

國立交通大學  
運輸科技與管理學系

碩士論文

高速公路輔助標誌改變緩坡路段車流之研究

Research of Transforming the Traffic Flow in  
Mild Gradient Section with Freeway Auxiliary Signs

1896  
研究生：李佳龍

指導教授：吳宗修

中華民國一〇二年九月

高速公路輔助標誌改變緩坡路段車流之研究

Research of Transforming the Traffic Flow in  
Mild Gradient Section with Freeway Auxiliary Signs

研究生：李佳龍

Student：Chia-Lung Li

指導教授：吳宗修

Advisor：T. Hugh Woo



June 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇二年九月

# 高速公路輔助標誌改變緩坡路段車流之研究

學生：李佳龍

指導教授：吳宗修

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

## 摘要

緩坡路段(mild gradient)會使得高速公路局部地區容量減小，甚至在坡底形成瓶頸路段。設置輔助標誌提示駕駛人在行經緩坡路段進行加速是近年來十分常用的措施，目的在減少緩坡路段的車速下降，讓車流中的速度差異減小，使車速勻化。本研究針對設置輔助標誌後駕駛人是否真的能接收到資訊，或是在緩坡路段進行加速是否真的能增加臨界流量、減少壅塞的發生，選取國道高速公路緩坡路段歷史資料進行調查分析。研究結果發現，設置輔助標誌後各車道的車速變異量均有下降，顯示車流中的速度差異確實變小。但是內車道與外車道的平均車速也下降，僅有中車道的車速上升；使得整個路段的平均車速下降。而以里程生產量(mileage production)來評估運輸能力後發現，內車道與外車道的臨界運輸能力在設置輔助標誌後均下降，中車道的臨界運輸能力略為上升，整體上來看該路段的運輸能力並沒有因為設置輔助標誌而有提昇。然而因為該路段在設置後的交通量較設置前提昇了約15%，是否因車流量的提昇造成設置輔助標誌後之成效遭稀釋而不明顯，則有待更進一步研究。

關鍵詞：緩坡路段、瓶頸路段、車流、輔助標誌、里程生產量

# Research of Transforming the Traffic Flow in Mild Gradient Section with Freeway Auxiliary Signs

Student : Chia-Lung Li

Advisor : T. Hugh Woo

Department of Transportation Technology and Management  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

Mild gradient leads to the capacity reduction in some sections of the freeways, even forms a bottleneck. Setting up an auxiliary sign to recommend drivers to accelerate while passing the mild gradient is a common treatment in Taiwan for the past few years to reduce the speed drop and narrow the speed differential. This study aims to investigate whether drivers will receive the information and accelerate while passing the mild gradient to improve the capacity. The results find that after setting up auxiliary signs, the speed differential is lower in all traffic lanes. But the average speed is lower than before in overtaking lane and outside lane, leading to an average speed reduction in this experiment section. The mileage production of the overtaking lane and the outside lane are also decreased. In conclusion, the transportation ability of this section is not improved after installing the auxiliary signs. However, it should be noted that the traffic volume had increased 15% over the study period. It might cause the speed reduction and dilute the effects from these auxiliary signs.

Keywords : mild gradient, bottleneck, traffic flow, auxiliary sign, mileage production

## 誌謝

本論文得以順利完成，首先要感謝恩師吳宗修老師的費心指導，在研究所期間對各種專業知識的傳授以及指點，同時給予以實務驗證理論的機會，讓學習並不淪於空談。在論文方面耐心引導我的研究方向、講解過去相關研究以及提供可行的研究方法，令我獲益良多。

感謝學長吳俊良、張則斌以及國道高速公路局北區工程處在資料蒐集方面的大力協助，同時提供相關專業意見以及工程資料作參考，使論文的研​​究方向更明確。感謝口試委員吳水威老師、陳高村老師細心指導，提供寶貴意見與不吝指正，使本論文內容更完備充實，並教導學生許多相關知識，深表銘謝。感謝許添本老師、鐘易詩老師在研究方法以及資料分析方面的寶貴意見，讓我對分析資料有更深一層的理解。同時感謝運輸科技與管理學系的所有老師在大學以及研究所期間的諄諄教誨，培養學生正確的學習態度以及研究精神。

感謝研究所同學游恕信以及陳冠旭在分析軟體上的教學以及協助，在完成論文的途中互相勉勵與協助。並感謝學弟吳承紘在撰寫論文期間的鼓勵與協助，以及感謝所有研究室的學弟妹們共同維護研究室的歡樂和諧氣氛。感謝我的女朋友在工作繁忙之餘仍抽時間陪我散心，但放鬆之時卻又不斷督促我完成論文。感謝蘇郁文學姐提供的論文經驗談，以及在遇上瓶頸時的集思廣益和討論。並感謝所有一起在研究所努力的同學們，不管在研究方法的交流、資料分析方法的選擇、相關文獻的討論以及論文撰寫的協助等，都給予我很大的幫助。

最後要感謝我親愛的家人，感謝父母從小對我的栽培以及教誨，並在精神以及物質上給予無限的幫助。「不管你想做什麼，家裡一定都會支持你」這句話在無數個疲憊的夜晚都能令我精神為之一振，重新找回自己想走的路。這二十幾年來在我背後無時無刻的支持我，讓我在學習的道路上無後顧之憂，專心於學業上。在此僅以本論文獻給所有支持、關心我的師長、親人、同學以及朋友，並表達我最誠摯的感謝之意。

李佳龍 謹誌於  
交通大學運輸科技與管理學系  
民國一〇二年九月

# 目錄

第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍與對象.....	4
1.4 研究方法.....	4
1.5 研究步驟與流程.....	5
第二章 文獻回顧 .....	7
2.1 凹陷與緩坡路段之塞車現象.....	7
2.2 紓解凹陷與緩坡路段壅塞之實例.....	10
2.3 分析車流特性之研究.....	13
2.3 小結.....	15
第三章 研究方法 .....	17
3.1 研究路段選擇.....	17
3.1.1 車流資料調查與工程資料比對.....	17
3.1.2 專家訪談.....	19
3.2 改善措施.....	24
3.3 資料蒐集與分析.....	27
第四章 研究結果 .....	30
4.1 內車道比較.....	31
4.2 中車道比較.....	33
4.3 外車道比較.....	35
4.4 車道總和比較.....	37
4.3 小結.....	39
第五章 結論與建議 .....	40
5.1 結論.....	40
5.2 建議.....	41
參考文獻 .....	42

# 表目錄

表 1-1	Hachioji 至 Otsuki 間高速公路凹陷路段與 NTJ.....	1
表 1-2	99 年元旦連續假期易塞時段以及路段.....	2
表 1-3	101 年春節連續假期易塞時段以及路段.....	2
表 3-1	國道一號 2011 年 7 月 30 日車速資料.....	17
表 3-2	國道三號 2011 年 8 月 20 日車速資料.....	18
表 3-3	國道三號 2011 年 9 月 10 日車速資料.....	18
表 3-4	國道三號 2011 年 9 月 12 日車速資料.....	18
表 3-5	國道三號 2011 年 10 月 8 日車速資料.....	19
表 3-6	國道三號 2012 年 1 月 2 日車速資料.....	20
表 3-7	國道三號 2012 年 1 月 3 日車速資料.....	20
表 3-8	國道 62 k 至 67 k 之坡度工程數據.....	20
表 3-9	國道三號 2012 年 2 月 26 日南向車速資料.....	22
表 3-10	輔助標誌設置資訊.....	24
表 4-1	2011 年 4 月與 2012 年 4 月各車道車種比例.....	30
表 4-2	內車道車速分佈.....	32
表 4-3	中車道車速分佈.....	34
表 4-4	外車道車速分佈.....	36
表 4-5	車道總和車速分佈.....	38

# 圖目錄

圖 1-1	研究流程圖 .....	6
圖 2-1	距離坡底 850 公尺處之車流速率 .....	8
圖 2-2	距離坡底 1150 公尺處之車流速率 .....	9
圖 2-3	距離坡底 1750 公尺處之車流速率 .....	9
圖 2-4	在瓶頸路段外額外增設車道 .....	10
圖 2-5	連接輔助車道 .....	11
圖 2-6	隧道前瓶頸路段 .....	11
圖 2-7	進行速度控制後之瓶頸路段 .....	12
圖 2-8	LED 輔助標誌車 .....	12
圖 2-9	LED 輔助標誌 .....	12
圖 2-10	首都高沿線運行速度變化 .....	13
圖 2-11	首都高沿線坡度變化 .....	14
圖 2-12	平曲線車速變化 .....	14
圖 3-1	偵測器位置與坡道相對位置示意圖 .....	21
圖 3-2	選定之實驗路段空照圖(國道三號大溪—龍潭段).....	23
圖 3-3	輔助標誌設置位置示意圖 .....	25
圖 3-4	64.77 k 輔助標誌設置情形 .....	25
圖 3-5	64.77 k 輔助標誌內容 .....	26
圖 3-6	65.015 k 輔助標誌內容 .....	26
圖 3-7	用速度流率圖估計容量 .....	29
圖 4-1	設置輔助標誌前後內車道速度—流量圖 .....	31
圖 4-2	設置輔助標誌前後內車道速度—里程生產量圖 .....	32
圖 4-3	設置輔助標誌前後中車道速度—流量圖 .....	33
圖 4-4	設置輔助標誌前後中車道速度—里程生產量圖 .....	34
圖 4-5	設置輔助標誌前後外車道速度—流量圖 .....	35
圖 4-6	設置輔助標誌前後外車道速度—里程生產量圖 .....	36
圖 4-7	設置輔助標誌前後車道總和速度—流量圖 .....	37
圖 4-8	設置輔助標誌前後車道總和速度—里程生產量圖 .....	38



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

高速公路上發生壅塞在台灣地區算是十分常見的現象。排除事故、施工等造成車道縮減之現象，車流仍然會在不知不覺的情況下慢下來，無法如預期一般順利行駛。假如車子彼此的間距夠大，即使前方車輛在行駛中略為減速，對後方之車輛影響也非常輕微。但假如行車間距夠短，達到所謂車流之「臨界狀態」，此時當某輛車輕踩一下煞車，該駕駛踩煞車的影響便會開始往後傳，且減速程度越來越大，最終導致車流完全停頓發生塞車現象。

西成活裕在壅塞學—人、車、螞蟻、網路、細胞一路暢通的秘密一書中提到：「當車子開到平緩的上坡時，駕駛不會注意到有上坡，所以並沒有改變踩油門的力道。然而車速會因為坡道慢慢降低。等速度減低到一定成度之後，駕駛才會警覺行經上坡路段而開始加速」，然此時若後方已有來車，已經因此受到影響而擠在一起；假如在上坡前恰好有平緩之下坡，構成所謂凹陷路段(Sag Section)，則後方車輛追上來的速度會更快，面對突然減速之前車踩煞車的力道也會更猛。

表 1-1 為日本八王子市至大月市間高速公路的 10 個凹陷路段，根據歷史資料紀錄壅塞發生次數。壅塞定義為車速降至時速 40 公里、或是發生走走停停現象。由表中可看出具有較高交通壅塞次數(Number of Traffic Jam Occurrences, NTJ)的多為具有較高坡度變化(Algebraic Difference)的路段，僅有路段 I 以 1.28% 的坡度差 NTJ 卻有 172 例外。但也有坡度變化很大卻不常發生壅塞的例子，例如路段 G 之坡度變化達 8% 而 NTJ 僅有 5，顯示坡度變化大並不一定具有較高之 NTJ。

表 1-1 Hachioji 至 Otsuki 間高速公路凹陷路段與 NTJ

Bound	Sag				Algebraic Difference (%)	Down-grade (%)	Up-grade (%)	Length of Downgrade (m)	Length of Upgrade (m)	Length of Vertical Curve (m)	Curvature of Vertical Curve (m)	Number of Jam Occurences
	Section	Range (km)	Name	Bottom (km)								
West	A	64 ~ 67	Saruhashi BS	65.47	3.80	-2.50	1.30	810	780	480	12600	21
	B	60 ~ 63	Nakano Br.	61.88	6.90	-3.70	3.20	1040	1056	800	11600	183
	C	57 ~ 60		58.74	4.64	-1.64	3.00	1420	620	640	12800	5
	D	51 ~ 54	Tsurukawa Br.	52.01	5.30	-0.30	5.00	1940	1750	1000	18900	158
	E	48 ~ 51		48.73	3.30	-2.10	1.20	420	480	280	8500	15
	F	45 ~ 48		46.82	0.97	-0.42	0.55	900	680	320	33000	8
	G	42 ~ 45	Sagamiko BS	43.38	8.00	-4.50	3.50	790	1300	800	10000	5
	H	34 ~ 37		35.42	2.62	-1.60	1.02	370	490	440	12500	15
	I	29 ~ 32	Moto-Hachioji BS	30.25	1.28	-0.28	1.00	1040	1240	1000	78000	172
	J	26 ~ 29		28.32	1.45	-0.65	0.80	1000	890	1000	64500	3
East	A	67 ~ 64	Saruhashi BS	65.47	3.80	-1.30	2.50	780	810	480	12600	24
	B	63 ~ 60	Nakano Br.	61.88	6.90	-3.20	3.70	1056	1040	800	11600	221
	C	60 ~ 57		58.74	4.64	-3.00	1.64	620	1420	640	12800	11
	D	54 ~ 51	Tsurukawa Br.	52.01	5.30	-5.00	0.30	1750	1940	1000	18900	34
	E	51 ~ 48		48.73	3.30	-1.20	2.10	480	420	280	8500	46
	F	48 ~ 45		46.82	0.97	-0.55	0.42	680	900	320	33000	13
	G	45 ~ 42	Sagamiko BS	43.38	8.00	-3.50	4.50	1300	790	800	10000	60
	H	37 ~ 34		35.42	3.23	-1.80	1.43	490	370	440	12500	8
	I	32 ~ 29	Moto-Hachioji BS	30.25	1.28	-1.00	0.28	1240	1040	1000	78000	65
	J	29 ~ 26		28.32	1.45	-0.80	0.65	890	1000	1000	64500	8

台灣地區之高速公路亦有此情形，常常可聽見駕駛人們口中提到所謂的「常塞車路段」。國道高速公路局亦會根據過去資料在連續假期前將易塞時段以及路段製作成如表 1-2、1-3 之表格提供返鄉民眾參考，選擇適當的時段行駛高速公路：

表 1-2 99 年元旦連續假期易塞時段以及路段

日期	易壅塞時段	易壅塞路段		
		國道 1 號	國道 3 號	國道 5 號
12 月 31 日 (週四)	16-20 時	五股至中壢雙向	—	—
1 月 1 日 (週五)	8-13 時	桃園至中壢南下 湖口至竹北南下	三鶯至大溪南下	南港系統至雪山 隧道北口南下
	15-18 時			
1 月 2 日 (週六)	9-12 時	桃園至中壢南下	三鶯至大溪南下	南港系統至雪山 隧道北口南下 宜蘭至雪山隧道 南口北上
	15-20 時			
1 月 3 日 (週日)	14-20 時	楊梅至中壢北上 員林至埔鹽系統北上	新竹系統至竹林 北上	宜蘭至雪山隧道 南口北上

表 1-3 101 年春節連續假期易塞時段以及路段

日期	易壅塞時段	易壅塞路段		
		國道 1 號	國道 3 號	國道 5 號
1 月 20 日 (週五)	15-20 時	林口至平鎮系統南下	—	—
1 月 21 日 (週六)	10-12 時	內壢至平鎮系統南下	鶯歌系統至大溪南下	
	14-18 時	內壢至平鎮系統南下 彰化系統至彰化南下		
1 月 22 日 (週日)	10-12 時	中壢至平鎮系統南下		
1 月 23 日 (週一)	9-13 時	桃園至平鎮系統南下 王田至彰化南下	樹林至龍潭南下 快官至中投南下 木柵至南港系統北上	南港系統至 坪林南下
	14-20 時	機場系統至平鎮系統南 下	三鶯至大溪南下	
1 月 24 日 (週二)	8-13 時	林口至平鎮系統南下 湖口至竹北南下 台中至彰化南下	土城至龍潭南下 彰化系統至中投南下 新店至南港系統北上	南港系統至 坪林南下
	14-20 時	桃園至平鎮系統南下 西螺至員林北上	草屯至中投北上 寶山至竹林北上	頭城至坪林 北上
1 月 25 日 (週三)	8-13 時	林口至平鎮系統南下 湖口至新竹南下	土城至龍潭南下 彰化系統至中投南下	南港系統至 坪林南下

		台中至彰化南下 西螺至員林北上 王田至大雅北上	新店至南港系統北上	
	14-22 時	桃園至平鎮系統南下 后里至台中南下 斗南至員林北上 大雅至台中系統北上 頭份至湖口北上	草屯至中投北上 沙鹿至中港系統北上 新竹系統至竹林北上 龍潭至大溪北上	頭城至坪林 北上
1 月 26 日 (週四)	9-13 時	桃園至平鎮系統南下 斗南至員林北上 王田至大雅北上	樹林至龍潭南下 快官至中投南下 新店至南港系統北上	南港系統至 石碇南下
	14-22 時	斗南至員林北上 台中至台中系統北上 頭份至湖口北上	草屯至中投北上 沙鹿至中港系統北上 新竹系統至竹林北上 龍潭至大溪北上	頭城至坪林 北上
1 月 27 日 (週五)	8-13 時	內壢至平鎮系統南下	大溪至龍潭南下 木柵至南港系統北上	南港系統至 石碇南下
	14-22 時	西螺至員林北上 新竹系統至竹北北上	草屯至中投北上 新竹系統至竹林北上 龍潭至大溪北上	頭城至坪林 北上
1 月 28 日 (週六)	14-20 時	西螺至員林北上 新竹系統至新竹北上	草屯至霧峰北上 寶山至竹林北上	頭城至坪林 北上

根據這些表格可看出，國道一、三、五各自都存在著某些瓶頸路段。雖然由表格中尚無法判斷該路段為何易發生壅塞，但當連續假期車流量較大時，這些路段就很容易因為容量不足造成壅塞。本研究將根據此類資訊以及國道高速公路局提供之車流速率資料研究哪些路段易發生壅塞車流，並進而改善之。

## 1.2 研究目的

由以上資料可知，緩坡或是凹陷路段會導致車速降低，若駕駛沒有重新加速維持行車速度，將導致後方車輛為了避免追撞而踩煞車進行迴避，此行為將產生煞車衝擊波向上游傳遞。若車流已接近臨界流量，此時車陣中有車隊遇上此衝擊波，則可能造成車流速度大幅下降，甚至進而發生壅塞。此現象來自車流中某些駕駛，對於道路情形之誤判，導致車速在駕駛非主動減速降低，影響到後方來車之行車順暢。本研究目的為研究台灣國道高速公路易發生此一現象之路段，並嘗試以設置輔助標誌提醒駕駛人的方式改善此類路段發生之減速現象，紓解緩坡路段之減速現象。

### 1.3 研究範圍與對象

根據上述研究背景與目的，本研究的研究內容包括：

1. 回顧國內外探討緩坡與凹陷路段與緩坡減速現象，以及透過設置輔助標誌對駕駛進行道路狀況提示之研究。
2. 蒐集國道此類易發生壅塞車流的路段在進行速度控制工程改善前後之車速與車流資料。
3. 分析施工結果後是否能有效改善該路段因車流中突然產生車速降低造成壅塞之現象。

研究地點為國道一號及國道三號，研究對象為使用國道高速公路的所有駕駛人，進行車流量與車速之資料蒐集。

### 1.4 研究方法

本研究目的在尋找高速公路因緩坡路段造成車輛減速，使得車流較易於發生壅塞之路段，並施工設置輔助標誌試著減少壅塞現象。因此尋求國道高速公路局以及國道高速公路工程處等單位協助，提供沿線配置之 VD 車流資料以及國道施工資料進行協助。本研究將根據國道高速公路局之 VD 車流數據分析何處車速明顯較上下游低，甚至在連續假期等車流量高的日子時常發生壅塞。並參考路段之坡度數據，研究是否可能是因為坡度造成車速下降。若分析確實為坡度造成之瓶頸路段，將根據文獻回顧尋找適合使用於該路段之改進方法，與高速公路中區工程處協商進行該路段之施工，設置輔助標誌進行改善。

在改善工程完成後，繼續蒐集車流資料觀察該路段之行車狀況，是否仍會發生壅塞。紀錄完成後分析該路段於進行工程前後之車速車流數據是否有改善，以及評估此改進方案是否有效紓解此類易發生壅塞的路段，將研究結果提供給國道高速公路局以供往後施工參考。

## 1.5 研究步驟與流程

本研究根據國內外文獻，針對此類容易發生壅塞之緩坡瓶頸路段相關研究與在該處進行之紓解工程進行探討，作為研究假設之立論基礎。數據、資料齊備後以案例以及統計方法進行分析。研究流程如圖 1-1 所示，其各項內容分述如下：

### 1. 研究背景與動機

由過去交通統計資料可知此類路段易導致塞車，尤其車流處於臨界狀態時行經此路段造成之減速將使後車產生煞車衝擊波向上游傳遞，進而轉變為壅塞車流。導致此一現象的原因為駕駛對於道路設計認知錯誤，及上坡路段造成之減速現象。

### 2. 問題分析與界定

為探討道路坡度設計與駕駛認知之關聯性，本研究首先須界定在何種坡度下駕駛人容易產生此認知錯誤，輔以過去相關研究尋找國道高速公路符合此問題之路段。

### 3. 相關文獻回顧

蒐集國內外文獻有關設置輔助標誌工程與緩坡路段之文獻，研究此一現象在各種坡度下對於駕駛人感知影響以及車速降低程度，並尋找此類路段可利用之改善方案以及過去已有應用之方案實例。

### 4. 資料蒐集與整理

本研究將進行二階段的資料蒐集工作。第一階段為蒐集國道一號與國道三號之坡度工程數據以及易塞車路段；在確認瓶頸路段與設置輔助標誌後，進行第二階段為蒐集該路段之車流量與車速進行分析，研究在設置輔助標誌前後之車流是否有改善。。

### 5. 速度一流率圖分析

將觀察得到之數據繪製成速度一流率圖，分析對於該路段之車速與車流是否有改善，同時觀察發生壅塞的次數是否有變化。

### 6. 結論與建議

根據觀察及分析結果，瞭解設置輔助標誌工程之影響程度，作為日後針對此類工程改善之依據。

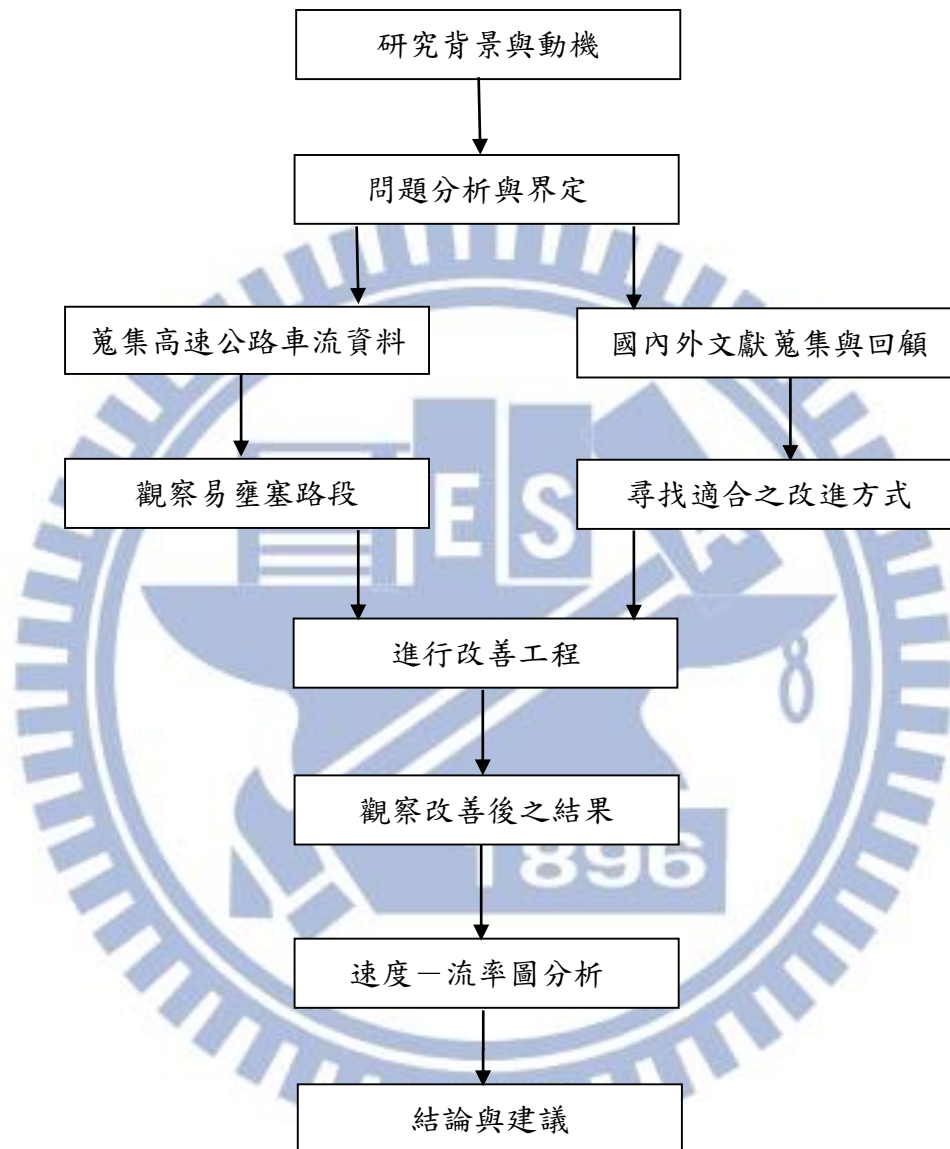


圖 1-1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本章綜合整理文獻中與凹陷路段、緩坡路段的相關研究成果，可分為三大部份討論。第一部份根據過往文獻內容，研究為何會發生凹陷與緩坡路段塞車之情形，以及車流對此現象產生的相應變化；第二部份探討過去曾經被用來解決此類瓶頸路段塞車之方法。第三部份則尋找過去在進行道路工程後，用來分析是否有改善的研究方法。將前述參考文獻逐一回顧與整理，作為本研究理論架構之基礎。

### 2.1 凹陷與緩坡路段之塞車現象

在公路車流中，常常會在沒有發生事故或是車道縮減的情況下，車流在某些路段慢下來，甚至在車流量大的時候發生壅塞。這是由於在車陣中的某一輛車，主動或是非主動的減緩車速，造成後方車輛為了避免撞上前車而踩煞車。而此一煞車現象會逐漸向後傳遞且放大，此時若有另一車隊追上便會造成後方車流發生壅塞[1]。在路段發生壅塞後，駕駛人更會傾向於以周遭流行車速行駛，導致更進一步的減速[5]。此現象在隧道入口處以及道路之凹陷、緩坡路段更是容易發生。在進入隧道時由於視線突然變暗，駕駛人會踩下煞車減速保持距離，以免在眼睛尚未適應光線變化下無法對前方之車輛行為做出反應[4]。而在凹陷與緩坡路段則同樣是由於上坡造成車輛減速，若是駕駛人沒有踩油門進行加速，車輛便會在此路段慢下來進而影響後方車流，此現象為駕駛人對道路幾何設計的認知錯誤。當此認知錯誤與車輛減速兩個條件同時發生下，便會造成壅塞[6]。

此類壅塞現象又能進一步分為駕駛「可重新加速到尚未進入凹陷路段之車速」以及「無法重新加速到尚未進入凹陷路段之車速」。若是在經歷陡坡造成減速時，駕駛人雖然能認知到上坡路段，進而補踩油門維持車速[4]，但卻可能因為坡度太陡或是前方距離不夠，不一定能將車輛加速至原本尚未進入上坡路段之車速，因此造成即使認知到坡度，車速仍然慢下來的情況 [6]。在過去的研究中，凹陷路段壅塞主要以發生在坡度大於3%的斜坡為主，但在駕駛人很難察覺之緩坡緩坡路段也有數據顯示會發生此類壅塞現象[11, 12]。在發生壅塞情形時，多會經歷一段很長的速度下降過程，顯示駕駛對於車輛的速度感知有遲鈍的傾向。

此種速度下降現象在小型車上較為明顯。當長假期結束，許多人駕駛自小客車行駛高速公路準備回到工作縣市時，便很容易發生此類擁塞現象[8]。

在車道影響方面，以二線道為例：一般非壅塞情況下，內側車道之車流量會比外側車道小。因內側車道多半為超車道，駕駛人在進行超車後即回到外側車道行駛。但在發生壅塞前，內側車道之交通量會開始上升超過外側車道。因駕駛人在察覺前方車輛車速因堵塞而減速時，會想由內側車道進行超車，但由於前方已無空隙讓超車車輛回到外側車道，因此只能持續在內側車道行駛，導致內側車道之交通量不斷上升。在此狀態下當內側車道之某一輛車因狀況發生而減速時，便會產生煞車衝擊波向後傳遞，造成內側車道開始發生壅塞[4, 9]。

瓶頸路段之交通量可再分為：最大交通量、壅塞前臨界交通量、壅塞中交通量。壅塞前之交通量在2線道時，坡度會對交通量造成顯著差異，但是在3線車道時差異則不顯著。表示當車道數上升時，坡度對交通量的影響較小 [5]。而 Yasuhiro Saito 君則將交通量分為壅塞前臨界交通量、壅塞中交通量，探討天氣(晴/雨)以及時段(白天/黃昏/晚上)對交通量的影響。研究結果發現此二變數確實會影響壅塞前臨界交通量與壅塞中交通量，兩者流率皆在白天為最高、黃昏次之、晚上最末。天氣方面則是兩者皆是晴天之交通量大於雨天。然而即使是在相同天氣相同時段，兩者仍會在一定範圍內微幅變動[10]。

除日本進行之凹陷與緩坡瓶頸路段研究外，德國也進行過上坡路段造成之減速對交通量之影響研究[13]。Brilon與Bressler在Traffic Flow on Freeway Upgrades 研究中提出：高速公路的上坡會造成車速的降低，此現象可能導致道路容量損失；而這些區域在高速公路網中會造成瓶頸。並提出坡度造成之減速影響會發生在距離坡底相對較短的地方，通常是在最初的500公尺內，最長不會超過1公里。超過這個距離之後，受坡度影響的交通量可能會恢復，而壅塞程度會明顯減少。但是由於車流的連續性原理，容量不會超過瓶頸處之容量。圖2-1到圖2-3為該研究中針對同一坡道距離不同坡底之平均車速調查：縱軸為平均車速，橫軸為車流量。由這些圖中可明顯看出，圖2-1距離坡底850公尺因坡度影響造成之減速車流，在1150公尺、1750公尺處已明顯消失，顯示在距離坡底1公里以上，坡度造成之減速現象將會明顯減輕。

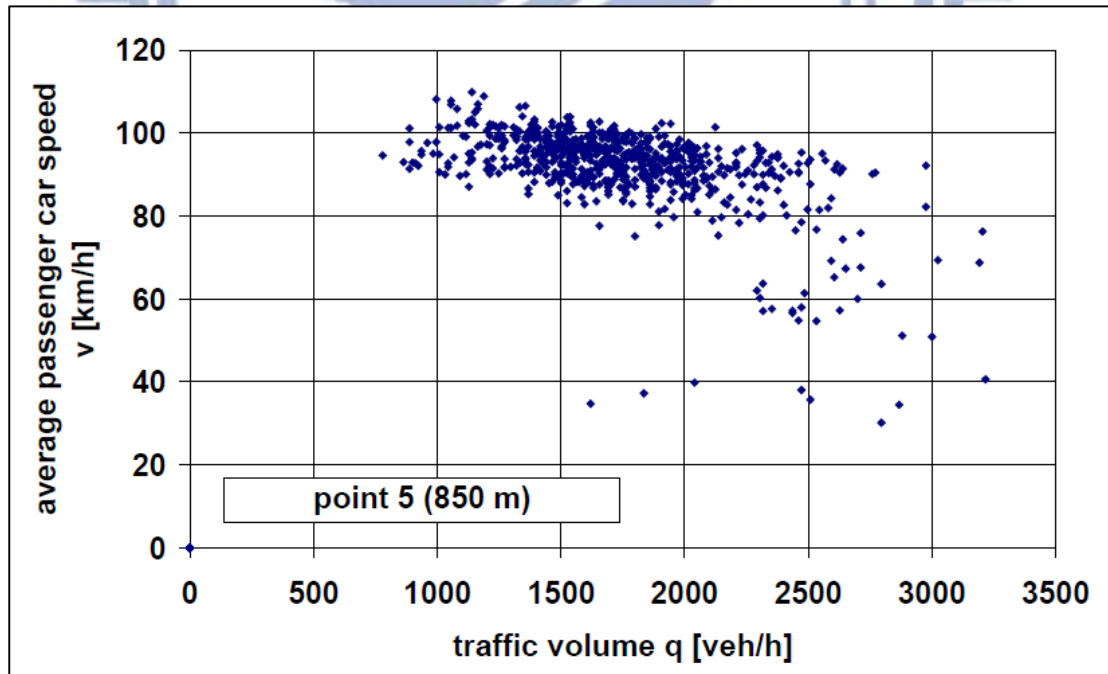


圖2-1 距離坡底850公尺處之車流速率



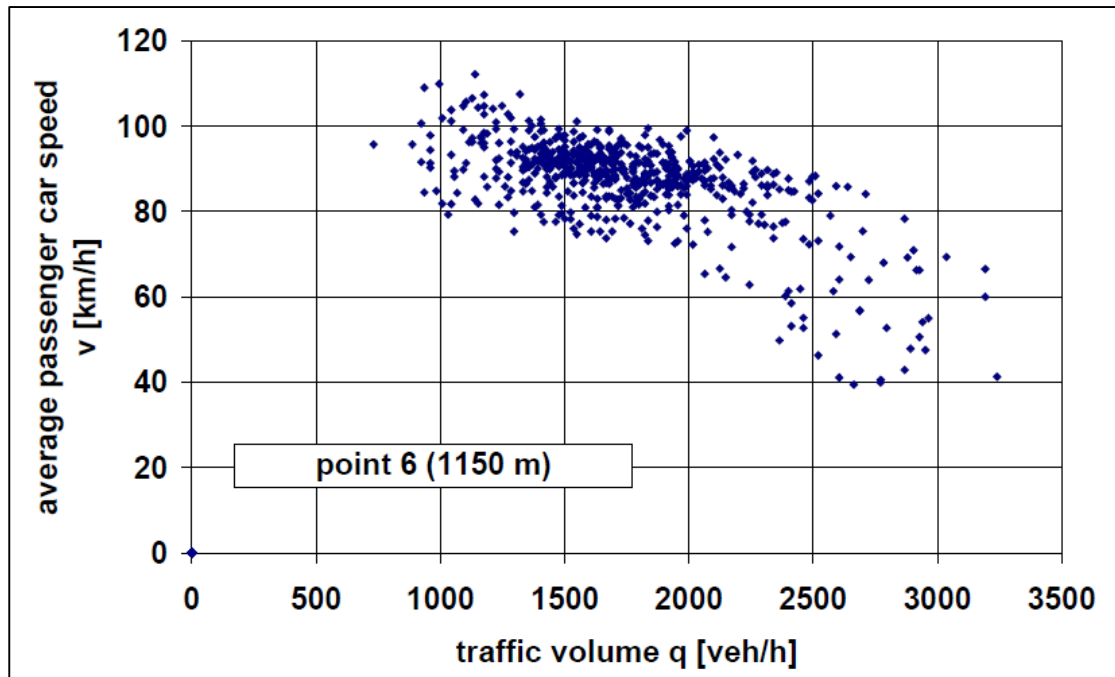


圖2-2 距離坡底1150公尺之車流速率

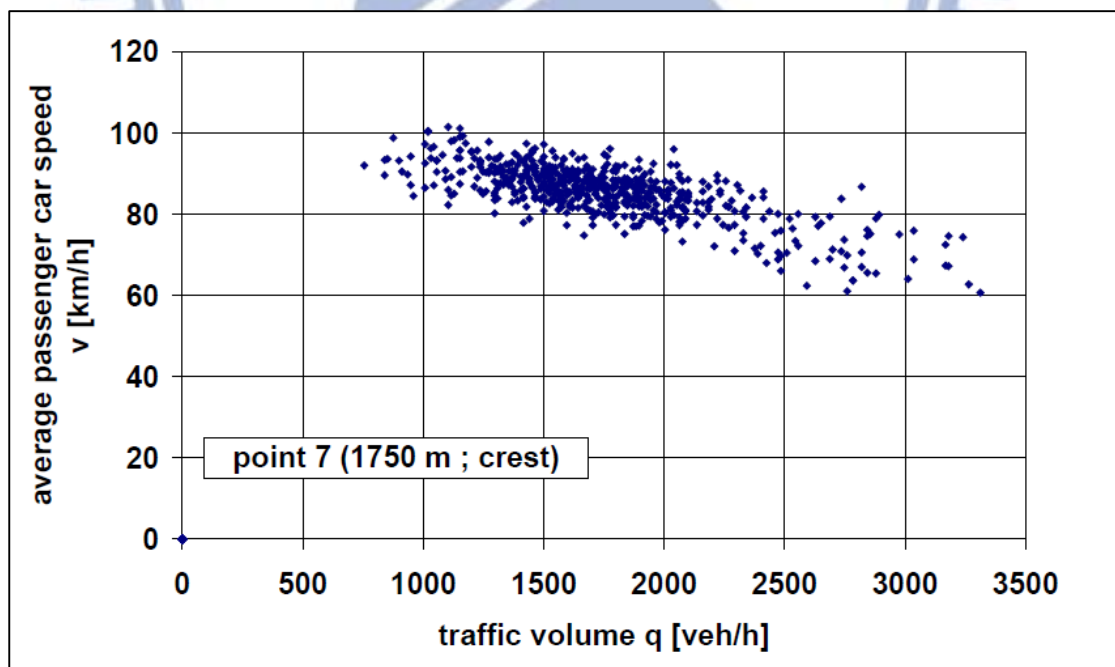


圖2-3 距離坡底1750公尺之車流速率

## 2.2 紓解凹陷與緩坡路段壅塞之實例

在高速公路的瓶頸路段由於直接影響到高速公路之容量與效率，因此在過去已有不少人提出紓解瓶頸路段的方案。但瓶頸路段並非皆在緩坡或是凹陷路段出現。如前述文獻提出在隧道口亦有可能發生壅塞，台灣國道五號雪山隧道即是此一類型。而鄰近系統交流道或是某些較複雜的匝道區域亦有可能造成瓶頸路段。雖造成瓶頸路段之原因可能十分相近，多為車速在行經此路段時因為某些原因下降。但本研究著重於坡度造成之瓶頸路段，解決方式亦朝向此一方向尋找，因此暫不考慮紓解隧道口壅塞之瓶頸問題。

日本在過去已試著以不同方式紓解此類路段之壅塞情形。由上一節可知，坡度對交通量造成之影響，在車道數增加時會略為降低。因此Takashi君提出可在瓶頸路段處額外增設車道（圖2-2），使得某些能明顯體認到上坡的駕駛不會因為前方車輛減速而被迫降低車速。透過部份車輛可藉由額外增設之車道加速通過此一瓶頸路段，可紓解原本在上坡時因所有車速減慢造成之回堵情形。而增設車道會在脫離瓶頸路段後縮減回原本之車道數[3]。

然而文章內同時也提到，此種類型的設計有著對車道使用的間接控制，以及當交通量更大時可能會在縮減車道處因車流匯流而發生安全問題。且此種處理方式並非所有路段皆適用，除非原本路側十分空曠或是已在該路段施工期間便額外規劃好預留增設車道之用地，否則要在發現壅塞問題之後於瓶頸路段增加車道，不但耗費資金與時間甚鉅，且未必有足夠之空間設置。即使額外車道設置完成之後也有可能因為局部容量增加，下游發生壅塞轉移現象，即此處大量車流順暢通過後，反而導致下游某處因容量不足無法負荷如此龐大之車流而發生壅塞，產生新的瓶頸路段。此一方法並不適合在台灣地區實施，因此本研究不考慮以此方法進行紓解瓶頸路段之手段。

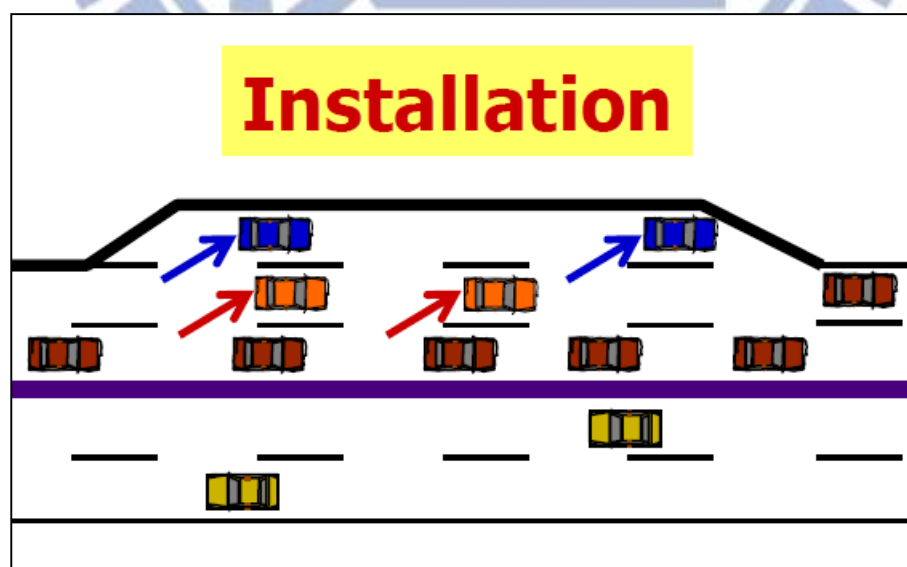


圖2-4 在瓶頸路段額外增設車道

而Sato[15]君也提出以輔助車道試圖紓解交通壅塞，在日本連接名古屋與大阪的東名阪快速道路上一段瓶頸路段的雙向進行改善措施。將原有的匝道加減速車道延長，並將現有的輔助車道作連接。在inbound方向作出一條長5公里的輔助車道，而outbound方向作出6公里的輔助車道（如圖2-3）。結果發現inbound與outbound的瓶頸路段臨界車流皆有所增加，而總延誤在兩個方向也都有所減少。成功的以連接加減速車道作為輔助車道改善了因為壅塞造成的旅次時間延誤。

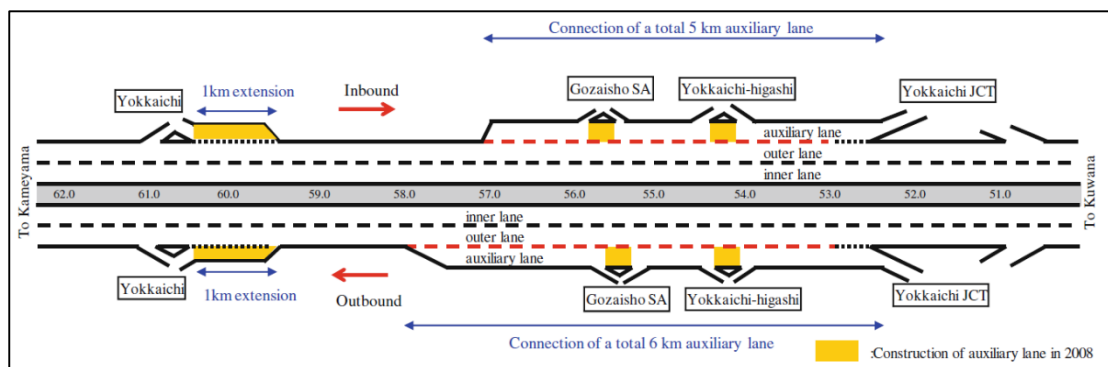


圖2-5 連接輔助車道

但若無法在問題路段增設車道，則可就「預防車速下降」、「回復車流速度」、「調整車道使用效率」、「使用路肩增進車道使用效率」等方面著手[9]，皆是在不改變道路結構的前提下實行之手段。Kobayashi君認為造成瓶頸路段處車輛煞車的原因在於駕駛人的車速過快以及變換車道，使得後方來車往往需要進行減速以避免碰撞（如圖2-4），進而造成煞車行為往後傳遞以及超車道壅塞。

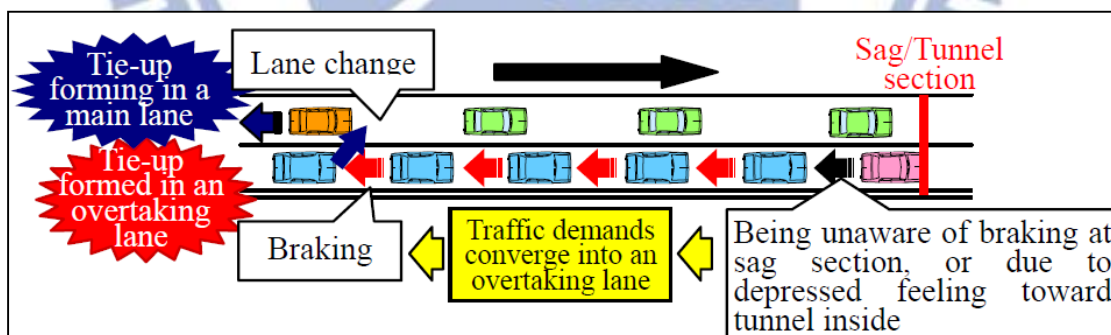


圖2-6 隧道前瓶頸路段

因此Kobayashi君提出在瓶頸路段前進行速度控制來減輕這個情況。分別在Kobotoke 隧道的前2 km、5 km、10 km處進行速度控制實驗，限制變換車道行為以及將車速降至某一水平平衡車道的使用水準（如圖2-5）。實驗結果發現限制車速後反而提昇了該路段之容量，減少了旅次時間。其中尤其以壅塞路段前2 km處實施速度控制後提昇最為明顯，減少了約13 %的旅次時間、增加道路容量約5 %至7 % [7]。將平均車速降低能使駕駛在發現與前車距離拉近時，踩煞車的動作較為和緩，對後方之煞車衝擊較小。

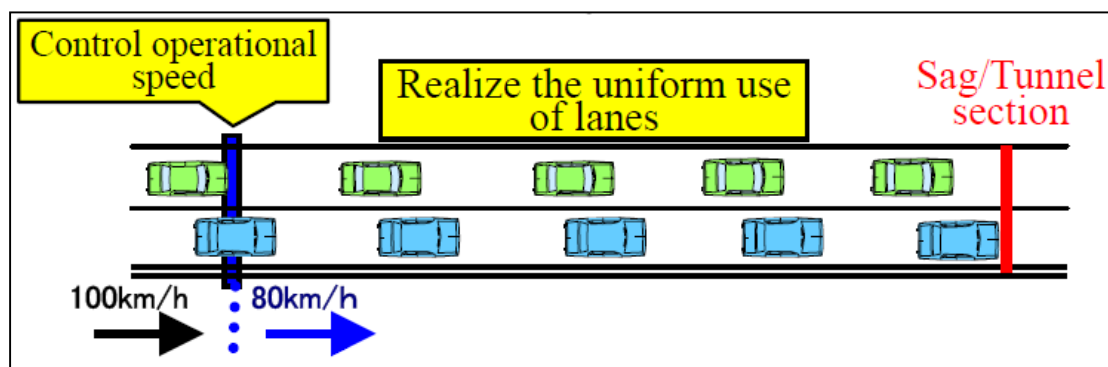


圖2-7 進行速度控制後之瓶頸路段

除設置速度上限以及限制變換車道行為以避免駕駛人之煞車過於劇烈外，在駕駛人的視線範圍內設置輔助標誌提示交通狀況是一種新的低成本紓解壅塞手段。Saito君[10]以路邊設置LED輔助標誌與停放LED輔助標誌車（圖2-6、圖2-7）試著紓解壅塞路段，輔助標誌顯示的內容則分為兩種：一種是在未壅塞路段處顯示固定資訊提醒駕駛人正經歷上坡路段，記得踩油門維持車速；另外一種則是在壅塞路段的下游設置動態交通資訊，提醒駕駛人加速以脫離壅塞路段。該研究指出，設置動態交通資訊確實可提昇瓶頸處之交通量，但是設置一面與設置兩面提示面板並沒有顯著差異。同時也表示要清楚地得知壅塞前之臨界交通量是否增加仍有困難，因為在研究中提供非壅塞路段資訊之LED輔助標誌並非動態資訊。

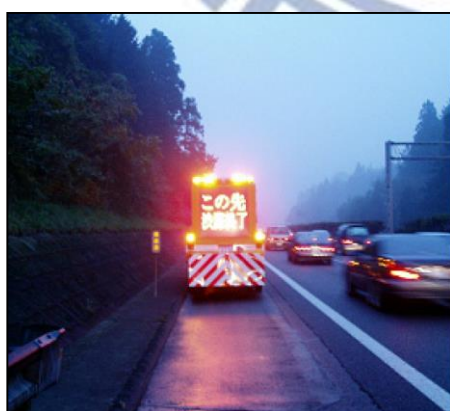


圖2-8 LED輔助標誌車



圖2-9 LED輔助標誌

## 2.3 分析車流特性之研究

高瑛穗[21]君在雪山隧道行車特性研究中，以雪山隧道內全線設置的閉路式攝影機影像資料進行資料蒐集，分析內車道與外車道的流量特性。同時撰寫程式辨識影像中各車的車頭距，將可定義為自由車流的車間時距分為 4 秒、6 秒、9 秒三種類行進行分析。探討在不同的秒數的自由車流定義下，自由車流佔總車流的比例。最終提出自由車流巨觀特性：內車道自由車流比例於各觀測位置並無顯著差異；外車道自由車流比例於隧道入口處最高，越往隧道內其比例呈緩慢下降，而通過隧道中點後其比例又緩慢上升。並指出行車干擾微觀特性：內外車道在行車干擾下，最常與前車保持的車間時距為 2 秒、其次是 3 秒、最末為 1 秒；且車頭距保持 1 秒之情形最常發生在隧道入口路段，顯示在隧道入口處車與車之間的距離跟得最近，此現象也符合前述隧道入口處駕駛會因為前車速度驟降，為了避免追撞而踩煞車造成隧道入口處易發生壅塞之描述。

Sato[15]君探討在設置輔助車道後，針對進行改善工程前後該路段的臨界車流及旅次延誤兩個要素進行研究。研究結果發現，該路段在設置了輔助車道後 inbound 方向的臨界車流增加了 6% (190 vph)，而 outbound 方向臨界車流則增加了 3% (100 vph)。旅次延誤在 inbound 方向減少了 24%，outbound 減少了 62%，平均在雙向減少了 33% 的延誤。

Hiroshi君研究Tokyo metropolitan expressway (首都高速道路)的潛在容量以及瓶頸路段[16]。以速度流量圖分析在不同天氣情況下、平日與週末假日以及白天、晚上等變數下車流的運行情況，並分析其運行速率。研究目標為符合以下兩個條件的車流：每五分鐘平均速率大於50 km/hr、平均車頭間距大於10秒(即交通量小於60 veh/5 min/2 lane)。為將運行速率以及里程數繪製成折線圖後，針對其中車速特別低的路段進行分析(如圖2-8)，研究是否因縱向坡度(longitudinal gradient)造成的輕微速度降低產生的衝擊坡，導致該路段成為瓶頸路段(如圖2-9)。研究結果發現，Funaboribashi匝道附近的車速因輕微的坡度變化略為下降5 km/hr，而Hiraiohashi匝道附近略下降了3 km/hr。

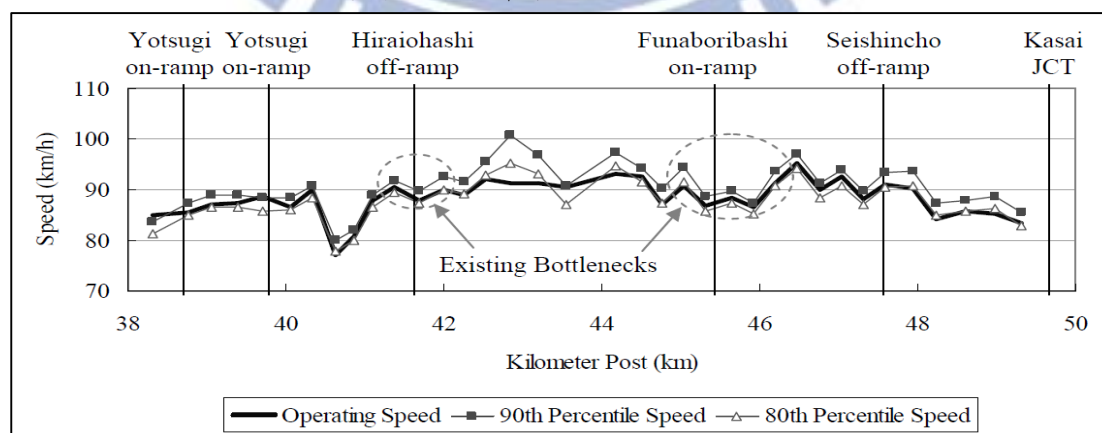


圖 2-10 首都高沿線運行速度變化

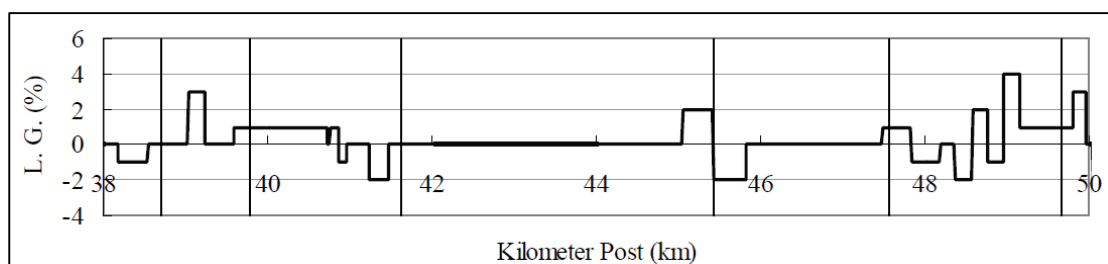


圖 2-11 首都高沿線坡度 (longitudinal gradient) 變化

Bernard 君探討平曲線對於車速的影響。於連續彎道設置偵測器紀錄車輛在行經彎道時的車速變化，將資料分為接近彎道、彎道中點以及彎道下游三類。為了區分一般車輛與連結車，將所收集得到的資料按照每 10 km/hr 分組，除了可以增加各組的資料數外，亦可將一般車輛與連結車分開；該研究提出連結車與一般車在平曲線時有相同的車速變化，不同之處在於連結車的車速皆低於一般車輛。因此若將車速按照每 10 km/hr 分組，連結車會被分在較低速的部份。在進入彎道前以較高車速行駛的車輛，進入彎道後減速的幅度會比進入彎道前以較低車速行駛的車輛來得大[如圖 2-10]。

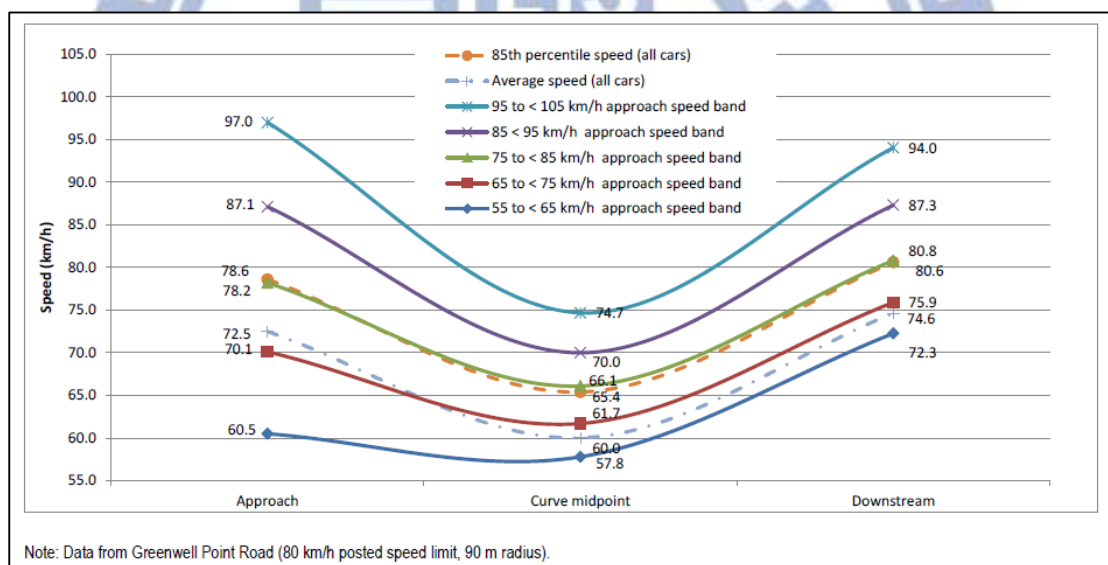


圖 2-12 平曲線車速變化

蘇振維、鄭嘉盈等人[24]在「高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性研究」中提到，公路的上坡路段容量通常比平坦路段低，因此在流量大時，坡度路段會比平坦路段容易塞車。此外，坡度路段上小車及大車的速率若有很大的差異，則行車安全性可能降低。一般而言，比較重、爬坡性能較差的大車有集中在最外側車道的傾向。因此當最外側車道的大車比例增加時，速率降低的程度會比其他車道大。同時該研究提出，在內車道，平坦路段的自由速率高達 110 veh/hr 小時左右，但在坡度為 4.84% 時自由速率只有 100 veh/hr 左右。且當流率增加時，平均速率有下降的趨勢，當流率升高到 2000veh/hr 時，平坦地點及坡度

4.84%地點的速率相差約 14km/hr。同時最高流率也會有差距，平坦路段的內車道 15 分鐘流率可達 2200 veh/hr，但在 4.84%坡度地點的最高流率只有 1950 veh/hr 左右。推測造成此差距的原因可能是有些較慢的車輛在通過平坦路段後轉進中車道，造成內車道的流率下降。另一可能原因是平均自由速率較低的路段通常有比較低的容量，但是仍可明顯判斷，高速公路在 4.84%坡度地點的運輸功能顯然比平坦路段低。

曾平毅等人[25]針對雪山隧道的速限調整進行研究，主要著眼於分析運輸通行效率的提昇。利用的 VD 偵測器資料，分析雪山隧道內的車流速率，以了解小車在隧道內運行之基本特性。其次分析隧道內的速率與流率關係及容量，並進一步剖析速限提高對於車道容量與通行能力之影響。結果發現當雪山隧道的速限從 70 km/hr 提昇至 80 km/hr 後，容量顯著增加，北向內外車道平均約增加 200 veh/hr；南向內外車道平均各約增加 150 veh/hr 以及 300 veh/hr。在將速限從 80 veh/hr 提昇至 90 veh/hr 後，容量並沒有顯著變化。但是速限提升到 90 veh/hr 後在不同需求流量狀況下之里程生產量（流率×速率）普遍提高，在流率接近容量時，里程生產量（mileage production）提高約 10%，顯示運輸能力有所提昇。

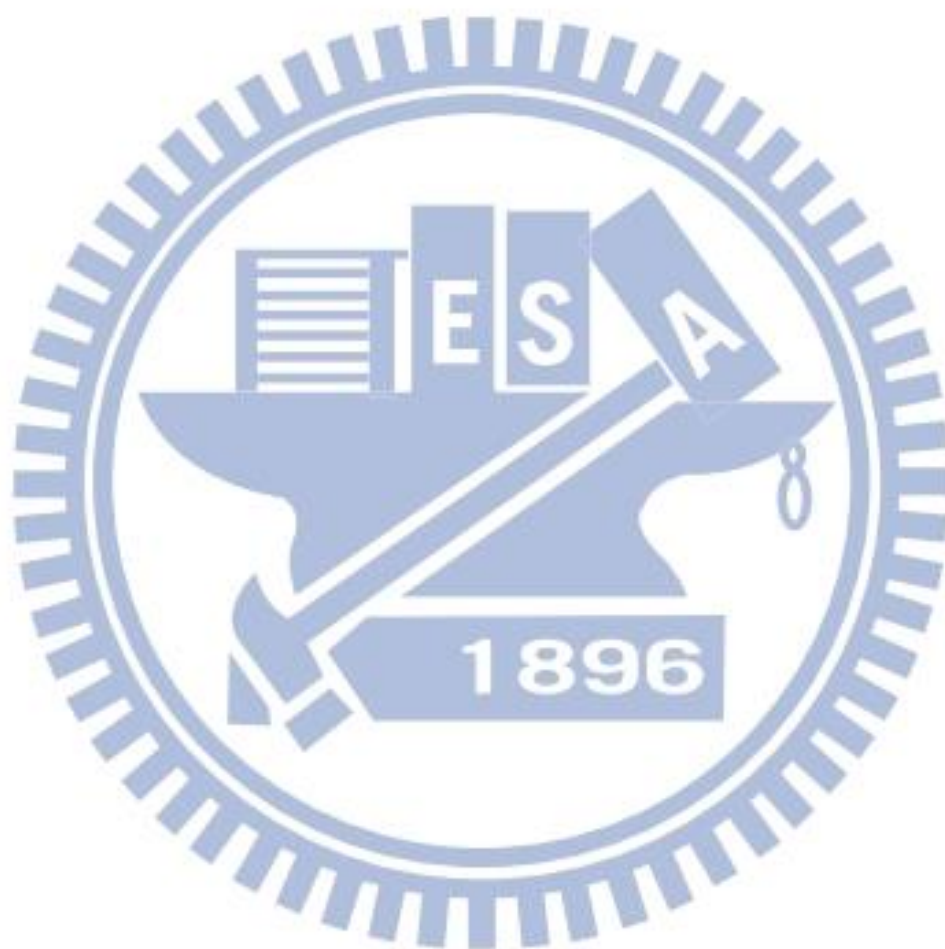
林豐博等人[26]提出，一個路段的運輸功能不能只用速率或流率加以評估，因為同一流率同時可能是高速率或是低速率嚴重壅塞的情況。而在速率相同時，流率也可能在相當大的範圍內變動，因此建議使用里程生產量此一指標來進行道路通行能力的評估指標。所謂里程生產量係代表在一小時內通過一定點的車輛能行走的距離，其值等於一小時內流量乘以其平均速率，此指標的單位為 1000 輛·公里/小時。如果兩路段能乘載的最高流率相同，則能維持較高速率的路段會有較大的里程生產量，其運輸功能較佳。此外，如果兩路段能乘載的最高流率不同，其相關之里程生產量亦能顯示因速率不同所產生的運輸能力。

## 2.3 小結

根據前述文獻，除去「設置額外車道」此一耗資費時甚巨之改善方式。「預防車速下降」、「回復車流速度」、「調整車道使用效率」等方式皆是較為可行之紓解瓶頸路段之方式。在與高速公路局工務單位探討商議可行之改進方案時，以「預防車速下降」、「回復車流速率」作為主要的改進方向。文獻中，於瓶頸路段前限制車速上限或是限制變換車道可收得明顯成效，而 Saito 君之研究中提出之在路側設置 LED 輔助標示車方案亦可紓解壅塞現象。然而台灣的高速公路較為狹窄，在路側設置 LED 輔助標示車可能會造成該路段之路肩無法行駛，影響警車或救護車等緊急車輛通行，且不適合長時間停放。而「限制車速上限」與「限制變換車道」在高速公路的某一特定路段實施而非隧道或橋樑等可明確界定起點與終點的路段，可能會造成駕駛人產生困惑，與高速公路已有之速限混淆，不清楚該遵守哪個速限以及該遵守多長的距離。

因此在不影響該路段可行駛空間之前提下，考量成本與施工時間等因素，決

定以設置「固定資訊輔助標誌」作為本研究對緩坡瓶頸路段之主要改進方式，並且以「加速」提示作為輔助標誌的內容。本研究提供分析出之國道高速公路瓶頸路段，交由工務單位於該路段內、外側設置輔助標誌，提醒駕駛人正行經緩坡路段，應適當加速以免造成後方車流壅塞。並在設置輔助標誌後收集該路段之車速車流資料，分析其車速組成並繪製速度流率圖，並計算其里程生產量的變化，研究在設置輔助標誌前與後該路段之運輸能力是否有改善。





## 第三章 研究方法

### 3.1 研究路段選擇

由於高速公路上影響車流速度的因素很多，為了能清楚判斷是否為坡度變化造成之壅塞，本研究採用車流資料調查、工程資料比對以及國道相關人員之訪談。

#### 3.1.1 車流資料調查與工程資料比對

蒐集國道高速公路之 VD 車流資料，藉由觀察車速、車流量等現象尋找易壅塞路段，同時輔以坡度工程資料進行比對，尋找可能因坡度造成壅塞之路段。由前述日本之統計可知，並不是每個緩坡地形或是凹陷路段都會發生壅塞，亦不是每個發生壅塞的路段坡度差都非常大。因此同時從坡度與車速兩方面著手互相比較，對於判斷壅塞路段較為可靠。要定義出路段因凹陷造成壅塞需要非常大量之資料，避免某些特定情況例如施工或是交通意外事故造成之壅塞影響判斷，將花費相當多時間進行比對。以下僅列出部份整理之國道一號 101.51 k 至 251.2 k 與國道三號 111.63 k 至 267.94 k（國道高速公路中區工程處提供）於 2011 年 7 月至 10 月 13:00 至 20:55 之平均車速[7]，可能為瓶頸路段者將以灰底表示。表格中填上「N/A」表示該里程設有偵測器，但因為偵測器損壞或其他因素造成資料缺漏。

表 3-1 國道一號 2011 年 7 月 30 日（星期六）

北向	194.55 k	195.03 k	195.57 k	196.01 k	196.63 k
13:00:00	97	88	57	72	96
14:00:00	96	88	47	95	96
15:00:00	96	88	38	95	96
16:00:00	96	89	47	96	97
17:00:00	96	87	32	95	96
18:00:00	96	88	40	95	97
19:00:00	95	88	79	95	95
20:00:00	96	90	39	95	96

表 3-2 國道三號 2011 年 8 月 20 日 (星期六)

南向	212.194 k	212.744 k	213.446 k	214.142 k	214.901 k
13:00:00	101	98	93	103	100
14:00:00	101	96	90	102	100
15:00:00	104	96	89	101	99
16:00:00	108	94	85	102	100
17:00:00	104	92	78	101	99
18:00:00	104	91	81	100	98
19:00:00	105	92	85	99	99
20:00:00	105	94	91	101	100

表 3-3 國道三號 2011 年 9 月 10 日 (星期六)

南向	204.581 k	206.591 k	207.541 k	207.991 k	208.691 k
13:00:00	95	109	93	98	96
14:00:00	89	97	74	84	77
15:00:00	95	58	37	35	28
16:00:00	94	108	71	54	34
17:00:00	96	110	93	97	82
18:00:00	93	106	36	93	81
19:00:00	96	110	N/A	98	95
20:00:00	99	113	N/A	100	99

表 3-4 國道三號 2011 年 9 月 12 日 (星期二)

南向	204.581 k	206.591 k	207.541 k	207.991 k	208.691 k
13:00:00	100	114	99	103	100
14:00:00	98	113	97	102	99
15:00:00	98	113	97	102	101
16:00:00	99	113	98	102	100
17:00:00	94	106	89	95	94
18:00:00	82	92	82	85	84
19:00:00	94	105	91	94	93
20:00:00	98	110	96	100	98

表 3-5 國道三號 2011 年 10 月 8 日 (星期六)

南向	204.581 k	206.591 k	207.541 k	207.991 k	208.691 k
13:00:00	99	116	96	101	99
14:00:00	97	115	94	101	98
15:00:00	94	112	92	98	95
16:00:00	96	112	94	100	98
17:00:00	96	114	93	99	99
18:00:00	96	111	92	97	97
19:00:00	99	116	96	101	99
20:00:00	100	117	97	102	100

由以上表格可看出，根據車流資料之上下游比對，某些路段之車速會比上下游略低，本研究即可根據此一現象調查該路段是否為上坡路段、是否有車流匯入、是否鄰近交流道等條件，分析可能之減速原因。例如：國道一號北向 195.57k 處的車速往往會比鄰近路段車速低，可判斷該處可能為一瓶頸路段。但根據工程資料，195.57k 處鄰近彰化系統交流道，該處之低速可能為駕駛人因鄰近系統交流道，需要變換車道或是尋找指標而減緩車速，並非因為地形造成之減速，故不納入研究對象。而國道三號於南向 207.541 k 之偵測器相較於上下游經常偵測到低車速，但未取得該處之工程資料，僅判斷該處可能為一瓶頸路段，無法分析是否坡度造成之減速而引起壅塞。

### 3.1.2 專家訪談

本研究訪問公安局成員以及國道高速公路局北區工程處關西工務段，根據過去的經驗討論是否國道高速公路有些地方在沒發生車禍或是施工的情況下，車流行經該處仍會減慢甚至發生壅塞，或是在開車巡邏途中常常會覺得開超車經過某一個里程數後，便突然感覺車流速率變快行車順暢。訪談結果發現，位於國道三號關西段大溪龍潭間的 66 k 處是一個很常被提起之車流疏散點，行駛國道三號南下壅塞車流行經此點之後常常就會紓解。在警察廣播電臺也常常能聽到通過 66k 後車流便會順暢等說法。觀察該路段之車流速率資料後發現，在 64.495 k 處之偵測器量測到的車流速率確實會比上下游低，而在通過 66.015 k 之後車速又會提昇至原本水準，符合「通過 66 k 便會順暢」此一說法。以下僅列出 2012 年 1 月 2 日、3 日下午 13:00 至 20:00 車流資料作為參考。從表中可看出 64.495 k 之車速大約比上下游低時速 10 公里，而在通過 66.015 k 後就明顯回升，到 67k 後大多都能有時速 100 公里以上的行車速率。

表 3-6 國道三號 2012 年 1 月 2 日 (星期一)

南向	62.52 k	64.495 k	66.015 k	67 k
13:00:00	101	86	99	102
14:00:00	101	84	97	101
15:00:00	102	86	99	103
16:00:00	102	84	98	102
17:00:00	100	85	97	101
18:00:00	100	87	98	99
19:00:00	102	89	100	103
20:00:00	103	89	100	104

表 3-7 國道三號 2012 年 1 月 3 日 (星期二)

南向	62.52 k	64.495 k	66.015 k	67 k
13:00:00	100	84	97	100
14:00:00	99	84	97	100
15:00:00	101	85	98	101
16:00:00	101	85	99	102
17:00:00	99	86	97	100
18:00:00	101	87	98	100
19:00:00	102	88	100	102
20:00:00	102	86	101	103

本研究針對此一路段進行工程資料查閱後發現，65.035 k 開始至 65.636 k 是一段 3% 之上坡，而在其前後為十分平緩之路面。且該路段並沒有交流道等岔道進入，因此可推測 64.495 k 偵測到的車流減速原因來自前方車輛因坡度減速而降低速率。該路段之具體坡度與長度如下表所示：

表 3-8 國道 62 k 至 67 k 之坡度工程數據

起(里程數)	迄(里程數)	坡度	長度
61.435	62.135	3 %	700 m
62.135	64.66	0.499 %	2525 m
64.66	65.035	緩和曲線	375 m
65.035	65.635	3 %	600 m
65.635	66.135	緩和曲線	500 m
66.135	67.735	0.382 %	1600 m

由表 3-8 可看出，在訪談中被提起之 66 k 車流疏散點恰好位於坡道之頂端，當車輛行經坡頂便可脫離瓶頸路段。此坡度 3% 之坡道僅 600 公尺，並未超過前述文獻敘述會脫離坡度影響之 1000 公尺、受影響車輛開始恢復速率之距離。因此此處車流在上坡過程中會一直受到坡度造成之減速。而根據 2011 年台灣公路容量手冊提到，「平坦路段指坡度 1% 以下的路段」，可將 62.135 k 至 64.66 k 以及 66.135 k 至 67.735 k 視為平坦路面。因此本路段可簡化成一段坡度為 3% 的上坡。本研究針對此路段進行更詳細之車流資料分析後發現，此路段的四個偵測器（分別位於 62.52 k、64.495 k、66.015 k、67 k）中，64.495 k 相較於其他三個偵測器偵測到的車速較低，並且會發生僅此處偵測到壅塞車流(時速 40 公里以下)，而前後偵測器偵測得之車流並無壅塞之情形，顯示此處是一個瓶頸路段，當車流行經此處時易發生壅塞。圖 3-1 為四個偵測器位置與坡道相對位置示意圖，偵測到較低車速之 64.495 k 位於坡道起始點，顯示車流位於坡道底部時速率較低，而 66 k 位於坡道頂部，車流已脫離坡度造成之減速影響。

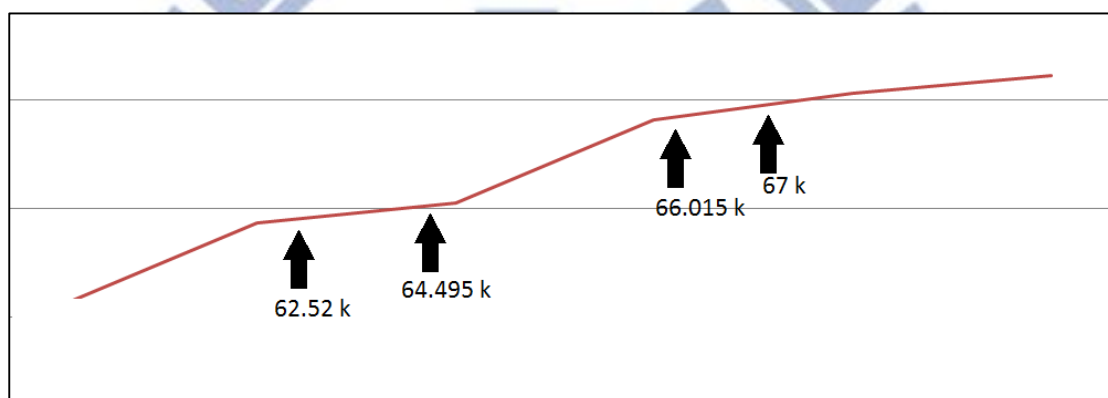


圖 3-1 偵測器位置與坡道相對位置示意圖

以 2012 年 2 月 26 日（二二八連續假期）星期日 14:00 至 14:55 分之車流為例，下頁表 3-9 為該路段每 5 分鐘之車流速率表。可明顯看出，64.495 k 處偵測器測得之平均車速遠低於上下游。而在 14:20 分車速更是驟降至時速 24 公里發生壅塞；15:00 分雖然車速也降至時速 40 公里以下，但是根據下游之車速與時間判斷，應為前方車輛回堵造成之壅塞，並不單只是緩坡造成。除舉例之 2 月 26 日外，該路段平日之車流雖未發生壅塞，但是平均時速亦低於上下游約 10 km / hr。若遇到連續假期等交通量較大的時候車速更會明顯下降，此時若後方有車隊跟上便可能會發生壅塞。

表 3-9 國道三號 2012 年 2 月 26 日 (星期日) 南向

時間 \ 里程數	62.52	64.495	66.015	67
13:00:00	69	27	41	38
13:05:00	71	31	45	39
13:10:00	76	27	52	37
13:15:00	80	32	50	31
13:20:00	77	31	56	38
13:25:00	83	37	59	36
13:30:00	92	47	48	37
13:35:00	100	57	59	40
13:40:00	100	62	84	62
13:45:00	99	62	97	96
13:50:00	97	51	95	100
13:55:00	93	55	92	98
14:00:00	93	57	90	95
14:05:00	92	48	91	96
14:10:00	90	48	89	94
14:15:00	91	51	87	91
14:20:00	91	24	85	90
14:25:00	90	57	89	94
14:30:00	90	52	87	92
14:35:00	88	49	86	82
14:40:00	89	51	82	49
14:45:00	87	52	70	20
14:50:00	90	54	33	18
14:55:00	93	46	19	14
15:00:00	91	34	18	19
15:05:00	88	21	32	34
15:10:00	88	25	55	57
15:15:00	86	41	66	78
15:20:00	89	34	67	82
15:25:00	92	42	66	80
15:30:00	92	54	67	81
15:35:00	90	52	72	83
15:40:00	88	60	85	89
15:45:00	88	51	83	93
15:50:00	92	54	82	91

根據上述車流資料與訪談結果，本研究選定「國道三號南下 63 k 至 67 k」此一路段作為緩坡造成之瓶頸路段並進行設置輔助標誌工程。此路段適合進行本研究之原因如下：

1. 具有坡度造成之瓶頸路段特徵：

車流行經該路段時，車速明顯較低；而在脫離該路段後車速又恢復至未進入該路段之車速。而在連續假期車多時段，該路段會發生壅塞，而壅塞車流於離開該路段後即疏散恢復通暢。

2. 影響車速之原因單純：

該路段位於大溪交流道（62.7 k）與龍潭交流道（68.3 k）之間，其中並無交流道等車流進入，影響車流速率之因素較為單純。因此選定此路段作為分析研究速度控制工程是否能改善緩坡路段造成之車流壅塞情形。

3. 過去易壅塞路段

根據國道高速公路局根據歷史資料整理之連續假期易壅塞路段，此路段常常於資料中出現，顯示其在過去確實具有易壅塞之特性。

下圖為選定之實驗路段空照圖，圖中框起來的地方即為判斷車輛會受到坡度影響而減速之路段。該路段在上、下游皆沒有匝道或是隧道等設施，影響車流速度的條件單純。



圖 3-2 選定之實驗路段空照圖(國道三號大溪—龍潭段)

### 3.2 改善措施

本研究採用文獻中，在路側設置輔助標誌的方式，提示駕駛人正經歷上坡路段，請踩油門維持車速避免因坡度造成之減速進行速度控制。輔助標誌內容考量到駕駛人於高速行駛狀態下，在行車經過輔助標誌的時間內來得及閱讀的字數有限；同時為了避免駕駛在閱讀輔助標誌後產生困惑，無法理解該輔助標誌資訊或是不清楚要如何做出反應，因此在文字使用上以「直接告知」的方式通知駕駛人此處為一上坡路段，請進行加速，並不針對加速的目的是為了減輕此瓶頸路段之壅塞或是車速將因此處上坡而減緩進行贅述。同時為了不影響原本之行車空間，並同時兼顧內、外側車道車輛都能看見輔助標誌，因此在設置位置時選擇內、外側皆設置輔助標誌的方式，以避免駕駛視線遭其他車輛遮蔽無法閱讀輔助標誌。本研究設置之輔助標誌性質為警告性質，即「用以促使車輛駕駛人及行人瞭解道路上之特殊狀況，提高警覺，並準備防範應變之措施」。而根據道路交通標誌標線號誌設置規則第 137 條，警告性告示牌格式應為黃底黑字黑框。

國道高速公路局工務單位於 2012 年 3 月 13 日將輔助標誌設置在國道三號 64.77k 與 65.15k 之道路內、外側，設置地點分別位於該路段之緩和曲線（坡度 0.499%）與距離坡道（坡度 3%）底部 100 公尺處，輔助標誌之設置資訊如下：

表 3-10 輔助標誌設置資訊

時間	位置	尺寸	爬坡度	文字
101.3.13	S64k+770 內、外側	90 §	0.499%	上坡路段請加速
	S65k+150 內、外側	60*240	3%	

表 3-10 中尺寸一欄之兩個規格代表同一根輔助標誌上的兩個不同牌面，分別為顯示提示文字之牌面與提示速限輔助標誌。本研究為了避免駕駛於閱讀輔助標誌資訊後，於加速時產生「要加速到何種程度」的困惑，或是在加速時因高速公路有速限害怕超速等心理壓力而不敢加速，因此於輔助標誌上方設置速限資訊提示駕駛人此路段之速限，使駕駛人在同時收到此二訊息的條件下進行加速，避免駕駛人因為不清楚速限與輔助標誌之衝突而不敢踩油門。圖 3-2 為設置輔助標誌之 64.77 k 與 65.15 k 於坡道相對位置示意圖，圖中白色箭頭處即為設置輔助標誌的兩個位置。



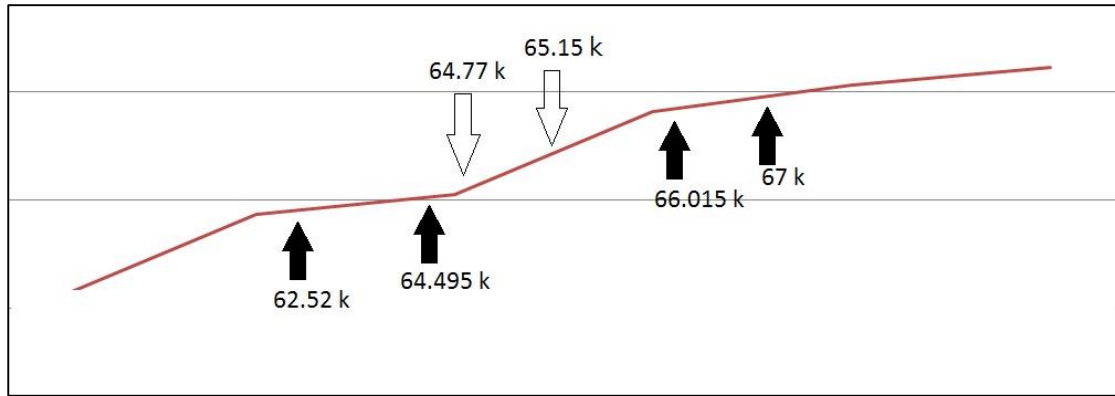


圖 3-3 輔助標誌設置位置示意圖



圖 3-4 64.77 k 輔助標誌設置情形

圖 3-3 為 64.77 k 處之輔助標誌實際拍攝照片。由圖中可看見，該路段為三車道，而輔助標誌設置於該處之內、外側相對應位置。標誌設置位置視線良好，並無橋墩或枝葉遮蔽輔助標誌，駕駛行經該路段時無論位於內側或是外側車道皆可清楚明確地閱讀該輔助標誌上之內容。而在下游 380 公尺 65.015 k 處設置了第二組的輔助標誌，亦是為了確保駕駛在進入 65.035 至 65.635 此段上坡時確實接收到「上坡路段請加速」的訊息。圖 3-4、圖 3-5 為輔助標誌內容之近拍，速限標誌設置於文字之上方，提示駕駛人此段路段之加速上限以避免駕駛人閱讀後產生困惑。



圖 3-5 64.77 k 輔助標誌內容



圖 3-6 65.015 k 輔助標誌內容

### 3.3 資料蒐集與分析

高速公路的車流是一種非干擾性的車流，即不受外在因素所產生的週期性干擾的車流，通常高速公路或是其他有進出管制道路上的車流屬之。在非干擾性車流設施中，「車流」係由個別駕駛人、車輛、道路幾何設計與環境所形成的產物。而在非干擾性車流設施上產生的擁擠或阻塞現象係來自車流內部因素的干擾，而非外在力量的介入。

一般車流理論可分為三種：微觀 (microscopic)、巨觀 (macroscopic) 與介觀 (mesoscopic)。微觀車流是描述個別駕駛者的駕駛行為與車輛關係；巨觀車流則是探討流量、速度與密度關係，將車流視為一連續性流體，理論基礎來自流體力學；而介觀車流模式建立在微觀車流連續兩車的距離以及巨觀車流模式中密度的關係，以機率分佈的形式描述個體行為，理論基礎來自動力學[20]。

微觀模式探討車間速度、距離、加速度等車輛與車輛間交互的影響。而跟車模式是利用車流理論中的微觀理論所建構出來，用來描述車輛行進間後車跟隨著前車的情形。跟車模式所研究的駕駛行為有三種假設特性：牽制性、延遲性與傳遞性。

當車輛行駛於路上時，後車通常不會落後前車太多，而會保持著與前車一段距離行駛，此稱為跟隨條件。通常後車的速度會在前車的車速範圍內進行加減速，如果後車車速長時間大於前車，最終就必須變換車道以避免追撞，此稱為車速條件。而後車在跟隨前車時會和前車保持一段認知上的安全距離 (隨駕駛者有所不同)，此稱為距離條件。跟車模式的牽制性就是指在跟隨條件下，車速和距離條件構成了跟車時的牽制，亦即前車的車速會牽制後車的車速以及兩車間的距離。

當後車跟隨前車時，前車的狀態發生改變，後車也必然隨著前車的狀態改變。但是兩車的改變並不是同時進行，之間會有些微的時間差。此時間差取決於後車駕駛的反應時間，包括察覺、認知、判斷以及執行四個步驟。後車駕駛的反應時間越短，此時間差也越短，此為跟車模式中的延遲性。

而當後車隨著前車的狀態發生改變後，又再將此狀態往後傳遞，這就是跟車理論中的傳遞性。此傳遞性會像脈衝一般，造成後方車輛的狀態一輛接著一輛改變。最常見的例子就是所謂的煞車衝擊波：當車隊中某一輛車踩下煞車後，此煞車現象會造成後方車輛一一的踩下煞車，彷彿一道衝擊波般向後傳遞[22]。

考量以上三種特性，本研究採用設置輔助標誌處上游約 200 公尺之 VD 偵測器所紀錄的資料作為判斷車流狀態的依據。採用理由如下：假如緩坡路段發生壅塞，其造成的煞車衝擊波在傳遞一小段距離後，馬上就會被偵測器探知。而假如緩坡路段車流順暢，此偵測器也不會探測到壅塞車流。設置輔助標誌後在緩坡路段所造成的改變皆會因跟車傳遞性傳遞給上游車流，進而被偵測器探知。因此本研究採用位於上游 64.495 k 的 VD 偵測器資料而非下游 66.015 k 處之 VD 偵測器資料。

而在蒐集完資料後，本研究採巨觀車流模式分析，將車流視為一連續性的流體進行探討。以下為巨觀車流模式的參數：

1. 流量或流率 (Volume or rate of flow)：流量指某一時段內，通過道路某一特定地點 (或某一方向、某一車道) 的車輛數；流量最常用的單位有輛/小時、輛/車道/小時。
2. 速率 (Speed)：速率又可分為以下兩種  
時間平均速率 (Time Mean Speed; TMS)：某一時段內，通過道路某一定點所有車輛速率的平均值。

$$TMS = \frac{\sum_i^d}{n} \quad d:\text{行駛距離} \quad n:\text{總觀測數} \quad t_i:\text{第 } i \text{ 車旅行時間。}$$

空間平均速率 (Space Mean Speed; SMS)：某一時段內，佔用道路上某一路段所有車輛速率的平均值。

$$SMS = \frac{d}{\sum_i \frac{t_i}{n}} = \frac{n \times d}{\sum_i t_i} \quad d:\text{行駛距離} \quad n:\text{總觀測數} \quad t_i:\text{第 } i \text{ 車旅行時間。}$$

3. 密度 (Density)：車流密度係指公路 (或車道) 某一特定長度上所承載的車輛數，常用的指標有每英哩的車輛數 (Vehicles per mile; vpm) 或是每英哩每車道的車輛數 (Vehicles per mile per lane; vpmpl)。

在巨觀車流模式中，流量為密度的函數：流量 = 密度 × 速度。根據這三個參數彼此間的關係，可繪製出「速度—流率圖」、「密度—流率圖」以及「速度—密度圖」三種曲線。其中「速度—流率圖」圖中，當車流處於低流量時，車速並不會隨著流率上升而有明顯變化，此時可稱之為自由車流，駕駛可以自己想要的速度行駛。當流量上升到一定值時，車速開始隨著流量上升而緩慢下降，此時駕駛的速度會受限於前車，但車流尚處於穩定且順暢運行的狀態。而如果流量再提昇，當流量趨近於容量時，車流中的可用間隙 (Usable Gaps) 就會逐漸減少。此時車流開始變得不穩定，任何對車流加入的干擾都會傳遞給後車引起連鎖反應，無法快速消散，此時的車流稱之為強迫車流 (Forced Flow) 或不穩定車流 (Unstable Flow)。當車流處於此狀態時，只要當中某一輛車踩煞車，此煞車衝擊波便會迅速的向後傳遞，進而引起後方的堵塞，車流轉變為擁擠車流。當車流轉變為擁擠車流後，流量便會開始隨著速度產生變化。當車流減慢時，通過的車輛便會減少，流量因而開始下降。此時如果再更進一步發生壅塞，車流完全塞住，速度降到 0，完全沒有車輛通過，因此流量也會降到 0。當車流處於隨時可能轉變為壅塞車流的情況下，此時流率約等於容量，而在此狀態下的速率之為「臨界速率 (Critical Speed)」。

速度—流率圖資料點會呈現一曲線分佈 (如圖 3-7)，且其中一端必通過原點 (即完全壅塞，速度與流量皆為 0)，此曲線的頂點為臨界流量，會小於等於道路容量，因此可用來推估道路的容量，而曲線頂點對應的速度即為臨界速率。

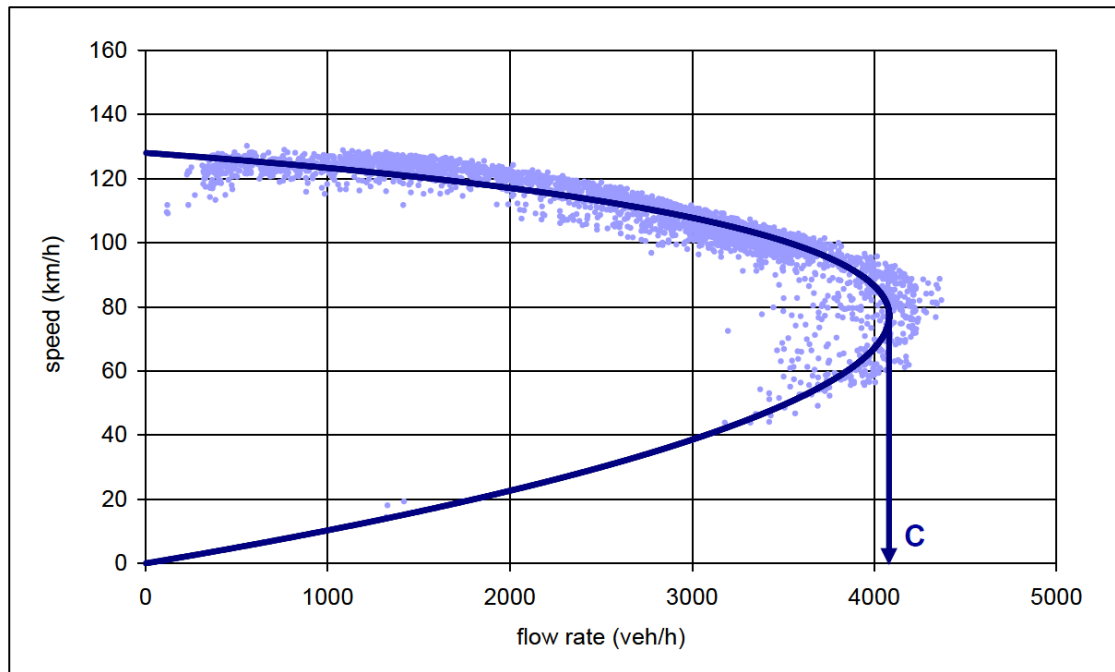


圖 3-7 用速度—流率圖臨界車流量估計道路容量

本研究的目的是減輕當車流處於臨界點時，受到來自緩坡路段造成的減速影響。當處於臨界狀態的車流行經緩坡時，假如車隊中某一輛車發現前車因為減速導致兩車間距離太近，為了避免追撞勢必要踩下煞車，進而對車流造成刺激。本研究的目的即是要避免這個刺激產生，假如行經緩坡路段的車輛皆能保持車速，不因緩坡造成減速，車流便可持續以穩定的狀態運作，減少發生壅塞的情形。因此在設置輔助標誌後，將蒐集的資料繪製成速度—流率圖。觀察車流在進行改善措施後是否有變得更加穩定，更不易發生壅塞。研究臨界速率是否有所提昇，以及臨界流量是否有增加，並計算里程生產量評估其運輸能力是否有上升。

## 第四章 研究結果

在設置輔助標誌後，本研究於國道三號南下 64.495 k 蒐集了一個月份的車流量資料。但是考慮到一年當中會有某些日子高速公路會有大量車流出現，例如國定假日、連假等。可能會造成某幾個月份的高速公路在資料上會有特別多的壅塞紀錄。如果拿不同月份的資料進行比較，可能無法判斷在設置輔助標誌後是否有改善，亦或是剛好該月份行駛高速公路的車輛較少，導致壅塞較少發生。

為了避免此情形，本研究將蒐集來的四月份車流資料與一年前尚未設置輔助標誌的四月車流資料進行比較，同時確認該路段在這時期皆無進行任何會影響車流行進的道路工程。各自比較內、中、外三個車道，依照每小時車流量繪製速度流率圖並計算其里程生產量，比較在設置輔助標誌前與設置輔助標誌後車流的變化。

由於大車的比例對於流率與速率關係的影響相當顯著，比較重、爬坡性能較差的大型車在車流比例中佔的比例越高，該車道的速率就會越低。根據過去文獻，大型車有集中在最外側車道的傾向，不論是否有設置爬坡道。因此在進行速度流量圖分析前將先行比較 4 月份車流在 2011 年與 2012 年的車流組成是否有變化。

表 4-1 與表 4-2 為 2011 年 4 月與 2012 年 4 月的車流組成以及各車種所佔的車道百分比。由表可以看出，大型車主要行駛於中車道與外車道，內車道雖然也有大型車的紀錄但是比例相當的低，符合文獻所記載「大型車有集中在最外側車道的傾向」。但是從總數來看，2011 年中車道與外車道所紀錄到的大型車數量十分相近，而 2012 年中車道的大型車數量下降而外車道的大型車數量上升，使得外車道的大型車數量將近中車道的兩倍。而各車道的大型車比例方面，內車道的大型車所佔比例略為上升了 0.4%，中車道的大型車比例下降了 2.03%，外車道的大型車比例上升了 3.29%。

表 4-1 2011 年 4 月與 2012 年 4 月各車道車種比例

2011 年 4 月	內車道		中車道		外車道	
	小型車	大型車	小型車	大型車	小型車	大型車
車種						
總數	420615	1077	558143	36786	299469	34022
佔車道 (%)	99.74%	0.26%	93.82%	6.18%	89.80%	10.20%
2012 年 4 月	內車道		中車道		外車道	
	小型車	大型車	小型車	車種	小型車	大型車
車種						
總數	562478	3735	586082	總數	562478	3735
佔車道 (%)	99.34%	0.66%	95.85%	佔車道 (%)	99.34%	0.66%

## 4.1 內車道比較

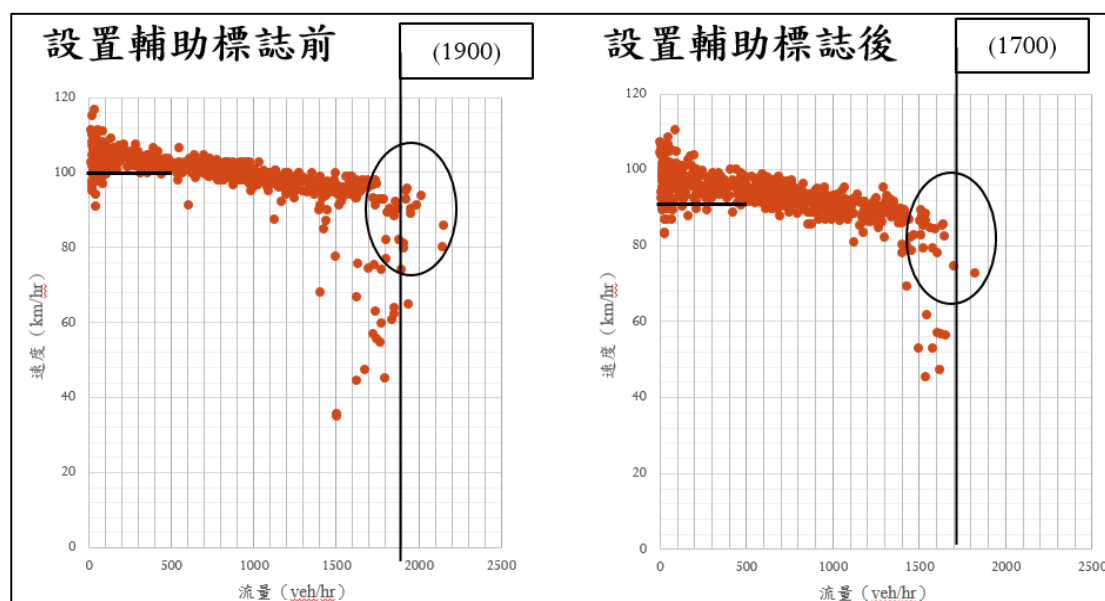


圖 4-1 設置輔助標誌前後內車道速度—流量圖

圖 4-1 為設置輔助標誌前後內車道的速度—流量圖，橫軸為流量，縱軸為速度。從圖中可看到，設置輔助標誌前當車流量低於 500 veh/h 時，速度隨著流量的增加並沒有顯著的變化，此時車流可視為自由車流。而當流量在 500-1400 veh/h 時，速度隨著流量的上升車速開始下降，但尚不影響車流的流暢度。而當車流量超過 1400 veh/h 時，開始產生許多低速的車流，代表此時車流中開始出現車隊，車流狀態開始進入不穩定狀態，只要一點刺激便會突然轉變為擁擠車流。而設置輔助標誌後，同樣在車流量低於 500 veh/h 時為自由車流，車速並不隨著流量上升而下降。當車流量在 500-1400veh/h 時，速度便開始隨著流量上升而下降。當車流量超過 1400 veh/h 後同樣的也開始出現低速車流。設置輔助標誌後臨界流量從原本的 1900 veh/h 略為下降到 1700 veh/h，且車速隨著流量上升而下降的趨勢反而比沒設置輔助標誌前劇烈，表示車流在設置輔助標誌後反而變得比較容易接近臨界點。但是從圖中的資料點也可看出，在設置輔助標誌後脫離穩定車流的資料點變得比較少，表示發生壅塞的次數比設置輔助標誌前少。

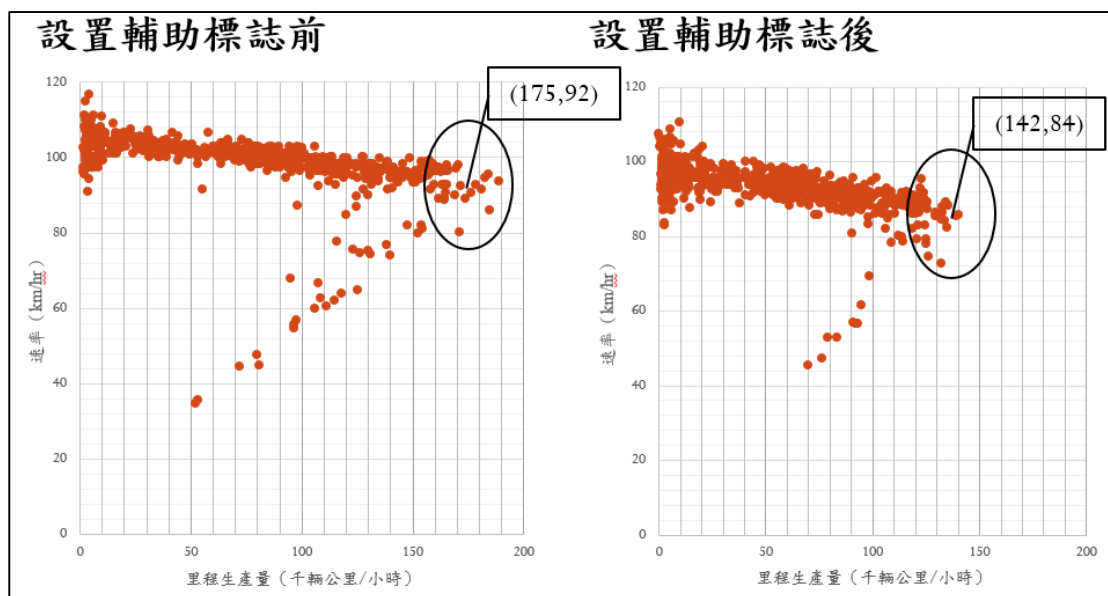


圖 4-2 設置輔助標誌前後內車道速度—里程生產量圖

圖 4-2 為設置輔助標誌前後內車道的速度—里程生產量比較圖，橫軸為里程生產量(千輛公里/小時)，縱軸為速度。從圖中可看出，在設置輔助標誌後，里程生產量從原本的 175 千輛公里/小時下降到 142 千輛公里/小時，顯示其運輸能力在設置輔助標誌後反而降低了。

表 4-1 為設置輔助標誌前後，內車道的車速分佈比例以及平均值和標準差。從表格中可以看出，在設置輔助標誌後內車道的平均車速反而下降了，從原本 98.84 km/hr 下降至 92.65 km/hr。但是標準差也從 8.38 下降至 6.8，車速變得較為集中。設置輔助標誌前有 88.11% 的車輛以 90-100 km/hr 以上的車速行駛，在設置輔助標誌後則有 92.58% 的車輛以 80-100 km/hr 這區間的車速行駛。

表 4-2 內車道車速分佈

區間	40-	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100+	平均值	標準差
before	0.53%	0.90%	1.24%	2.16%	2.84%	4.22%	60.09%	28.02%	98.84	8.38
after	0.00%	0.76%	1.91%	0.72%	3.35%	33.72%	58.86%	0.68%	92.65	6.8



## 4.2 中車道比較

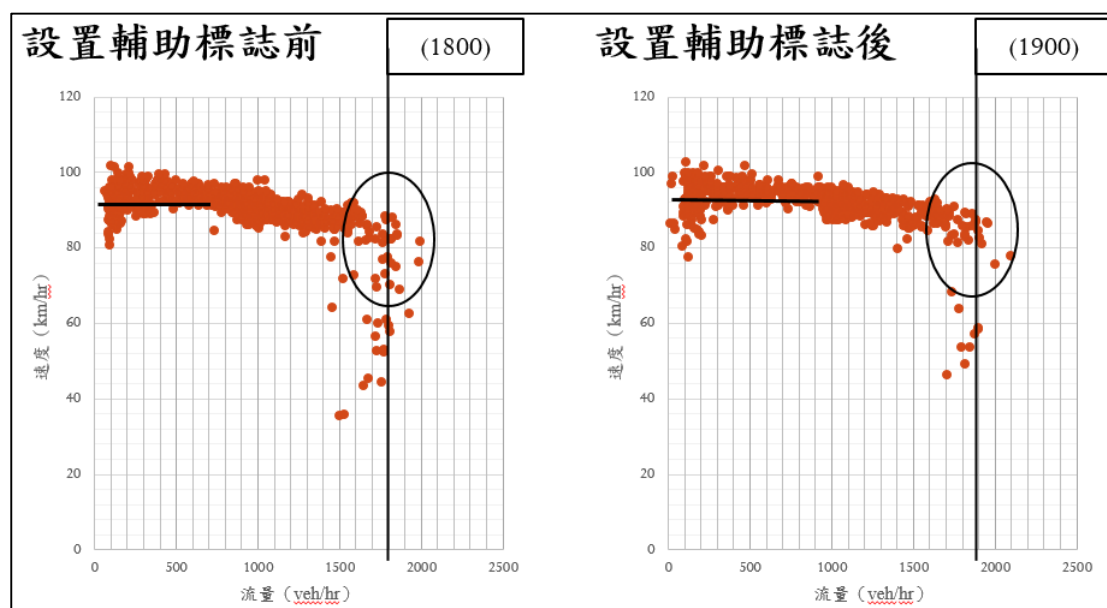


圖 4-3 設置輔助標誌前後中車道速度—流量圖

圖 4-3 為設置輔助標誌前後中車道的速度—流量圖。從圖中可看出，在設置輔助標誌前，車流量低於 700 veh/h 時為自由車流，車速沒有隨著流量上升而下降。而當車流量在 700-1400 veh/h 時，速度隨著流量上升而下降，尤其在 700-1000 veh/h 時下降得更為明顯。當車流量鄰近甚至超過 1400 veh/h 後，開始出現低速車流，但是尚未轉變成擁擠車流，大約到 1600veh/h 後開始產生大量的低速車流，直到逼近臨界車流。而設置輔助標誌後，自由車流約可維持到 900veh/h，超過 900 veh/h 後車速開始隨著車流量下降。直到車流量接近 1700 veh/h 時，開始有低速車的出現，但大多尚能維持穩定車流。車流量超過 1900 veh/h 後車流已十分不穩定，只要受到刺激馬上就會轉變為擁擠車流。與設置輔助標誌前相比，設置輔助標誌後到 900 veh/h 都還能維持自由車流。而雖然臨界車流並沒有顯著提高，但是從速度流量圖來看，車流明顯較設置輔助標誌前穩定。轉變為擁擠車流的次數也明顯較設置輔助標誌前少，顯示壅塞發生的次數也有降低。

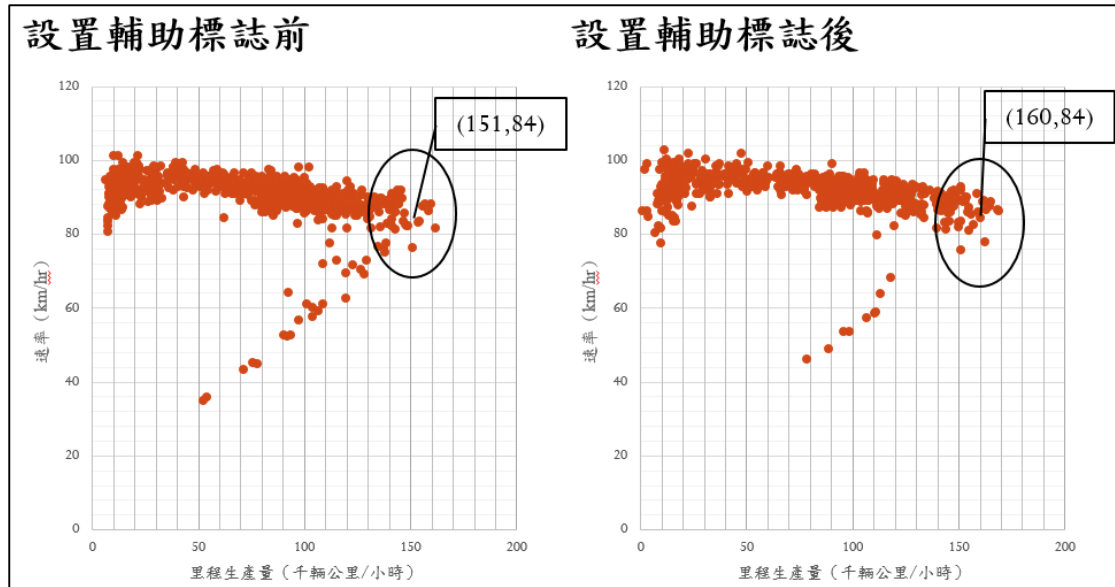


圖 4-4 設置輔助標誌前後中車道速度—里程生產量圖

圖 4-4 為設置輔助標誌後中車道的速度—里程生產量比較圖。從圖中可看出，在設置輔助標誌後，里程生產量從原本的 151 千輛公里/小時上升到 160 千輛公里/小時，顯示其運輸能力在設置輔助標誌後有所提昇。

表 4-2 為設置輔助標誌前後，中車道的車速分佈比例以及平均值和標準差。從表中可看出在設置輔助標誌後，中車道的車速略為上升，由 89.89 km/hr 上升至 91.28 km/hr；而標準差下降，由 7.24 下降至 5.6。車速分佈方面，在設置輔助標誌前後 90% 以上的車輛都是以 80-100 km/hr 的速率行駛，車速分佈並沒有太大變化。

表 4-3 中車道車速分佈

區間	40-	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100+	平均	標準差
before	0.49%	0.83%	2.01%	2.00%	2.81%	46.62%	45.16%	0.07%	89.89	7.24
after	0.00%	0.59%	1.57%	0.59%	0.96%	39.76%	56.34%	0.19%	91.28	5.60

### 4.3 外車道比較

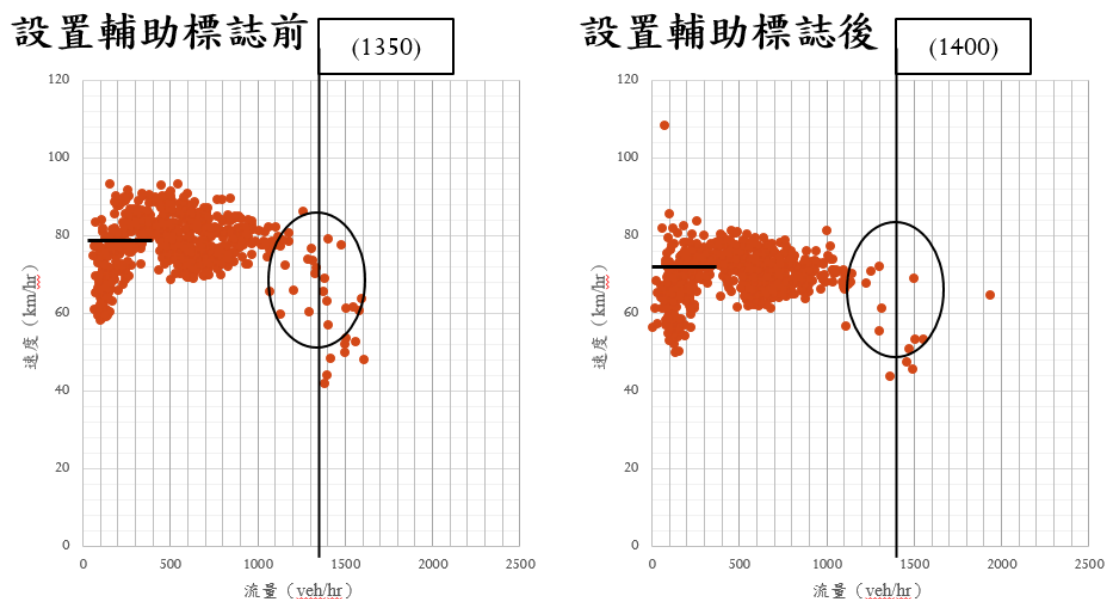


圖 4-5 設置輔助標誌前後外車道速度—流量圖

相較於內車道與中車道，外車道的速度流量圖無法繪出如內車道與中車道般鐘形的趨勢線。原因在於當流量不大時，外車道仍有非常大量的低速車行駛（如圖 4-5）。在翻閱原始資料後發現，這些在流量極低，但是車速也不高的資料皆發生在午夜至凌晨這種離峰時段，推測應為大型車利用這段車流量較少的時段行駛高速公路，而大型車的車速遠低於小客車，導致該時段內僅有大型車這種低速車的資料，大車在車道內所佔比例上升，造成該資料點的速度偏低。這也符合文獻中提到，當車道中大車的比例上升時，會對車道的車速造成極大影響。從速度流量圖上來看，在 1000veh/h 以下車流量時，外車道的車速受到流量的影響並不大，但是車速的分佈範圍很廣，從 58 km/hr 到 93 km/hr 都有。而當車流量為 1000-1500 veh/h 時，車速開始有因為流量的上升而下降的現象，但是由於原本的車速就不高，因此並沒有辦法明顯區分擁擠車流與穩定車流。推估臨界車流約從 1350 veh/h 上升至 1400 veh/h，並沒有太大變化。

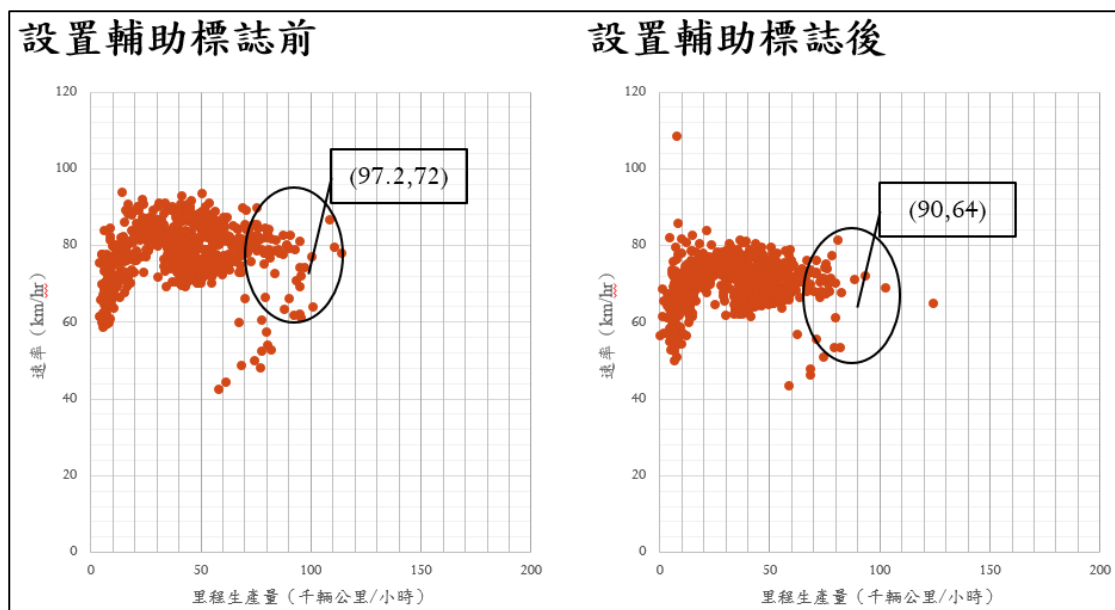


圖 4-6 設置輔助標誌前後外車道速度—里程生產量圖

圖 4-6 為設置輔助標誌前後外車道的速度—里程生產量比較圖，設置輔助標誌後的臨界里程生產量從 97 輛·公里/小時下降至 90 輛·公里/小時，顯示在臨界時的通行能力下降。

表 4-3 為設置輔助標誌前後，外車道的車速分佈比例以及平均值和標準差。從表中可看出在設置輔助標誌後，外車道的車速下降，由 76.9 km/hr 下降至 68.91 km/hr；且標準差下降，由 7.61 下降至 6.24。車速分佈方面，在設置輔助標誌前有 86.09% 的車輛以 70-90 km/hr 的速率行駛，而設置輔助標誌後則有 93.8% 的車輛以 60-80 km/hr 的速率行駛。

表 4-4 外車道車速分佈

區間	40-	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100+	平均值	標準差
before	0.00%	1.91%	2.07%	8.37%	51.16%	34.93%	1.56%	0.00%	76.90	7.61
after	0.00%	1.31%	3.71%	49.04%	44.76%	1.18%	0.00%	0.00%	68.91	6.24

#### 4.4 車道總和比較

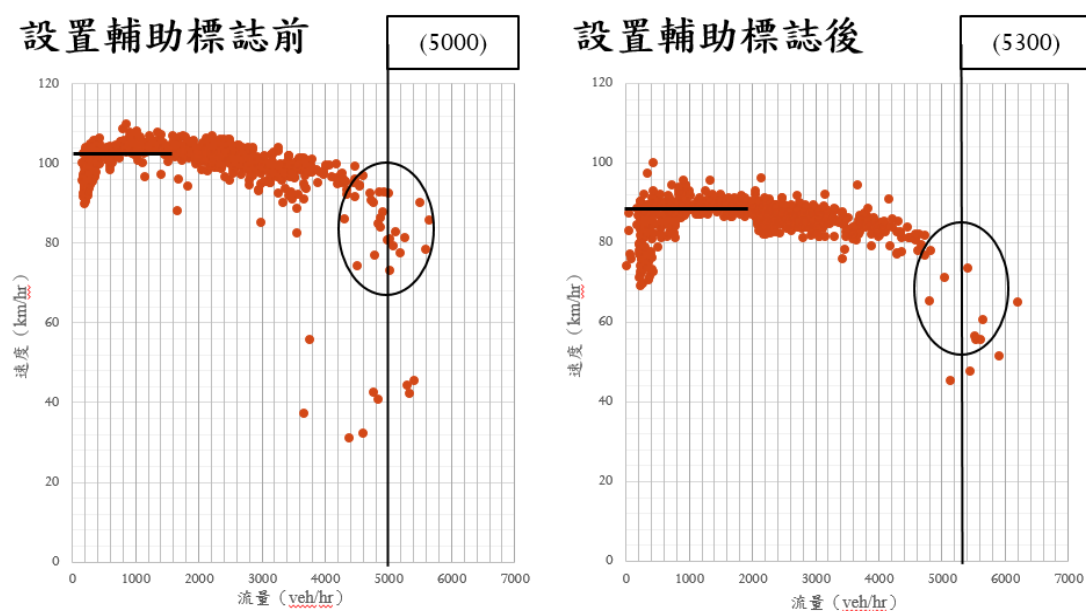


圖 4-7 設置輔助標誌前後車道總和速度—流量圖

將三車道總和的資料繪製成速度流量圖（如圖 4-7）後可以發現，除離峰時段的低流量低速車流外，車流量 1600 veh/h 以下尚可維持自由車流，車速並不因為流量上升而明顯下降。在 1600-4000 veh/h 區間則可看出車速隨著流量上升而逐漸下降，當鄰近 4000 veh/h 時開始產生一些低速車流，且隨著流量繼續上升，低速車流的數量也逐漸增多。設置輔助標誌後自由車流可維持到約 2000 veh/h。超過 2000 veh/h 後車速才突然下降，接著開始隨著車流穩定下降直到車流接近 5000 veh/h，此時車流中才開始出現零星低速車流，而當車流量繼續提昇，車流變得更不穩定，產生更多的低速車流。臨界車流約從 5000 veh/h 上升至 5300 veh/h。在設置輔助標誌後，車速隨著流量提昇而下降的幅度較為緩和。

### 設置輔助標誌前

### 設置輔助標誌後

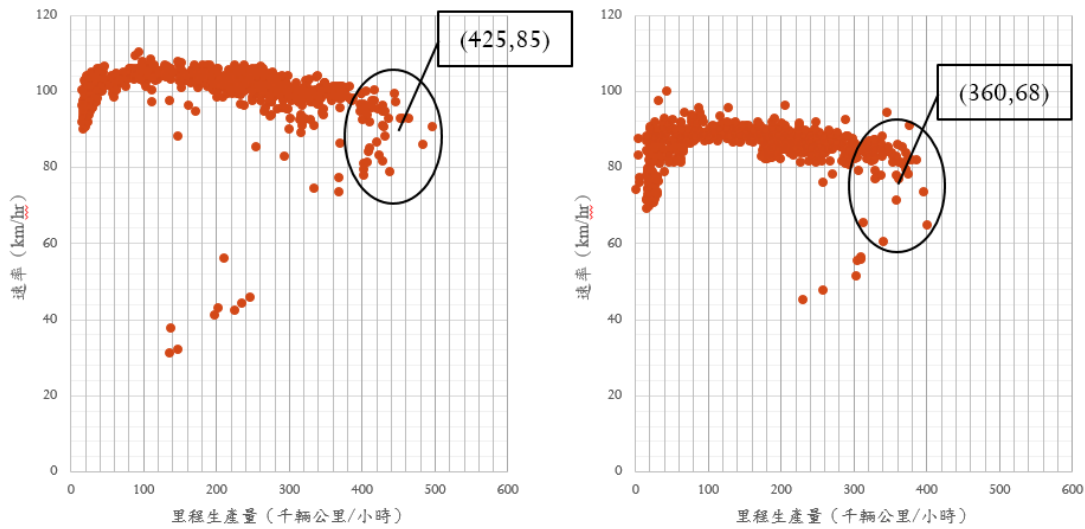


圖 4-8 設置輔助標誌前後車道總和速度—里程生產量圖

圖 4-8 為在設置輔助標誌後繪製的車道總和速度—里程生產量圖，設置輔助標誌後的臨界里程生產量從 425 輛·公里/小時下降至 360 輛·公里/小時，顯示在臨界時的通行能力下降。

表 4-4 為為設置輔助標誌前後，三車道總和的車速分佈比例以及平均值和標準差。設置輔助標誌後，平均車速由 99.59 km/hr 下降至 85.18 km/hr，而標準差從 8.13 減少到 5.79。車速分佈在設置輔助標誌前有 93.14% 的車輛以 70-100 km/hr 以上的車速行駛，在設置輔助標誌後有 83.85% 的車輛以 60-100 km/hr 的區間行駛。

表 4-5 車道總和車速分佈

區間	40-	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100+	平均值	標準差
before	0.39%	1.12%	1.75%	3.61%	14.65%	28.39%	39.91%	10.19%	99.59	8.13
after	0.00%	0.83%	2.21%	12.81%	12.71%	28.19%	42.95%	0.29%	85.18	5.79

### 4.3 小結

在設置輔助標誌後，內車道的車速下降，中車道的車速上升，外車道的車速下降。但是的三車道的車速標準差皆下降，顯示車流中車速的分佈更為集中。在設置輔助標誌前，車道平均速率為內車道、中車道次之、外車道最末；但是設置輔助標誌後，內車道與中車道的平均速率變得十分相近，而外車道則與內外車道差得更多。從速度流量圖來看，內車道與外車道發生壅塞的次數皆有下降，外車道則因為車速普遍較低導致無法明確判斷壅塞次數是否有下降。里程生產量只有中車道與外車道提昇，內車道的里程生產量在設置輔助標誌後反而下降，運輸能力變得更差。三個車道在低流量時皆有低速車流出現，但是當車流量略為上升時速度反而又提昇。根據檢查原始資料發現，此類資料點發生的時段皆為午夜至凌晨之離峰時段，除推測大型車可能會挑在此時段行駛高速公路外，也因為此時段小客車較少，高速車在車流中佔的比例較低，造成在數據上該小時的平均車速較低。

而在車道總和比較發現，雖然臨界流量上升，變得比較不容易發生壅塞。但是由於臨界速率下降，導致里程生產量下降，該路段的運輸能力反而變得更差。平均車速從 99.59 km/hr 下降至 85.18 km/hr，標準差由 8.13 下降至 5.79，表示行經此處的車流車速差異變小。車流中若彼此間速度差異較小，駕駛人需要踩煞車以避免追撞前車的狀況就會比較少，可減少對車流的衝擊，進而減少壅塞的發生。

## 第五章 結論與建議

本研究分析國道高速公路一號及三號之車流資料，尋找可能因上坡造成壅塞情形的路段。經過車流資料觀察與專家訪談後，發現國道3號南下64.495k處之車速明顯較上下游低，且位於坡道底部，符合本研究之研究條件。在確認實驗路段與改進方式後，請國道高速公路局工務單位於該路段設置輔助標誌，提醒駕駛人行經該路段應踩油門以維持車速。並在國道高速公路局工務單位將輔助標誌設置完成後，蒐集64.495k的車速資料與一年前同月份之車速資料進行研究，以速度流量圖分析設置輔助標誌前後車流的變化。

### 5.1 結論

#### 1. 在緩坡路段設置輔助標誌可減少壅塞的發生

緩坡路段會造成壅塞的主因為車流中因坡度造成的低速車與後方的高速車互動，造成後方高速車必須踩煞車進行迴避，進而對後方車流產生影響。設置輔助標誌後可避免在行經這個路段的車流因為坡度原因發生速度差，使得車流能繼續以穩定的情形運作，降低臨界車流轉變為擁擠車流的機會。

#### 2. 設置提示加速的輔助標誌並不一定可使車流加速

本研究預期駕駛人在閱讀輔助標誌後，車速會重新提昇。但是由速度流量圖與敘述性統計資料可發現，在設置輔助標誌後內車道與外車道的車速反而下降，僅中車道的車速些微上升，與預期結果不符。此外，在設置輔助標誌後內車道與中車道的平均速度變得十分相近，標準差也減少，表示內車道與中車道的車流速差因此而降低。但尚無足夠證據說明為何設置提示加速的輔助標誌反而使內外車道車速下降，而中車道車速上升。但是由車流量資料可觀查到，在2012年4月通過該路段的車流量比2011年要上升約15%，推測有可能因車流量上升導致車速下降。

#### 3. 設置輔助標誌後運輸能力不一定會提昇

由里程生產量這個參數來看，在設置輔助標誌後雖然中車道與外車道的運輸能力上升，但是由於內車道的里程生產量下降太多，導致此路段的總和里程生產量下降，運輸能力也跟著下降。因此在緩坡路段設置輔助措施雖然能使車流中的速度差異減小，使壅塞發生的次數減少。但是卻未必能使該路段的運輸能力提昇，因此在選擇設置時必須更注意適用的路段以及設置位置。



## 5.2 建議

本研究根據國內外相關文獻，在緩坡路段以設置輔助標誌的方式試著改善車流因緩坡路段造成的不良影響。分析結果為設置輔助標誌後，該路段雖然壅塞的情況有減少，但是由於車速反而降低，造成該路段的運輸能力也下降。根據研究結果提出以下建議供參考以及未來研究方向。

1. 內車道在設置輔助標誌後，車速反而大幅下降，造成運輸能力下降，與原先預期的方向不符。但未來可朝向「駕駛人在見到輔助標誌後，會作出什麼反應」來研究，例如見到輔助標誌後因為想加速，所以都由內側車道超車。結果反而造成內側車道因為要容納更多從中車道過來的車流，造成後方車輛要減速以至於內車道車速下降。可針對設置輔助標誌的路段，設置攝影機長期紀錄位於輔助標誌下游路段的車流移動情形。
2. 本研究進行之速度控制屬於「加速」類型，即提示駕駛人行經緩坡路段時踩油門保持車速。然而根據過去研究，在瓶頸路段前方進行車道變換限制與速度限制亦可減輕壅塞情形。雖然本研究認為，國道高速公路原本就有設置速限，要在速限下再度進行速度限制與變換車道的限制，將有可能使得駕駛人產生疑惑。但未來仍可針對此一方向進行研究，尋找以「減速」類型之速度控制紓緩坡路段壅塞的方法。
3. 根據過去文獻顯示，坡度與交通壅塞次數（Number of Traffic Jam Occurrences, NTJ）相關，但是坡度大小與交通壅塞次數卻沒有絕對相關。坡度很大的上坡路段並不一定會有很大的交通壅塞次數，而坡度很小的上坡路段交通壅塞次數也不一定就小。本研究選擇之路段坡度為3%，未來可朝向坡度更高之坡度進行研究。當坡度上升，車輛加速的難度便會提高，有時不一定能加速到預期之速度，因此設置輔助標誌提示駕駛人加速是否有效，可進行深入研究。
4. 本研究之資料蒐集是以高速公路沿線設置之 VD 偵測器，因此其紀錄位置固定無法隨意變更，且損壞後未必能即時進行維修，造成資料闕漏。未來可針對實驗路段之坡度自行設置較密集的偵測器，紀錄該路段不同位置詳細之車速資料進行分析，進而探討將輔助標誌設置於坡道何處可對車流造成不同的影響。

## 參考文獻

1. 西成活裕 (2008)。壅塞學 (初版)。台北：究竟出版社。
2. 100 年 10 月 28 日國道高速公路小時車速資料，中區工程處提供。
3. Takashi Oguchi, Effect of Auxiliary Lane Installation Upstream of Bottlenecks on Traffic Distribution among Lanes. 2nd ISFO Honolulu, Session 30, Jun. 24th 2009.
4. Koshi Masaki, Kuwahara Masao and Akahane Hirokazu, Capacity of sags and tunnels on Japanese Motorways, *ITE Journal*, 62(5), pp.17-22, 1992.
5. Okamura H, Watanabe S and Watanabe T. An Empirical Study on the Capacity of Bottlenecks on the Basic Suburban Expressway Sections in Japan. 4th International Symposium on Highway Capacity, Maui, 2000.
6. Tomoki Furuichi, Masuo Kotani and Masato Iwasaki, Experimental Considerations on Drivers' Speed Control characteristics at Motorway Sag Sections, The 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Torino, CD-ROM, p14, 2000. 11
7. Hiroshi Kobayashi, Satoshi Mizuguchi, Shingo Otsuka, Hirokazu Ichikawa, An Approach to Reduce Tie-Ups by Speed Adaptation at Sag/Tunnel Sections on Expressways, Intelligent Transport Systems Division National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan.
8. Tomoki Furuichi, Shuji Yamamoto, Masuo Kotani and Masato Iwasaki. Characteristics of spatial speed change at motorway sag sections and capacity bottlenecks. In: TRB Annual Meeting, 2003.
9. Harutoshi Yamada, Hiroyuki Ohouchi, Takayuki Hirasawa, Kousuke Katayama, Yusunori Katayama Ryota Horiguchi, Masanori Oikawa, Applicability of AHS for Traffic Congestion in Sag, 12th World Congress on ITS Nov. 6-10, CD-ROM, 2005.
10. Yasuhiro Saito, Yasuhiro Nonaka, Hisao Uchiyama, Jian Xing, Takashi Ishida, An Experimental Study on Mitigation of Expressway Traffic Congestion with LED Information Board, Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 919 – 928, 2005.
11. Oguchi Takashi. Relationship between the Traffic Congestion at the Sags on Expressways and Road Alignment, Proc., Japan Society of Civil Engineers, No. 524/IV-29, 1995 (in Japanese).
12. Koshi Masaki, and Oguchi Takashi. Traffic Congestion at Sags on Expressways and Measures to be Taken, Roads, 1995(in Japanese).

13. Werner Brilon, Andrea Bressler. Traffic Flow on Freeway Upgrades. Transportation Research Record 1883, TRB, National Research Council, Washington D.C. 2004, pp. 112-121
14. Koshi Masaki. Capacity of motorway bottlenecks, Journal of JSCE, Vol.371 / IV-5, 1-7, 1986.
15. Hisanaga Sato, Jian Xing, Shinichiro Tanaka, Kazuteru Morikita, Examining the Effect of Connecting Auxiliary Lanes on mitigation of Expressway Traffic Congestion, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, Volume 9, Issue 2, pp 55-63, May 2011 .
16. Warita, Hiroshi, et al. Analysis of road potential and bottlenecks based on operating speed, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research 4.1, 2006.
17. Geistefeldt, Justin, and Transportation Research Board. Empirical relation between stochastic capacities and capacities obtained from the speed-flow diagram, the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory (2008): 147.
18. 101年1月至5月國道三號高速公路小時車速資料，高速公路局提供。
19. 國道三號高速公路道路幾何設計工程資料，北區工程處提供。
20. 卓訓榮等人，車流動力學模式，運輸計畫季刊，第三十七卷，第一期，頁109-138，民國九十七年三月。
21. 高瑛穗，「雪山隧道行車特性分析」，國立中央大學，碩士論文，民國九十八年六月。
22. 凌偉峻，「車流之混沌現象及交通流量之預測」，義守大學，碩士論文，民國九十五年七月。
23. 吳榮光，「構建高速公路入口匝道群組化遞變式匝道儀控系統之研究」，國立成功大學，碩士論文，民國九十一年七月。
24. 蘇振維等人，高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性研究，交通部運輸研究所，民國一十年七月。
25. 曾平毅等人，雪山隧道之速限對通行能力的影響分析，運輸計畫季刊，第四十二卷，第一期，頁1-16，民國一零二年三月。
26. 林豐博等人，國道5號雪山隧道車流特性之研究，運輸計畫季刊，第三十八卷，第一期，頁85-102，民國九十八年三月。