

## 臺灣高速公路坡度路段對速率之影響分析：

以國道 1 號基隆（0k+000）至大安溪橋（154k+450）路段為例

# An Empirical Analysis of the Impact of Slope on Speed Performance in Taiwan : Case Study of National Freeway No.1, from Keelung(0k+000) to Daan River Bridge(154k+450)

周承彥 Chen-Yen Chou<sup>1</sup>

余宣 Hsuan Yu<sup>2</sup>

邱華玉 Hua-Yu Chiu<sup>3</sup>

潘格平 Ge-Ping Pan<sup>4</sup>

陳宜均 Yi-Jyun Chen<sup>5</sup>

### 摘要

車流速率是最常作為高速公路運輸能力表現的參考指標，同時也是了解公路幾何特性對車流狀態影響的重要依據。在公路幾何特性中，坡度路段對車速的影響十分明顯，若進行公路規劃時未適當考量則可能降低公路運輸效率，因此已有諸多文獻就坡度路段之坡度及坡長對行駛速率的影響進行相關研究。然而，因坡度路段對車流特性的影響可能因車輛製造技術的進步而有所改變，故透過定期的檢視及探討才能確保設計規範之適用性及合理性。本研究即透過蒐集長時間及大範圍之資料，以巨觀的方式，使用線性迴歸及對其他研究文獻模擬值的比較，分析坡度路段中坡度及坡長對路段速率的影響，以做為未來相關研究之參考。

**關鍵詞：**坡度、坡長、速率、國道 1 號、線性迴歸、巨觀分析

### Abstract

*Traffic speed is the most frequently used indicator for freeway performance. It is also an important reference to understand the influence of freeway alignment on traffic flow. In freeway alignment, the effect of slope section on traffic speed is obvious, and it may reduce the freeway efficiency if not properly considered. Therefore, there are much research discussing the impact of slope on freeway traffic speed. However, as the advancement of vehicle manufacturing technology could change the traffic flow characteristics, it is suggested to inspect the applicability of the design specification regularly. By collecting large-scale data and using a macroscopic method, this study analyzed the influence of grade and slope length on speed performance through linear regression and comparison with simulated values. The result is to be a reference for future research.*

**Keywords:** Grade, Slope Length, Traffic Speed, National Freeway No.1, Linear Regression, Macro-Analysis

<sup>1</sup> 儀衡工程技術顧問股份有限公司資料分析師。(E-mail: cychou@pavement.com.tw)

<sup>2</sup> 儀衡工程技術顧問股份有限公司資料分析師。

<sup>3</sup> 儀衡工程技術顧問股份有限公司副總經理。

<sup>4</sup> 林同棧工程顧問股份有限公司協理，交通工程執業技師，中華民國交通工程技師公會會員。

<sup>5</sup> 林同棧工程顧問股份有限公司交通組組長，交通工程執業技師，中華民國交通工程技師公會會員。

## 一、前言

由於臺灣人口密度較高且地形多山，故高速公路之建置常需配合地形變化而有所起伏。這些坡度路段除了可能影響駕駛的舒適性外，坡度較陡且較長的路段更易成為車流瓶頸點，因此會降低公路運輸效率。目前我國使用之公路路線設計規範，其內容大都引自美國 AASHTO 規範，然而臺灣的行車環境及駕駛行為與美國並非完全相同，為了了解目前規範的適用性，進而研擬合宜之規範，實有必要探討臺灣高速公路道路幾何設計與車流特性之關係。

在眾多車流特性的指標中，車流速率最常作為高速公路運輸能力表現的參考，同時也是了解道路幾何設計對車流狀態影響的重要依據。而透過相關文獻可知，在公路幾何設計中，坡度對車速的影響十分明顯，因此了解道路起伏對行駛速率的影響對於推測道路設計的適用性是不可或缺的。同時，坡度路段對車流特性的影響也可能因車輛製造技術或車輛性能的進步而有所改變，故透過定期的檢視、探討才能確保規範之適用性及合理性。

然而估計坡度路段與行車速率的關係並不容易，目前討論臺灣高速公路坡度與車流特性的關係，多以特定坡度路段進行微觀之分析，鮮少有巨觀量化坡度與速率關係之研究及驗證，故本研究乃針對高速公路於山地、丘陵、台地等路段，分析其坡度及坡長與路段速率之相關性，並與其他文獻對高速公路基本路段之模擬值進行比較，以瞭解坡度對於速率之影響情形，作為後續相關研究之參考。

## 二、文獻回顧

### 2.1 國內文獻

高速公路坡度路段之車流特性受到許多因素影響，包括坡度、車道數、大車比、於坡度路段上之行車距離（以下簡稱行車距離），以及車輛性能等。曾平毅等人在「臺灣高速公路坡度路段設計之代表性車輛」中（2016）採用 Speed-on-Grade (SOG) 模式估計車輛於坡度路段之瞬間旅行速率，並將 SOG 模擬結果與美國及德國之設計規範比較以確認模式的有效性後，進一步使用國道 1 號三義坡度路段之實際車流資料進行模擬及驗證，提出聯結車、大貨車、大客車及小車等代表性車輛於固定坡度之上坡路段其自由速率與行車距離之關係，其中代表性小車速率與上坡坡度及行車距離之關係如圖 1。

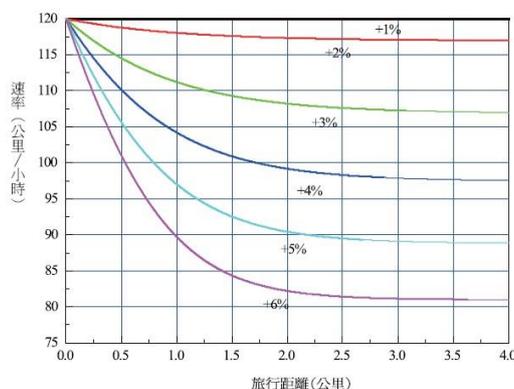


圖 1 代表性小車速率與上坡坡度及行車距離的關係（曾平毅等人，2016）

在另一篇研究中，曾平毅等人（2016）使用交通部運輸研究所發展之公路坡度路段模擬模式（Traffic-On-Grade Simulation Model, TGS 模式），模擬不同交通量及大車比例之車流，於不同坡度及行車距離下之特性，以估計上坡路段大車之小客車當量（Passenger Car Equivalent）。研究發現，上坡路段之車流速率會隨著坡度、行車距離、及大車比例增加而降低，而大車之小客車當量則隨著坡度及行車距離增加而呈現上升之趨勢。

除了透過模擬分析，曾平毅等人（2015）亦透過車輛偵測器（Vehicle Detector，以下簡稱 VD）之資料探討國道 1 號三義及林口坡度路段之車流特性。研究指出行駛於坡度路段之車輛，其自由流速率受到坡度及行車距離影響，較長且較陡之上坡會嚴重降低大車速率，同時對小車速率亦有顯著之負面效果，進而影響上坡路段之車道容量。

由上述文獻可知，目前國內針對坡度路段之研究多為模擬分析，且臺灣公路容量手冊（2022）亦提到坡度路段之車流資料相當有限，對坡度路段之分析仍需仰賴模擬模式。而曾平毅等人（2015）過去雖有使用 VD 資料探討在坡度路段流率與速率之間的關係，但仍局限於特定路段中，並無法描繪整體坡度與路段速率之關係。此外，公路容量手冊（2022）中亦提到許多研究之路段資料已較為久遠，並無法反映目前實際車流特性。

## 2.2 國外文獻

於國外文獻中，近田博之及邢健（2015）使用日本高速道路之 VD 資料，探討不同情況下速率與坡度之關係。該研究針對非壅塞時段之車流資料，依交通量、大車比及時段進行分類，並統計各分類之 85 百分位及 15 百分位速率與坡度之關係，該研究發現坡度大於 2% 及小於 2% 之路段，其坡度與速率之關係有明顯差異，於坡度小於 2% 時，坡度每增加 1% 速率即下降 0.3 公里/小時，而坡度大於 2% 時，坡度每增加 1% 速率則下降 2 公里/小時。此外，該研究亦發現於不同行車距離及大車比例下，坡度與速率之關係亦有所差異。

綜合上述國內及國外文獻可知，國內外均有研究透過 VD 資料探討坡度與速率之關係，惟近田博之及邢健（2015）亦提到一定坡度以上之資料取得較不容易，故難以量化探討。因此，本研究將擴大資料分析時間範圍，利用國道 1 號雙向 VD 之一個月之資料，分析不同坡度、行車距離及大車比下之車流特性，透過大量資料分析以降低特殊因素（事故、天氣等）產生之影響，進而以研究路段為例描繪國內高速公路坡度與速率之關係。

# 三、分析範圍與方法

## 3.1 分析範圍

根據第二章之文獻回顧彙整結果可知，於探討高速公路坡度與速率關係時，除了如國內文獻使用單一路段蒐集較密集之路段資料外，亦可比照國外文獻使用多路段之 VD 資料進行巨觀分析。考量國內文獻所使用之單路段資料已較為久遠，且若需重新蒐集資料需耗費大量時間及人力，因此本研究將參考國外文獻，針對高低起伏較大之多個路段進行分析。

根據高公局網站資料，高速公路設有爬坡道之路段如表 1 所示，由表可知，高速公路共設

置 25 處爬坡道，其中有 23 處爬坡道設置於台中（含）以北地區，顯示高速公路為因應北部區域較多台地及丘陵地形，設置較多坡度路段，且高程變化較為明顯。此外，為減少速限對於車流速率之影響，根據高公局網站彙整高速公路各主要路段速限表（如表 2），以挑選相同速限之路段進行分析。

另由於本研究係參考近田博之及邢健（2015）之研究方法，同樣將僅針對非壅塞車流受坡度路段之影響進行分析，故將以速率大於 60 公里/小時之車流資料進行分析。綜上所述，本研究將以國道 1 號基隆端（0k+000）至大安溪橋（154k+450）雙向平面路段（速限為 100 公里/小時）為分析範圍，並透過一個月（31 天）非壅塞時段（速率大於 60 公里/小時）之 VD 資料（每 5 分鐘流量及速率）分析不同坡度、行車距離、交通量、以及大車比下車流速率之變化情形。

表 1 國道爬坡道路段基本資料表

國道編號	方向	路段區間	起點里程	迄點里程	長度（公里）
國道 1 號	南向	泰山-林口	36k+229	41k+810	5.58
		新竹-新竹系統	95k+650	96k+600	0.95
		新竹系統-頭份	106k+650	107k+640	0.99
		頭份-苗栗	121k+700	123k+270	1.57
		苗栗-三義	136k+500	137k+900	1.40
		苗栗-三義	140k+160	144k+160	4.00
		苗栗-三義	147k+700	151k+290	3.59
		后里-三義	154k+760	151k+500	3.26
		頭屋-頭份	124k+000	121k+700	2.30
		新竹系統-新竹	97k+640	96k+600	1.04
國道 3 號	南向	鶯歌系統-大溪	54k+933	62k+370	7.44
		龍潭-關西	70k+300	72k+185	1.89
		大山-後龍	124k+300	125k+800	1.50
		後龍-通霄	131k+750	133k+200	1.45
		中港系統-沙鹿	170k+330	173k+700	3.37
		沙鹿-龍井	176k+300	178k+500	2.20
	北向	名間-竹山*	234k+620	238k+430	3.81
		和美-龍井	186k+050	181k+300	4.75
		西濱-香山	112k+500	110k+703	1.80
		香山-茄荖	106k+913	106k+103	0.81
		茄荖-新竹系統	104k+720	102k+800	1.92
竹林-龍潭	81k+308	72k+785	8.52		
寶山爬坡道	97k+800	95k+900	1.90		
國道 5 號	南向	石碇-坪林	5k+800	9k+300	3.50
國道 6 號	東向	東草屯-國姓*	14k+280	17k+250	2.97

註：台中（含）以南路段以\*標記

資料來源：高公局網站 <https://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=1292>。

表 2 國道各路段速限資料表

國道編號	路段	速限	備註
		(公里/小時)	
國道 1 號	大安溪橋 (154K+450) 以北	100	南向 0+500K 以北 速限 60 公里/小時
	大安溪橋 (154K+450) 至 楠梓交流道 (356K)	110	
	楠梓交流道 (356K) 以南	100	
	五甲交流道 (371K) 以南	80	
	漁港路 (372K) 以南	60	
國道 2 號	大園交流道 (1K) 以西	80	
	大園交流道 (1K) 以東	100	
國道 3 號	中和交流道 (35K) 以北	90	
	中和交流道 (35K) 至 土城交流道 (43K)	100	
	土城交流道 (43K) 以南	110	
國道 3 甲	全線	80	西向 4K+200~3K+800 速限 70 公里/小時
國道 4 號	全線	100	
國道 5 號	坪林 (15K) 以北	80	
	坪林 (15K) 以南	90	
國道 6 號	全線	100	
國道 8 號	南 133 鄉道 (4K) 以西	80	
	南 133 鄉道 (4K) 以東	100	
國道 10 號	仁武交流道 (6K) 以西	80	
	仁武交流道 (6K) 以東	100	

資料來源：高公局網站<https://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=183&p=6>。

### 3.2 分析資料來源

本研究所使用之資料為交通部高速公路局（下簡稱高公局）交通資料庫之 VD 資料，而為降低道路型態及高速公路測速照相機等因素對分析結果之影響，僅以該路段上、下游 500 公尺不包含進、出口匝道及測速照相機之路段為範圍進行分析，以前述原則篩選出雙向共計 104 組 VD，並將各路段起迄里程及對應 VD 里程位置彙整於表 3。惟考量近年來受到新冠肺炎疫情影響，車流特性亦可能有所不同，故本研究係以今年疫情爆發前之 111 年 3 月 1 日至 31 日作為分析時間範圍。此外，有關高速公路各路段之坡度，本研究係利用 Google Earth「街景服務」之高程位置，以每 100 公尺為單位進行擷取，彙整如圖 2 所示。

表 3 本研究研究範圍國道 1 號各路段雙向起迄里程表

路段	方向	路段起迄點		VD 位置
		起	迄	
八堵-五堵	北向	6k+000	2k+000	4k+000、4k+842
	南向	2k+000	6k+000	3k+900
五堵-汐止	北向	10k+000	6k+000	8k+243
	南向	6k+000	10k+000	8k+258
汐止-東湖	北向	15k+000	10k+000	13k+400
	南向	10k+000	15k+000	12k+350
內湖-圓山	北向	23k+000	17k+000	18k+007、18k+770、21k+231
	南向	17k+000	23k+000	18k+710、20k+000、21k+390
圓山-台北	南向	23k+000	25k+000	24k+400
三重-五股	北向	33k+000	27k+000	30k+547
	南向	27k+000	33k+000	28k+839、30k+539
五股-泰山	南向	33k+000	35k+000	34k+000
泰山-林口	北向	41k+000	35k+000	36k+980、39k+000
	南向	35k+000	41k+000	37k+760、39k+256
林口-桃園	北向	49k+000	41k+000	43k+300、45k+300、47k+300
	南向	41k+000	49k+000	44k+250、47k+507、48k+880
內壢-中壢	北向	62k+000	57k+000	59k+400、61k+580
	南向	57k+000	62k+000	60k+870
中壢-幼獅	北向	67k+000	62k+000	66k+270
	南向	62k+000	67k+000	63k+420、66k+040
幼獅-楊梅	南向	67k+000	69k+000	68k+070
楊梅-湖口	北向	83k+000	69k+000	73k+000、78k+140、80k+000、
	南向	69k+000	83k+000	73k+000、74k+505、76k+300、
湖口-竹北	北向	91k+000	83k+000	85k+010、88k+45、89k+990
	南向	83k+000	91k+000	85k+056、88k+060
竹北-新竹	北向	95k+000	91k+000	92k+000、92k+900、94k+030
	南向	91k+000	95k+000	91k+825
新竹-頭份	北向	110k+000	95k+000	101k+510、102k+590、103k+880、 106k+280、107k+505
	南向	95k+000	110k+000	101k+510、103k+670、104k+890、 105k+985、107k+220、109k+250
頭份-頭屋	北向	125k+000	110k+000	112k+280、113k+450、114k+610、 115k+700、120k+230、122k+260、 123k+880
	南向	110k+000	125k+000	112k+310、113k+460、114k+630、 116k+650、120k+300、122k+090

路段	方向	路段起迄點		VD 位置
		起	迄	
頭屋-苗栗	北向	132k+000	125k+000	126k+900、128k+179、129k+899、131k+410
	南向	125k+000	132k+000	128k+310、130k+009、131k+850
苗栗-銅鑼	北向	140k+000	132k+000	135k+835、137k+425、139k+820
	南向	132k+000	140k+000	134k+360、135k+835、137k+510
銅鑼-三義	北向	150k+000	140k+000	142k+200、143k+720、145k+170、146k+740、148k+260
	南向	140k+000	150k+000	141k+260、141k+980、143k+535、144k+970、146k+530、148k+010
三義-后里	北向	160k+000	150k+000	151k+990、153k+480
	南向	150k+000	160k+000	151k+735

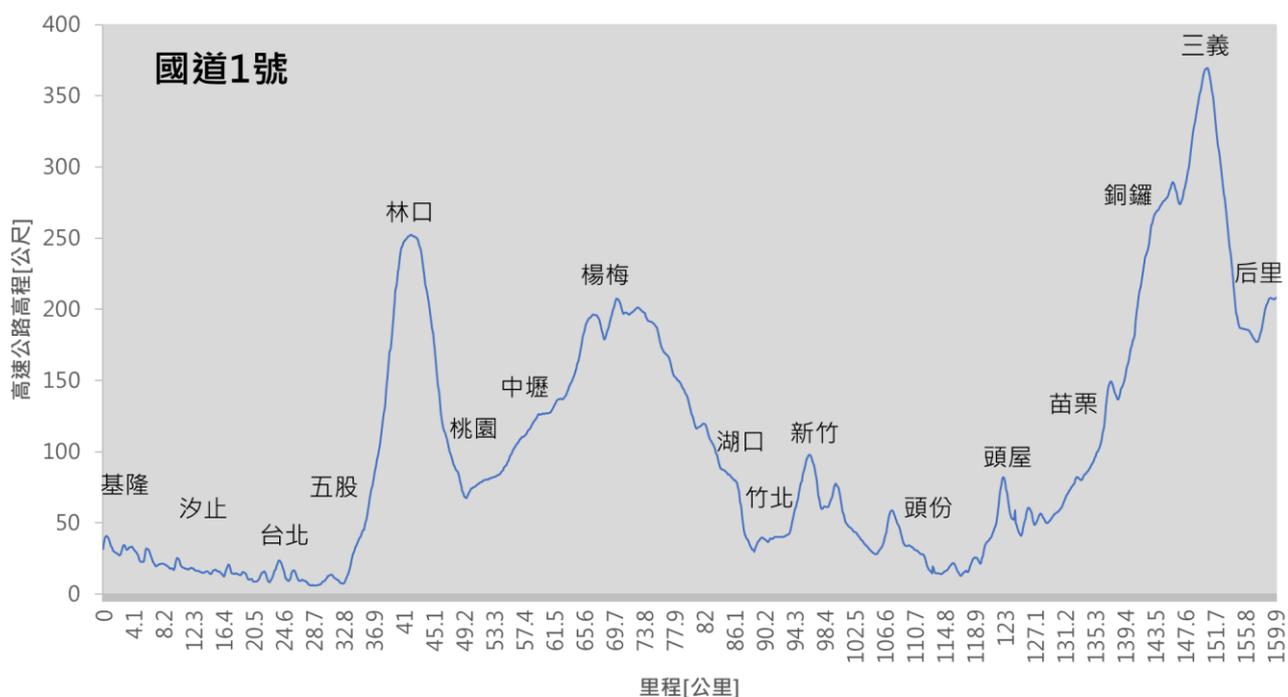


圖 2 國道 1 號高程圖 (不含高架路段)

### 3.3 分析方法

從文獻回顧可以發現，在坡度路段上對車流行為可能造成影響的環境因素除了坡度的大小外，其次就是坡長。而此影響除了在不同交通量或不同大車比下可能有所不同外，對於同組成車流中較慢或較快之車輛亦有所不同，故本研究係參考近田博之與邢健（2015）之研究方法，將坡度路段對速率之影響分為「坡度對速率之影響」及「坡長對速率之影響」等兩個部分，並針對快車及慢車在不同交通量及不同大車比下所受影響之不同進行分析。

為探討不同因素之影響，本研究在「坡度對速率之影響」及「坡長對速率之影響」等兩個部分分析時將使用以下之方式進行資料分類：在交通量的部分，將每個 VD 資料點位之資料，依平均每車道每 5 分鐘之交通量以 40 輛車為一級距進行分類，亦即將每車道每 5 分鐘通過 0~40 輛車歸為第一個級距、40~80 輛車為第二個級距，以下以此類推；在大車比的部分則是依每 20% 為一級距進行分類，即大車比 0%~20% 為第一個級距，20%~40% 為第二個級距，以下以此類推。分類後將取各分類之 85 百分位速率代表該分類下速率較快之車流，15 百分位速率代表速率較慢之車流，以此二速率值進行後續分析，探討在各種情況下，坡度路段對速率所造成之影響。以下將針對「坡度對速率之影響」及「坡長對速率之影響」之分析方法進行說明。

### 3.3.1 坡度對速率之影響

「坡度對速率之影響」之分析方法係將前述分類後之資料透過線性迴歸（如式(1)），得出坡度對速率之迴歸係數 $\beta_1$ ，並以圖示法比較觀察速率在不同坡度之分布情形，藉以了解坡度與速率之關係。為清楚了解各個因素所帶來之影響，此部分分析將分為兩步驟探討在不同因素下，迴歸係數 $\beta_1$ 之變化以及速率分布之差異。

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (1)$$

其中，

$X$ ：自變數（坡度）

$Y$ ：應變數（速率）

$\beta_1$ ：迴歸係數

$\beta_0$ ：截距

**步驟 1、不同交通量下坡度及速率相關性分析：**首先將坡度與各交通量級距下之 15 百分位速率及 85 百分位速率進行線性迴歸，得到其速率與坡度間之迴歸係數 $\beta_1$ ，以了解在不同交通量下坡度與速率之關係及變化趨勢。

**步驟 2、不同大車比下坡度及速率相關性分析：**在了解整體坡度與速率之關係後，進一步分析大車比對迴歸係數之影響。計算在不同交通量級距、不同大車比級距下之 15 百分位速率以及 85 百分位速率，將坡度與各級距之 15 百分位速率及 85 百分位速率個別進行線性迴歸，得到各級距之迴歸係數 $\beta_1$ ，比較在同交通量、不同大車比下迴歸係數的差異。同時，將同一交通量級距之資料依大車比級距分類後取各坡度級距（以坡度 1% 為級距，即 0~1% 為一級距，以此類推）下之百分位速率平均繪製其關係圖，比較不同交通量及大車級距下坡度對速率之影響，以綜合了解不同情境下坡度與速率之關係。而根據高速公路及快速公路交通管制規則中有關大型車應行駛於外側車道，並得暫時利用緊臨外側車道之車道超越前車之規定，臺灣高速公路之大車多行駛於外側車道，故為了解實際大車比對車流造成之影響，除了分析全車道車流外，亦將分析外側 2 車道車流，並比較其差異。

### 3.3.2 坡長對速率之影響分析方式

從文獻回顧中可知，坡長與速率之關係較難以透過線性公式表示，故有關「坡長對速率之影響」之分析方式係依交通量及大車比級距分類後之資料透過圖示比較為主，並以趨勢線等工具輔助，觀察速率在相同坡度下隨著行車距離之變化情形來了解坡長與速率之關係。在分析後亦將與文獻提及之模擬值進行比較，故此部分之分析亦將分為兩步驟探討。

**步驟 1、坡長及速率相關性分析：**透過車輛在固定坡度之路段上所行駛之距離來探討坡長之影響。根據公路容量手冊(2022)，其係將坡度 2% 以下，坡長 500 公尺以下之路段視為平坦路段，即坡度 2% 以上且坡長 500 公尺以上為坡度路段，然有鑒於本研究範圍內坡度大於 2% 之路段中，坡度多在 3% 至 4% 之間，故本項分析將進一步篩選出坡度在 3% 至 4% 間之 VD 資料，以圖示法比較不同交通量、不同大車比下，15 及 85 百分位速率在固定坡度下受行車距離之影響，以了解不同情形下坡長與速率之關係。由於此步驟需考慮實際大車於各車道之分布，故將同 3.3.1 節之步驟 2，區分全車道及外車道分析以比較其差異。

**步驟 2、觀察值與模擬值比較：**將上述分析所得坡長與速率之關係與曾平毅等人(2016)透過 SOG 模擬模式探討代表性車輛時所得到之模擬值進行比較，以了解觀察值跟模擬值之差異。

## 四、坡度路段對速率之影響分析

### 4.1 坡度對速率之影響

本節將針對坡度與速率之關係進行分析，以了解在不同交通量及不同大車比下，坡度對於該路段速率之影響。

#### 4.1.1 不同交通量下坡度及速率相關性分析

本小節先將每個 VD 點位之資料，依交通量大小將平均每車道每 5 分鐘之交通量以 40 輛車為一級距進行分類，透過迴歸分析探討在不同交通量級距下，坡度對速率之影響。

##### 1. 速率及坡度相關性分析

表 4 為在不同交通量級距下，速率對坡度進行迴歸之結果，而圖 3 至圖 6 則係根據每個 VD 點位資料繪製之坡度與速率關係圖。由前述圖表可知，整體路段坡度與速率之迴歸係數皆為負值，此代表坡度升高時，速率會隨之下降，同時也可看到其相關性在不同交通量分類下，除了每車道每 5 分鐘平均 80-120 輛車之級距分類外，其餘級距分類之 p value 皆小於 0.01，於統計上具有相當大之顯著性。

此外，由表 4 亦可知，坡度與速率之迴歸係數落在-0.7331 至-1.941 之間，雖在交通量較大時（每車道每 5 分鐘平均 120-160 輛車）迴歸係數絕對值較大，但交通量較小時（每車道每 5 分鐘平均 0-40 輛車）迴歸係數絕對值亦較大，顯示其並非隨交通量增加而提升，與交通量較無明顯相關性。而將坡度與 15 百分位速率及 85 百分位速率之迴歸結果進行比較，可以發現迴歸係數在 85 百分位速率下皆較 15 百分位速率小，且在交通量小於每車道每 5 分鐘平均 120 輛車之情況下，85 百分位速率之迴歸係數絕對值皆小於 1，由此可推測於同級距交通量下，坡度對速率較快之車流影響較小。

表 4 坡度速率關係表

交通量 (輛/車道/5分鐘)	迴歸係數	
	15百分位速率	85百分位速率
0-40	-1.4069 **	-0.9103 **
40-80	-1.2057 **	-0.7857 **
80-120	-1.1813 *	-0.7331 *
120-160	-1.941 **	-1.3051 **

註：\* p-value < 0.05, \*\* p-value < 0.01

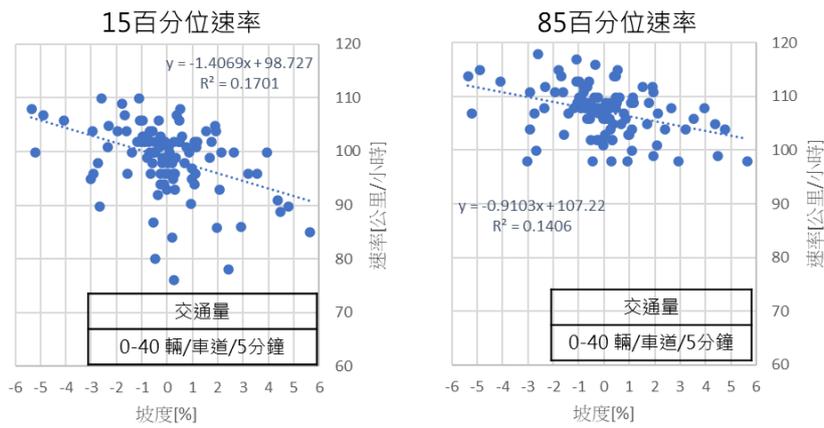


圖 3 坡度與速率之關係圖 (交通量 0-40 輛/車道/5分鐘)

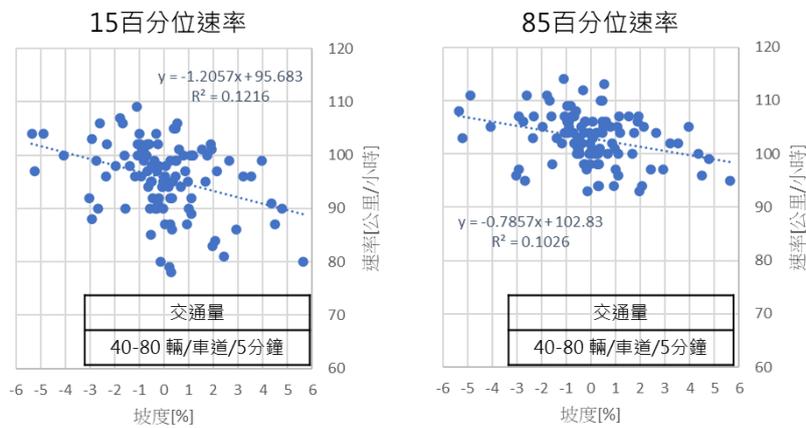


圖 4 坡度與速率之關係圖 (交通量 40-80 輛/車道/5分鐘)

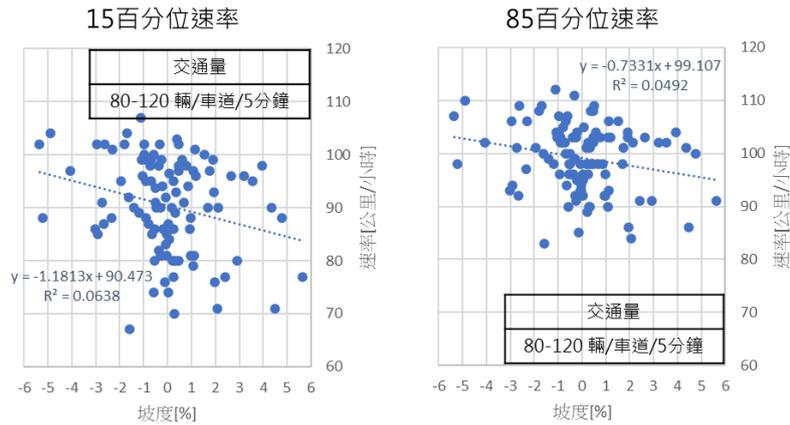


圖 5 坡度與速率之關係圖（交通量 80-120 輛/車道/5 分鐘）

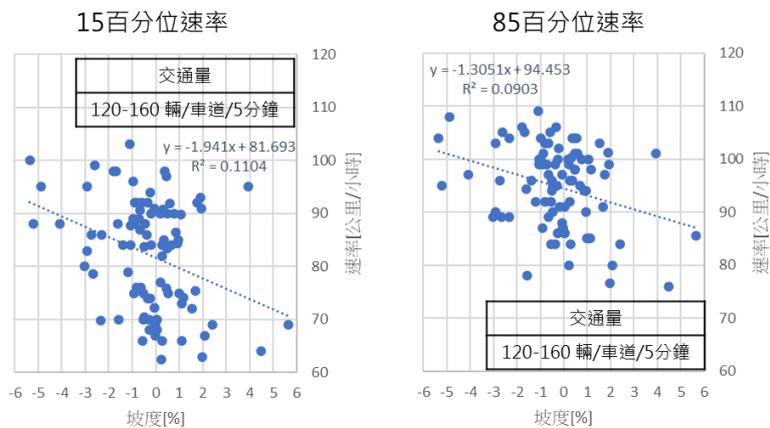


圖 6 坡度與速率之關係圖（交通量 120-160 輛/車道/5 分鐘）

## 2. 速率及坡度相關性分析—以坡度 3% 為界

而進一步觀察圖 3 至圖 6 可以發現，於某些交通量下當坡度超過 3% 時，速率與坡度之關係會有不同之變化。因此，將資料以坡度 3% 為界進行線性迴歸分析，其結果彙整如表 5 所示。由表 5 可以發現，在多數情境中，坡度與速率仍維持顯著之相關性，且在坡度高於 3% 時，其迴歸係數絕對值明顯大於坡度低於 3% 之路段。

以坡度大於等於 3% 及小於 3% 皆有顯著性之群組為例（交通量每車道每 5 分鐘平均 40-80 輛車），將其資料繪製如圖 7 所示，從圖中可知，坡度與 15 百分位速率及 85 百分位速率之迴歸係數在坡度 3% 以下時為 -1.2116 及 -0.7949，在坡度 3% 以上時則為 -7.112 及 -3.4051。雖然坡度在 3% 以上之資料點位僅有 7 處，但由此仍可發現，速率在坡度 3% 以下時與坡度 3% 以上時明顯有不同之分佈，且坡度在 3% 以上時，慢車受坡度之影響明顯大於快車。

表 5 坡度速率關係表（以坡度 3% 區分）

交通量 (輛/車道/5 分鐘)	15 百分位速率		85 百分位速率	
	$i < 3\%$	$i \geq 3\%$	$i < 3\%$	$i \geq 3\%$
0-40	-1.3048 **	-5.3648 *	-0.8896 **	-3.0279
40-80	-1.2116 **	-7.112 **	-0.7949 **	-3.4051 *
80-120	-1.382 *	-8.9868	-0.9352 *	-5.0791
120-160	-2.1195 **		-1.2097 *	

註：i 為坡度，\* p-value < 0.05，\*\* p-value < 0.01

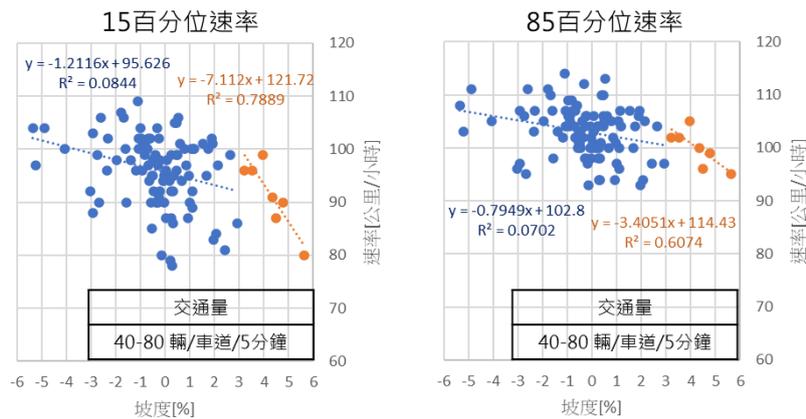


圖 7 以坡度 3% 區分之坡度與速率關係圖（交通量 40-80 輛/車道/5 分鐘）

#### 4.1.2 不同大車比下坡度及速率相關性分析

在瞭解不同交通量下坡度與速率之相關性後，本小節進一步將 VD 資料依大車比每 20% 為級距進行分類，透過迴歸分析及比較各級距分類下之百分位速率平均值，探討在不同大車比下坡度對速率所造成之影響。此外，考量臺灣高速公路多數路段禁止大車行駛內側車道，而大車比又是影響速率之重要因素，因此以下將區分為全車道及外側車道進行分析。

##### 1. 全車道

表 6 為在不同大車比及交通量級距下，速率對坡度進行迴歸之結果。由表中可知，在交通量較小的級距中，坡度與速率之相關性大多較為顯著。

整體而言，在不同大車比之情境下，15 百分位速率之迴歸係數絕對值均較 85 百分位速率高，由此可知，速率較慢之車流受坡度的影響較大。另在交通量小於每車道每 5 分鐘平均 40-80 輛車時，其迴歸係數絕對值隨著大車比增加而上升，且在 15 百分位速率上升的幅度較在 85 百分位速率上升的幅度明顯。由此可知，坡度與速率的關係明顯受大車比影響，且在較慢之車流中影響較大。除表 6 以外，另將 VD 資料依不同大車比及交通量級距繪製成坡度與百分位速率關係圖，詳如圖 8 至圖 11 所示（若該坡度無資料則留空）。以資料較完整之圖 8 為例，在交通量每車道每 5 分鐘平均 0-40 輛車的情境下，速率隨坡度上升而有下降的趨勢，而隨著大車比增加，速率也有下降情形。

表 6 不同大車比坡度速率關係迴歸結果—全車道

交通量 (輛/車道/5分鐘)	大車比	迴歸係數	
		15 百分位速率	85 百分位速率
0-40	0-20%	-1.3687 **	-0.9049 **
	20-40%	-1.5238 **	-1.1118 **
	40-60%	-1.5668 **	-1.1394 **
	60-80%	-1.4378 **	-1.0143 **
	80-100%	-1.8614 **	-1.1416 **
40-80	0-20%	-1.1741 **	-0.782 **
	20-40%	-1.2745 **	-0.974 **
	40-60%	-1.6455 **	-1.0046 *
	60-80%	-1.9645	-1.1076
	80-100%		
80-120	0-20%	-1.1854 **	-0.7954 *
	20-40%	-1.3819 *	-0.8751 *
	40-60%	-1.8979	-0.6738
	60-80%		
	80-100%		
120-160	0-20%	-1.8849 **	-1.3129 **
	20-40%	-1.5773	-0.9935
	40-60%	-1.8376	0.4379
	60-80%		
	80-100%		

註：1.\* p-value < 0.05, \*\* p-value < 0.01

2.若該交通量級距之樣本數小於 10，則視為樣本不足並以空白表示

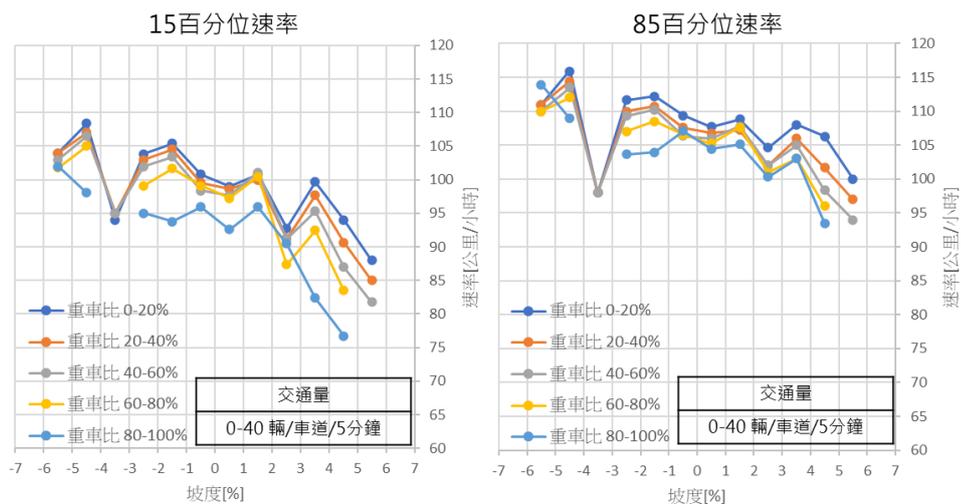


圖 8 坡度與百分位速率平均關係圖 (交通量 0-40 輛/車道/5分鐘)

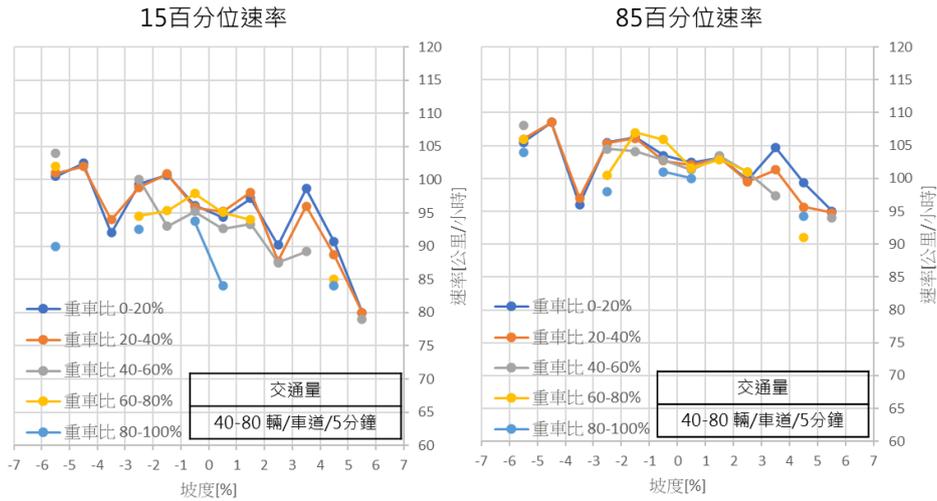


圖 9 坡度與百分位速率平均關係圖（交通量 40-80 輛/車道/5 分鐘）

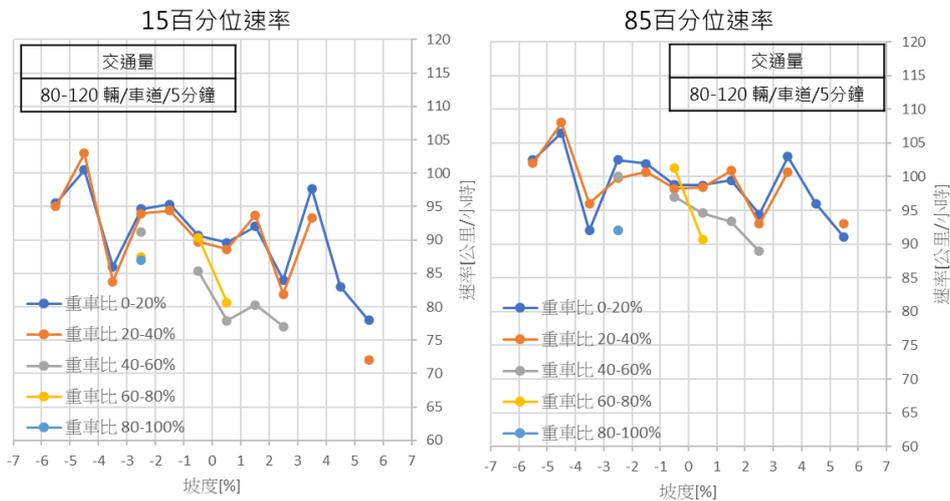


圖 10 坡度與百分位速率平均關係圖（交通量 80-120 輛/車道/5 分鐘）

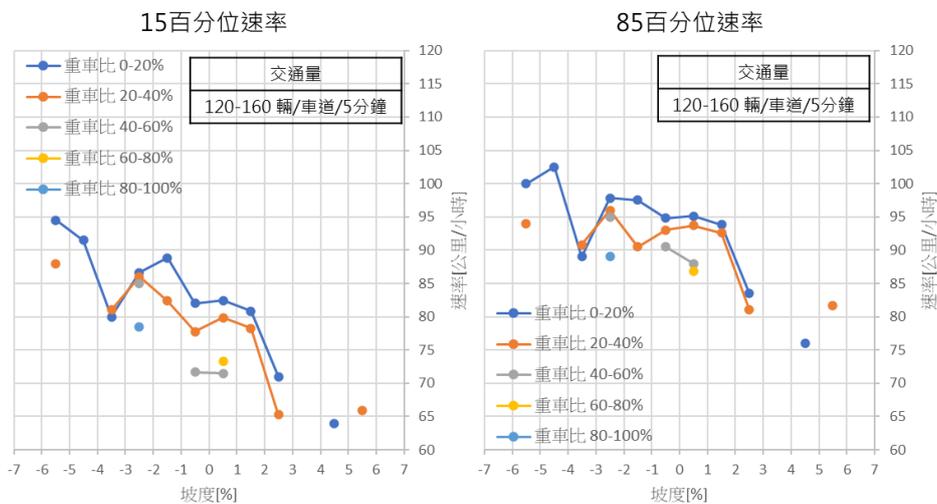


圖 11 坡度與百分位速率平均關係圖（交通量 120-160 輛/車道/5 分鐘）

進一步針對交通量為每車道每 5 分鐘平均 0-40 輛車之資料，整理坡度在-6%至-5%及 4%至 5%之百分位速率於表 7。由表 7 可以發現，隨著大車比的增加，坡度在-6%至-5%之百分位速率平均皆有些微下降情形，坡度在 4%至 5%之百分位速率平均則皆有明顯下降之趨勢。而不論是 15 或 85 百分位速率，大車比越高，速率受坡度的影響越大。此現象在其他交通量級距中因樣本數不足雖較難進行比較，但仍可觀察到類似趨勢。此外，比較於不同大車比下的速率差也可發現，85 百分位速率的速率差皆小於 15 百分位速率的速率差。由此亦可知，坡度對車速較快車輛之影響明顯小於車速較慢之車輛。

表 7 不同大車比下之百分位速率平均 (交通量 0-40 輛/車道/5 分鐘)

交通量 0-40 輛/車道/5 分鐘	15 百分位速率平均			85 百分位速率平均		
	坡度		速率差	坡度		速率差
	-6%~-5%	4%~5%		-6%~-5%	4%~5%	
大車比						
0-20%	104	94	10	111	106	5
20-40%	104	91	13	111	102	9
40-60%	103	87	16	110	98	12
60-80%	102	84	18	110	96	14
80-100%	102	77	25	114	94	21

## 2. 外車道

表 8 為在不同大車比及交通量級距下，外車道速率對坡度進行迴歸之結果。由表可知，整體趨勢與全車道相似。若比較全車道與外車道之結果可以發現，外車道於各級距分類下之迴歸係數絕對值皆較全車道大，可見外車道受坡度影響較全車道明顯。而外車道之迴歸係數在同一交通量級距下，隨大車比增加的幅度亦較全車道來的大，可見於大車比越高之情境下，坡度對外車道速率之影響越大。進一步將外車道之 VD 資料依不同大車比及交通量級距繪製成坡度與百分位速率關係圖，詳如圖 12 至圖 15 所示 (若該坡度無資料則留空)。以資料較完整之圖 12 為例，在交通量每車道每 5 分鐘平均 0-40 輛車的情境下，速率隨坡度的上升而有下降之趨勢，而隨著大車比增加，速率也有下降情形。

表 8 不同大車比坡度速率關係迴歸結果－外車道

交通量 (輛/車道/5分鐘)	大車比	外車道	
		15 百分位速率	85 百分位速率
0-40	0-20%	-1.674 **	-1.0266 **
	20-40%	-1.9036 **	-1.2035 **
	40-60%	-2.1596 **	-1.3716 **
	60-80%	-2.2359 **	-1.3674 **
	80-100%	-2.73 **	-1.7528 **
40-80	0-20%	-1.3486 **	-0.8582 **
	20-40%	-1.4652 **	-0.9013 **
	40-60%	-1.3729 **	-0.6689 *
	60-80%	-2.2947 **	-0.1904
	80-100%	-0.6824	-0.7887
80-120	0-20%	-1.5622 **	-1.1174 *
	20-40%	-1.6892 *	-1.2054 *
	40-60%	-0.9415	-0.1184
	60-80%		
	80-100%		
120-160	0-20%	-1.3469	-0.3307
	20-40%	0.0898	0.4153
	40-60%	-2.0569	-0.8279
	60-80%		
	80-100%		

註：\* p-value < 0.05，\*\* p-value < 0.01

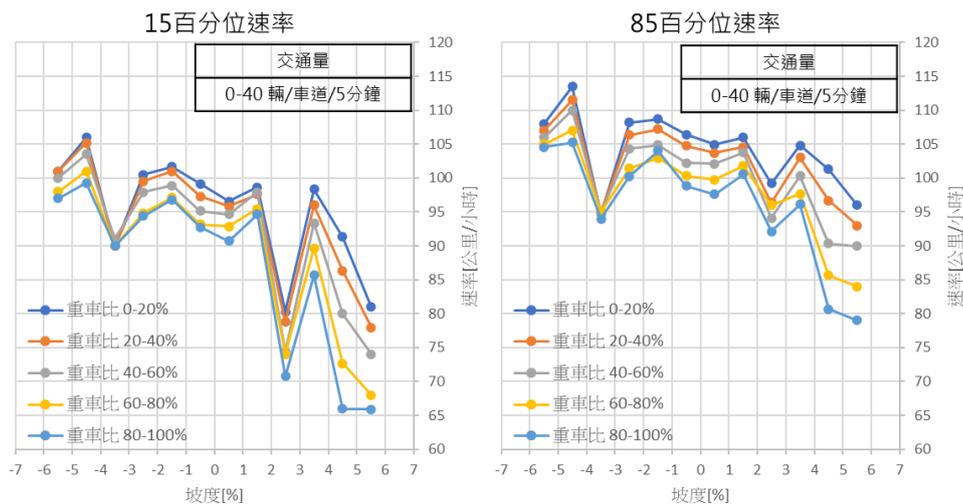


圖 12 坡度與百分位速率度平均關係圖（交通量 0-40 輛/車道/5 分鐘）

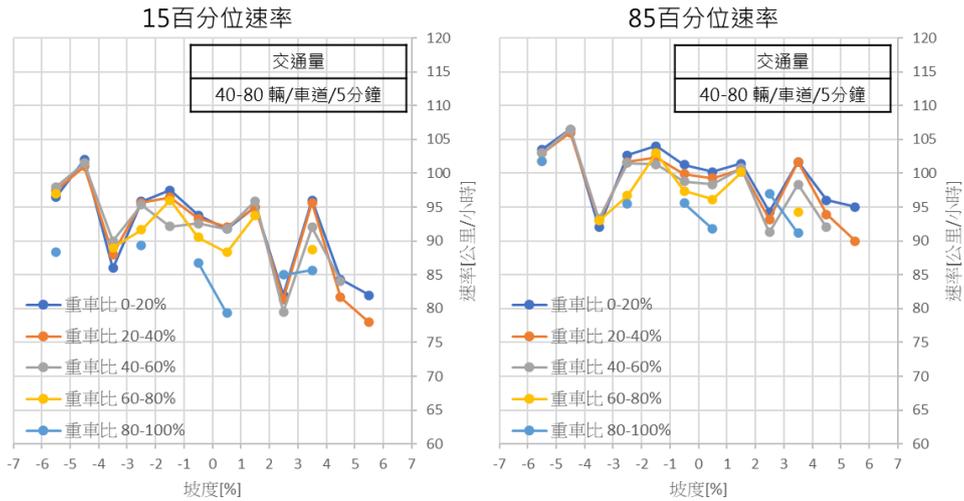


圖 13 坡度與百分位速率度平均關係圖（交通量 40-80 輛/車道/5 分鐘）

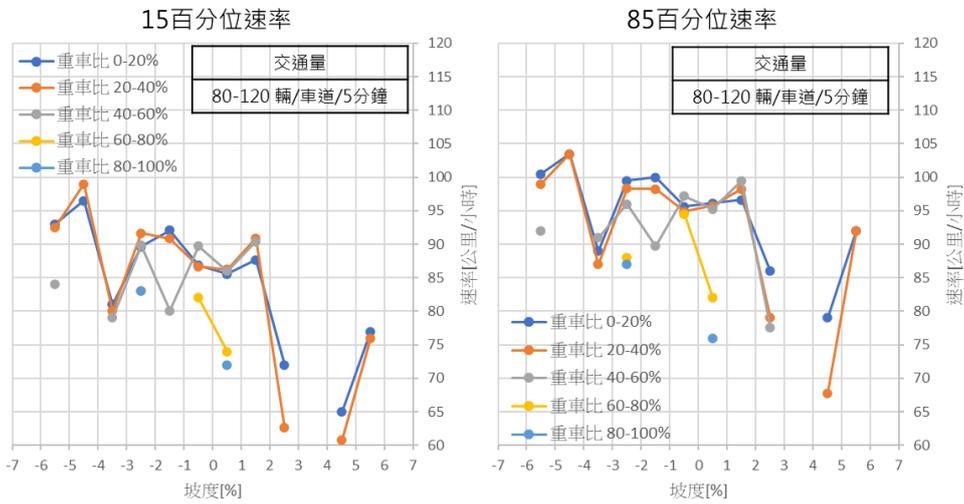


圖 14 坡度與百分位速率度平均關係圖（交通量 80-120 輛/車道/5 分鐘）

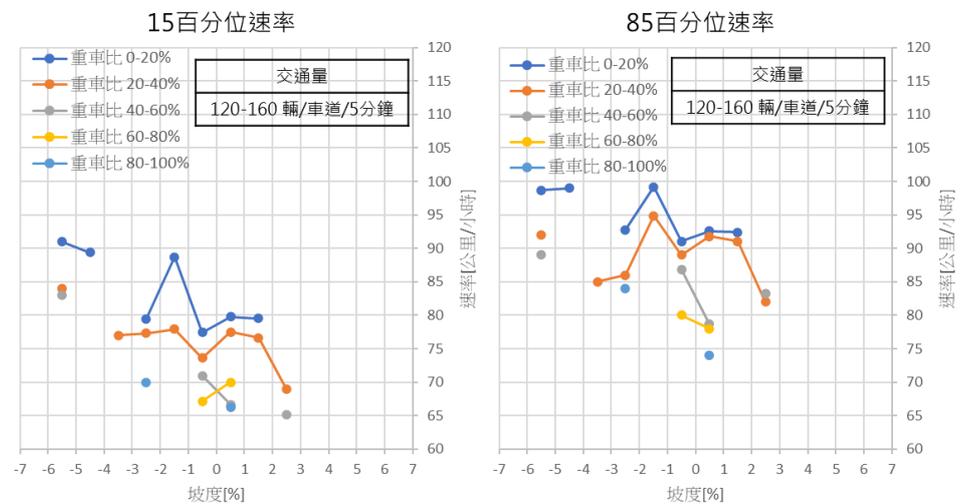


圖 15 坡度與百分位速率度平均關係圖（交通量 120-160 輛/車道/5 分鐘）

進一步針對交通量為每車道每 5 分鐘平均 0-40 輛車之資料，整理坡度在-6%至-5%及 4%至 5%之百分位速率於表 9。由表 9 可以發現外車道與全車道情形類似，隨著大車比的增加，坡度在-6%至-5%之百分位速率平均皆有些微下降之情形，而坡度在 4%至 5%之百分位速率平均則皆有明顯下降之趨勢。而不論是 15 百分位速率還是 85 百分位速率，大車比越高，速率受坡度的影響越大。此現象在其他交通級距中雖因樣本數不足較難進行比較，但仍可觀察到類似趨勢。此外，比較於不同大車比下的速率差也可發現，85 百分位速率的速率差皆小於 15 百分位速率的速率差。由此可知，坡度在外車道對車速較快車輛之影響明顯小於車速較慢之車輛。

表 9 外車道不同大車比下之百分位速率平均（交通量 0-40 輛/車道/5 分鐘）

交通量 0-40 輛/車道/5 分鐘	15 百分位速率平均			85 百分位速率平均		
	坡度		速率差	坡度		速率差
	-6%~-5%	4%~5%		-6%~-5%	4%~5%	
大車比						
0-20%	101	91	10	108	101	7
20-40%	101	86	15	107	97	10
40-60%	100	80	20	106	90	16
60-80%	98	73	25	105	86	19
80-100%	97	66	31	105	81	24

## 4.2 坡長對速率之影響

本節將透過分析車輛在固定坡度路段上之行車距離，探討在不同交通量及大車比下行車距離與速率之關係，進而了解坡長對速率之影響。

### 4.2.1 坡長及速率相關性分析

本小節主要係針對 3%至 4%之坡度路段上，透過車輛於該坡度路段行車距離與速率之關係進行分析，以了解坡長對於速率之影響。此外，考量臺灣高速公路多數路段禁止大車行駛內側車道，因此以下將區分為全車道及外側車道進行分析。

#### 1. 全車道

圖 16 至圖 19 為坡度在 3%至 4%之間，行車距離與全車道之 15 及 85 百分位速率之關係圖。以資料較完整之圖 16 為例，在交通量每車道每 5 分鐘平均 0-40 輛車之情形下，行車距離與速率並非呈現線性關係。整體來看有行車距離越長速率越低之現象，而隨著行車距離的增加，速率下降的幅度有減少的情形。在不同大車比及交通量下除了可以看到類似的趨勢外，在交通量較小之級距中（0-80 輛/車道/5 分鐘），行車距離超過 5 公里後速率有持平甚至回升的現象。

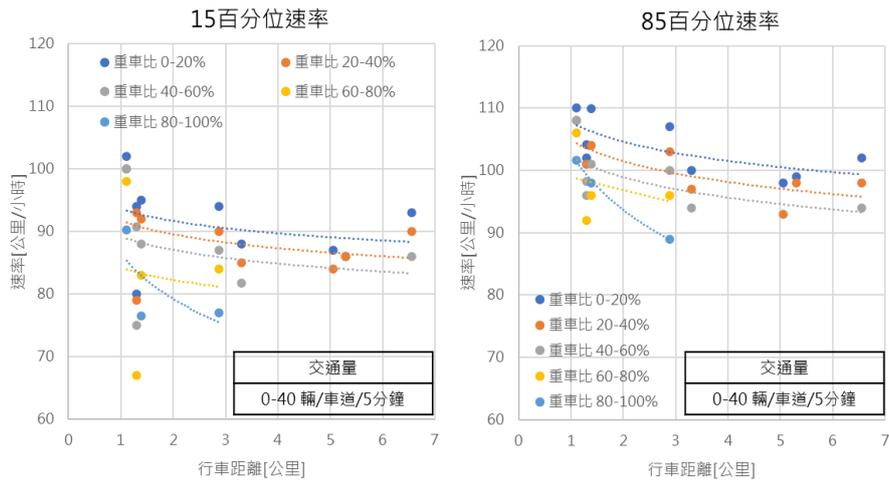


圖 16 全車道行車距離與速率之關係圖（交通量 0-40 輛/車道/5 分鐘）

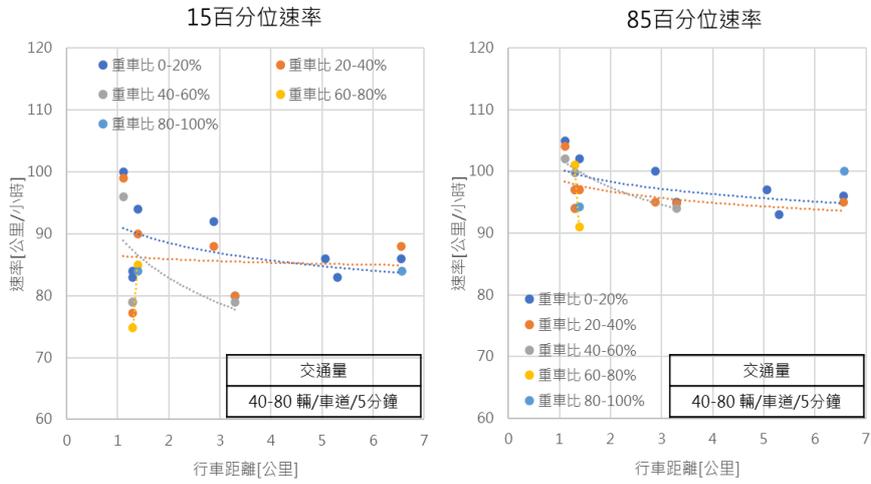


圖 17 全車道行車距離與速率之關係圖（交通量 40-80 輛/車道/5 分鐘）

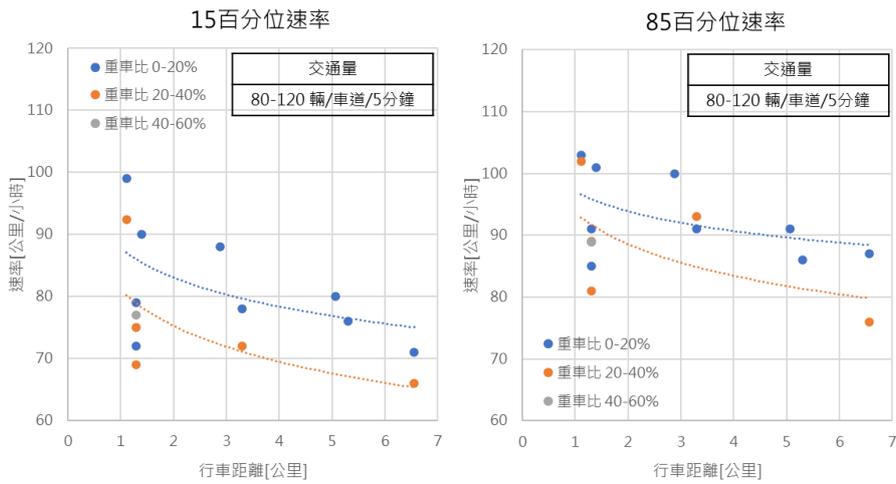


圖 18 全車道行車距離與速率之關係圖（交通量 80-120 輛/車道/5 分鐘）

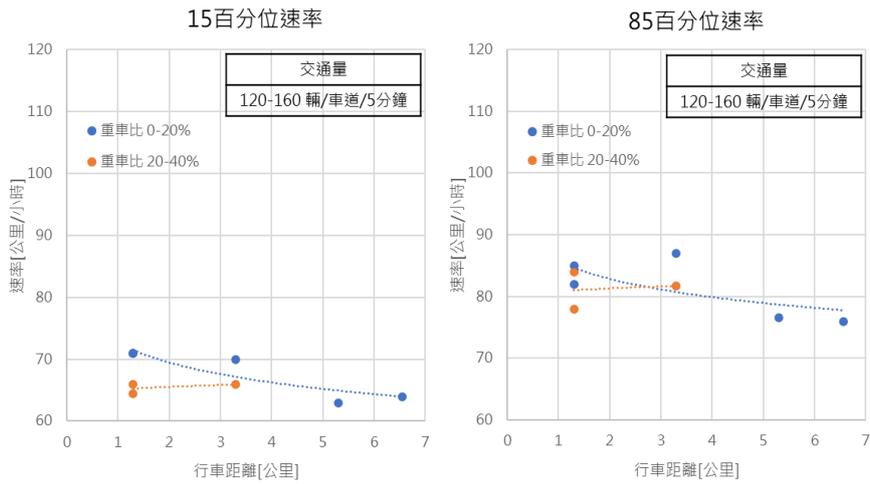


圖 19 全車道行車距離與速率之關係圖（交通量 120-160 輛/車道/5 分鐘）

## 2. 外車道

圖 20 至圖 22 為在坡度 3% 至 4% 之間，行車距離與外車道之 15 及 85 百分位速率之關係圖（因交通量每車道每 5 分鐘平均 120-160 輛車之資料過少，故不予呈現）。以資料較完整之圖 20 為例，在交通量每車道每 5 分鐘平均 0-40 輛車下，行車距離與速率亦非線性關係。整體來看，同樣有有行車距離越長速率越低之現象，而隨著行車距離的增加，速率下降的幅度有減少的情形。與全車道不同的是，外車道僅在交通量最小之級距中（0-40 輛/車道/5 分鐘），能看到行車距離超過 5 公里後速率有持平或回升的現象。

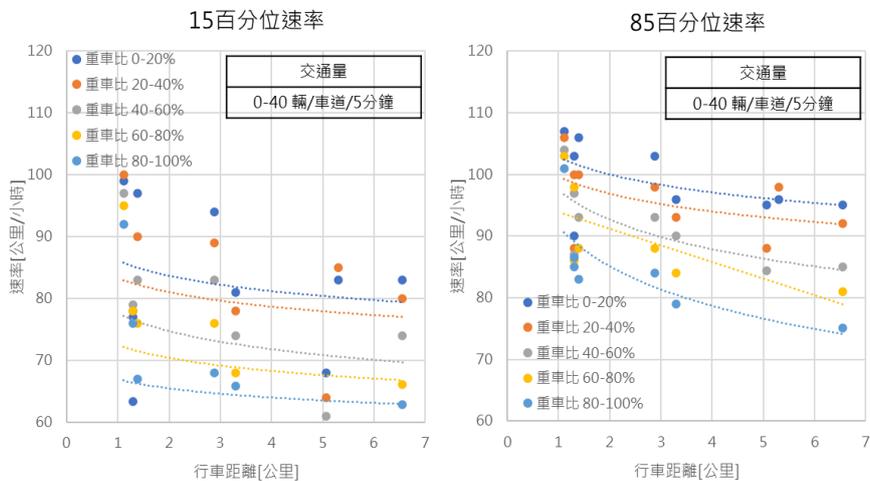


圖 20 外車道行車距離與速率之關係圖（交通量 0-40 輛/車道/5 分鐘）

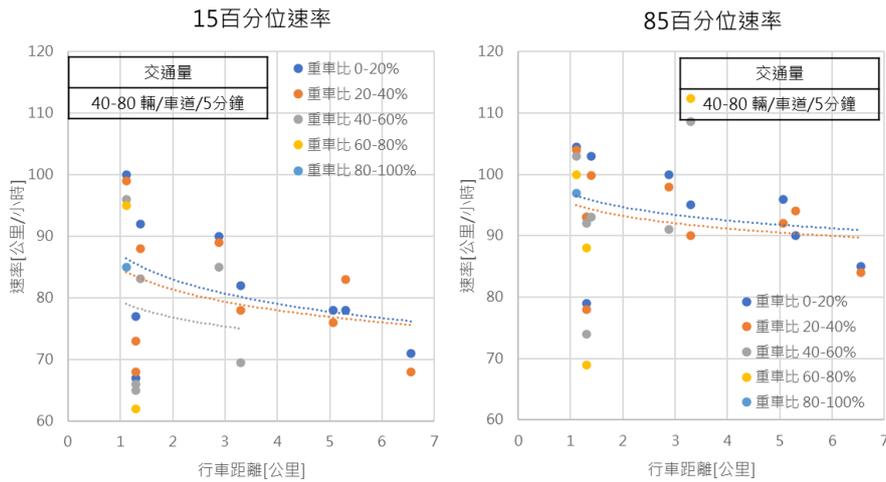


圖 21 外車道行車距離與速率之關係圖 (交通量 40-80 輛/車道/5 分鐘)

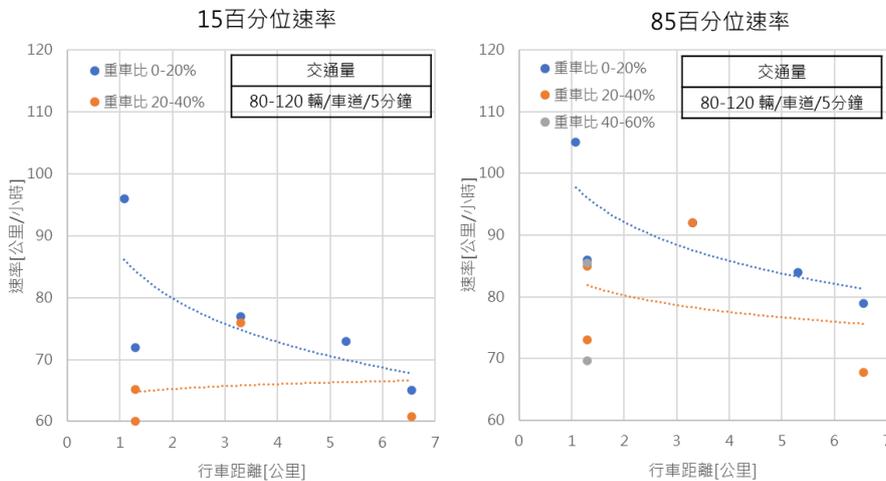


圖 22 外車道行車距離與速率之關係圖 (交通量 80-120 輛/車道/5 分鐘)

#### 4.2.2 與模擬值比較

本小節將針對本研究所得之行車距離與速率關係與曾平毅等人 (2016) 所提之代表性車輛模擬值相比。此模擬值為透過 SOG 模擬模式計算小客車、大客車、大貨車、以及聯結車，在可能的重量-馬力比下，於固定坡度路段上行駛時速率之變化。由於模擬模式是對於單一車輛在其重量-馬力比下所呈現之速率進行模擬，並未考慮車流組成及交通量之影響，故本研究將以最接近模擬情況之級距分類資料與模擬值相比。其中，將以最接近單一小客車之群組 (交通量每車道每 5 分鐘 0-40 輛車、大車比 0-20%、85 百分位速率) 與代表性小客車在坡度 3% 及 4% 下之模擬值相比，並以最接近單一大車之群組 (交通量每車道每 5 分鐘 0-40 輛車、大車比 80-100%、85 百分位速率) 與代表性大客車/大貨車/聯結車在坡度 3% 及 4% 下之模擬值相比，由於本研究所使用之資料無法區分各類型大車之占比，故將 3 種代表性大車一併列出比較。彙整全車道及外車道觀察值與模擬值之比較如圖 23 及圖 24 所示。

由圖 23 可以發現，本研究對小客車的觀察值介在坡度 3% 及 4% 下之模擬值之間，可推測小客車之觀察值與模擬值有相當程度符合。在大車方面，本研究速率觀察值之趨勢雖與模擬值

相似，然速率均高於各類大車之模擬值，故在大車方面觀察值與模擬值較為不符。在外車道的部分，由圖 24 可發現本研究對小客車之觀察值與坡度 4% 下之模擬值相近；在大車的部分，本研究之速率觀察值約落在大客車及大貨車在坡度 3% 及 4% 下之模擬值之間，亦即大車在外車道之觀察值與模擬值較為相符。

從上述觀察值與模擬值之比較可以發現，全車道之觀察值在小客車的部分與模擬值較為相近，外車道之觀察值則是在大車的部分與模擬值較為相近，此發現也呼應了大車多行駛於外車道，導致其分析結果可能與全車道有所差異之假設。然而因本研究所使用最接近單一小客車之級距分類中仍包含少部分大車（大車比為 0-20%），最接近單一大車之級距中亦包含少部分小客車（大車比 80-100%），且資料中無發區分各類大車之比例，故僅能作為初步之比較參考。

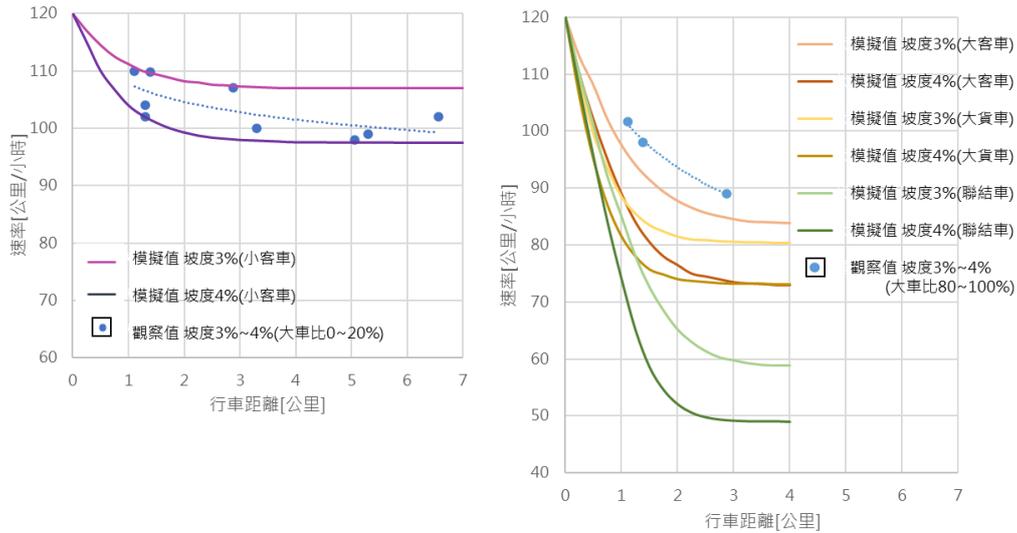


圖 23 全車道觀察值與模擬值比較

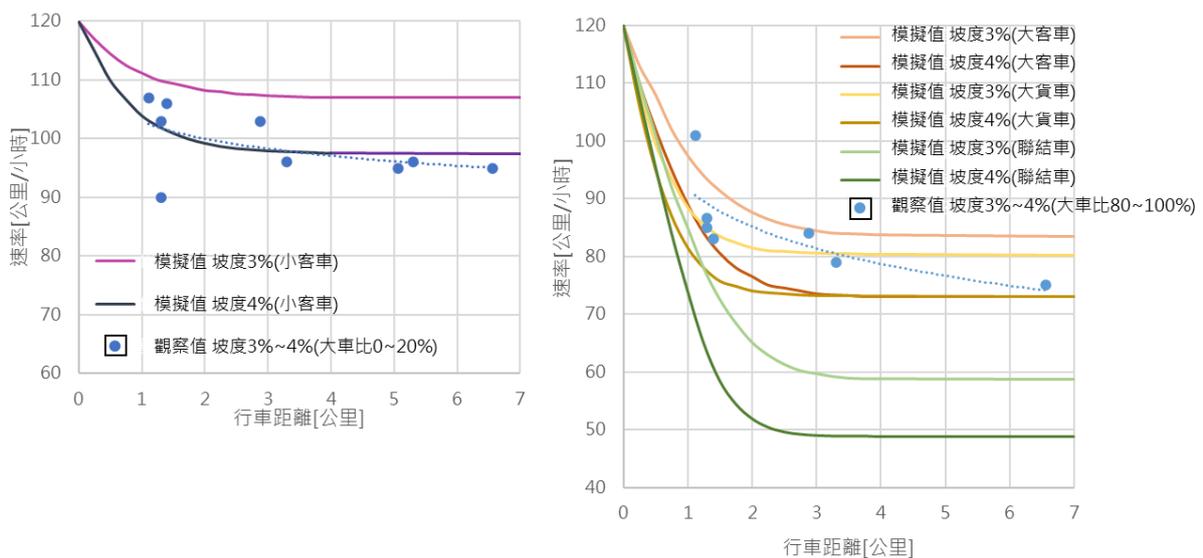


圖 24 外車道觀察值與模擬值比較

## 六、結論與建議

透過前述各項分析，本研究彙整以下結論與建議，以供後續相關研究或公路規劃設計時之參考。

### 6.1 結論

1. 整體路段坡度與速率之迴歸係數落在-0.7820 至-1.8849 之間，外側兩車道之坡度與速率之迴歸係數落在-0.6689 至-2.7300 之間，且在統計上具有顯著性，顯示坡度的確對速率有相當程度之影響。其中，外車道受坡度的影響較全車道來的大，慢車受坡度的影響較快車來的大，而大車比較高之車流受坡度的影響也較大車比較低的車流明顯。
2. 以坡度 3% 為界，坡度對速率之迴歸係數有明顯變化，坡度在小於 3% 時其迴歸係數絕對值較小，在大於 3% 時其迴歸係數絕對值較大。此發現與近田博之等人（2016）之研究所提及「以坡度 2% 區分」有些微不同。推測因本次分析資料範圍中，坡度大於 3% 且資料足夠之 VD 點位僅有 7 處，因此雖有顯著相關，但仍可能有樣本數不足而產生偏差之可能性。
3. 坡長與速率之關係成非線性的，在坡度路段（3%~4%）行駛時，速率會隨行車距離增加而降低，而隨著行車距離增加，速率的下降有逐漸減緩之趨勢。同時，大車比例越高，車流在坡度路段上行駛之速率越低，且受行車距離的影響越大。
4. 在坡長與速率之關係中，本研究最接近單一小客車之級距分類資料在全車道之觀察值與 SOG 模擬值相當程度相符，而最接近單一大車級距分類資料在外車道之觀察值也與模擬值部分相符，此發現除一定程度呼應了 SOG 模式之有效性外，也驗證了本研究巨觀分析方法之合理性。

### 6.2 建議

1. 由本研究之分析可知，路段速率與坡度之關係並非定值，在不同交通量、不同大車比下會得到不同之迴歸係數。除此之外，速率下降之幅度亦會受坡長影響，故未來於規劃及設計公路之坡度路段時，應考量該設計路段之旅次特性，將可能發生之大車比以及坡長度納入考量，以避免坡度路段成為公路之瓶頸路段。
2. 在本研究中有觀察到坡度與速率之迴歸係數在坡度大於 3% 時可能會有所變化，然因目前研究之 VD 資料點位較少，故尚足夠資料證實此一現象。建議未來可以其他方式蒐集坡度大於 2% 路段之車流特性資料，以完整探討坡度對車流特性影響及其臨界值。
3. 在本研究中所觀察之坡長與速率之關係與曾平毅等人（2016）所得到代表性車輛之模擬值在小客車上相當相符，在大車上則有較大的差異。然而因本研究於該分析項目中所使用之資料並非單一車種之資料，故此發現僅為初步之比較。建議未來使用可分辨單一車種之數據，再與模擬值進行較全面之比較，同時觀察模擬模式是否隨時間經過而有校正之需要。
4. 高速公路坡度起伏較大路段多位於北部地區，惟北部地區交流道分佈較為密集，排除交流道前後之資料點位後，於本研究可用之資料點位大幅減少。建議後續進行相關研究時，可考慮涵蓋其他國道以及不同速限之路段，透過資料整合取得更豐富之資料點位，以完整探討臺灣高速公路坡度路段相關之車流特性。

## 參考文獻

交通部高速公路局交通資料庫，擷取日期：2022 年 6 月，網站：<https://tisvcloud.freeway.gov.tw/>

林豐博、曾平毅、林國顯、蘇振維、張瓊文、鄭嘉盈、呂怡青、劉國慶、陳昭堯、王怡方(2022)，*2022 年臺灣公路容量手冊*。台北市：交通部運輸研究所

曾平毅、林豐博、蘇振維、張瓊文(2016)，「臺灣高速公路坡度路段設計之代表性車輛」，*運輸計劃季刊*，第四十五卷第一期，頁 1-22。

曾平毅、陳冠男(2016)，「高速公路上坡路段大車之小客車當量」，*運輸計劃季刊*，第四十五卷第三期，頁 165-188。

曾平毅、林豐博、蘇振維、歐陽恬恬(2015)，「臺灣高速公路坡度路段車流特性之研究」，*中華道路*，第五十四卷第三期，頁 27-41。

蘇振維、鄭嘉盈、呂怡青、林豐博、曾平毅、楊信毅、黃昶斌、張筱瑜(2012)，*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)*。台北市：交通部運輸研究所

蘇振維、歐陽恬恬、林豐博、曾平毅、顏于婷、黃昶融、陳冠男(2016)，*公路坡度路段模擬模式之發展及應用(2/3)*。台北市：交通部運輸研究所

中日本高速道路株式会社(2007)，*設計要領 第4集 幾何構造 編【本線幾何構造設計要領】*。

近田 博之、邢 健(2015)，「縦断勾配が速率に与える影響に関する実証分析」，*土木学会論文集 D3 (土木計画学)*，Vol.71, No.5 (土木計画学研究・論文集第 32 卷)，頁 I\_1011-I\_1016。

AASHTO (2011), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C.,

Bangdiwala, S. I. (2018). Regression: simple linear. *International journal of injury control and safety promotion*, 25(1), 113-115.

Brilon, W. and Weiser, F. (2006), "Two-Lane Rural Highways: The German Experience", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1988, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 38-47.

Transportation Research Board (2010), *Highway Capacity Manual 2010*. Washington, D.C.: National Research Council.