

# 臺灣高速公路坡度路段設計之 代表性車輛<sup>1</sup>

## REPRESENTATIVE VEHICLES FOR DESIGN OF GRADE SEGMENTS ON TAIWAN'S FREEWAYS

曾平毅 Pin-Yi Tseng<sup>2</sup>

林豐博 Feng-Bor Lin<sup>3</sup>

蘇振維 Cheng-Wei Su<sup>4</sup>

張瓊文 Chiung-Wen Chang<sup>5</sup>

(103 年 12 月 12 日收稿， 104 年 7 月 8 日第 1 次修改， 104 年 10 月 14 日第 2 次修改，  
105 年 3 月 10 日定稿)

### 摘要

為協助公路坡度路段設計及服務水準分析，交通部運輸研究所（以下簡稱運研所）乃進行一計畫以研究發展一微觀模擬模式，此模式稱為 Traffic-on-Grade (TGS) 模式。TGS 模式採用 Speed-on-Grade (SOG) 模式估計車輛在坡度路段之瞬間旅行速率。公路坡度路段之各種車輛自由速率的變異，為一公路設計之重要考量，因為其與交通安全及服務水準密切相關。許多國家都利用一些特定質量與馬力比值的代表性車輛進行公路設計。臺灣於公路設計方面，對於使用哪些代表性車輛一直不太清楚。本研究利用 SOG 模式及國道 1 號之平均自由速率特性，探討適用於臺灣高速公路坡度

- 
1. 本文初稿曾於 103 年中華民國運輸學會年會暨學術論文研討會中發表。
  2. 中央警察大學交通學系教授 (聯絡地址:333 桃園市龜山區樹人路 56 號 中央警察大學交通學系；電話：03-3281991；E-mail: una139@mail.cpu.edu.tw)。
  3. 美國 Clarkson 大學土木與環境工程學系教授。
  4. 交通部運輸研究所運輸計畫組組長。
  5. 交通部運輸研究所綜合技術組組長。

路段設計之代表性車輛。模擬結果指出，聯結車、大貨車、大客車及小車（機車除外）的代表性車輛質量與馬力比分別為 125、64、75 及 50kg/kW。本研究並提出代表性車輛在坡度不變之上坡路段的自由速率與旅行距離關係，以協助坡度路段之幾何設計。

**關鍵詞：**高速公路；坡度路段；公路幾何設計；模擬模式；代表性車輛

## ABSTRACT

*To assist in the design and level-of-service analysis of highway grade segments, the Institute of Transportation (IOT), Ministry of Transportation and Communications initiated a project to develop a microscopic simulation model. This model, referred to as Traffic-on-Grade Simulation (TGS) Model, employs Speed-on-Grade (SOG) sub-model to estimate the instantaneous accelerations and speeds of a vehicle on a grade segment. Variation of the free-flow speeds of vehicles is an important consideration in the design of grade segment because it affects not only traffic safety but also level of service. Many countries have specified representative vehicles with various weight-to-horsepower ratios for highway design. For the design of Taiwan's highways, it is not clear what representative vehicles should be used. This study uses the SOG model to identify representative vehicles that exhibit the average free-flow speed characteristics observed on Taiwan's National Highway 1. Simulation results reveal representative trailer-truck, single-unit large truck, large bus, and small vehicle (excluding motorcycle) have weight-to-horsepower ratio (in kg/kW) of 125, 64, 75, and 50, respectively. Characteristic relationships between free-flow speed and travel distance of these vehicles on uniform upgrades are presented for design applications.*

**Key Words:** *Freeway; Grade segment; Highway geometric design; Simulation model; Representative vehicle*

## 一、前言

為了協助公路規劃，設計及作業績效的評估，許多國家的公路設計規範及容量分析方法皆提供代表性大貨車在單純上坡及下坡之行車特性或對交通作業之影響的資料。以美國為例，American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 的公路設計規範<sup>[1]</sup> 提供了代表性大貨車（質量與馬力比：120kg/kW）上下坡時速率與行車距離的關係，並建議大貨車上坡時速率的減低最好能在 15 公里／小時以下。美國 Transportation Research Board (TRB) 之 HCM (Highway Capacity Manual, 亦即公路容量手冊)<sup>[2]</sup> 一直都採用 AASHTO 之資料，並根據大貨車之比例、坡度及坡長，訂定大貨車之小客車當量 (passenger car equivalent, pce) 來衡量大貨車對交通作業績效的影響。

目前我國用於公路設計之規範為「公路路線設計規範」<sup>[3]</sup>，設計縱坡路段時之爬坡性能曲線，係直接引自美國 AASHTO 規範，其所使用之馬力載重比為 10 馬力/公噸之載重車輛。由於大車在公路坡度路段之運作行為，為公路縱坡設計之關鍵。我國以往沿用美國 AASHTO 的規範是否合宜？臺灣高速公路坡度路段之大車對車流實際影響情形為何？適用於臺灣高速公路坡度路段設計之代表性車輛為何？這都是值得進一步探究的重要課題。事實上，臺灣高速公路上的大車性能及載重狀況，並不會與美國相同，實際的車輛操作也不相同，不管就基礎研究或是實務應用的觀點，透過本土化之公路容量與服務水準分析研究，回饋重新檢視基礎的公路設計要素或參數，實有其必要性。

運研所有鑑於臺灣交通界對坡度路段交通作業績效及其影響因素的關係缺乏了解，而 2011 年臺灣公路容量手冊<sup>[4]</sup>尚無可靠的資料以供規劃、設計及評估服務水準的參考，乃於 2013 年開始進行一個 3 年期的計畫，來發展一模擬公路坡度路段車流運作的工具。第 1 年期的工作已經完成，除探討高速公路坡度路段上沒有交流道的車流特性，也發展坡度路段模擬 (traffic-on-grade simulation, TGS) 模式<sup>[5]</sup>。此模式採用 speed-on-grade (SOG) 模式<sup>[5]</sup>來模擬車輛在上、下坡時之瞬間自由旅行速率 (以下簡稱自由速率)。其模擬結果可協助公路設計及服務水準之分析。本研究根據現場資料及 SOG 模式之模擬結果，呈現可提供臺灣高速公路坡度路段設計之代表性車輛性能。實務上而言，為了協助公路規劃、設計及作業績效的評估，許多國家的公路設計規範及容量分析方法，皆提供代表性大貨車在單純上坡及下坡之行車特性或對交通作業之影響的資料；尤其是要利用車流模擬模式進行公路坡度路段車流模擬分析時。由於質量與馬力比是影響車輛於坡度路段行駛特性的關鍵變數，因此探討能反映實際坡度路段上車流行為之代表性車輛的質量與馬力比，乃成為一重要的研究課題。

本研究首先說明世界各國分析公路坡度路段之作法，其次介紹 SOG 模式及以高速公路現場資料之校估工作，而後提出適合臺灣設計高速公路坡度路段之代表性車輛，最後並呈現各種車輛之爬坡性能曲線。

## 二、代表性車輛的重要性

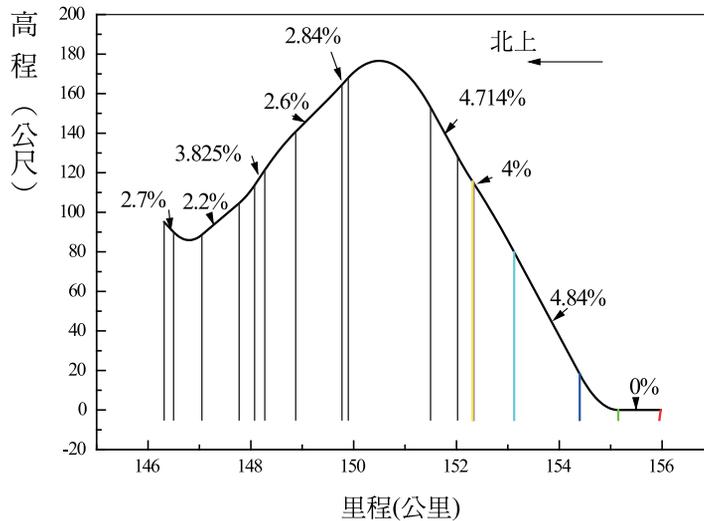
AASHTO 利用質量/馬力比為 120kg/kW 的代表性大貨車，分析上下坡時自由速率與行車距離的關係，以進行高速公路坡度路段之設計<sup>[1]</sup>；若自由速率受到坡度、坡長等影響的變化很大，則不是理想的公路設計，並建議大貨車上坡時速率的減低最好能在 15 公里/小時以下；臺灣也採相同的設計規範。

事實上，自由速率與坡度、坡長的關係及坡度路段之服務水準，難以利用現場資料來建立分析性模式，因此，國外交通界常利用模擬模式 (simulation model) 協助建立設計規範或分析方法。美國 HCM 所訂定大貨車的小客車當量 (pce) 乃根據 CORSIM 5.0 之模擬結果<sup>[6]</sup>；該手冊用來分析雙車道公路的分析方法則依賴 TWOPAS (St. John 與 Harwood<sup>[7]</sup>；

Dixon 等人<sup>[8]</sup>) 模擬模式。德國發展其公路容量手冊時利用 LASI 模擬模式<sup>[9]</sup>，來訂定大貨車在不同比例時對平均旅行速率的影響。

美國 HCM 處理坡度車流時，乃將大車轉換成小車，然後依據坡度、坡長及大車比例將車流轉換成其特定基本狀況下之對等車流，以分析其服務水準。但在這分析過程中，並沒有考慮坡度對自由車流速率之影響，而不同自由車流速率所對應之流率與速率關係有所不同，故分析結果常不能反應實際的服務水準。換言之，因為不同公路上大車之性能及載重可能不同，因此美國 HCM 訂定大貨車的小客車當量 (pce) 來分析坡度路段的適用性，令人質疑<sup>[10]</sup>。德國<sup>[11,12]</sup> 在發展其公路容量手冊時，曾考慮使用小客車當量來評估大貨車的影響，但大貨車的小客車當量不僅受坡度、坡長、大貨車比例的影響，也受到其他因素(如流率等) 的影響。因此德國交通界認為小客車當量不適用。

另一方面，目前世界各國在分析坡度路段時皆忽視坡度及坡長對小車速率的影響。但是運研所在國道 1 號高速公路三義坡度路段(縱向剖面示意圖如圖 1) 蒐集的資料顯示<sup>[13]</sup>，小車從平坦路段進入一坡度在 4%~4.9% 之上坡路段之後，其平均自由速率在 2 公里之行車距離內從 105 公里/小時降到 88 公里/小時。如果這種速率的下降也發生在高流率之狀況，則其所產生的衝擊波可能向上游傳遞而造成嚴重的塞車。因此坡度及坡長對小車速率的影響有必要進一步探討。

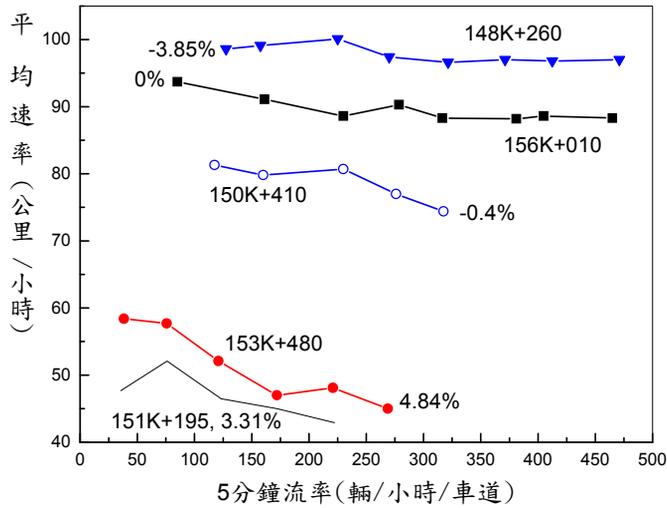


資料來源：交通部運輸研究所<sup>[13]</sup>。

圖 1 國道 1 號高速公路三義路段之縱切面示意圖

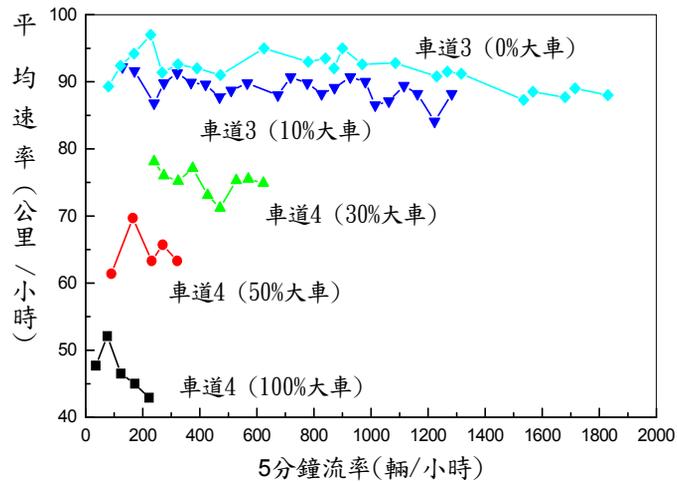
另由臺灣三義路段的現場資料<sup>[13]</sup> 圖 2 及圖 3 顯示，自由旅行速率與流率－速率關係息息相關，大車比例也明顯影響流率－速率關係。換言之，自由速率明顯影響在某一交通需求時之服務水準。因此有必要估計自由速率才能進一步探討路段之幾何設計是否理想，

及如何調整坡度、坡長、車道數、爬坡道之設計等幾何狀況之組合。至於分析的對象，即是作為公路坡度路段設計用之代表性車輛。簡言之，欲分析公路坡度路段之服務水準，有必要先了解代表性車輛在坡度路段之運作情形；可作為臺灣高速公路設計之用的代表性車輛為何，正是本研究主要探討對象。



資料來源：交通部運輸研究所<sup>[13]</sup>。

圖 2 三義路段坡度對純小車車流之流率與速率關係的影響



資料來源：交通部運輸研究所<sup>[13]</sup>。

圖 3 三義上坡路段大車比例對流率與速率關係的影響

### 三、SOG 模式及其測試

#### 3.1 SOG 模式

為了發展一適用於分析臺灣公路坡度路段的模擬工具，運研所<sup>[14]</sup>曾根據理論建立了一估計大車在坡度路段瞬間自由速率的模擬模式。此模式後來稱為「貨車速率模擬模式 (truck speed simulation model)」(簡稱 TSS 模式)。事實上，TSS 模式也可用來模擬不同車種之瞬間自由旅行速率，因此運研所將此模式改稱為 speed-on-grade (SOG) 模式。此模式又分為兩種版本，其中一版本可應用在根據現代設計標準，亦即有一連串縱切線 (vertical tangent) 及拋物線形縱曲線 (parabolic vertical curve) 所設計或建造之公路。另一版本可應用在非根據現代設計標準所建造之公路。運研所已將此兩種版本之執行檔及使用方法之說明，放在其容量分析之網頁上。

SOG 模式曾用國道 1 號三義及林口坡度段之現場資料加以測試及微調。此模式可合理的模擬上坡自由旅行速率之變化。下坡時之模擬速率比現場速率提早到達下坡時駕駛員欲採用之最高速率。這現象是因為下坡時，駕駛員可能不踩油門，甚至煞車減速以保持與前車有安全距離或超速被取締之可能。如根據駕駛員之人為因素調整模擬之邏輯，則模擬值可相當接近現場值，但不同下坡路段是否須採用不同之模擬邏輯，則尚無足夠的現場資料來探討。

#### 3.2 SOG 模式測試

SOG 模式之坡度路段加速率模式，提供一估計車輛在上、下坡時瞬間速率的工具。本小節進一步測試 SOG 模式於臺灣高速公路坡度路段之實用性。

國外公路設計規範或容量分析手冊一般根據一代表性大車訂定大車在坡度路段上行車距離與速率的關係，然後用這些代表性關係評估公路設計或現有交通作業的好壞。本研究蒐集美國 AASHTO<sup>[1]</sup> 及德國<sup>[12]</sup> 設計公路的代表性速率與行車距離關係，利用其設計車輛的質量／馬力比，測試 SOG 模式是否能夠產出像該兩國的大車於坡度路段之行車距離與速率關係，以測試及驗證 SOG 模式模擬高速公路車流運行之可應用性。

整理 SOG 模擬結果如表 1 及表 2 所示。由這兩個表可知，AASHTO 之代表性大車為質量／馬力比為 120 kg/kW 之貨車 (相當於每 kW 之馬力需要承擔 120 公斤之質量)，德國之代表性大車則是 143 kg/kW。這些車輛以一特定速率進入一坡度不變之上坡路段之後，其代表性速率與行車距離的關係分別如表 1 及表 2。根據此兩表所示之代表性大車馬力、質量，及進入上坡起點之起始速率，SOG 模式之加速率模式可模擬這些代表車之速率與行車距離的關係。

表 1 自由速率 SOG 模式模擬值與 AASHTO 設計值之比較

行車距離 (公尺)	自由速率 (公里/小時)					
	坡度+2%		坡度+4%		坡度+6%	
	AASHTO	SOG 模擬值	AASHTO	SOG 模擬值	AASHTO	SOG 模擬值
0	110	110.0	110	110.0	110	110.0
200	106	105.5	102	100.8	96	95.9
400	103	101.3	92	92.1	81	81.9
600	100	97.5	85	83.8	68	68.2
800	96	94.1	77	76.3	55	55.6
1,000	93	91.0	71	69.6	44	46.0
1,200	91	88.3	65	64.1	40	40.7
1,400	89	86.0	60	59.7	38	38.6
2,000	83	80.7	52	53.1	38	37.7

註：貨車質量 31,320kg，馬力 261kW，質量/馬力比 120kg/kW。

表 2 自由速率 SOG 模擬值與德國公路設計值之比較

行車距離 (公尺)	自由速率 (公里/小時)					
	坡度+2%		坡度+4%		坡度+6%	
	德國	SOG 模擬值	德國	SOG 模擬值	德國	SOG 模擬值
0	80	80.0	80	80.0	80	80.0
200	79	77.7	72	71.4	65	64.7
400	77	75.7	65	63.8	50	50.2
600	76	74.0	57	57.3	37	39.2
800	74	72.6	51	52.4	30	34.1
1,000	73	71.4	47	49.0	29	32.7

註：貨車質量 34,500kg，馬力 254kW，質量/馬力比 143kg/kW。

從上述兩表可知，根據美國及德國代表性車輛，SOG 模式之模擬速率與行車距離的關係，很接近 AASHTO 及德國所訂之代表性關係。運研所並根據三義及林口路段的自由速率資料，利用 SOG 模式之坡度路段加速率模式及不同的馬力與質量之組合，以訂定能合理模擬現場狀況之組合<sup>[5]</sup>。

## 四、坡度路段設計用之代表性車輛

設計公路時應採用之代表性車輛隨公路之性質而變。一般供大小車使用之公路深受大型車輛之性能及尺寸之影響，所以必須用大型車輛（如半聯結車）作為代表性車輛。如果一公路只讓小車使用，則須用小車作為代表性車輛。

代表性車輛一重要特性是其馬力及總重。行駛一高速公路之車輛的馬力及總重事實上是一未知數。其中大型貨車之總重還可以從地磅站的資料來探討，小型車之總重及所有車種在某一瞬間所採用之馬力則難以從現場調查取得資料。在這情況下，模擬模式可用來尋找總重及馬力之組合，然後比較不同組合時之模擬結果與現場平均自由速率來訂定代表性車輛之總重及馬力。

本節先介紹地磅站資料所顯示之大車總重特性及車輛測試中心提供之馬力資料，然後討論模擬結果所顯示之代表性車輛。

### 4.1 臺灣高速公路大車總重及馬力狀況

目前沒有臺灣各型車輛之質量及馬力組合之統計數據可參考。一般小車（包括小型貨車）的空車質量可能低於 800 公斤，也可能超過 3,000 公斤。其馬力也隨車而變。以在臺灣相當普遍的 Toyota Corolla 為例，其 2013 年型車輛在引擎速率 6,000 rpm（轉／分鐘）時的馬力為 132 hp (98.4kW)，空車質量大約有 1,370 公斤。Toyota Camry (2013 年型) 之空車質量大約為 1,600 公斤，引擎速率為 6,000 rpm 時之馬力為 178hp (132.8kW)。相對而言，臺灣大客車之質量多數在 17,000 公斤以下，馬力則在 200kW 以下。

至於大型貨車，表 3 顯示在國道 1 號及 3 號高速公路 6 地磅站的資料顯示半聯結車所佔的比例超過 50%。全聯結車只占 2%~7%，其他為單體大貨車。通過上述地磅站之大貨車、半聯結車及全聯結車之平均質量各為 10,700 公斤、32,400 公斤及 39,600 公斤。臺灣車輛測試中心合格發證的大貨車馬力在 160kW 及 220kW 之間。半聯結車及全聯結車之馬力各在 160~340kW 及 170~340kW 之範圍。半聯結車馬力之中間值為 250kW。從這些數據可知半聯結車及全聯結車每一 kW 馬力所須承擔之平均質量遠高於大貨車。因此，聯結車之爬坡特性一般比大貨車差，但車流當中全聯結車之比例很低。

個別車輛之質量及駕駛員所採用之馬力異於代表性車輛之特性。但是上坡時的加速特性與質量／馬力比有深遠的關係。只要質量／馬力比相同，不同車輛的加速性能會類似。為了模擬方便，TGS 模式將同一車種之所有車輛的馬力用一常數來代表，但個別車輛有不同的質量。根據高速公路 6 個地磅站的資料，TGS 模式用圖 4 之質量分布來代表各大型貨車質量之分布。

表 3 通過高速公路地磅站大車之平均總重量 (kg) 及樣本數

公路	收費站	大貨車	半聯結車	全聯結車	所有大車
國 1	員林	10,224(3,636)	26,328(5,650)	35,237(714)	21,109(10,000)
	后里	10,860(4,290)	28,881(4,870)	38,998(210)	20,227(9,370)
	岡山	10,834(3,026)	36,828(6,308)	45,845(666)	29,563(10,000)
	造橋	11,837(4,701)	31,391(5,046)	35,225(235)	22,289(9,982)
國 3	樹林	9,691(4,616)	33,859(5,213)	41,810(317)	22,839(10,146)
	大甲	10,722(3,780)	35,869(5,891)	37,397(239)	26,400(9,910)

註：( )內之數據為樣本數。

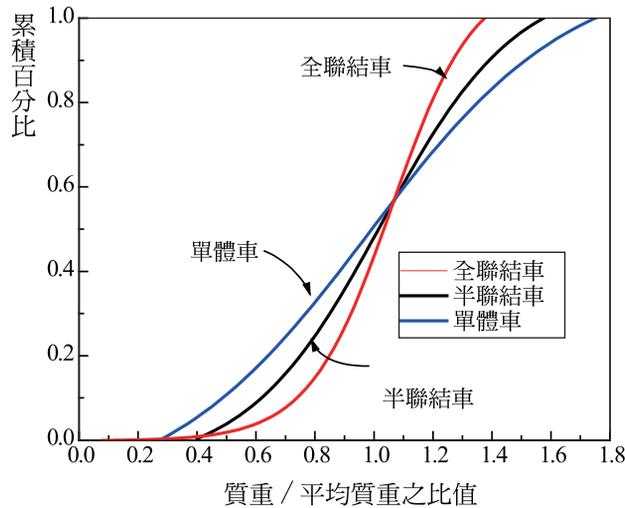


圖 4 大型貨車代表性質量分布

至於小車 (包括小型貨車) 及大客車 (包括乘客) 之質量, 目前沒有參考資料。TGS 模式假設個別小車之質量為代表性質量之 50%到 150%。個別大客車之質量則為代表性質量之 82%到 118%。

#### 4.2 代表性聯結車

三義及林口兩路段上絕大多數 (超過 70%) 之大型車輛使用外車道及爬坡道。三義的現場資料沒將大車分類。林口路段之大型貨車則分為大貨車及聯結車 (包括半聯結車及全聯結車)。外車道及爬坡道上之大車多數為聯結車。這些車道上的車輛平均自由速率現場值及模擬值列於表 4~表 7。模擬值假設南下或北上起點之模擬速率與現場速率相同。下坡時之模擬最高速率, 則大約等於現場觀察到之最高平均速率。

表 4 及表 5 顯示使用爬坡道之車輛的平均速率顯著的比一直使用外車道之車輛低。因此外車道在爬坡起點上游的車輛與起點下游的車輛有不同之爬坡特性。換言之，外車道在爬坡道起點上下游的車輛有顯著不同之馬力與質量組合。但是這種組合的差異無法從現場資料來分辨。因此，本研究假設一直使用外車道之車輛有同樣的馬力與質量組合，進入爬坡車道之馬力與質量組合，亦與爬坡道上游外車道之馬力與質量組合相同。

表 4 三義路段北上大車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程 (公里)	坡度(%)	現場值(公里/小時)		模擬值(公里/小時)	
		外車道	爬坡道	質量 22,000(公斤)	質量 27,500(公斤)
155K+200	0	92.2		92.2	92.2
153K+123	4.8	59.1	43.1	52.4	43.3
152K+318	4.0	59.4	46.5	55.6	43.0
151K+496	4.6	50.2	43.2	52.9	43.9
149K+773	-2.8	83.0		89.8	83.3
148K+873	-2.6	86.7		92.0	92.0
148K+173	-3.9	91.7		92.0	92.0
149K+950	-3.2	90.9		92.0	92.0

註：模擬車馬力=220kW；動力傳輸效率=85%。

表 5 三義路段南下大車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程 (公里)	坡度(%)	現場值(公里/小時)		模擬值(公里/小時)	
		外車道	爬坡道	質量 15,000(公斤)	質量 21,500(公斤)
146K+948	1.5	87.1		87.1	87.1
148K+273	3.9	85.8	75.7	83.2	72.5
149K+898	2.8	85.5	69.0	84.8	71.5
152K+023	-4.7	86.7		91.0	86.4
152K+323	-4.0	87.2		91.0	88.6
153K+850	-4.8	90.7		91.0	91.0
154K+000	-4.8	87.2		91.0	91.0

註：模擬車馬力=220kW；動力傳輸效率=85%。

表 6 林口路段北上外車道聯結車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程(公里)	坡度(%)	現場值(公里/小時)	模擬值(公里/小時)
48K+000	1.1	85.1	85.1
46K+800	2.1	81.9	86.0
46K+400	2.4	80.2	86.0
45K+500	4.7	86.1	72.9
44K+650	4.2	77.2	67.5
43K+500	3.0	67.3	71.0
39K+000	-5.3	85.7	91.5
38K+000	-3.8	85.5	91.5
37K+000	-2.8	91.9	91.5

註：模擬車質量=16,500 公斤；馬力=220kW；動力傳輸效率=85%。

表 7 林口路段南下外車道聯結車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程(公里)	坡度(%)	現場值(公里/小時)	模擬值(公里/小時)
36K+500	3.0	85.1	85.1
39K+300	5.1	60.0	61.2
40K+000	5.2	61.1	60.6
43K+300	-2.2	87.6	87.0
45K+500	-4.7	79.3	87.0
48K+100	-1.1	85.8	87.0

註：模擬車質量=16,500 公斤；馬力=220kW；動力傳輸效率=85%。

從表 4 可知，若將三義路段北上之模擬車（半聯結車）的馬力、質量及動力傳輸效率各設定為 220kW、22,000 公斤及 85%，則模擬車速率隨地點的變化近似外車道現場車輛之速率。如欲模擬進入爬坡道之車輛，則質量須增高到 27,500 公斤。另一方面，表 5 顯示三義南下路段模擬車的馬力如也設定 220kW，則質量須比北上車輛減輕 6,000~7,000 公斤才能合理的模擬南下大車之速率特性。表 6 及表 7 則顯示林口路段南北向之聯結車可用 220kW 馬力，16,500 公斤質量及 85%動力傳輸效率之模擬車來代表。這質量比三義北上模擬車之質量輕得多。因此，可推測三義路段北上之現場大車樣本大多數為總重量較高的半聯結車或全聯結車。

### 4.3 代表性大貨車

表 8 及表 9 顯示林口路段外車道上大貨車上下坡時速率變化之現場值及模擬值。林口資料因為影像處理的精確度可能不理想，所以有些地點之速率正確性有疑問。例如表 8 所示，在 45K+500 現場平均速率為 84.2 公里／小時，比在 46K+400 之 81.0 公里／小時高。但是從 46K+400 到 45K+500 之間的坡度從 2.4%增高到 4.7%，所以大貨車從 81.0 公里／小時之速率繼續上坡並進入較陡的路段時，應該會減速，而非加速。在這種資料正確性不能確定之情況下，在表 8 及表 9 顯示 10,000~10,500 公斤質量、165kW 馬力及 85%動力傳輸效率之模擬大貨車的速率特性大致類似。

表 8 林口路段北上外車道大貨車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程(公里)	坡度(%)	現場值(公里／小時)	模擬值(公里／小時)
48K+000	1.1	91.6	91.6
46K+800	2.1	82.0	89.4
46K+400	2.4	81.0	89.2
45K+500	4.7	84.2	76.0
44K+650	4.2	76.5	72.4
43K+500	3.0	75.0	75.7
39K+000	-5.3	89.9	93.0
38K+000	-3.8	88.8	93.0
37K+000	-2.8	93.4	93.0

註：模擬車質量=10,000 公斤；馬力=165kW；動力傳輸效率=85%。

表 9 林口路段南下外車道大貨車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程(公里)	坡度(%)	現場值(公里／小時)	模擬值(公里／小時)
36K+500	3.0	81.2	81.2
39K+300	5.1	66.0	65.3
40K+000	5.2	62.7	65.1
43K+300	-2.2	88.5	88
45K+500	-4.7	79.1	88
48K+100	-1.1	84.3	88

註：模擬車質量=10,500 公斤；馬力=165kW；動力傳輸效率=85%。

#### 4.4 代表性大客車

三義路段的資料顯示北上大客車上坡之後的速率顯著的下降，南下大客車上坡之後的速率則最多只降 4.8 公里／小時。本研究只模擬北上大客車之速率。結果列於表 10。從此表可知大客車可用 200kW 馬力，13,000~15,000 公斤質量及動力傳輸效率 85%之模擬車來代表。

表 10 三義路段北上大客車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程 (公里)	坡度(%)	現場值(公里／小時)		模擬值(公里／小時)	
		外車道	爬坡道	質量 13,000(公斤)	質量 15,000(公斤)
155K+200	0	100.0		100.0	100.0
153K+123	4.8	75.8	67.2	74.2	67.9
152K+318	4.0	75.9	68.4	76.2	67.5
151K+496	4.6	74.1	69.7	74.3	68.1
149K+773	-2.8	90.0		96.0	94.3
148K+873	-2.6	90.4		96.0	96.0
148K+173	-3.9	96.2		96.0	96.0
149K+950	-3.2	95.8		96.0	96.0

註：模擬車馬力=200kW；動力傳輸效率=85%。

#### 4.5 代表性小車

世界各國在設計公路或分析容量及服務水準時，通常不考慮坡度路段對小車的影響。但是運研所在三義及林口北上路段蒐集的資料顯示，長而且陡之上坡對小車的速率有顯著的影響。因此 TGS 模式之模擬車流也須反映這現象。表 11 及表 12 顯示小車可用 30kW 馬力、1,500~1,580 公斤質量及動力傳輸效率 90%之模擬車來代表。一般小車之最大馬力超過 100kW，但代表性小車之馬力只有 30kW。這是因為駕駛員通常不會以一車輛所能供給的最大馬力行駛。例如在平坦路段上，1 輛質量 1,400 公斤之小車只要有大約 20kW 之馬力就可以維持高於 110 公里／小時之速率。

#### 4.5 代表性車輛彙整

評估坡長及坡度組合所用之代表性車輛應是爬坡性能最差而且通行頻率不能忽視的車種。根據所述分析，可綜合得表 13 所列之質量及馬力做為 4 車種之代表屬性。這些車

種中，聯結車（包括半聯結車及全聯結車）的代表性質量與馬力比（125kg/kW）接近 AASHTO 所用代表性大車之質量與馬力比（120kg/kW）。大客車之質量與馬力比大於大貨車，因此預期待表性大客車比表性大貨車有較差的爬坡性能。

表 11 三義路段北上外車道小車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程(公里)	坡度(%)	現場值(公里/小時)	模擬值(公里/小時)
155K+200	0	105.0	105.0
153K+123	4.8	87.9	89.7
152K+318	4.0	91.4	91.4
151K+496	4.6	90.9	89.9
149K+773	-2.8	93.9	99.0
148K+873	-2.6	93.3	99.0
148K+173	-3.9	97.1	99.0
147K+950	-3.2	99.2	99.0

註：模擬車質量=1,580 公斤；馬力=30kW；動力傳輸效率=90%。

表 12 林口路段北上外車道小車平均自由速率之現場值及模擬值

地點里程(公里)	坡度(%)	現場值(公里/小時)	模擬值(公里/小時)
48K+000	1.1	104.6	104.6
46K+800	2.1	98.5	106.0
46K+400	2.4	106.4	106.0
45K+500	4.7	103.3	99.9
44K+650	4.2	92.4	95.1
43K+500	3.0	98.6	97.5
39K+000	-5.3	107.2	107.0
38K+000	-3.8	102.0	107.0
37K+000	-2.8	103.5	107.0

註：模擬車質量=1,500 公斤；馬力=30kW；動力傳輸效率=90%。

表 13 各車種之代表性質量及馬力乃根據目前有限的現場自由速率所訂定。將來若有比較完整的上坡自由速率資料，則可探討是否修訂表 13 資料。

表 13 代表性車輛之性質

車種	質重(kg)	馬力(kW)	質量／馬力比(kg/kW)	動力傳輸效率
聯結車	27,500	220	125	0.85
大貨車	10,500	165	64	0.85
大客車	15,000	200	75	0.85
小車	1,500	30	50	0.90

## 五、SOG 模式使用代表性車輛於公路設計之應用

前述本研究探討的高速公路坡度路段代表性車輛之質量與馬力比，主要可作為應用 SOG 模式之各類車輛基本輸入參數值（即馬力與質量比，SOG 模式另給予使用者可以自行輸入馬力及質量），透過 SOG 模式的應用，有助於高速公路坡度路段之公路設計。本節進一步說明 SOG 模式於公路設計之應用。基本上，SOG 模式可使用於估計高速公路坡度上之代表性車輛的自由速率變化，另外，利用 SOG 模式可以產出代表性車輛於均勻坡度上之自由速率與距離的關係；這兩項內容均有助於高速公路坡度路段之公路設計工作。

### 5.1 坡度路段自由速率之估計

在一上坡路段上，爬坡性能最差車輛之速率如果顯著的降低，則這些車輛不僅會影響路段交通作業效率及容量，也可能增加肇事率。因此坡長及坡度的組合以避免爬坡性能最差之車輛有過度的速率降低程度。基於這些考量，AASHTO 之公路設計規範建議質量與馬力比為 120kg/kW 之代表性大車之自由速率在上坡路段上之降低程度以不超過 15 公里／小時為原則。臺灣也有類似的設計原則。

SOG 模式可用來估計車輛在一連串上下坡時之自由速率的變化，其執行檔、輸入檔、輸出檔等詳細的資訊可參見運研所報告<sup>[5]</sup>，以下茲舉一例說明其應用。

某高速公路在里程 10K+000~10K+500 及 10K+500~12K+000 兩地點之間，分別有一坡度不變之路段，坡度分別是 4%及 2%；模擬該上坡行車方向（SOG 模式也可以同時模擬兩方向）之起點為 10K+000，終點為 12K+000。此外，此路段上沒有平曲線。在這情況下，模擬第一方向大貨車上坡速率所需要的輸入檔，如表 14 所示。

行車第一方向在起點（10K+000）的速率為 120 公里／小時，在平坦路段之下坡路段之車速各為 120 及 110 公里／小時。此外，第二方向在起點（12K+000）的起始速率為 90 公里／小時，在平坦及下坡路段之最高速率分別為 120 及 110 公里／小時。因為第一行之輸入值表示只模擬一行車方向（亦即從 10K+000 到 12K+000 之北上方向），所以第二方向之輸入值（起始及最高速率）不會影響模擬結果。表 14 第 5 行表示第一方向的第 1 個坡度

為 4.0%，里程從 10K+000~10K+500；第 6 行則表示同一方向的第 2 的坡度為 2.0%，里程從 10K+500~12K+000。表 14 最後 1 行表示模擬第一方向之自由速率時，模擬車輛之質量、馬力及動力傳送效率，依據表 13 之代表性車輛，並不作變更。

表 14 模擬聯結車上坡速率之輸入檔案範例

1 (只模擬一行車方向)			
120	120	110	90 120 110
4 (模擬車種為 4 大貨車)			
2 (模擬路段有 2 的坡度)			
4.0	10.000	10.500	(第 1 個坡度/%，開始里程/公里，結束里程/公里)
2.0	10.500	12.000	(第 2 個坡度/%，開始里程/公里，結束里程/公里)
0 (無平曲線)			
0 (使用表 13 之代表性車輛的質量、馬力及傳輸效率)			

SOG 模式每可以每 1/10 秒或 1 秒，估計車速並推進模擬車輛 1 次。輸出檔之內容包括各模擬方向在每一 1/10 秒或 1 秒結束時之車輛位置、車速、加速率，及所在地點之坡度。表 15 為輸出檔之一例。SOG 模式可方便的用來評估不同坡度及坡長組合對大車速率之影響程度。

## 5.2 代表性車輛於均勻坡度上之自由速率與距離的關係

如果在設計過程中只要快速估計在坡度不變之上坡的自由速率，則美國、德國等國家之設計規範皆有根據代表性車輛所設定之自由速率、行車距離、坡度及坡長之關係可用。

假設上坡路段起點之速率為 120 公里/小時，而且坡度不變，則表 13 所列 4 種代表性車輛之速率與行車距離的關係如圖 5~圖 8 所示。這些圖也可用來估計上坡起點之速率異於 120 公里/小時之速率變化。

以圖 9 所示，聯結車進入一坡度為 3%之上坡路段為例。假設聯結車進入這種上坡路段時的速率為 87 公里/小時，此速率相當於從 120 公里/小時起始速率爬坡約 0.9 公里之後的速率。如坡長為 1 公里，則繼續爬坡到坡頂時的速率下降到 66 公里/小時。另外以圖 7 為例，大貨車以 120 公里/小時速率進入一坡度為 4%路段 500 公尺，其自由速率降為約 96 公里/小時 (表 15 顯示為 95.8 公里/小時)；而後繼續進入一上坡度 2%路段 1,500 公尺，自由速率 96 公里/小時相當於圖 7 大貨車行駛 2%坡度上坡路段約 1,000 公尺的自由速率；故而後的 2%上坡走 1,500 公尺，相當於行走 2%均勻坡度 2,500 (=1,000 + 2,500) 公尺，其自由速率約降為 89 公里/小時 (表 15 顯示為 88.6 公里/小時)。這兩個範例顯示只要上坡路段有均勻的坡度，圖 5~圖 8 可在廣泛的情況下，協助幾何設計的評估。

表 15 SOG 模式輸出檔之樣本

每秒 步驟	位置 (km)	速度 (km/h)	加速率 (m/s/s)	坡度 (%)	每秒 步驟	位置 (km)	速度 (km/h)	加速率 (m/s/s)	坡度 (%)
0.1	10.003	119.8	-0.57	4	39.1	11.068	90.7	-0.03	2
1.1	10.036	117.8	-0.55	4	40.1	11.093	90.6	-0.03	2
2.1	10.069	115.8	-0.53	4	41.1	11.118	90.4	-0.03	2
3.1	10.101	114.0	-0.51	4	42.1	11.143	90.3	-0.03	2
4.1	10.132	112.2	-0.48	4	43.1	11.168	90.2	-0.03	2
5.1	10.163	110.5	-0.46	4	44.1	11.193	90.2	-0.03	2
6.1	10.193	108.9	-0.45	4	45.1	11.218	90.1	-0.02	2
7.1	10.224	107.3	-0.43	4	46.1	11.243	90.0	-0.02	2
8.1	10.253	105.8	-0.41	4	47.1	11.268	89.9	-0.02	2
9.1	10.282	104.4	-0.39	4	48.1	11.293	89.8	-0.02	2
10.1	10.311	103.0	-0.38	4	49.1	11.318	89.7	-0.02	2
11.1	10.340	101.6	-0.36	4	50.1	11.343	89.7	-0.02	2
12.1	10.368	100.4	-0.35	4	51.1	11.368	89.6	-0.02	2
13.1	10.395	99.2	-0.33	4	52.1	11.393	89.5	-0.02	2
14.1	10.423	98.0	-0.32	4	53.1	11.418	89.5	-0.02	2
15.1	10.450	96.9	-0.30	4	54.1	11.443	89.4	-0.02	2
16.1	<u>10.476</u>	<u>95.8</u>	-0.29	<u>4</u>	55.1	11.468	89.4	-0.02	2
17.1	10.503	94.9	-0.08	2	56.1	11.492	89.3	-0.01	2
18.1	10.529	94.6	-0.08	2	57.1	11.517	89.3	-0.01	2
19.1	10.556	94.3	-0.08	2	58.1	11.542	89.2	-0.01	2
20.1	10.582	94.0	-0.07	2	59.1	11.567	89.2	-0.01	2
21.1	10.608	93.8	-0.07	2	60.1	11.591	89.1	-0.01	2
22.1	10.634	93.5	-0.07	2	61.1	11.616	89.1	-0.01	2
23.1	10.660	93.3	-0.06	2	62.1	11.641	89.0	-0.01	2
24.1	10.686	93.1	-0.06	2	63.1	11.666	89.0	-0.01	2
25.1	10.711	92.9	-0.06	2	64.1	11.690	89.0	-0.01	2
26.1	10.737	92.6	-0.06	2	65.1	11.715	88.9	-0.01	2
27.1	10.763	92.5	-0.05	2	66.1	11.74	88.9	-0.01	2
28.1	10.789	92.3	-0.05	2	67.1	11.764	88.8	-0.01	2
29.1	10.814	92.1	-0.05	2	68.1	11.789	88.8	-0.01	2
30.1	10.840	91.9	-0.05	2	69.1	11.814	88.8	-0.01	2
31.1	10.865	91.7	-0.04	2	70.1	11.838	88.8	-0.01	2
32.1	10.891	91.6	-0.04	2	71.1	11.863	88.7	-0.01	2
33.1	10.916	91.4	-0.04	2	72.1	11.888	88.7	-0.01	2
34.1	10.941	91.3	-0.04	2	73.1	11.912	88.7	-0.01	2
35.1	10.967	91.2	-0.04	2	74.1	11.937	88.6	-0.01	2
36.1	10.992	91.0	-0.04	2	75.1	11.962	88.6	-0.01	2
37.1	11.017	90.9	-0.03	2	76.1	<u>11.986</u>	<u>88.6</u>	-0.01	2
38.1	11.043	90.8	-0.03	2					

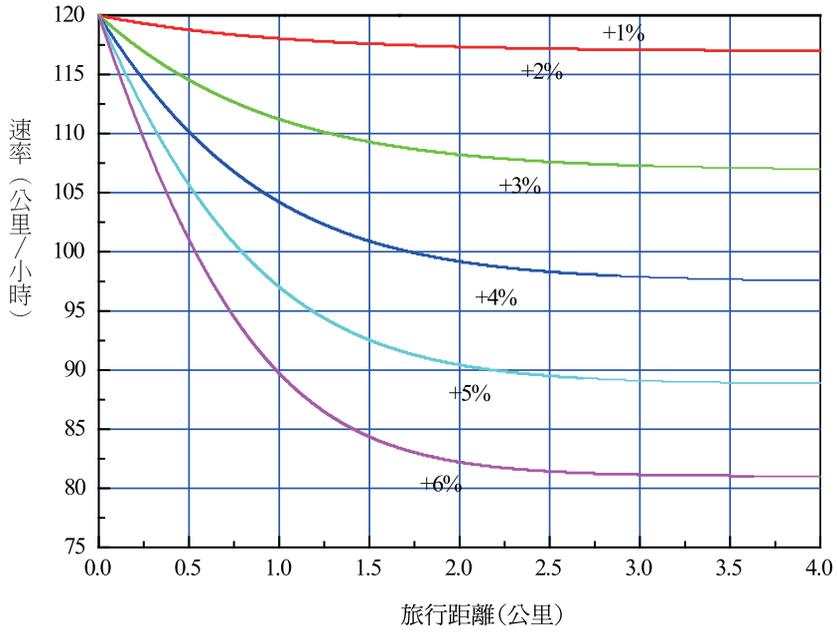


圖 5 代表性小車速率與上坡坡度及行車距離的關係

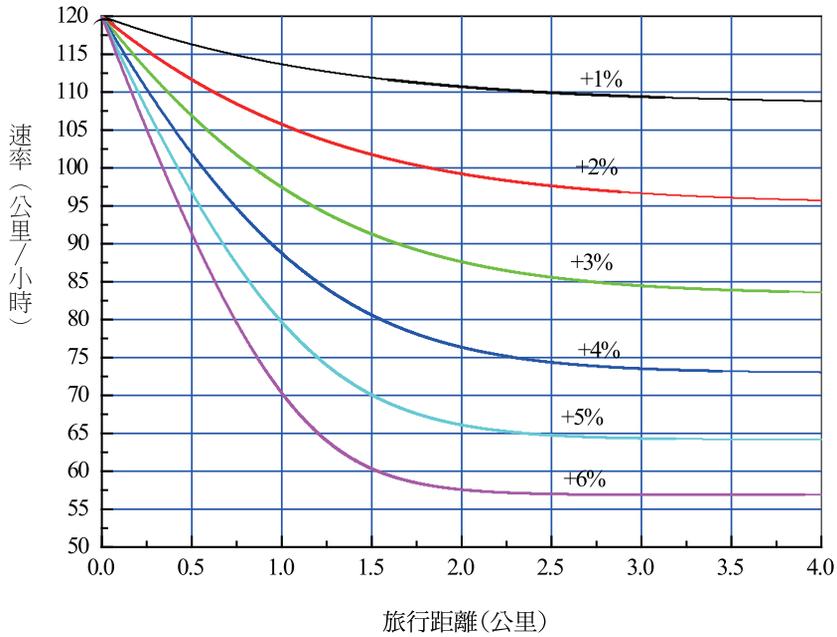


圖 6 代表性大客車速率與上坡坡度及行車距離的關係

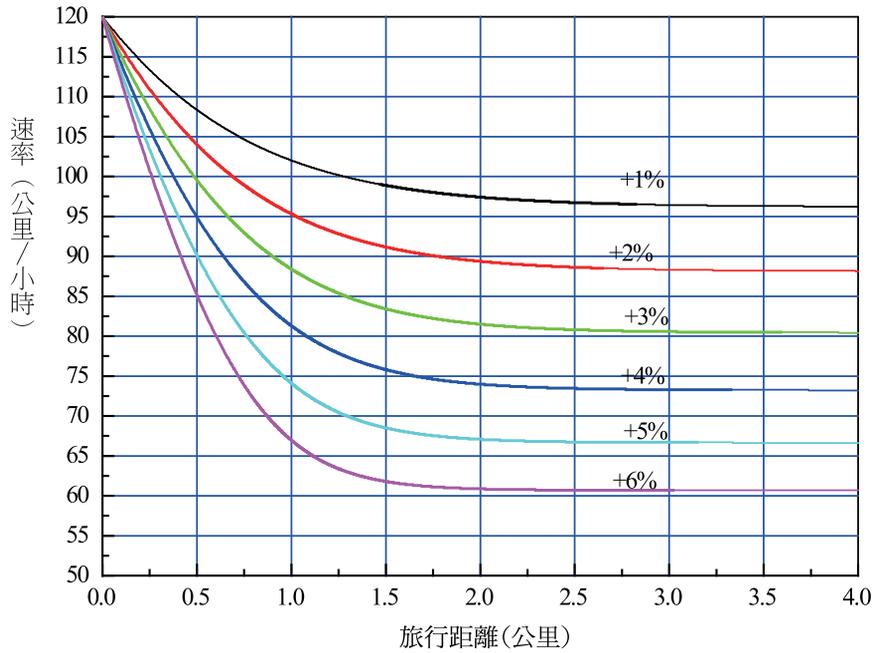


圖 7 代表性大貨車速率與上坡坡度及行車距離的關係

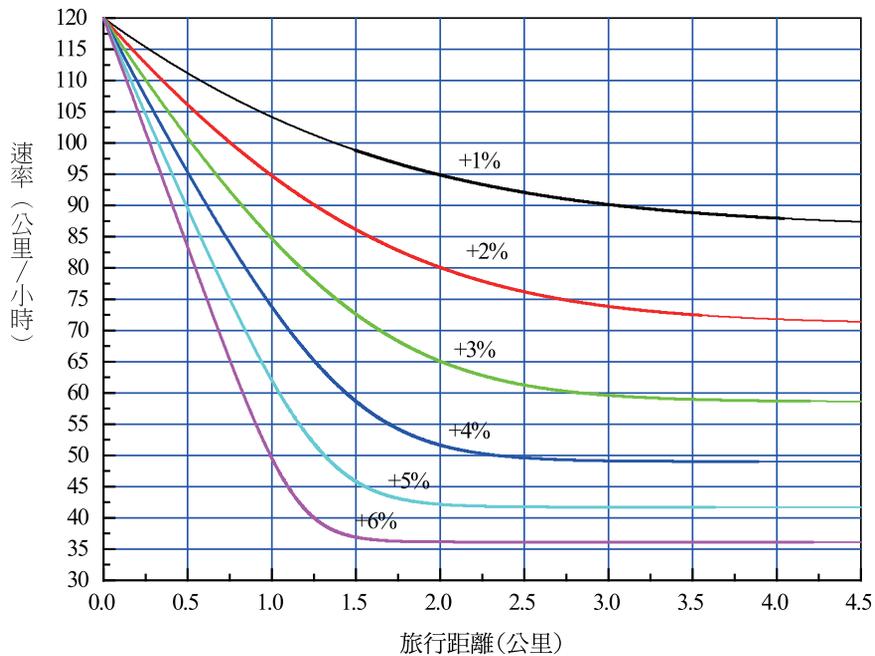


圖 8 代表性聯結車速率與上坡坡度及行車距離的關係

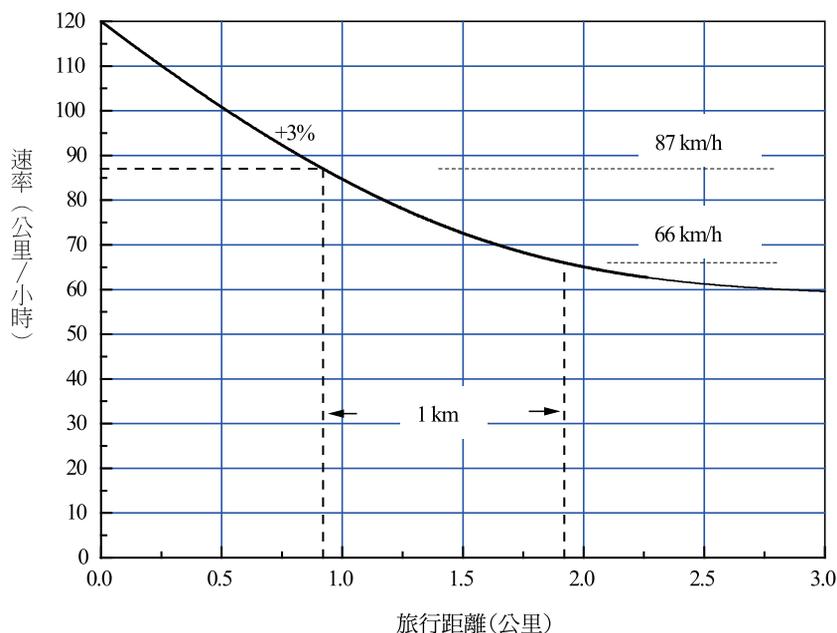


圖 9 聯結車爬坡 (圖 8) 之應用範例

## 六、結語

目前臺灣缺乏能用來分析本土坡度路段交通作業績效的工具，因而難以推動修正臺灣公路容量手冊有關坡度路段章節之工作。為了解決這問題，交通部運研所展開一為期 3 年的研究工作以發展適用之 TGS 模式，此模式利用 SOG 模式來估計車輛在坡度路段上之瞬間自由速率及加減速率。

大車在公路坡度路段之運作行為，為公路縱坡設計之關鍵。我國以往沿用美國 AASHTO 的規範，對於臺灣高速公路坡度路段之大車對車流實際影響情形沒有進一步的了解。因此，在發展適用於分析臺灣公路坡度路段模擬模式之際，本研究主要探討適用於臺灣高速公路坡度路段設計之代表性車輛。經利用臺灣高速公路之現場資料驗證，本研究呈現可應用於公路幾何設計之聯結車、大貨車、大客車及小車的代表性車輛質量／馬力比分別為 125、64、75 及 50kg/kW (參見表 13)。根據國道 1 號高速公路在三義及林口坡度路段之自由速率資料，分析高速公路可根據表 13 之代表性車輛。這些車輛中，聯結車之質量與馬力比為 125kg/kW。此比值很接近 AASHTO 公路設計規範所用代表性貨車之相關值 (120kg/kW)。

本研究並利用 SOG 模式進一步估計代表性車輛在坡度不變之上坡路段的自由速率與旅行距離關係。此模式可用來協助坡度路段之幾何設計，也可應用於容量分析過程中尋找瓶頸地點。

建議後續研究可探討臺灣不同區域或公路之代表性車輛，以及下坡時駕駛員特性對速率之影響。

## 參考文獻

1. AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C., 2011.
2. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual 2010*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D. C., 2010.
3. 交通部，**公路路線設計規範**，民國 100 年。
4. 交通部運輸研究所，**2011 年臺灣公路容量手冊**，民國 100 年。
5. 交通部運輸研究所，**公路坡度路段模擬模式之發展及應用 (1/3)**，民國 103 年。
6. Federal Highway Administration, CORSIM/TRAFED, Office of Operations Research and Development, 2001.
7. St. John, A. D. and Harwood, D. W., *TWOPAS User's Guide: A User's Guide to TWOPAS - A Microscopic Computer Simulation Model of Traffic on Two-Lane, Two-Way Highways*, Performing Organization Report No. 7533-S(6), Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1986.
8. Dixon, M., Haderlie, S., and Sarepalli, S. S. K., “Using TWOPAS Simulation Model to Provide Design and Operations Information on the Performance of Idaho’s Two-Lane Highways”, Final Report Submitted to Idaho Department of Transportation, 2003.
9. Brannolte, U., *Simulation Program LASI*, Bauhaus-University of Weimar, Weimar, Germany, 1996.
10. 曾平毅，「高速公路坡度路段服務水準分析之課題」，**交通學報**，第 2 卷，第 2 期，民國 91 年，頁 49-64。
11. HBS, “FGSV: Handbuch fuer die Bemessung von Strassen (German Highway Capacity Manual)”, Forschungsgesellschaft fuer StrassenundVerkehrswesen, Cologne, www.fgsv-verlag.de, 2002.
12. Brilon, W. and Weiser, F., “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., 2006, pp. 38-47.
13. 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研究 (3/3)**，民國 102 年。
14. 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)**，民國 94 年。

