)
                GO TO 806
            ENDIF
            IF(XLO(IT-1).LE.S2(KG).AND.XLO(IT).GT.S2(KG))THEN
                WRITE(7,611)KG,SPEE(IT-1)*3.6/3.28
611      FORMAT('End of Grade',I3,' Speed (km/h)=' ,F7.1)
                GO TO 806
            ENDIF

```

```

608  CONTINUE
806  CONTINUE
    IF(S.GE.S2(KG))THEN
C      CHECK TO SEE IF THERE IS A VERTICAL CURVE
      IF(KG.LT.NGRADE)THEN
        IF(S1(KG+1).GT.S2(KG))THEN
          WRITE(7,56)ORIGIN+(IADD*S2(KG)/3.28)/1000.
56      FORMAT(5X,'THERE IS A CURVE at ',F9.3,'km')
C      WRITE(7,*)'THERE IS A CURVE s=',s
C      THERE IS A CURVE
C      START AT s=S2(KG), end at S1(KG+1)
C      RATE OF GRADE CHANGE=
      DELTA=(GRA(KG+1)-GRA(KG))/(S1(KG+1)-S2(KG))
C      IF(KG.GE.6)write(7,*)'delta=',DELTA
88      CONTINUE
C      GRADE AT new LOCATION S
      GRADE=GRA(KG)+(S-S2(KG))*DELTA
C      WRITE(7,*)'S GRADE=',S,GRADE
      CALL TRUCK(V2,ACC)
C      WRITE(7,*)'OLDG GRADE=',OLDG,GRADE
    IF(ITEQ.1)THEN
      OLDG=GRADE
    ELSE
      IF(GRADE.LT.0)THEN
        IF(OLDGLE.0)THEN
          IF(GRADE.GT.OLDG)THEN
C            reduce calculated acc
            IF(ACC.GT.0)ACC=0.10*ACC
          ELSE
C            REDUCE ACCELERATION
            IF(V2.LT.80)THEN
C              IF(ACC.GT.0)ACC=0.55*ACC
            ELSE
C              IF(ACC.GT.0)ACC=0.10*ACC
            ENDIF

            IF(ACC.GT.0)THEN

              AAA=ACC
C              ACC=AAA*(1.013-25.132/(1.+EXP(-(V2-152.45)/21.681)))
C              IF(V2.GT.76)ACC=0.07*AAA
C              IF(V2.GT.76)ACC=0.07
C              IF(V2.LE.75)THEN
                ACC=AAA*(0.98-2.3363/(1.+EXP(-(V2-81.142)/10.964)))
C              ELSE
C              ACC=AAA*(-0.02268+0.14274*EXP(-(V2-75)/14.9836))
                IF(ACC.LT.0.12*AAA)THEN
                  IF(GRADE.GT.-4.0)ACC=0.12*AAA

```



```

                IF(GRADE.LE.-4.0)THEN
                    IF(V2.LT.75)ACC=0.12*AAA
                    IF(V2.GE.75)ACC=0.05*AAA
                ENDIF
            ENDIF
C            ENDIF
C            GG=ABS(GRADE)
C            IF(GG.GT.2.5)ACC=ACC*(1-0.15*(GG-2.5))
                ENDIF

                ENDIF
            ELSE
                IF(ACC.GT.0)ACC=0.2*ACC
            ENDIF
        ELSE
            IF(OLDG.LE.0)THEN
C                MAINTAIN CALCULATED ACC
            ELSE
                IF(OLDG.GT.GRADE)THEN
C                    MAY ACC, but reduce calculated ACC
                    IF(ACC.GT.0)ACC=0.2*ACC
                    ELSEIF(OLDG.EQ.GRADE)THEN
                        IF(ACC.LE.0)ACC=1.0*ACC
                    ELSE
C                        IF(ACC.GE.0)ACC=-0.05
C                    IF(ACC.LT.0)ACC=0.7*ACC
                        ENDIF
                    ENDIF
                ENDIF
            OLDG=GRADE
        ENDIF
C        WRITE(7,*)'OLDC ACC=',OLDC,ACC,ACC/OLDC
        IT=IT+1
        IF(GRADE.GE.0.)THEN
C            LEVEL OR UPGRADE, speed cannot exceed VMAX
            IF(V2+ACC*0.1.GT.VMAX)THEN
                ACC=(VMAX-V2)*10
C            WRITE(7,*)'V2 VMAX ACC=',V2,VMAX,ACC
            ENDIF
            ELSE
C            WRITE(7,*)'NEGATIVE in curve VMAX2=',VMAX2
            IF(V2+ACC*0.1.GT.VMAX2)THEN
                ACC=(VMAX2-V2)*10
C            WRITE(7,*)'V2 VMAX2 ACC=',V2,VMAX2,ACC
            ENDIF
        ENDIF
        IF(ACC.LT.-7)ACC=-7
        V2=V2+ACC*0.1

```

```

S=S+V2*0.1+0.5*ACC*0.01
IF(ITEQ.NEXT)THEN
  WRITE(7,71)ORIGIN+
1    (IADD*S/3.28)/1000.,V2*3.6/3.28,ACC/3.28,GRADE
  NEXT=NEXT+10
ENDIF
71  FORMAT(F9.3,F8.1,2F8.2)
XLO(IT)=S
SPEE(IT)=V2
ACCC(IT)=ACC
IF(IT.GT.1)THEN
  IF(ACCC(IT-1).LT.0.AND.ACCC(IT).GT.0)THEN
C    REACH MAX SPEED
    WRITE(7,309)ORIGIN+(IADD*XLO(IT)/3.28)/1000.,
1    SPEE(IT)*3.6/3.28
    ENDIF
    DO 505 N=1,NHIGH
    IF(XLO(IT-1).LE.HIGH(N).AND.XLO(IT).GT.HIGH(N))THEN
      WRITE(7,506)ORIGIN+(IADD*HIGH(N)/3.28)/1000,
1      SPEE(IT-1)*3.6/3.28
506  FORMAT('HIGH Point location (km) and speed (km/h)=' ,
1      F9.3,F7.1)
    ENDIF
505  CONTINUE
  ENDIF
  DO 508 N=1,NGRADE
  IF(ITEQ.1)GO TO 508
  IF(S.GE.S1(KG+1))THEN
    WRITE(7,509)KG+1,SPEE(IT-1)*3.6/3.28
509  FORMAT('Start of Grade',I3,' Speed (km/h)=' ,F7.1)
    GO TO 805
  ENDIF
508  CONTINUE
805  CONTINUE
    IF(S.GE.S1(KG+1))THEN
C      WRITE(7,*)'ORIGIN S1=',ORIGIN,S1(KG+1)
      WRITE(7,57)ORIGIN+(IADD*S1(KG+1)/3.28)/1000.
57  FORMAT(5X,'ENTER next grade at ',F9.3,'km')
      WRITE(7,73)GRA(KG+1)
73  FORMAT(5X,' Grade=' ,F7.2,'%')
C      REACH THE NEXT GRADE
C      WRITE(7,*)'reach next grade'
      GO TO 70
    ELSE
C      STILL ON CURVE
      GO TO 88
    ENDIF
  ELSE

```

```

C          EXAMINE NEXT GRADE
          GO TO 70
        ENDIF
      ELSE
C          NO MORE CHECK
        ENDIF
      ELSE
C          CONTINUE CHECKING THE SAME GRADE
        GO TO 72
      ENDIF
70      CONTINUE
2       CONTINUE
909     CONTINUE
        STOP
        END

C*****
C*****DETERMINE TRUCK ACCELERATION
      SUBROUTINE TRUCK(V2,ACC)
C*****
      COMMON/B1/GRADE,XMASS,POWER,POWERE,PAXLE,ALTI,DRAG,AIR,AREA,
        1 FMAX,FRICT,TIRE1,TIRE2,ROLL
C      OPEN(6,FILE='truck')
C*****
C*****REFERENCE
C      Rakha, H., Lucic,I., Demarchi.,S.H., Setti, J. R., and Van Aerde. M.,
C      "Vehicle Dynamic Model for Predicting Maximum Truck Acceleration Levels,"
C      F. of Transportation Engineering, Sep/Oct Vol. 127, No. 5., 2001,
C      pp. 418-425
C      V2 in ft/s, vv in km/h
      VV=V2/3.28*3.6
C*****GRADE in %
C*****1 hp=745.7 W; 1 lb=4.448 N; 1 lb mass=0.4536kg
C*****ENGINE POWER,KW 223KW to 485KW (300 to 650 hp)
C*****TYPICAL 261 KW (350 hp)
C      P=261
C*****MASS 31852 kg with 201 lb/hp ratio (122.27 kg/KW)
C*****MASS 22208 kg for 140 lb/hp
C*****MASS 27029 kg for 170 lb/hp
C      XMASS=31852
C      PER1=% mass acting on tractive axles (only 2nd axles has power)
C      per1=0.356 for 140 lb/hp, 0.389 for 170 lb/hp, 0.375 fo 200lb/hp
C      PER1=0.375
C      XMASS=34263
C      PER1=0.393
C*****DRAG COEF
C      DRAG=0.78
C*****AIR=0.047285 for air density at sea level at 15 degrees C

```

```

C      AIR=0.047285
C*****ROLLING COEFFICIENT
C      ROLL=1.25
C*****ROLLING RESISTANCE COEF TIRE1 and TIRE2
C      TIRE1=0.04375
C      TIRE2=4.575
C*****POWER EFFICIENCY E
C      IF(VV.LT.8)E=0.75
C      IF(VV.GE.8)E=0.95
C*****COEF of FRICTION
C      IF(VV.LE.3)FRICT=0.60
C      IF(VV.GT.3)FRICT=0.60
C*****MAX TRACTIVE EFFORT
C      PER1=% mass acting on tractive axles (only 2nd axles has power)
C      PER1=0.375
      FMAX=9.8066*XMASS*PAXLE*FRICT
C**** TRACTIVE EFFORT in newtons
C      WRITE(8,*)'VV=',VV
      FACTOR=(0.3097-1.0029)/(1+EXP((VV-1.0799)/3.5461))+1.0029
      FT=3600.*POWERE*FACTOR*POWER/(VV+0.1)
      F=MIN(FT,FMAX)
C      WRITE(8,*)'FT FMAX F=',FT,FMAX,F
C**** AERODYNAMIC RESISTANCE
      RA=AIR*(1.-8.5*ALTI/100000)*DRAG*AREA*(VV)**2
C***** ROLLING RESITANCE, Newtons
      RR=9.8066*ROLL*(TIRE1*VV+TIRE2)*XMASS/1000
C*****GRADE RESISTANCE
      RG=9.8066*XMASS*GRADE/100.
C      WRITE(6,*)'XMASS GRADE RG=',XMASS,GRADE,RG
C*****ACCELERATION
C      WRITE(8,*)'XMASS=',XMASS
      ACC=(F-RA-RR-RG)/XMASS*3.28
      IF(VV.LT.14)ACC=0.6*ACC

C*****NEW SPEED AND LOCATION
C      OLDV=V2
C      OLDS=S
C      V2=V2+ACC
C      S=S+V2+0.5*ACC
C      WRITE(6,77)OLDS,OLDV,ACC,F,RA,RR,RG
C77      FORMAT(3F8.2,4F10.1)
C10      CONTINUE
      RETURN
      END

C*****

```

附錄 D 期中座談會會議記錄

高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性研究(2/3)

期中座談會會議紀錄

一、開會時間：100 年 5 月 26 日（星期四）上午 9 時 30 分

二、開會地點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

三、主席：林所長志明

記錄：呂怡青

四、出席人員：

高速公路局姜主任宇峰

高速公路局吳工程員奇龍

宜蘭縣政府張科長謙祥

台灣世曦工程顧問有限公司王工程師怡方

台灣世曦工程顧問有限公司蘇工程師毓誠

中華民國運輸學會林教授豐博

中華民國運輸學會曾教授平毅

中華民國運輸學會楊研究助理信毅

本所運輸計畫組蘇組長振維

本所運輸計畫組張副組長瓊文

本所運輸計畫組張研究員舜淵

本所運輸計畫組呂副研究員怡青

五、主席致詞：略。

六、運輸學會林豐博教授報告：略。

七、出席人員發言要點：

張科長謙祥委員：

1. 現況國道 5 號匝道儀控係以主線旅行時間為主要考量，因平面道

路塞車相當嚴重，故是否可以總旅行時間設計儀控率，儘量能兼顧主線與地區交通。

2. 若無衝擊波之影響情況下，在國道 21.05K 及雪隧出口的容量最大可達多少？
3. 針對林教授所提出雪隧內設置可變速率管制方式表示贊同。
4. 南下與北上車流管制型態有很大的不同，因南下並無管制，而北上有匝道儀控管制，請研究團隊分析南下與北上總旅行時間之差異。

姜主任宇峰委員：

1. 本局將會針對偵測器所設定之車長正確性進行處理。
2. 北中南區交控中心資料格式的部分皆不一致，原因是早期承包商不同並未注意到資料型式，今年已將所有交控中心統一資料格式及進行偵測器編號。目前南部已完成，中部積極建置中，而北部尚未完工。
3. 目前可變速限在臺灣並無強制性，若駕駛人未遵守標誌管制，是否會造成速差過大或是肇事率的增加，有關雪隧 21.05K 可變速率標誌將研議後方能試辦實行。
4. 北上雪隧出口處在假日期間會有堵塞的情況，其可能原因為入口匝道交織長度不夠，未來須以工程手段改善。
5. 針對雪隧匝道儀控率，現況係以雪隧北上入口的容量作為基礎，並加上匝道進出流量求得。
6. 匝道儀控管制將會對平面道路造成衝擊，導致當地居民生活的不便，因此須權衡高速公路主線流量與平面道路之流量。
7. 針對林教授所提出里程生產量等於流量乘以速率之想法，過去已

有使用，但未將速率放置於縱軸來做分析，因此未能得到具體發現而作罷，本次會議本局獲益良多。

運計組蘇組長振維：

1. 針對國道 5 號北上隧道口及隧道中等壅塞路段之整體改善方案，例如：可變速率之管制、燈光光線干擾、可變標誌等之改善建議，將彙整後請高公局與宜蘭縣政府參考。
2. 駕駛人所希望者為總旅行時間最短，其概念為高速公路上行駛的時間加上平面道路行駛時間的總和。
3. 由於宜 4 距離頭城交流道很接近，若要增設宜 4 北上匝道的話，需將其視成頭城交流道的配對，尖峰時段開放宜 4 北上匝道，則須封閉頭城北上匝道，讓車流整併入主線後能通暢的通過頭城收費站，這樣才能有效改善目前頭城收費站下游車流混亂狀況。

林所長志明：

今天研究團隊所提報之內容與建議，係容量研究的附帶成果，但對改善雪隧瓶頸相當有用，請運計組彙整相關成果資料送給高公局參考，以作為相關管制策略研議之參考。

林教授豐博：

1. 目前國道 5 號大客車是否能行駛內車道？

姜主任宇峰委員：

1. 現行法律不允許大客車行駛內車道，僅於大客車超車時，可使用相鄰車道(內車道)超車。
2. 因雪山隧道內禁止變換車道，故原則上大客車不應使用內車道。

林教授豐博：

1. 石碇交流道南下是否有進行匝道儀控？

姜主任宇峰委員：

1. 是，於每週六進行匝道儀控管。

臺灣世曦顧問工程公司：

1. 未來若使用平均速率作為服務水準指標，是否有考慮各區隧道速限不同，造成指標級距的不同？

林教授豐博：

1. 比較各區之不同路段，應以同一指標來進行分析其績效。

八、主席結論：

(一)本期中座談會的成果係本所今年度容量研究的附帶成果，其對於國道5號雪山隧道北上車流之瓶頸改善相當有用，請運計組彙整研究發現提供高公局參考，以利相關策略之研議，各項建議後續請高公局與宜蘭縣政府務必深入研議，判斷可行後，再行試辦或推動。

(二)本案依合約完成期中座談會議，請依合約續辦相關事宜。

九、散會(上午十一時三十分)。

附錄 E 期末審查會議之意見與回應說明

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
<u>黃承傳委員：</u>		
1.本計畫隧道容量之研究對象係針對雪山隧道，但各隧道因幾何設計、管制措施與作業方式不盡相同，對於其他隧道通用性為何？是否可套用於其他隧道？如需放入公路容量手冊中，請斟酌放入之章節，請參考。	本報告第 8 章建議第 1 項已指出須探討其他公路上隧道的作業才修訂容量手冊。「公路隧道」初稿只是將來納入容量手冊可用的一部分資料。	同意，建議於後續研究中蒐集多種隧道資料已完成「公路隧道」該章
2.有關公路隧道容量之探討，是否應將隧道分不同路段，如隧道入口、中點、出口及與其他不同特性路段互動干擾(如匝道)等，建議於本研究中做區隔。	本報告第 4 章對隧道內外不同地點的作業特性及互動關係有詳細討論。隧道功能受限於容量最低地點(小路段)，分區分析不僅增加建立分析方法的困難度且沒有實質的應用。	同意
3.國外對於道路之評估服務水準皆使用基本路段指標(如密度、V/C、速度)，而本研究除使用 V/C 以外，另使用速限-速率差值作為指標，請研究單位有無可能調整指標使其與基本路段指標一致？並加入車流模式使之完整，亦便與各路段中交互比較。	世界各國之容量分析方法一直在演變。本報告所建議的服務水準劃分方法彌補用單一績效指標之缺失。2011 年臺灣容量手冊高速公路的評估標準已跟本報告之劃分標準一致。其他章節在下一次更新 HCM 時也須探討一致性。	同意
4.報告中有關坡度路段容量之部分，目前研究對象僅三義地區，有無可能增加其他研究對象，使本研究模式更臻完整，與提升通用性，請研究單位參考。	三義地區只是坡度路段研究工作的起點。運研所準備繼續在其他高速公路，快速公路，多車道公路及雙車道公路蒐集資料。	未來規劃中

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
5.有關結論與建議中提及雪隧偵測器系統須改善部分，有無具體意見？可供日後高公局作實質上參考，請說明	本報告第3章指出偵測器常有問題的地點。這些問題牽涉到硬體之設置及保養及軟體之正確性，須仰賴高公局及包商共同處理。	本所未來將把此建議提供高公局參考
<u>郭振寰委員：</u>		
1.報告 page 31 頁說明表 3.8 及 3.10 石碇隧道入口處 3.198k 之偵測器流量與預期全天流量之誤差頗大，其原因係石碇進口匝道 4.044k 之偵測器沒有流量的估計值，惟在 2010 年其誤差值大部份在 1%以內，何以在 2011 年卻有如此大之誤差？請說明。	偵測器難免會有故障的情形。在美國，任何時期內，偵測器故障率大約在 30%~40%。保養是一大問題。裝設（施工）方法也對偵測器之壽命很有影響。	本所未來將把此建議提供高公局參考
2.有關報告表 4.11 北上內車道在不同地點之容量與臨界速率中，在 1.068k 其速限由 70km/hr 升至 80km/hr，而其容量由 1,620 降至 1,560 與其他地點平均接提高約 200 輛/hr 不同是何故？請說明。	北上 1.068K 之作業受南港交流道之限制很大，所以速限高低對容量的影響不大。70km/h 之 1,620 輛/小時與 80km/h 之 1,560 輛/小時之差別很可能是隨機變異(random variation)。從容量分析立場而言，差異 50 輛/小時左右可視為無差異。	原則上同意
3.報告 page 164 頁表 5.6 服務水準等級應為 1 至 6 級，165 頁文字敘述有誤應為 B2 級，建議表 5.5 能將交通性質納入表中說明：A 級(自由車流)、B 級(穩定車流，少許延滯)、C 級(穩定車流，延滯可接受)、D 級(接近不穩定車流，延滯可容忍)、E 級(不穩定車流，延滯不可容忍)、F 級(強迫車流，壅塞狀況)。請修正。	依建議事項修正。	已修正

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
4.本研究報告附錄 B「公路隧道」初稿中述及本研究分析方法只適用情況之一為「沒有大貨車及聯結車」，此一狀況與現行國內隧道管制通行對象有甚大落差，建議爾後研究其他隧道作適當之修正，否則無法成為公路容量手冊之初稿。	報告第 8 章第一建議事項已指出須要探討其他隧道作業。「公路隧道」初稿只適用於表 20.7 之隧道類型。在沒有其他隧道資料以修正之前，此初稿不會納入容量手冊。	同意
<u>吳木富委員：</u>		
1.報告 page 3 頁國道 2 號並無隧道，請修正。	依建議事項修正。	已修正
2.報告 page11 頁表 2.3 建議將各代表性隧道之交管規定及對應之每車道容量或最大流量納入，以避免對各國之容量規範有所誤解。	目前各國並沒有隧道容量的規範，也沒有每車道容量之資料。	同意
3.報告第 15 頁「第」三章，漏字。表 3.1 隧道長度有誤，表 3.2 資料有誤，請修正。	依建議事項修正。	已修正
4 報告第 17 頁偵測器資料日期與日數不一，另設置「特殊地點」之 VD，意義為何？請說明。	日數並沒有錯誤。例如「共 40 天」表示在大約 2 個月內，用 40 天之資料。「特殊地點」的意義在第 17 頁倒數第 7 行有解釋，主要是讓讀者了解隧道及匝道的大約相對位置。	同意
5.報告第 24 頁表 3.6~表 3.10 中建議日期統一採西元或民國年，並請加註星期幾。	依建議事項，統一採用民國年修正之。	已修正
6.報告圖 4-2、4-3、4-4、4-6、4-7 各標記、標線符號圖例未列，請修正。	這些圖只是用來顯示流率型態。如用標記則圖很難看，沒有實用價值。	原則上同意
7.報告第 45 頁週末應為週日。	本處之週末指不在國定假日期間的週末(包括週六及週日)，平常日包括週一至週五。	知悉

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
8.報告表 4.1~表 4.5 交通量大約值為何取到百位數？而表 4.1 雪隧北上週六取至各位數，請說明。表 4.5 2/1 雪隧交通量誤植多 10 倍，請修正。	表 4.1 雪隧北上流量數值修正至百位數。餘依建議事項修正。	已修正
9.報告第 50 頁表 4.7、圖 4-14 交通量有達 3,000VPH 以上資料，但雪隧目前最高流率南下約為 2,900VPH，北上約為 2,800VPH，是否包括其他路段？請說明。	國道 5 號公路尖峰流率有超過 3,000 輛/小時的情形。	知悉
10.有關報告第 70 頁所選 VD 位置與隧道名稱不對應，請修正。	依建議事項修正。	已修正
11.有關第 71 頁表 4.9 其他路段，建議改為雪隧以北之其他路段。	依建議事項修正。	已修正
12.報告第 72 頁圖 4-46 圖例無 2011 年資料與圖名與圖之說明....2011 年之變化不一致？請修正。	該處應為 2008 年(速限 80 公里/小時)及 2011 年(速限 90 公里/小時)的資料，已更正。	已更正
13.報告第 75 頁說明雪隧設計速率 80km/hr，但是安全行車速率常高於設計速率，此段文字建議請再與設計單位確認。	國道 5 號是參照美國 AASHTO 之設計標準，所以除非雪隧或彭山隧道內之平曲線是用設計速率與最高允許之超高率之下的最短曲率半徑，則安全速率會高於設計速率。	同意
14.報告第 112 頁雪隧北上高流量假日時段，21.055k，18.313k 能承載之流率遠低於進入雪隧之流率，能否列出差異值及原因？	兩地點的容量差別可從圖 4-112 及 4-113 看出，內車道大約在 100~150 輛/小時，外車道之差別較大。僅比較容量不能準確評估作業的互動關係，因為容量存在於不同速率。	同意
15.報告第 119 頁圖 4-113 是否為雪隧外車道之關係圖？請說明。	圖 4-113 之標題係雪隧外車道之關係圖，補充修正。	已修正

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
16.報告圖 4-118、4-119、4-126、4-127 各隧道速率流率比較圖，係各隧道之何種地點(隧道入口、中點、出口)比較，請補充。	第 122 頁前 3 行在說明圖 4-118 及 4-119 資料之地點。第 127 頁前 3 行在說明圖 4-126 及 4-127 之地點。	同意
17.報告第 131 頁臨界速率定義為何？請說明。	臨界速率為流率等於容量時之速率。	同意
18.報告第 144 之 5.2 節輸入資料，建議將目前既有之管制措施(如：禁止變化車道、進行大貨車、車間距等)列入。	依建議事項修正。	已修正
<u>沈淑賢委員（書面意見）：</u>		
1.本研究工作目的之一在透過國道5號交通資料研訂公路隧道容量，公路隧道包含公路與隧道二項系統設施所組成，因此公路隧道容量各項評析應以公路隧道系統特性為基礎進行探討。	本研究有考慮隧道內、外公路設施之互動關係，但重點在於隧道。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
<p>2. 國道 5 號彭山、雪山隧道因交通管制與旅次型態特殊，在台灣前公路系統或長隧道交通特性上具獨特性，以此做為長隧道研究個案或具學術與交通管制實務價值，但若以此制訂公路容量手冊”公路隧道”新章節，恐不具代表性。目前資料不足以也不適合做為公路隧道容量制定之主要參據，建議應進一步蒐集其他公路隧道，包括省道、快速道路、高架道路系統。</p>	<p>1) 本報告第 8 章建議第一項指出將來須探討其他公路隧道的作業以修訂「公路隧道」之初稿。探討對象只能限於有車輛偵測器的隧道。至於高架道路是否有隧道須探討，則須在了解現況之後才決定。</p> <p>2) 不管哪一國家，隧道因幾何設計，上下游公路及車流狀況很少相同，因此幾乎每一公路隧道有獨特的作業特性。</p> <p>3) 是否有所謂的代表性作業，目前很難說。任何一項研究工作都是在累積知識以供將來應用，在交通方面的研究很不可能有完全的研究，即使在其他領域數十幾年的老問題也還有人在研究。資料不足並不表示”不適合做為公路隧道容量制訂之主要參據”。如果根據這原則，沒有一個國家能出版容量手冊或設計規範。</p>	<p>同意</p>

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
	4)設計規範或容量分析方法因資料不足(了解不夠)，其應用範圍皆有限。世界各國容量分析方法的缺點很多，但交通工程界照樣採用，因為這些方法代表目前最合適的工具。現有的手冊，教科書只是代表累積的知識，而不是充分或完美的資料。否則為什麼先進國家仍不斷在改良規則，分析及設計方法。	
3.依經驗，駕駛人進入雪山隧道之後前、後段駕駛行為有明顯不同。前段在調適空間保持前後車距，適應後後段車流穩定，流率、速率、容量相對提高。這點從雪山隧道北上或南下容量最低點均在隧道中點可得到解釋。因此長隧道駕駛行為及雪山隧道間距 50 公尺之交通管制，對進入隧道後車流穩定之影響，建議應進一步探討。	隧道內之車流作業特性不單純，以雪山隧道而論，下半部的容量並不會比上半部高。50 公尺最小間距預期對容量有負面影響。這問題在文獻 34 有討論。一般而言，在同一速率時，雪山隧道內之跟車間距從民國 96 年來就一直減短，在 98 年對已趨近穩定（不再有明顯變化）。因為沒有辦法脫離最小間距規定之影響（不能做實驗也沒有另一與雪山隧道一樣但沒有最小間距規定之隧道），所以本研究沒探討此問題。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
<p>4.隧道口容量不足和上游車輛過多是一體二面。僅探討下游主線是否有匯流對隧道服務水準之影響，似乎並不完整。以國道5號系統設計而言，南下瓶頸在國道3號南港交流道即出現，進入國道5號之後車流特性已決定；而北上瓶頸在頭城收費站前，收費站至隧道口多車道併入交織搶道對容量影響甚大。因此隧道上游之是否有系統匝道或其他設施之影響亦應探討。</p>	<p>目前國道5號公路之容量問題不是在頭城交流道或收費站，也不是在南港交流道。通過這些設施的流率遠大於隧道的容量。從分析隧道作業的工作而言，上游設施作業對下游隧道的主要影響因素是通過這些設施前往隧道的流率。此外，如以系統觀念來看，隧道上游之臨近設施的作業又受更上游設施作業的影響。如果這些互動關係皆須考慮，則必須用電腦模擬。但分析隧道作業（尤其是規劃分析）時，最重要的還是必須預估進入隧道之需求流率。需求流率之預估方法超過本研究的範圍。目前有足夠的資料可估計經過收費站的流率。國內雖然實施匝道儀控多年，但對主線與進口匝道匯流區容量的了解不夠。在這情況下，交通界可參考圖20-20（附錄B）來估計。第8章"建議第2項"建議運研所推動一專案以探討這問題。</p>	<p>本所考慮此未來將納入研究意見中</p>

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
5.由資料顯示，速限調整應是容量提升的決定因素。而雪山隧道速限提升為 90 公里之後，自由流率亦為 90 公里之理由應受執法強度高之影響。但探討公路容量入僅以速限為因素，不檢視公路、隧道幾何設計，一旦交通管制與執法因素消失，將無法反映實際而影響容量之訂定。	每一隧道幾乎有獨特的幾何設計及臨近道路狀況，所有影響因素的影響反映在各隧道之流率與速率關係。在這情況下，除非有大量且有相似影響因素之隧道的資料，否則沒有辦法探討每一因素的影響。速限與自由速率有密切關係，自由速率又影響流率速率關係，所以這是探討隧道車流特性之一合理的出發點。	同意
6.市區道路地下道容量受路口號誌時制計畫與地下道坡度影響極大，恐不宜做為公路隧道容量制定之依據，建議市區道路容量(包括地下道與其他系統)應另案探討。	市區地下道研究工作並非蒐集資料以"做為公路隧道容量制訂之依據"，其目的在於修訂容量手冊另一章，與公路隧道無關。	同意
鼎漢國際工程顧問股份有限公司：		
1.若建議跟車間距改用 2 秒時駕駛人應如何操作？如何作為執法的標準？請說明。	須做點民眾教育工作（電視或電台）。在美國以前常教駕駛員在前車車尾抵達某一點時開始念 "One thousand 1, One thousand 2."念完這 6 字所須時間大約須 2 秒（須示範念，否則會念得太快）。如果念完上述 6 字之前已超越前車原來位置，則跟車太近。在臺灣可改成"1 個 tiger; 2 個 tiger."先測試須念得多快才不會太快。一般而言，立法規定間距或車距在執法上很困難，與駕駛員"心戰"的功能還有一點。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
<p>2. 本研究未來在編定手冊時是否能適用所有高(快)速公路之各長短隧道？或較短隧道不夠成瓶頸因素者可併入一般路段分析？請說明。另外就改善雪山隧道壅塞建議而言，是否可考量提高最低速限（在目前禁止大貨車進入之狀態下應有機會）？請說明。</p>	<p>1) 第8章"建議第1項"指出須探討其他公路上之隧道來修訂「公路隧道」初稿。這工作未完成之前不宜將初稿納入容量手冊。</p> <p>2) 提高最低速限對改善壅塞狀況很可能無效。但在低流量時可減少，駕駛員在隧道內觀光慢行。高流率時速率很可能沒有辦法維持在最低速限以上，不能強迫駕駛員開快車。</p>	<p>同意，建議於後續研究中蒐集多種隧道資料已完 成「公路隧道」該章</p>
<p>3. 雪隧最近一次提升速率由80kph(容許10kph)至90kph(無容許值)是否即造成兩者間對於容量提升效果有限的因素？請說明。</p>	<p>速限之外是否容許加速10公里/小時很可能不是容量沒有顯著改善的原因。高流率狀況時某一地點（如隧道中點）之上下游速率都不高，所以容不容許速限加10公里不是主因。一很可能原因是下游路段的限制。高速而且高流率車流走到下游時，如稍有限制（如某一駕駛員減速），則很快進入壅塞狀況，因此沒有較長的時間以快速高車流通過。另一可能原因是超過60~70公里/小時之後，駕駛員與內牆相對運動造成不安全感，所以在高流量時拉大間距。</p>	<p>同意</p>
<p>4. 本研究納入速率/速限差之評估水準，將目前6等級區分為36等級是否會過於複雜？請研究單位參考。</p>	<p>不會過於複雜。2011年容量手冊有關高速公路之章節有例題。</p>	<p>同意</p>

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
5. 目前因應交流道出口距隧道出口過近，而有提早在隧道出口前開放變換車道，未來是否在容量分析上可以考量此一措施之影響，或提供最佳開放長度之評估計算基準。	國道 5 號幾何設計先天不良，所以很難改善容量。如果提早在隧道出口前開放變換車道，則隧道內行車安全可能會有大問題，而且不會改善容量。目前雪隧南下出口前的內車道容量已遠低於外車道。只要有進出口匝道，有變換車道，而且有高流率，匝道上游難以避免塞車。如果隧道外車道有足夠容量應付駛往出口匝道之流率，而且隧道上游沒有坪林交流道及彭山隧道，則最好規定或建議往頭城下匝道者必須在雪隧之前或之後變換車道。但目前沒有這種條件。	同意
<u>亞聯工程顧問股份有限公司：</u>		
1. 本研究雖目前研究對象過具針對性(針對雪隧、三義坡道)，建議未來可將其他隧道、坡道路段資料加以綜整，增加其適用性。	運研所有準備探討其他公路之設施。	已在規劃中
2. 本研究所提及之速限-速率差之評估水準，對於道路流量研究時相當實用，可減少許多現有指標之盲點。	事實上是有必要考慮密度之外的績效指標。	同意
<u>高速公路局：</u>		
1. 報告第 75 頁設計速率為 90km/hr，非 80 km/hr，請修正。	雪隧之設計速率為 90km/hr，已修改。	已修改
2. 雪隧中點之速率狀況，高公局亦發現與本研究雷同之狀態，此可作為進入雪隧匝道儀控之重要依據。	敬悉。	同意

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
3.雪隧南北兩方向道路路型不一致，南下為下坡路段，北上為上坡路段，亦可能造成北上易有故障車影響，VD 資料需多加注意。	目前國內外之研究顯示雪山隧道北上 1.5%左右之上坡坡度，對容量沒有什麼影響。影響因素太多，所以很難用目前的偵測器資料來確定每個因素之影響程度。	同意
<u>本所運計組：</u>		
1.本計畫利用高速公路局之 VD 資料，以進行相關的車流特性分析。VD 的正確性相當重要，故本計畫先行檢測 VD 之正確性，再進行後續之相關分析，作業程序務實。	敬悉	同意
2.有關報告 p.52 述及「彭山及石碇隧道中之大客車比例可能比雪山隧道之比例低」，此結果是否可由偵測器資料與以佐證，請研究單位補充說明。	石碇及彭山之流量較雪山高（見表 3.5）假設大客車走全程，則石碇及彭山之大客車比例應較低。	同意
3.有關報告 4.5 節述及「車流開始進入不穩定狀況時的佔有率有如此大差異的原因不詳」，請列入後續研究建議中進行探討。	這現象的確很不尋常，很可能是偵測器的資料有問題。	知悉
4.有關臺灣 HCM 新章「公路隧道」，目前僅涵蓋國 5 車流特性，請補充說明未來是否需要納入其他路段（如國 3、八卦山隧道）之資料或納入建議中，此外，文中有些許圖示過於模糊，請修改之。	本報告第 8 章建議第 1 項已指出須探討其他公路上隧道的作業才修訂容量手冊。「公路隧道」初稿只是將來納入容量手冊可用的一部分資料。	同意，建議於後續研究中蒐集多種隧道資料已完成「公路隧道」該章

參與審查人員及其所提之意見	合作單位處理情形或說明	本所計畫承辦單位審查意見
5.有關報告中提及高速公路坡度路段之調查受限因素相當多，請說明其對於後續工作之影響，並提出可能之因應方式，以利於第三期工作計畫內容之擬定與進行。	請參考最近交給運研所之資料。原則上須開始發展一模擬模式之雛型(prototype)，同時展開大規模資料蒐集。然後用現場資料微調測試模式。最後用現場及模擬資料建立簡便分析方法或直接模擬做分析工作。	已提供
6.另有關於市區地下道工作之後續工作，請補充說明。	1)預計再多蒐集其他都市之市區地下道之幾何條件、自由速率、停等車疏解等資料。 2)中央標線分隔且有汽機車道實體分隔路型之地下道，在臺灣都市地區相當常見，預計進一步蒐集相關資料。 3)利用各項現場資料，建立分析市區地下道容量與服務水準分析之方法論，修訂公路容量之現有章節。	同意
7.表 5.6 之服務水準等級應不是 A 至 F 級，而是附錄 B 之表 20.4 之等級 1 至 6。	依建議事項修正。	已修正
8.期末報告內容之其他錯別字、缺字或需澄清之處，請再檢核修訂。	本報告已再次檢核及修訂，以避免 wording 問題。	已修正
<u>主席結論：</u>		
1.請將各委員及各單位意見納入後續期末修正報告參考，並針對其意見製作辦理情形回覆表。	遵照辦理。	已辦理
2.期末審查原則通過，請於 12 月 15 日前提送修正報告到所，以辦理後續行政作業。	遵照辦理。	已辦理

