

郊區雙車道公路彎道之自由車流速率特性

Characteristics of Free-flow Speeds at Curved Sections on Suburban and Rural Two-lane Highways

曾平毅 Pin-Yi Tseng¹

鍾逸品 I-Pin Chung²

摘要

郊區雙車道公路為臺灣地區主要道路系統之一，由於其平曲線或縱曲線等幾何線形，影響駕駛行為之特性相當複雜，但臺灣交通界目前對其交通特性的了解相當有限。因此，本研究乃以雷射測速槍，調查與分析高雄 186 甲線公路之 6 個彎道路段之自由車流速率資料，以增進其公路特性的了解。經分析發現：(1)彎道上小車之平均自由速率小於機車；(2)小車在右彎車道上之平均自由速率明顯低於在左彎車道，機車則無明顯差異；(3)轉彎半徑小於 100 公尺的情形下，無論是汽車或機車的平均自由速率均明顯的降低；(4)小車及機車於彎道之平均自由速率均隨著轉彎半徑增加而增加之趨勢。最後本研究利用多元迴歸方法來建構與討論郊區雙車道公路彎道之平均自由速率與幾何條件的關係。

關鍵詞：郊區雙車道公路、彎道路段、自由車流速率、迴歸模式

Abstract

Suburban and rural two-lane highways are part of the main roadway system in Taiwan. The geometric conditions such as vertical or horizontal curves could complexly influence the driving behavior on these suburban and rural two-lane highways. However, the current understanding of the traffic flow characteristics on these two-lane highways is rather limited. Using laser speed gun, this study investigated the free-flow-speed (FFS) of vehicles at six curved sections on County Highway 186A in Kaohsiung. The studied results showed that: (1) the average FFS of cars at curved section is less than that of motorbikes; (2) only the average FFS of cars at the right-turning curves is significantly less than that of at the left-turning curves, but not motorbike; (3) the respective average FFS of cars and motorbikes decreases significantly at those curved sections with a radius of curvature of 100m or less; and (4) both the average FFS of cars and motorbikes increase with increasing radius of curvature. Finally, using multiple regression technique, this study modeled the relationship between the average FFS at curved sections and the geometric conditions of suburban and rural two-lane highways.

Keywords: Suburban and rural two-lane highways, Curved sections, Free-flow speed, Regression model

1 中央警察大學交通學系教授（聯絡地址：33304 桃園市龜山區樹人路 56 號，電話：(03)3282321 轉 4619，E-mail：una139@mail.cpu.edu.tw）。

2 中央警察大學交通管理研究所碩士。

一、緒論

郊區雙車道公路為臺灣地區主要道路系統之一，由於其有不同幾何線形（包含平曲線及縱曲線）等，影響駕駛行為之特性相當複雜，但臺灣交通界目前並不很清楚其公路幾何特性對行車之影響。事實上，公路車流運作特性受到了幾何設計及其他因素的影響，但目前的本土研究成果或是 2011 年臺灣公路容量手冊（交通部運輸研究所，2011），並沒有可靠資訊可以提供公路路段規劃設計或服務水準分析之用。而彎道路段為臺灣郊區雙車道公路常見的公路幾何設計，車輛進入彎道路段常會有速率降低的情形，交通部運輸研究所（以下簡稱運研所）自 2013 年已經陸續展開相關的研究。

不管就學理或實務而言，自由車流速率(free-flow speed)（以下簡稱自由速率）的影響因素很多，至少包括公路設施型式（中央實體分隔或標線分隔）、公路寬度（不同車道位置也會影響）、幾何條件（包括不同平曲線或縱曲線）、速率限制（或其他交通管制狀況）、氣候因素、駕駛者特性等。在幾何設計方面，平曲線及縱曲線通常是車流運作最重要也是常見的影響因素。就學理而言，縱曲線會對大車有明顯的影響，運研所(2014；2015；2016)已經進行相關的研究並發展模擬模式。但對於平曲線而言，依據現代化公路設計學理的高、快速公路幾何設計，通常不會造成彎道路段之平均自由速率明顯衰減，但是郊區雙車道公路的彎道自由速率預期會降低，但目前沒有相關的現場資料，故有進一步探討的必要。因此本研究之目的在於蒐集郊區雙車道公路彎道路段之平均自由速率現場資料，分析彎道幾何條件與平均自由速率之關係。

二、文獻回顧

2.1 郊區雙車道公路

依據 2011 年臺灣 HCM（交通部運輸研究所，2011）之定義，郊區雙車道公路是指每方向只有一車道之市郊道路或城際公路。市郊道路係指都市邊緣地區之路段，其平面交叉路口之間距一般在 2 公里以下；城際公路則是用以聯絡不同城市或鄉鎮之間，不在市區或市郊之公路，其平面交叉路口之間距一般在 2 公里以上，此種公路所通過地區兩側多為鄉村或未開發地區，而交通調查之路段距離號誌化路口須達 200 公尺以上。郊區雙車道公路依照機慢車專用道的設置與否將雙車道公路分為「標準雙車道公路」及「混合雙車道公路」兩類，分類如下：雙車道公路之兩側如設置機慢車專用道者稱為標準雙車道，如未設置機慢車專用道者稱為混合雙車道。

現代化的公路設計，平面線形是由直線(straight line)、平曲線(horizontal curve)與緩和曲線(transition curve)等三種線形要素所構成(徐耀賜,1994;龍曉暉,2004)。因為緩和曲線在工程上可以作為超高(superelevation)與加寬變化的過渡段，並可以增加行車的舒適、安全性，目前已經普遍作為直線與平曲線之漸變路段設計。

2.2 自由車流速率

依據 2010 美國 HCM (Transportation Research Board, 2010) 的定義，自由速率指一車輛在不受其他車輛、行人或號誌之干擾下依據道路狀況駕駛者所採取之最舒適的行駛速率稱為自由速率。陳惠國等人(2010)則指出此速率是在低交通量下，駕駛者有充分自由，可依其意願或速限，以接近或超過速限之速率行進，依此定義自由速率是速率(km/h)與密度(veh/km/ln)關係中，密度為 0 時所對應之理論速率，此理論速率所對應之流量(veh/h/ln)亦為 0。May(1990)則指出自由車流速率為自由車流情況(free-flow conditions)下，流量接近零時之速率。

2000 美國 HCM (Transportation Research Board, 2000)曾指出影響自由車流速率之因素有下列幾項：(1)車道寬度(lane width)，(2)橫向淨距(lateral clearance)，(3)中央分隔型態(median type)，(4)進出口(access point)，(5)平曲線與縱曲線(horizontal and vertical alignments)，(6)速率限制(speed limits)，(7)超速執法(speed enforcement)等。Ye 等人(2001)指出，一般認為最顯著之自由車流速率之影響因素為：(1)速率限制(speed limit)，(2)車道數(number of lanes)，(3)道路等級(road classification)，(4)土地使用(land use)，(5)大貨車百分比(truck percentage)，(6)氣候(weather)，(7)能見度(visibility)，(8)一天中之時段(time of day)，(9)駕駛者特性(driver characteristics)等因素。

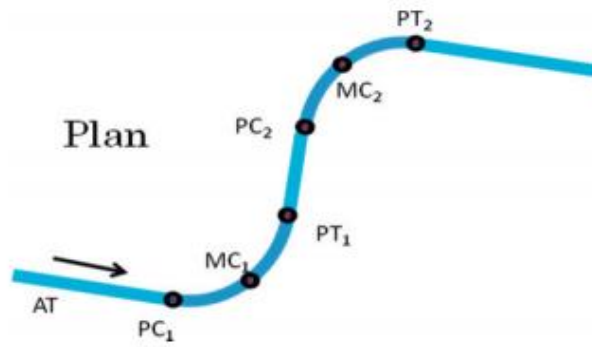
在 Agent 等人(1998)的研究指出，大部分之各級公路之自由速率高於速率限制；小車之車流速率稍微高於大車；自由速率未隨速率限制之改變而大幅改變。Ye 等人(2001)的研究發現，同樣情境下，小車之平均自由速率高於大車者；小車與大車白天之平均自由速率均高於夜間者；除小車夜間者無顯著影響外，較高速限者有較高之自由速率；郊區之自由速率高於市區者；高速公路自由速率高於非高速公路之道路設施者；車道數目對於自由速率有負面之影響。Harkey 等人(1990)的研究則發現，平均自由速率比速率限制高出 1 至 8 英哩/小時；第 85 百分位數速率比速率限制高出 6 至 14 英哩/小時，比平均自由速率高出 4 至 7 英哩/小時；各種速率限制等級狀況下，全天之自由速率無一致性的增加或減少；觀察之大部分(70.2%)自由車流駕駛者未遵守設立之速率限制。

2.3 自由車流速率與公路幾何設計之關係

曾平毅與林豐博(2004)曾探討西濱快速公路號誌化路口間距與平均自由速率的關係，結果發現此一有高設計標準之郊區多車道公路，其自由速率與號誌化路口間距有明顯之關係。間距從大約 0.5 公里增加時，平均自由速率快速增加。平均自由速率之增加率隨路口間距之增長而減緩。路口間距超過 2.5 公里時，平均自由速率趨近一穩定值。平均自由速率亦明顯的受到車種、車道位置、坡度及曲度之影響。Tseng 等人(2005)曾進一步探討郊區多車道公路的自由速率特性，研究成果與曾平毅與林豐博(2004)的研究成果相近。Tseng 等人(2013)則探討市區幹道的自由速率特性，結果發現號誌化路口間距為影響市區幹道自由速率最重要的因素。

Jacob 與 Anjaneyulu(2013)在其研究中，分別測量複合路段上各點（如圖 1 所示）：AT（駛入切線上離第一圓曲線始點 60 公尺遠處）、PC₁（第一圓曲線始點）、

PC₂ (第二圓曲線始點)、PT₁ (第一圓曲線終點)、PT₂(第二圓曲線終點)、MC₁ (第一圓曲線中點)、MC₂ (第二圓曲線中點) 之速率後，分別建立小客車、機車、公車、大貨車及所有車種的駛入切線速率、第一圓曲線中點之速率、第二圓曲線中點之速率與轉彎半徑之關係。



資料來源：Jacob 與 Anjaneyulu (2013)。

圖 1 複合路段各觀察點位置示意圖

Camacho-Torregrosa 等人(2013)曾綜合其與 Pérez 等人(2010)於圓曲線及直線的運行速率之研究成果：

1.在圓曲線上行駛之車輛的第 85 百分位數速率(v_{85})可以用下式來估計：

如轉彎半徑 R (公尺) 在 70~400 公尺範圍，

$$v_{85} = 102.048 - \frac{3990.26}{R} \quad (1)$$

如轉彎半徑 R (公尺) 在 400~950 公尺範圍，

$$v_{85} = 97.4254 - \frac{3310.94}{R} \quad (2)$$

2.在直線上行駛之車輛的第 85 百分位數速率可以用下式來估計：

$$V_{85T} = V_{85C} + (1 - e^{-\lambda \cdot L}) \cdot (V_{des} - V_{85C}) \quad (3)$$

此式中，

V_{85T} ：切線運行速率，指直線上行駛之車輛的第 85 百分位數速率 (公里/小時)；

V_{85C} ：切線前曲線之運行速率，指圓曲線上行駛之車輛的第 85 百分位數速率 (公里/小時)；

V_{des} ：理想速率 (公里/小時) (=110 公里/小時)；

$$\lambda = 0.00135 + (R - 100) \cdot 7.00625 \cdot 10^{-6}$$

R：圓曲線轉彎半徑 (公尺)；

L：直線長度 (公尺)。

研究結果顯示，所有駕駛人企圖達到理想速率（設為 110 公里/小時），然而切線運行速率仍須視由切線前曲線之運行速率可以加速或減速的切線長度而定，所以切線長度越長，運行速率就會越接近理想速率。

Kulis(2014)曾研究郊區雙車道公路小客車於白天及夜間的行駛速率特性，建議彎道提供適當的照明，可讓駕駛人於夜間能掌握彎道所在，降低夜間進彎的速率。

Morris(2012)曾針對有陡坡及平曲線之多車道公路的小客車及卡車行車速率特性進行研究，資料蒐集地點包括華盛頓州、加州、西維吉尼亞州、馬里蘭州及賓州等共 19 個路段。該研究利用最小平方方法(Ordinary Least Squares, OLS)建立進彎前及彎道中點的速率關係式。小車進彎前行駛速率的顯著變數包括轉彎半徑、進彎時的坡度、速限及平曲線之超高；於彎道中點的行駛速率顯著影響變數，則包括轉彎半徑、進彎時的坡度、速限、有否設立減速標誌、車道寬度及平曲線之超高。大貨車於進彎前及彎道中點的行駛速率，則與轉彎半徑、進彎時的坡度、大貨車速限、有否設立減速標誌及車道寬度。

2.4 綜合評析

經由以上文獻回顧，綜合評析如下：

1. 自由速率的影響因素相當多，包括設施的寬度、設施的型態、平面及縱斷線形、速率限制、氣候、駕駛者特性等，在特定環境氣候與速限條件下自由車流速率的主要影響因素為道路幾何線形。
2. 國外在幾何線形影響自由速率有一些研究，由 Jacob 與 Anjaneyulu(2013)、Camacho-Torregrosa 等人(2013)的研究結果顯示，在圓曲線上之速率主要與轉彎半徑有關，而在圓曲線與直線交界點附近之速率除與轉彎半徑有關，仍與可以加減速的長度有關。
3. 進行自由速率特性的相關研究，部分利用平均自由速率，部分利用第 85 百分位自由速率。基本上，只要利用可靠的現場資料，均可使用。
4. 國內郊區雙車道彎道之規劃設計與運作，具有本土特性，國外之文獻並不見得適用於國內使用。目前國內對於郊區雙車道彎道之交通特性分析或速率特性分析的研究相當稀少，有必要進一步蒐集現場資料，以探究其特性。而且郊區雙車道公路之彎道有右彎與左彎兩種，其不同方向自由速率比較，於進行研究過程中並未找到相關文獻，故本研究將利用現場資料進行探討。

三、現場調查

3.1 調查地點選取

本研究考量有限的資源，選取沒有明顯縱坡度、有大小不同的平曲線半徑、全線速限固定的郊區雙車道公路。經實地踏勘後，選取高雄市大樹區 185 甲線（三和路）的六個簡單型平曲線（如圖 2 所示 C1~C6），進行現場調查工作。185 甲線（三和路）總長約 3.27 公里，雙向各一車道，中央標線分隔，車道寬度 3.5 公尺，速限 40 公里/小時，調查地點如圖 2 所示，現場照片如圖 3 所示。



圖 2 現場調查地點



(a) C3 地點



(b) C6 地點

圖 3 彎道現場示意照片

3.2 調查方式

各平曲線之轉彎半徑 (R) 係利用現場測量方式進行估計。如圖 4 所示，本研究經由測量分岔點連線及曲線之中垂距，並利用以下公式計算而得：

$$R = \frac{C^2}{8M} + \frac{M}{2} \quad (4)$$

此式中：

M：曲線之中垂距（公尺）；

C：分岔點連線長度（公尺）。

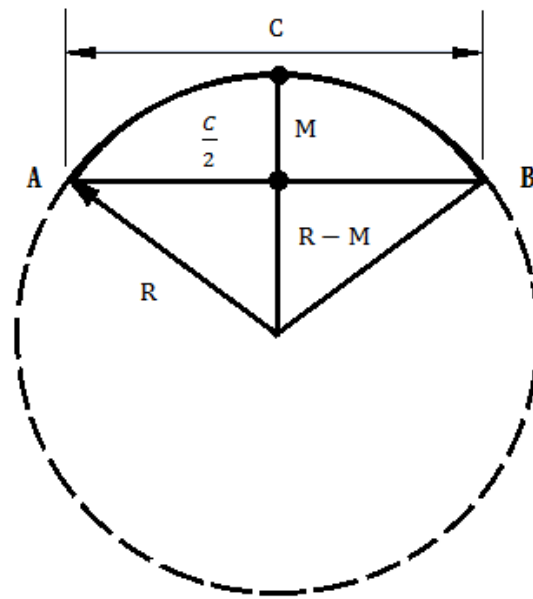


圖 4 轉彎半徑之測量與估計

車輛行駛進入彎道時，可能因線形變換及視距不良常無法辨識前方狀況，駕駛者通常會採取煞車動作，而在駛離彎道時則會採油門加速離去。如果有良好的測速工具，的確可以分別量測進彎道、彎道中間、出彎道等不同地點的速率；但由於郊區雙車道公路的轉彎半徑一般不大，於彎道期間的時間相當短，故本就利用雷射測速槍僅量測彎道中點之自由速率。

基本上，本研究設定各地點每車道小車至少調查 100 筆、機車至少 50 筆，且設定平均自由速率的估計誤差必須小於 2 公里/小時。由於平均值容易受到極端值的影響，因此本研究取得速率樣本後，以距離平均值超過 2 個標準差者為離群值 (outliers)，並予以刪除，之後再將剩餘的樣本計算其估計誤差，若大於設定數值(2 公里/小時)，則補充調查以增加樣本數，並讓估計誤差能控制在 2 公里/小時以下。

本研究蒐集郊區雙車道公路彎道路段自由速率資料時，有以下幾點原則：

1. 參考相關文獻於現場調查自由速率車輛的定義(曾平毅與林豐博, 2004; Tseng, *et al*, 2005; Tseng, *et al*, 2013)，受測車輛不前後車輛之影響，與前車至少有 4 秒以上之車距(headway)。
2. 受測車輛之對向車道沒有其它車輛。
3. 為避免量測夾角所產生的誤差，量測夾角必須控制在 15° 以下。

四、資料分析與討論

本研究現場調查的六個地點 (C1~C6)，經現場測量分岔點連線 (C) 及曲線之中垂距 (M)，獲得表 1 之轉彎半徑資料。此 6 個地點的轉彎半徑在 51 公尺及 219 公尺之間，為常見的郊區雙車道公路的彎道狀況。由於臺灣地區係靠右行駛，

故現場調查時，同時調查每一彎道雙向的車輛自由速率，亦即同一彎道有一套資料是「右彎」通過彎道，另一套資料是「左彎」通過彎道。由於公路中心樁位於公路橫斷面的中點，故右彎通過彎道受到平曲線的影響，預期比左彎通過彎道來得大。經檢視與剔除離群值之後的各調查地點自由速率資料，整理如表 2 所示。

表 1 現場調查 6 個彎道幾何設計資料

調查地點	分岔點連線(m)	曲線之中垂距(m)	轉彎半徑(m)	彎道長度(m)
C1	30.3	2.3	51	39.1
C2	43.9	1.1	219	60.5
C3	42.1	1.5	148	57.4
C4	36.2	0.8	205	54.2
C5	33.1	1.2	114	86.9
C6	32.4	0.7	187	52.3

表 2 自由車流速率特性表

調查地點	車道	車種	樣本數 (輛)	平均速率 (公里/小時)	標準差 (公里/小時)	估計誤差 (公里/小時)	85 百分位數 (公里/小時)
C1	右彎	小車	119	35.9	3.5	0.6	39.3
		機車	58	36.6	3.9	1.0	41.5
	左彎	小車	101	37.3	4.0	0.8	42.0
		機車	60	37.8	4.8	1.2	43.2
C2	右彎	小車	117	48.9	5.5	1.0	54.0
		機車	58	51.5	5.4	1.4	56.0
	左彎	小車	100	51.1	5.4	1.1	58.0
		機車	79	52.0	6.3	1.4	58.3
C3	右彎	小車	101	44.1	6.1	1.2	51.0
		機車	53	46.9	5.9	1.6	53.0
	左彎	小車	103	46.5	4.7	0.9	51.0
		機車	76	48.3	4.7	1.1	53.8
C4	右彎	小車	107	47.2	4.8	0.9	52.0
		機車	52	50.6	5.1	1.4	57.0
	左彎	小車	130	50.4	5.4	0.9	57.0
		機車	55	51.3	5.1	1.3	57.0
C5	右彎	小車	119	43.8	4.3	0.8	48.0
		機車	50	45.9	5.7	1.6	52.0
	左彎	小車	101	45.7	3.7	0.7	50.0
		機車	56	47.3	6.3	1.7	55.0
C6	右彎	小車	119	46.8	4.2	0.8	51.0
		機車	52	48.6	6.7	1.8	55.4
	左彎	小車	123	48.6	3.7	0.7	52.7
		機車	54	50.6	6.5	1.7	57.0

4.1 影響彎道自由速率之因素

4.1.1 轉彎半徑之影響

如圖 5 及圖 6 所示，不論車道別之不同轉彎半徑，其彎道中點之小車及機車平均自由速率有著一致且顯著的影響，而左彎或右彎車道均有隨著轉彎半徑增加而逐漸平緩增加之趨勢。另外，從圖 5 及圖 6 轉彎半徑與平均自由速率的趨勢關係發現，在轉彎半徑小於 100 公尺的情形下，無論是汽車或機車其平均自由速率會明顯的減低。

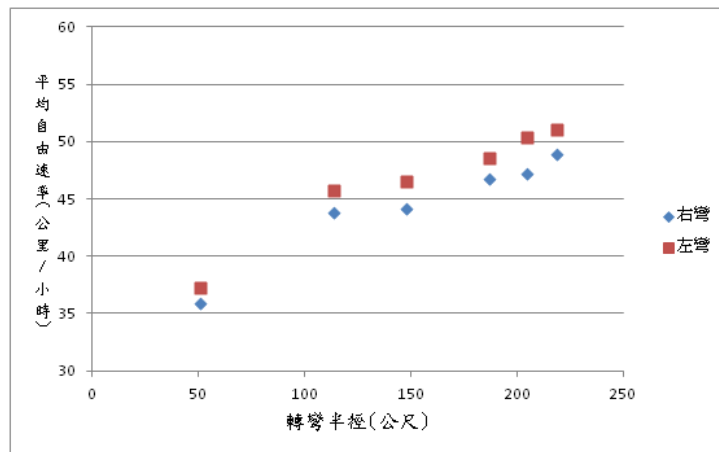


圖 5 小車平均自由速率與轉彎半徑之變化

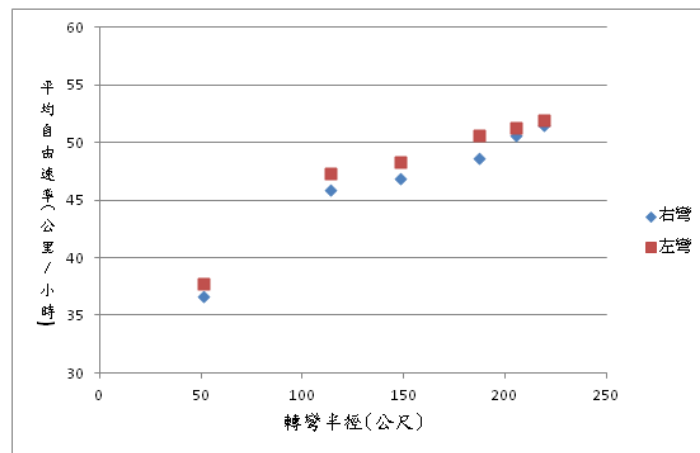


圖 6 機車平均自由速率與轉彎半徑之變化

4.1.2 不同車種之影響

本研究進一步比較同一彎道上之小車及機車平均自由速率。由表 3 知，在彎道上機車之平均自由速率略大於小車。經統計檢定，在顯著水準為 0.05 下，右彎車道上小車和機車之平均自由速率，除在 2 個轉彎半徑不同的地點並無明顯差異外，其餘 4 個轉彎半徑不同地點的差異皆達顯著水準。而左彎車道上小車和機車之平均自由速率，除在 2 個轉彎半徑不同的地點有明顯差異外，其餘 4 個轉彎半

徑則未達顯著水準，即經檢定小車與機車在左彎車道上之平均自由速率並無明顯差異。綜言之，在彎道上機車之平均自由速率略大於小車，大多數地點有統計上的顯著差異，有一小部分無明顯差異，差異不大的現象在左彎車道較為明顯。

表 3 不同車種在相同車道上平均自由速率之檢定

轉彎半徑 (公尺)	車種(右彎車道)		t值(顯著性)	車種(左彎車道)		t值(顯著性)
	平均自由速率			平均自由速率		
51	小車	機車	-1.206(0.229)	小車	機車	-0.697(0.487)
	35.93	36.64		37.31	37.80	
114	小車	機車	-2.368(0.020)	小車	機車	-1.776(0.080)
	43.81	45.94		45.68	47.32	
148	小車	機車	-2.699(0.008)	小車	機車	-2.449(0.015)
	44.14	46.91		46.52	48.26	
187	小車	機車	-1.721(0.090)	小車	機車	-2.137(0.036)
	46.85	48.58		48.63	50.65	
205	小車	機車	-4.091(0.000)	小車	機車	-1.081(0.282)
	47.21	50.62		50.39	51.29	
219	小車	機車	-2.899(0.004)	小車	機車	-1.011(0.313)
	48.94	51.48		51.10	51.99	

註：網底黑字者為具顯著性。

4.1.3 不同進彎方向之影響

以右彎或左彎方式通過同一彎道，駕駛者的視線角度及車輛操作特性可能不同，因此本研究針對以左彎或右彎通過彎道進行比較。由表 4 可知，小車在右彎及左彎車道上之平均自由速率，不論轉彎半徑的大小均達顯著差異，亦即小車在右彎車道上之平均自由速率均明顯低於在左彎車道。但由表 5 顯示，在顯著水準為 0.05 下，機車在右彎車道及左彎車道上之平均自由速率，則均無顯著差異。

表 4 小車在不同進彎方向平均自由速率之檢定

	右彎	左彎	右彎	左彎	右彎	左彎
轉彎半徑(公尺)	51		114		148	
樣本數	119	101	119	101	101	103
平均自由速率	35.93	37.31	43.81	45.68	44.14	46.52
標準差	3.5	4.0	4.3	3.7	6.1	4.7
F 值(顯著性)	4.037(0.046)		4.487(0.035)		6.819(0.010)	
T 值(顯著性)	-2.681(0.008)		-3.477(0.001)		-3.133(0.002)	
	右彎	左彎	右彎	左彎	右彎	左彎
轉彎半徑(公尺)	187		205		219	
樣本數	119	123	107	130	117	100
平均自由速率	46.85	48.63	47.21	50.39	48.94	51.10
標準差	4.2	3.7	4.8	5.4	5.5	5.4
F 值(顯著性)	2.024(0.156)		3.133(0.078)		0.000(0.996)	
T 值(顯著性)	-3.516(0.001)		-4.746(0.000)		-2.904(0.004)	

註：F 值(顯著性)是使用 Levene 檢定用來檢定變異數是否相等，網底黑字者為具顯著性。

表 5 機車在不同進彎方向平均自由速率之檢定

	右彎	左彎	右彎	左彎	右彎	左彎
轉彎半徑(公尺)	51		114		148	
樣本數	58	60	50	56	53	76
平均自由速率	36.64	37.80	45.94	47.32	46.91	48.26
標準差	3.9	4.8	5.7	6.3	5.9	4.7
F 值(顯著性)	4.255(0.041)		0.154(0.696)		3.195(0.076)	
T 值(顯著性)	-1.433(0.155)		-1.173(0.244)		-1.442(0.152)	
	右彎	左彎	右彎	左彎	右彎	左彎
轉彎半徑(公尺)	187		205		219	
樣本數	52	54	52	55	58	79
平均自由速率	48.58	50.65	50.62	51.29	51.48	51.99
標準差	6.7	6.5	5.1	5.1	5.4	6.3
F 值(顯著性)	0.258(0.612)		0.025(0.875)		4.447(0.037)	
T 值(顯著性)	-1.615(0.109)		-0.686(0.494)		-0.503(0.616)	

註：F 值(顯著性)是使用 Levene 檢定用來檢定變異數是否相等，網底黑字者為具顯著性。

4.2 彎道自由速率與幾何條件之關係

本研究以下分別探討小車及機車平均自由速率與轉彎半徑等幾何條件之關係，最後進行綜合研討。為利於以下之討論，相關變數定義如表 6。

表 6 變數定義表

變數符號	定義	說明
V_c	小車平均自由速率	單位為公里/小時
V_m	機車平均自由速率	單位為公里/小時
R	轉彎半徑	單位為 1,000 公尺
D	進彎方向(虛擬變數)	D = 0 表示右彎；D = 1 表示左彎。
M	車種別(虛擬變數)	M = 0 表示小車；M = 1 表示機車。

經以迴歸分析(Regression Analysis)建立以下彎道小車平均自由速率關係式：

$$V_c = 51.2 - 0.8 \frac{1}{R} + 2.24D \quad (5)$$

式(5)的 F 統計量為 111.603，具顯著性，調整後的判定係數 $\bar{R}^2=0.953$ ，顯示此迴歸式具有解釋能力。而且式(5)各項係數在顯著水準為 0.05 之下，均具有顯著性(明顯異於 0)，表示轉彎半徑與進入彎道方向與彎道中小車平均自由速率有關。其中，彎道小車平均自由速率與轉彎半徑成反比，亦即轉彎半徑越大，彎道之小車平均自由速率越高。而左彎進入彎道之小車平均自由速率平均高出右彎進入之小車約 2.24 公里/小時。

機車部分，亦透過迴歸分析建立以下之關係式：

$$V_m = 53.6 - 0.9 \frac{1}{R} + 1.6D \quad (6)$$

式(6)的 F 統計量為 86.185，具顯著性，調整後的判定係數 $\bar{R}^2=0.939$ ，顯示此迴歸式具有解釋能力。而且式(6)各項係數在顯著水準為 0.05 之下，均具有顯著性（明顯異於 0），表示轉彎半徑與進入彎道方向與彎道中機車平均自由速率有關。其影響關係與式(5)雷同，亦即轉彎半徑越大，彎道之機車平均自由速率越高，左彎進入彎道之機車平均自由速率高於右彎進入機車。

從式(5)及式(6)兩式的各項係數比較可知，式(6)常數項較高於式(5)，顯示機車於彎道中速率比小車高；轉彎半徑的係數，式(6)的 0.9 高於式(5)的 0.8，顯示相同的轉彎半徑對機車於彎道的自由速率影響較大，這可能與機車的操作較具靈活性有關；至於右彎或左彎進入彎道的影響，機車（係數為 1.6）則相對小於小車（係數為 2.24）。

若綜合機車與小車的資料，嘗試建立一整合的迴歸式，獲得以下關係式：

$$V = 51.9 - 0.9 \frac{1}{R} + 1.7D + 1.7M \quad (7)$$

式(7)的 F 統計量為 179.96，調整後的判定係數 $\bar{R}^2=0.959$ ，式中各項係數均具顯著性。此迴歸式的轉彎半徑與進入彎道方式對彎道中平均自由速率的影響情況，與式(5)及式(6)相同，指示加入了車種別變數（ M ），平均而言，機車於彎道中之平均自由速率高於小車 1.7 公里/小時。

本研究分析過程發現，彎道長度在各項迴歸分析中的係數並不顯著異於 0，故未納入迴歸式中。

五、結語

公路幾何設計是影響車流運作之一重要因素，本研究透過現場資料蒐集及分析，探討郊區雙車道通路彎道中點平均自由速率之特性，並利用多元迴歸模式建立關係式。本研究之成果有助於公路設計及交通安全改善之參考，重要的結論與建議事項如下：

1. 不論在左彎車道或右彎車道上，轉彎半徑對於小車及機車於彎道中點之平均自由速率，均有著一致且顯著的影響，均隨著轉彎半徑之增加而逐漸平緩增加的趨勢。從圖 5 及圖 6 轉彎半徑與平均自由速率的趨勢關係發現，在轉彎半徑小於 100 公尺的情形下，無論是汽車或機車的平均自由速率，均明顯的減低。
2. 在彎道上機車之平均自由速率略大於小車之平均自由速率，差異較為明顯的是以右彎進入彎道的影響。
3. 經檢定發現小車在右彎車道上之平均自由速率明顯低於在左彎車道上的平均自由速率，而機車左彎與右彎之平均自由速率則無明顯差異，推測可能與小車及機車之操作特性不同有關。
4. 藉由平均自由速率與幾何條件之迴歸關係式分析與討論，相關成果可供後續研究之參考。

5. 本研究的資源有限，還有很多的影響因素沒有研討，例如彎道長度、車道寬度、縱坡度、視距等，建議後續研究進一步研析。
6. 郊區雙車道公路車流量小，往往蒐集一個樣本就會耗費掉很多時間，數據的蒐集十分艱苦，但研究成果仍具發展空間。若能有較先進、完備的速率調查設備，除可以提高蒐集樣本的效率，也可以進行進彎前、彎道中與過彎後之自由速率調查，進行更廣泛的研究分析。

參考文獻

- 交通部運輸研究所(2011)，2011年臺灣公路容量手冊，100-132-1299。
- 交通部運輸研究所(2014)，公路坡度路段模擬模式之發展及應用(1/3)，103-76-1343。
- 交通部運輸研究所(2015)，公路坡度路段模擬模式之發展及應用(2/3)，104-86-1353。
- 交通部運輸研究所(2016)，公路坡度路段模擬模式之發展及應用(3/3)，105-85-2289。
- 徐耀賜(1994)，公路工程—理論與實務(上)，一版，臺北：北門書城有限公司。
- 陳惠國、邱裕鈞、朱致遠(2010)，交通工程，一版，臺北：五南圖書出版股份有限公司。
- 曾平毅、林豐博(2004)，「西濱快速公路自由車流速率特性及其應用之研究」，運輸計劃季刊，第三十三卷第四期，頁649-672。
- 龍曉暉(2004)，現代道路勘測設計，北京：清華大學出版社。
- Agent, K. R., Pigman, J. G., and Weber, J. M. (1998), "Evaluation of Speed Limits in Kentucky," *Transportation Research Record No. 1640*, Transportation Research Board, Washington, D. C., pp.57-64.
- Camacho-Torregrosa, F. J. Pérez-Zuriaga, A. M. Campoy-Ungría, J. M., and García-García, A. (2013), "New Geometric Design Consistency Model Based on Operating Speed Profiles for Road Safety Evaluation." *Emerging Research Methods and Their Application to Road Safety. Emerging Issues in Safe and Sustainable Mobility for Older Persons. The Candrive/Ozdrive Prospective Older Driver Study: Methodology and Early Study Findings*, pp. 33-42.
- Harkey, D. L., Robertson, H. D., and Davis, S. E. (1990) "Assessment of Current Speed Zoning Criteria," *Transportation Research Record No.1281*, Transportation Research Board, Washington, D. C., pp.40-50.
- Jacob, A. D. and Anjaneyulu, M. (2013), "Geometric Design Consistency of Multiple Horizontal Curves on Two-lane Rural Highways." *Proceedings of the 2nd Conference of Transportation Research Group of India*, pp. 1068-1077.
- Kulis, P. N. (2014) Daytime and Nighttime Passenger Car Operating Speed Models for Two-lane Rural Highways, Master Thesis, Department of Civil and Environment Engineering, , The Pennsylvania State University, U.S.

- May, A. D. (1990), *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- Morris, C. M. (2012), Operating Speed Models for Passenger Cars and Trucks on Horizontal Curves with Steep Grades, Master Thesis, Department of Civil and Environment Engineering, The Pennsylvania State University, U.S.
- Pérez Zuriaga, A. M., García García, A., Camacho Torregrosa, F. J. and D'Attoma, P. (2010). "Modeling Operating Speed and Deceleration on Two-lane Rural Roads with Global Positioning System Data". *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, No. 2171, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 11-20.
- Transportation Research Board (2000), Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, D. C.
- Transportation Research Board (2010), Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, D. C.
- Tseng, P. Y., Lin, F. B., and Shieh, S. L. (2005), "Estimation of Free-flow Speeds for Multilane Rural and Suburban Highways," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp.1484-1495.
- Tseng, P. Y., Lin, F. B., and Chang, C. W. (2013), "Analysis of Free-flow Speed Characteristics of Urban Arterials," *Asian Transport Studies*, Vol. 2, Issue 4, pp.363-378, Sep.
- Ye, Q., TarKo, A., and Sinha, K. C. (2001) "Model of Free-Flow Speed for Indiana Arterial Roads," *Transportation Research Record No.1776*, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp.189-193.

(收稿 105/7/26，第一次修改 105/9/26，第二次修改 105/10/19，接受 105/11/7，
定稿 105/11/10)