

TGS-2L 模式於郊區雙車道公路坡度路段之應用¹

APPLICATIONS OF TGS-2L MODEL ON GRADE SEGMENTS OF SUBURBAN AND RURAL TWO-LANE HIGHWAYS

曾平毅 Pin-Yi Tseng²

林佳韻 Chia-Yun Lin³

(105 年 11 月 8 日收稿，106 年 3 月 1 日第 1 次修改，
106 年 4 月 27 日第 2 次修改，106 年 9 月 15 日定稿)

摘 要

目前國內對於郊區雙車道公路交通特性的了解相當有限，尤其是有平曲線及坡度的郊區雙車道公路，其坡度路段的車流特性與平坦路段具有很大差異。有鑑於容量及服務水準分析之需要，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，簡稱 TGS-2L 模式) 已經可以分析臺灣郊區雙車道公路之車流特性與交通運作。本研究主要探討如何利用 TGS-2L 模式模擬郊區雙車道公路之運作，並進一步分析其坡度路段之車流特性。模擬分析主要成果包括：上坡及下坡路段之自由車流速率隨著坡度及坡長的變化、上坡路段速率隨對向流率及坡度的變化、常見均勻坡度的路段容量等。最後，本研究說明如何利用 TGS-2L 模式分析郊區雙車道公路之服務水準，並以北宜公路 (臺 9 線) 為對象進行模擬分析發現，北宜公路單向容量約 1,355~1,360 小客車/小時，北向若再增加 400 小

-
1. 本研究為科技部專題研究 MOST104-2410-H-015-011 之部分內容，作者特別感謝科技部之補助經費；部分內容曾於 105 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：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)。
 3. 中央警察大學交通管理研究所碩士，目前服務於臺中市政府警察局。

客車／小時，其服務水準還可接受，故可作為分散部分國道 5 號北上車流之一改善措施。

關鍵詞： 郊區雙車道公路；容量；坡度路段；服務水準；TGS-2L 模式

ABSTRACT

The characteristics of traffic flow on suburban and rural two-lane highway, especially on upgrade and curve segments, are lack of understanding in Taiwan. The traffic flow characteristics on grade-segments of suburban and rural two-lane highway are significantly different from those on level segments. Institute of Transportation developed the Traffic-on-Grade Simulation (TGS-2L) model to support highway capacity analysis. This study applied the TGS-2L model to simulate the traffic condition on suburban and rural two-lane highways. Based on the results of the simulation, this study found that the variety of free-flow speed with various grade and length of grade, the variety of speed with grade and opposite flow rate, the capacity of uniform grade sections, etc. Finally, this study presented how to use TGS-2L model to find the level-of-service of suburban and rural two-lane highway. Moreover, a case study of Pei-Yi highway (Tai No. 9 highway) found the capacity are about 1,355~1,360 passenger car/hr each direction. The level-of-service could be acceptable when the volume increases 400 passenger car/ hr on northbound. That could be one of the countermeasures for dispersing northbound traffic of No. 5 freeway.

Key Words: Suburban and rural two-lane highway; Capacity; Grade segment; Level of service; TGS-2L model

一、前言

郊區雙車道公路包括了 46%之省道路段及 67%之縣道路段，為臺灣地區主要道路型式之一，且常穿越丘陵區或山嶺區，故常有坡度路段及曲率半徑很短的平曲線，而公路坡度路段的交通作業受到幾何設計（坡度、坡長、平曲線）、交通控制（號誌、速限）、車流狀況（需求流率、車種組成、車輛爬坡性能）等因素的影響，組成及互動關係複雜，難以透過蒐集足夠的現場資料建立分析性模式進行評估服務水準的工作，因為現場資料不足以建立應用廣泛之分析性模式，許多國家使用模擬模式分析雙車道公路，或協助分析性模式的建立，目前臺灣交通界對郊區雙車道公路的交通作業特性缺乏了解^[1,2,3]。

目前臺灣公路容量手冊 (Highway Capacity Manual, HCM) 沿襲美國 HCM 之方法論^[4,5]，以小客車當量(passenger car equivalent, PCE) 將大車對車流的影響轉換成純小客車之對等車流，且僅依平原區、丘陵區或山嶺區地形簡單分類，列出各類區段各車種之 PCE，

並未考量坡度、坡長及重車比例等因素之影響。由於目前分析方法忽略了坡度路段對車流特性的影響與平坦路段大不相同，因此分析結果與實際狀況並不相符，且臺灣郊區雙車道公路的坡度與平曲線組成關係複雜，若單純以 PCE 轉換，很可能與實際車流運作狀況產生誤差^[6]。

交通部運輸研究所（以下簡稱運研所）有鑑於進行臺灣 HCM 修訂時，沒有合適的分析工具分析不同公路之坡度路段，因此在 2013 年開始展開為期 3 年的研究工作，目前運研所已經發展一套名為坡度路段車流模式（traffic-on-grade simulation model，簡稱 TGS 模式）的微觀模擬模式，其中第 1 年期計畫用以分析高速公路坡度路段（無上、下匝道）交通特性之變化^[1]，第 2 年期的工作在於改良 TGS 模式，發展一能分析郊區雙車道公路非阻斷性（不受交叉路口影響）車流路段之容量與服務水準的微觀模擬模式，2014 年底已發展完成的模擬，模式名稱為 TGS-2L 模式^[2]。TGS-2L 模式的微調與校估，可參見文獻^[2] 運研所的研究計畫，該計畫從平坦路段之流率與平均速率的關係、坡度路段之流率及平均速率的關係、超車行為、跟車模式微調之替代方法等方面，測試及微調 TGS-2L 模式，以確認其可以合理模擬平直與坡度路段之車流；主要包括了模擬與實際的自由車流速率（或簡稱自由速率）、流率與速率關係等相互比較。而且國內已陸續有應用 TGS 模式^[6,7,8] 及 TGS-2L 模式^[9] 的相關論文。

本研究主要以 TGS-2L 模式模擬分析臺灣郊區雙車道公路，探討坡度路段之交通特性，進而研擬適合臺灣本土郊區雙車道公路服務水準分析方法與應用例，以提供臺灣交通界參考。

二、文獻回顧

有關本土性郊區雙車道公路服務水準分析方法，以下回顧 2011 年臺灣 HCM^[10] 對於郊區雙車道公路之分類及郊區雙車道公路服務水準分析方法。

2.1 郊區雙車道公路分類

2011 年臺灣 HCM^[10] 依據所通過地區之地形，將郊區雙車道公路分為一般區段公路及特殊坡度區段，其中一般區段有下列性質：上、下坡度 $\geq 3\%$ ，且坡長 ≤ 800 公尺；坡度 $\leq 3\%$ ，且坡長 $\leq 1,000$ 公尺者，則屬特殊坡度區段。

一般區段依地形又可分為以下 3 種路段：

1. 平原區：係指該路段只能讓重車與小型車以相同之速率行進。
2. 丘陵區：係指該路段迫使重車以甚低於小型車之速率行進，但重車之速率仍高於爬坡速率（crawl speed）。
3. 山嶺區：係指該路段只能讓重車以緩慢的爬坡速率行進。

2011 年臺灣 HCM 並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^[10]，分類如下：

1. 標準雙車道公路：雙向二汽車道兩側各設置大於 1.5 公尺以上機慢車專用道之公路。
2. 混合雙車道公路：未設置機慢車專用道或其寬度小於 1.5 公尺之雙向二車道公路。

2.2 郊區雙車道公路服務水準分析方法

2011 年臺灣 HCM 第 12 章將下列狀況訂為基本狀況^[10]：(1) 車道寬度為 3.75 公尺；(2) 橫向淨距為 2 公尺（包含機慢車道或路肩）；(3) 車流為純小客車；(4) 位於平原區；(5) 路段之設計速率不小於 60 公里／小時；(6) 無禁止超車區；(7) 交通流量方向性比例為 50/50；(8) 無阻斷性交通管制措施。有關郊區雙車道公路服務水準分析方法如圖 1。

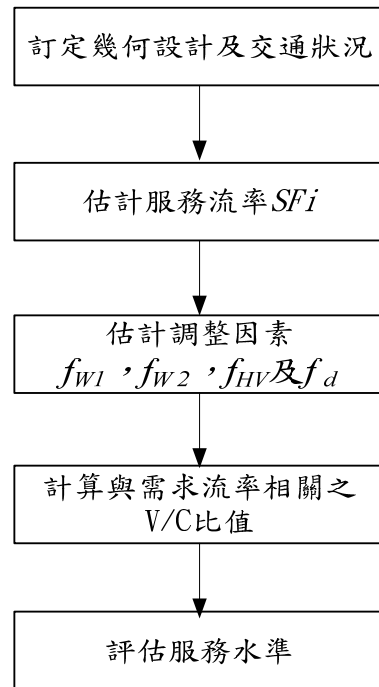


圖 1 2011 年臺灣 HCM 分析郊區雙車道公路服務水準之方法

首先訂定幾何設計及交通狀況，估計或觀測所須承載的服務流率，再分別以車道寬、車種比例、方向因素加以調整計算需求流率及 V/C 比後，評估服務水準，其中小客車當量值如表 1 所示。

相較於美國 2010 年 HCM^[5] 分析郊區雙車道公路服務水準時，將坡度路段車流中的大車依據坡度、坡長及大車比例等因素，將車流轉換成特定基本狀況下之對等小車流率，目前臺灣 HCM 分析流程僅依地形和車種訂定 PCE 值，並未考慮坡度及坡長等交通特性對於自由車流速率之影響。

表 1 一般區段各車種之小客車當量值 (PCE 值)

地形	車種					
	小型車	大型車	大貨車	聯結車	機車	
					混合車道	慢車道
平原區	1.0	2	2	3	0.5	0.5
丘陵區	1.0	3	3	5	0.5	0.5
山嶺區	1.5	5	5	7	1.0	1.0

資料來源：[10]。

美國 2010 年 HCM^[5] 與臺灣 2011 年 HCM^[10] 另一不同之處在於評估服務水準之績效指標，美國 2010 年 HCM 將雙車道公路分成 3 類，其中前兩類為郊區雙車道公路，第 1 類為駕駛者能以高速率行車之公路，連結主要旅次產生的城際道路，服務水準之績效指標為平均旅行速率及跟車時間百分比 (PTSF)；第 2 類為通過風景區或有許多坡度路段之公路，接駁進入第 1 類公路，服務水準之績效指標為跟車時間百分比；第 3 類為位於土地使用密集之區域的公路，旅行速率為自由速率之百分比 (percent of free-flow speed) 為其評估服務水準之績效指標。目前臺灣 HCM 評估郊區雙車道公路服務水準係依據 1985 美國 HCM 所設立，包括以下 3 項指標：

1. 延滯時間百分比 (percent time delay)：其定義為公路某已知路段上，所有車輛在車隊中因無法超車所導致的延滯時間占旅行時間的平均比例，這項指標同時反映了易行性及可行性，但難以直接在現場進行觀測，一般多用車頭距 (headway) 小於 5 秒之車輛所占比例來代替。
2. 平均速率 (average travel speed)：係指在某時段內，研究路段的長度除以通過該路段雙向所有車輛的平均旅行時間，此績效指標反應郊區雙車道公路的易行性。
3. 流率／容量比 (capacity utilization)：V/C 值定義為需求流率占公路容量比例，反應郊區雙車道公路的可及性。

然而，V/C 比越高，壅塞程度越嚴重，但是 V/C 值低時，並不一定表示服務品質良好，例如坡度路段可能有低 V/C 比，但是因為坡度及坡長的影響，平均車速也可能低，因此運研所建議同時用 V/C 比及平均速率與速限的差距，評估交通作業較為實用合理，所建議之服務水準劃分如表 2 及表 3 所示^[2,3]，假設一路段之服務水準等級屬於 B 及 3，則該路段之服務水準等級可稱為 B3。

郊區雙車道公路的設計標準一般較高速公路、快速公路或郊區多車道公路為低，且常可能有不同坡度及較小轉彎半徑的彎度路段，其運作狀況較為複雜，尤其是大車的影響。事實上，近年來為了協助公路規劃，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^[11] 提供代表性大貨車 (質量/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) 之公路容量手冊^[11] 亦採用 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, 以衡量大貨車對交通作業績效的影響。

表 2 根據 V/C 比之服務水準等級劃分標準

V/C 比	服務水準等級	V/C 比	服務水準等級
$V/C \leq 0.25$	A	$0.7 < V/C \leq 0.85$	D
$0.25 < V/C \leq 0.5$	B	$0.85 < V/C \leq 1.0$	E
$0.5 < V/C \leq 0.7$	C	$V/C > 1.0$	F

表 3 根據平均速率 V 及速限 V_L 之差距的服務水準等級劃分標準

差距 (公里/小時) $\Delta V = V_L - V$	服務水準等級	差距 (公里/小時) $\Delta V = V_L - V$	服務水準等級
$\Delta V \leq -2$	1	$6 < \Delta V \leq 9$	4
$-2 < \Delta V \leq 4$	2	$9 < \Delta V \leq 12$	5
$4 < \Delta V \leq 6$	3	$\Delta V > 12$	6

因為不同公路上大車之性能及載重可能不同, 所以 TRB 公路容量手冊所訂定之大貨車的小客車當量, 是否適用於某些區域也令人質疑。因此美國 Florida 及 Alaska 州交通部曾展開研究工作^[12,13], 以訂定適用於各州大貨車之小客車當量。德國在發展其公路容量手冊^[14,15] 時, 亦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。

坡度路段交通作業與每一影響因素在廣泛狀況下的關係, 不可能從現場資料來深入探討。雙車道公路的車流, 因有超車行為、交叉路口車流及交通管制的影響, 更不容易用現場資料來探討交通作業績效與影響因素之間的關係。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。TRB 公路容量手冊所訂定大貨車的小客車當量, 乃根據 CORSIM 5.0^[16] 之模擬結果, 該手冊用來分析雙車道公路的分析方法則依賴 TWOPASS^[17,18] 模擬模式。德國發展其公路容量手冊時, 則利用 LASI 模擬模式^[19] 來訂定大貨車在不同比例時對平均旅行速率的影響。另一方面, 郊區雙車道公路兩旁因土地使用日漸密集, 因此常有號誌化路口阻斷車流, TRB 公路容量手冊沒有適用的方法來分析此類阻斷性車流之雙車道公路。美國交通界常用於模擬雙車道公路之 TWOPASS^[17,18] 模式, 並沒有分析號誌化路口之功能; 能用於模擬號誌化路口之 CORSIM^[16] 模式, 則沒有模擬

雙車道超車行為之功能。在此情形下，Florida 州的交通界只好展開一研究計畫，將 CORSIM 改良以供分析該州的雙車道公路^[20]。

由於發展模擬模式來探討複雜的公路交通作業，或建立容量分析與服務水準分析方法，為世界各國的共同趨勢，美國 TRB 的 HCM 也陸續採用模擬模式進行號誌化路口的運作分析^[5]；臺灣的公路容量分析研究工作，也陸續建立一些模擬模式，例如分析高速公路收費的 TPS 模式及公路交通系統 HTSS 模擬模式^[10]。

2.3 TGS-2L 模式之介紹

有鑑於目前國內缺乏以本土性車流所構建之模擬模式，運研所乃開發 TGS-2L 模式作為模擬分析工具。TGS-2L 模式係由美國 Clarkson 大學土木與環工系林豐博教授協助運研所開發，利用 FORTRAN-77 語言建立微觀之模擬邏輯，目前該模擬模式已經可用來模擬高速公路主線，車流不受進出口匝道影響之車流作業，以及無交叉路口雙車道公路之平坦、上坡、下坡及有平曲線路段之交通作業^[1,2]；TGS-2L 模式可應用於以下的模擬工作：

1. 模擬特定車輛在某一均勻坡度上隨不同地點之自由速率變化；
2. 模擬分析已知幾何條件下（平曲線與坡度已知）之交通作業；
3. 估計已知幾何條件下（平曲線或坡度已知）之容量；
4. 模擬在已知幾何條件及交通需求（包括對向及行車方向之流率）下，設有可超車區（里程可設定），利用輸出超車率來評估超車區；
5. 模擬在已知幾何條件及交通需求（包括對向及行車方向之流率）下，設有爬坡道（里程可設定），利用輸出車道流率來評估爬坡道。

由於 TGS-2L 模式係依據臺灣本土性車流所構建，且利用現場資料驗證^[1,2]，故本研究採用 TGS-2L 模式作為模擬分析之工具。

2.4 小結

由前述之文獻回顧，綜合評析如下：

1. 2011 年臺灣 HCM 分析郊區雙車道公路的資料與方法，係參考美國 HCM，然而臺灣地區車流組成及土地使用型態複雜，尤其機車所占比例甚高，道路設計標準和駕駛人行為亦與美國有很大的差異，致使公路容量分析及服務水準的評估過程與實際狀況有落差。
2. 美國 HCM 處理坡度的車流時，依坡度、坡長及大車比例等因素，將車流轉換成特定基本狀況下之對等小車流率，以進行服務水準分析；目前臺灣 HCM 分析流程僅依地形和車種訂定 PCE 值，並未考慮坡度及坡長等交通特性對於自由車流速率之影響，無論大車或小車在坡度路段上車流特性均與平坦路段大不相同，所以於平坦路段基本狀況下所建立之 PCE 值，並不適用於分析坡度路段。
3. 由於國內欠缺分析公路坡度路段服務水準之工具，運研所陸續投入資源發展模擬分析工具，2014 年已經發展一微觀坡度路段車流模擬模式（TGS-2L 模式），可作為分析臺灣郊

區雙車道公路之工具，包括可用來協助公路設計，以及評估容量及服務水準。

三、郊區雙車道公路車流特性分析

2011 年臺灣 HCM 分析郊區雙車道公路時，並未考慮坡度、坡長及大車比例對車流速率之影響，TGS-2L 模式則可輸出模擬路段車輛通過各節線終點時之流率、車輛由節線起點到終點之平均速率及各節線車種組成情形，本節以此模式建立模擬路網，來探討一些基礎的交通特性。

3.1 訂定幾何設計及交通狀況

本研究設定以下模擬分析情境：

1. 模擬路段

圖 2 之模擬路段作為 TGS-2L 模式之模擬上坡路段，由於車輛運行受到下游車輛運行影響，因此將 5 公里坡度路段的前 1 公里及後 1 公里設定為平坦路段，以 TGS-2L 模式構建之模擬路網如圖 3。

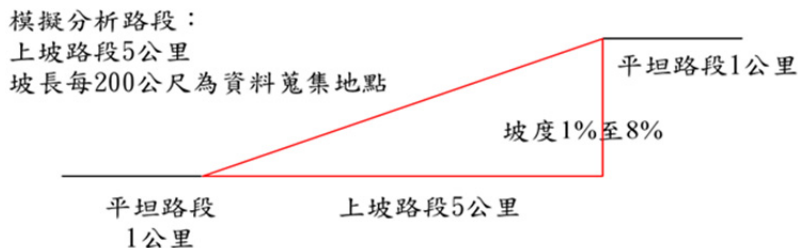


圖 2 模擬路段之假設

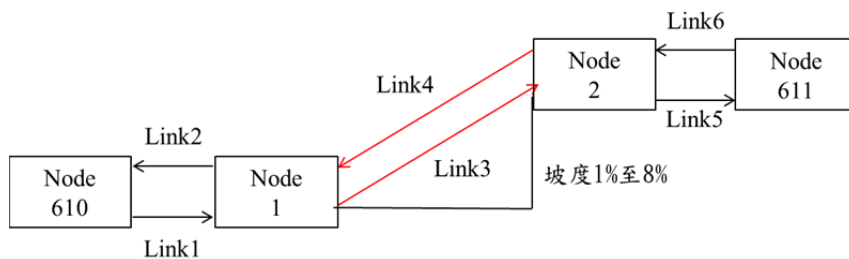


圖 3 模擬路網之構建

2. 坡度設定

2010 美國 HCM^[5] 針對小車及大車在坡度路段坡度 1% 至 6% 及坡長組合狀況下有不同之 PCE 值；交通部「公路路線設計規範」最大縱坡度的設計速率表中，郊區雙車道公路所對應的設計速率約為 60 公里／小時，在此設計速率下，最大縱坡度的容許最大值為 8%，因此本研究欲模擬之上坡路段有 1% 至 8% 等坡度情境，並將坡長設定為 5 公里。

3. 需求流率設定

郊區雙車道公路流率偏低，少有機會能觀察到通過定點的持久最高流率，另一原因是郊區雙車道公路常在短距離內，有許多不同曲率半徑及坡度組合，在有上下坡及平曲線之路段，其速率受各地點之坡度、坡長、曲率半徑、車輛載重、性能及駕駛員特性影響，目前估計坡度路段容量比較適用的方法是以電腦模擬。

運研所^[2]曾蒐集南投縣鹿谷往溪頭縣道 151 線及臺 18 線阿里山公路流率與平均速率關係，資料顯示平均自由速率為 50 及 70 公里／小時之平坦路段的容量大約各為 1,500 及 1,550 小車／小時／車道。若一路段下游短距離內有號誌化路口等妨礙車流狀況，則容量可能低於 1,500 小車／小時／車道，但目前尚無現場資料探討上坡路段的容量，本研究參考運研所資料，將車道容量暫設定為 1,500 小車／小時／車道。

4. 速率及速限設定

臺灣郊區雙車道公路經常穿越丘陵及山嶺區，目前臺灣公路系統中平原區郊區雙車道公路之速限多為 60 公里／小時，丘陵區郊區雙車道公路速限為 40 公里／小時以下，鄉道及縣道速限大多在 20 公里／小時至 60 公里／小時，本研究參考運研所資料，假設由平坦路段進入上坡路段之平均自由速率和速限分別為 70 公里／小時、40 公里／小時。

3.2 模擬主題

本研究針對以下議題，應用 TGS-2L 模式探討郊區雙車道公路之車流特性：

1. 各車種於上、下坡路段坡度與坡長自由速率變化

坡度路段之坡度及坡長增加時，車輛的自由速率可能會受到影響，並造成該路段容量及服務水準降低；2011 臺灣 HCM^[10] 將坡度上之車輛以平坦路段之小客車當量轉換，並未考慮平坦路段與坡度上車流流率與速率關係並不相同，因此本研究以 TGS-2L 模式，針對各車種以自由速率進入一均勻坡度上、下坡路段進行模擬，蒐集不同坡長的速率資料，以期了解坡度路段上行車距離與自由速率之關係曲線，其中自由速率最低之地點預期將會有最低的容量及服務水準，相關情境設定說明如下：

- (1) 模擬次數：不同車種均模擬 10 次，輸出資料為 10 次模擬結果平均值。
- (2) 車道寬度：快車道 3.5 公尺、機（慢）車道 2.0 公尺、路肩 0.5 公尺。
- (3) 超車路段：全程均禁止超車。
- (4) 需求流率：分別設定小客車、機車、大客車、大貨車、半聯結車、全聯結車雙向需求流率設定為 10 輛／小時，確保車輛能以自由速率行駛。

- (5) 資料蒐集地點：TGS-2L 模式每一條節線從上游到下游可設定 10 個蒐集流率及速率資料之地點，因此在坡度 1%至 8%，坡長 5 公里之上坡路段，可設定每 200 公尺為資料蒐集地點，代表坡長 200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺、1,000 公尺、1,200 公尺、1,400 公尺、1,600 公尺、1,800 公尺、2,000 公尺的流率及速率資料，並在對向 5 公里之下坡路段設定資料蒐集地點，以觀察下坡路段坡長與自由速率變化關係。

2. 上、下坡路段行車方向流率與對向流率對速率影響

由於各駕駛人所期望的行駛速率不盡相同，雙向雙車道公路由於單向只有一個車道，當以較高速率行駛的車輛趕上以較低速率行駛的車輛時，必須占用對向車道超車，隨著行車方向以及對向流率的增加，超車的機會將隨之減少，進而使服務水準降低。

TGS-2L 模式參考國外文獻所描述的超車行為模擬超車行為，並以下列 3 項特性加以檢核其合理性^[2]：

- (1) 超車率隨超車方向流率及超車區長度之變化關係。
- (2) 超車區長度固定，超車率隨對向流率及超車方向流率之變化關係。
- (3) 超車方向流率固定，超車率隨對向流率及超車區長度之變化關係。

3. 相關模擬情境設定說明如下：

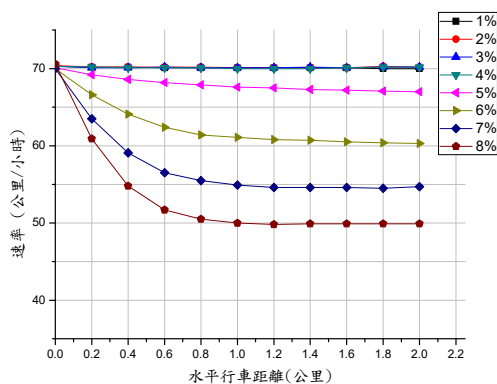
- (1) 模擬次數：不同車種均模擬 10 次，輸出資料為 10 次模擬結果平均值。
- (2) 車道寬度：快車道 3.5 公尺、機 (慢) 車道 2.0 公尺、路肩 0.5 公尺。
- (3) 超車路段：全程均允許超車。
- (4) 需求流率：從 200 小車／小時，每次增加 200 小車／小時，最高至 1500 小車／小時之各種組合。
- (5) 資料蒐集地點：經過初步模擬發現，小客車在坡長 1000 公尺處自由速率下降至最低，因此將此處設定為資料蒐集地點，以觀察上、下坡路段行車方向流率與對向流率對速率影響。

3.3 上坡路段自由速率與坡度、坡長關係

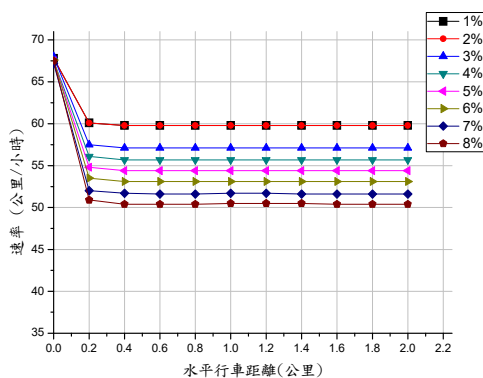
自由速率係指車輛在不受其他車輛干擾的情況下，駕駛人可以自由駕駛的速率，因此在模擬路網中，假設行車方向流率及對向流率均為 10 輛／小時⁴，確保車輛能以自由速率行駛。經以 TGS-2L 模擬分析上坡路段 5 公里的車流特性，蒐集 11 個地點 (坡長分別為 0 公尺、200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺、1,000 公尺、1,200 公尺、1,400 公尺、1,600 公尺、1,800 公尺、2,000 公尺) 的速率資料，以 TGS-2L 模式輸出各資料蒐集地點之速率輸出值，建立上坡坡度由 1%至 8%，小客車、機車、大客車、大貨車、半聯結車、全聯結車等各車種

4 設定行車方向與對向流率均很低 (10 輛／小時)，主要是希望不要受到對向流率的影響，而能蒐集行車方向之駕駛員以自由意志行駛的速率特性。透過模擬過程使用不同隨機亂數 (random variable) 來蒐集不同到達型態的車流狀況，可利用模擬結果之平均值來探討其車流特性。

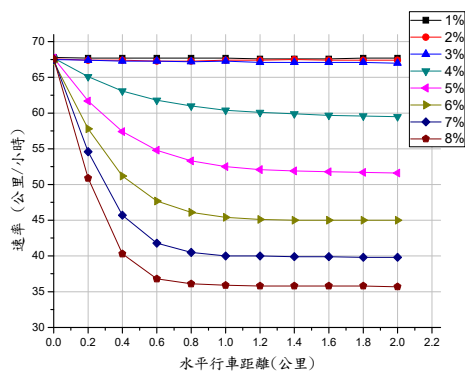
在 100% 情境下，速率隨坡長變化情形。有關各車種在上坡路段之自由速率與坡長關係之模擬結果，如圖 4 所示。



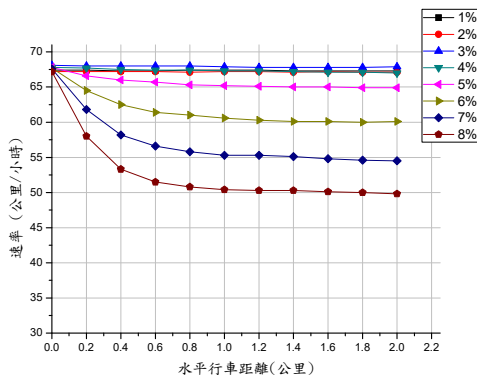
(a) 小客車速率與坡度及坡長關係



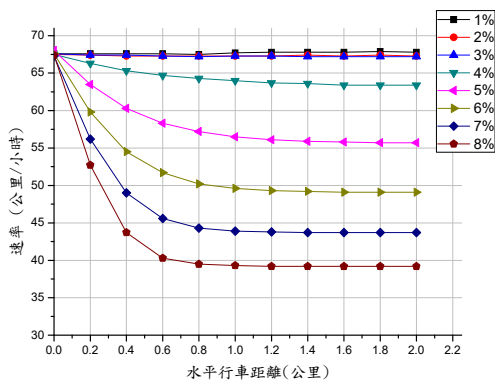
(b) 機車速率與坡度及坡長關係



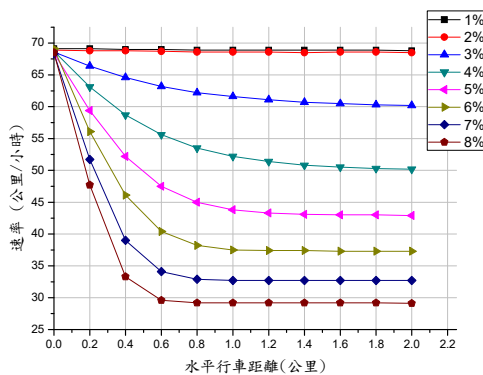
(c) 大客車速率與坡度及坡長關係



(d) 大貨車速率與坡度及坡長關係



(e) 半聯結車速率與坡度及坡長關係



(f) 全聯結車速率與坡度及坡長關係

圖 4 各車種速率與上坡坡度及坡長之關係

圖 4 顯示各車種於不同自由速率進入不同坡度之自由速率與坡長的關係，除大型車輛(大客車、大貨車、半聯結車、全聯結車)對坡度相當敏感(隨坡長的降低率較為明顯)外，較為特別的小客車也有明顯的情形，機車則相較不敏感。

3.4 上坡路段流率變化與速率關係

駕駛人在坡度路段的超車行為，對於郊區雙車道公路的服務水準有顯著影響，行車方向流率及對向流率增加均會影響超車機會，經本研究探討小客車比例為 100%情境下，平坦路段及上坡路段坡度在 1%至 8%時，並選擇坡長 1,000 公尺處，模擬行車方向流率及對向流率等不同組合情境速率變化關係。

情境設定車輛由平坦路段 1 公里進入坡度由 1%至 8%、坡長 5 公里，均為可超車區域；行車方向流率分別為 200 輛／小時、400 輛／小時、600 輛／小時、800 輛／小時、1,000 輛／小時、1,200 輛／小時、1,400 輛／小時、1,500 輛／小時，對向流率分別為 200 輛／小時、400 輛／小時、600 輛／小時、800 輛／小時、1,000 輛／小時、1,200 輛／小時、1,400 輛／小時，模擬結果如圖 5 所示。

圖 5 顯示上坡路段行車方向流率在不同坡度及對向不同流率下的平均速率與流率關係。這些關係圖顯示，坡度越大的路段，平均速率隨行車方向流率之增加的降低率明顯較大；對向流率越大，也會降低行車方向的平均速率，對於降低率則與坡度明顯有關。

3.5 下坡路段流率變化與速率關係

除上坡路段外，本研究亦模擬下坡路段在可超車的情況下，行車方向流率在對向流率不同情境下，受超車行為影響時速率變化情形，情境設定小客車比例為 100%，下坡路段坡度 -1%至 -8%，並選擇坡長 500 公尺處，行車方向流率及對向流率不同組合情境下速率變化關係，模擬路網與 3.4 節相同，模擬結果整理如圖 6 所示。

圖 6 顯示下坡路段在不同坡度及對向不同流率下的平均速率與流率關係。這些關係圖顯示，下坡路段的坡度也明顯影響其車流速率與流率的關係。但坡度的大小對於平均自由速率的降低情形，相較於上坡路段較為緩和；對向流率的影響也相較於上坡路段不明顯。

3.6 均勻坡度路段容量估計

一路段的容量代表能持續通過(通常至少 15 分鐘)或離開路段下游端點之最高流率，郊區雙車道公路任何一地點或路段的容量很難確定，須以模擬模式進行分析，主要原因如下：

1. 郊區雙車道公路之幾何設計狀況隨地點的變化可能相當顯著，短距離內有許多不同曲率半徑及坡度組合，其中幾何設計狀況較差的地點容易造成瓶頸。
2. 郊區雙車道公路之流率通常偏低，很少有機會能觀察到能通過一定點的持久最高流率。
3. 雙車道公路容量受駕駛行為、超車視距供應、雙向車流車距分布等因素影響。

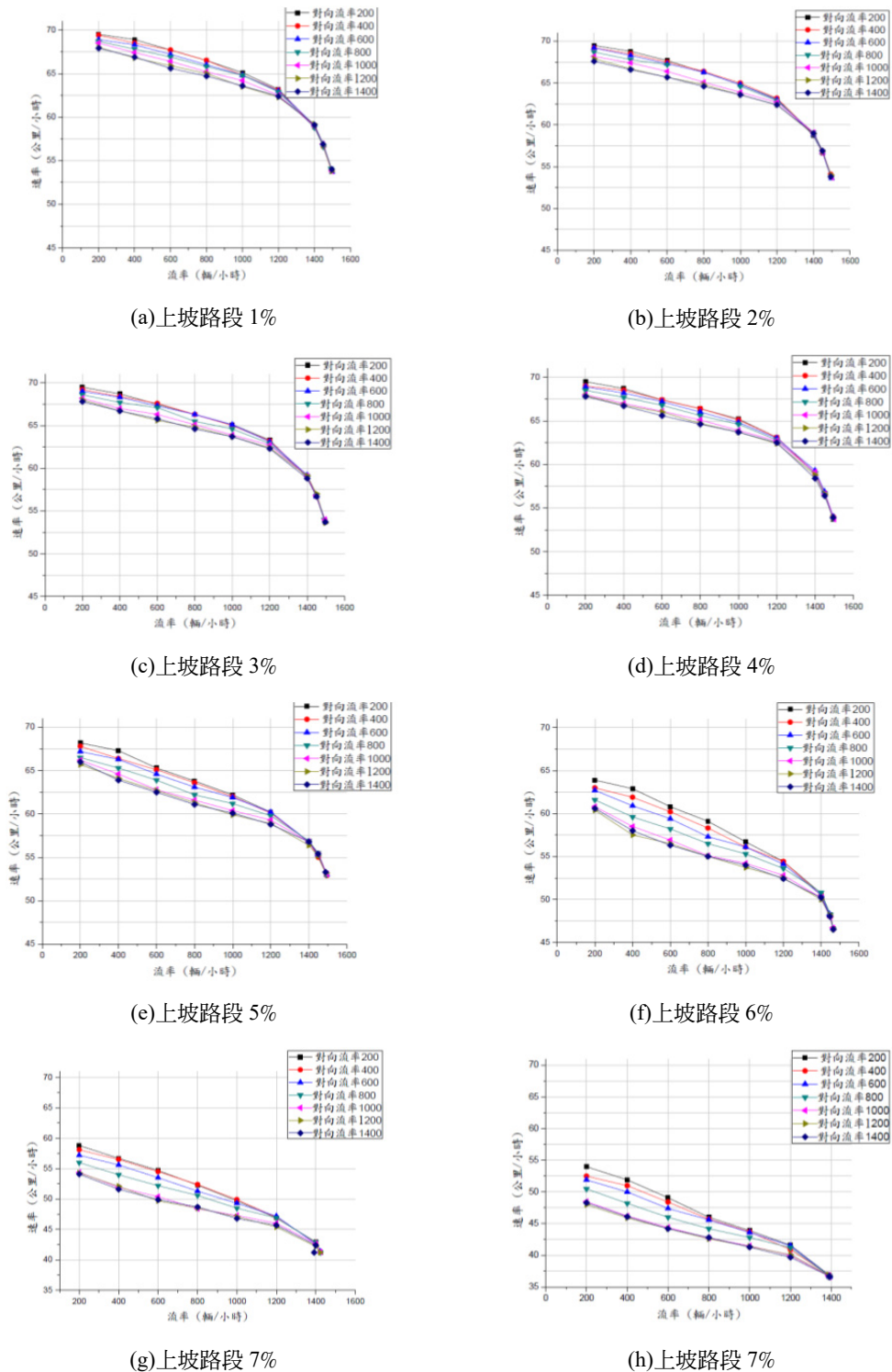
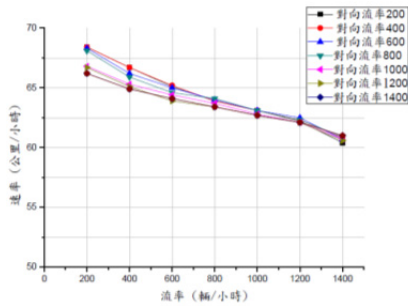
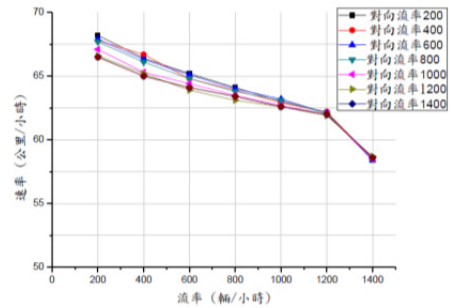


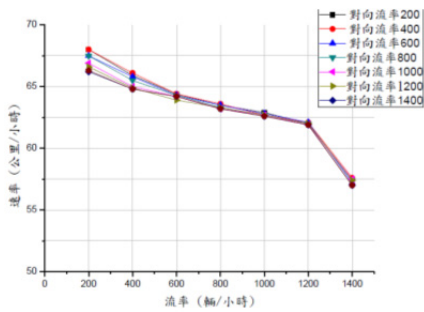
圖 5 上坡路段行車方向流率在對向流率不同情境下速率變化情形



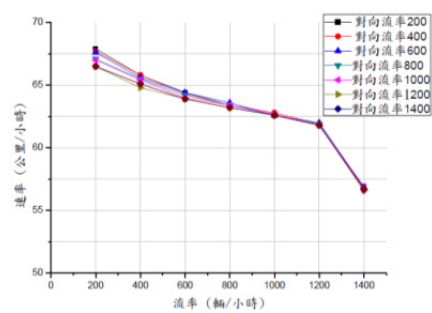
(a)下坡路段 1%



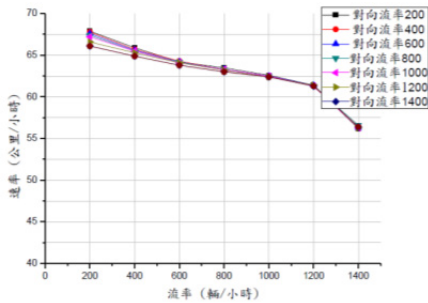
(b)下坡路段 2%



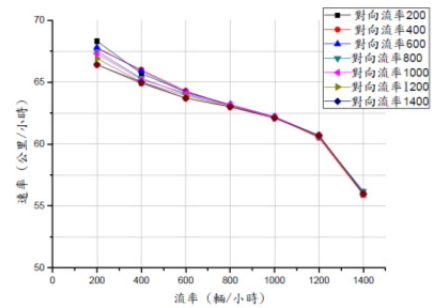
(c)下坡路段 3%



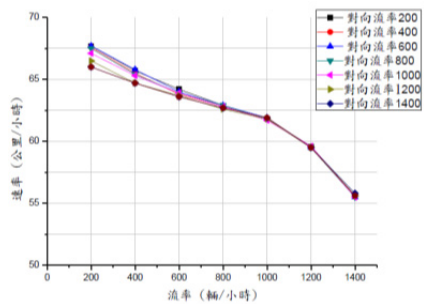
(d)下坡路段 4%



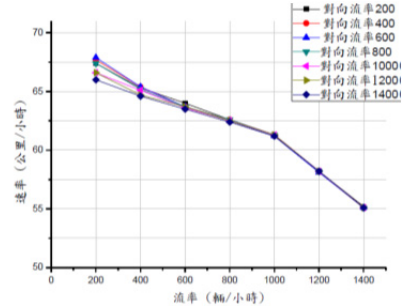
(e)下坡路段 5%



(f)下坡路段 6%



(g)下坡路段 7%



(h)下坡路段 7%

圖 6 下坡路段行車方向流率在對向流率不同情境下速率變化情形

由前述模擬分析得知，純小客車車流在坡度路段，約在坡長 1,000 公尺處位置，自由速率衰退至最低後維持穩定的速率繼續爬坡，因此本研究蒐集坡長 1,000 公尺處雙向最高流率總和估計容量，結果如圖 7。

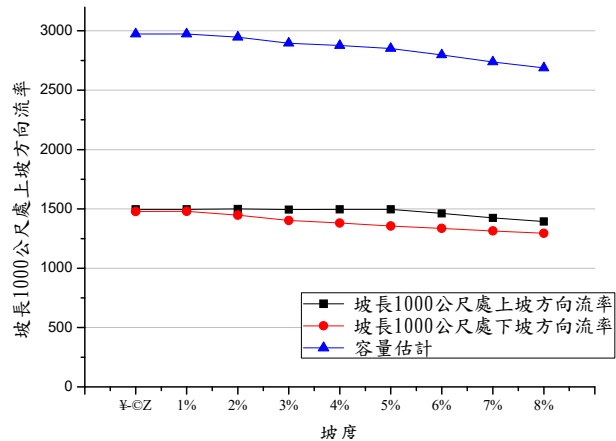


圖 7 坡長 1,000 公尺處容量估計

另由圖 7 顯示，郊區雙車道公路之上坡路段與下坡路段之平均速率與流率關係差異並不大，但相對而言，下坡方向的影響較大，可能與下坡要謹慎與降低速率以保安全的操作有關，至於坡度路段之雙向流率，則有平均速率略微隨總和流率增加而較低的關係。

四、應用 TGS-2L 模式分析郊區雙車道公路服務水準

4.1 分析流程

應用 TGS-2L 模式分析郊區雙車道公路服務水準之流程圖如圖 8 所示，各步驟分述如下：

1. 現場蒐集資料

包括欲分析之路段蒐集其交通控制情形、幾何條件、尖峰 15 分鐘之需求流率、自由速率、車種組成等資料。

2. 判斷是否為坡度路段

不受交叉路口影響之郊區雙車道公路，可能包含平坦路段及上、下坡路段，根據前述模擬結果，下坡路段可當作平坦路段，而上坡路段若具有較陡之坡度及坡長，則車輛速率可能顯著降低，因而影響服務水準，因此若為坡度路段，應蒐集公路基本資料，包括一路段的縱曲線或高程等。

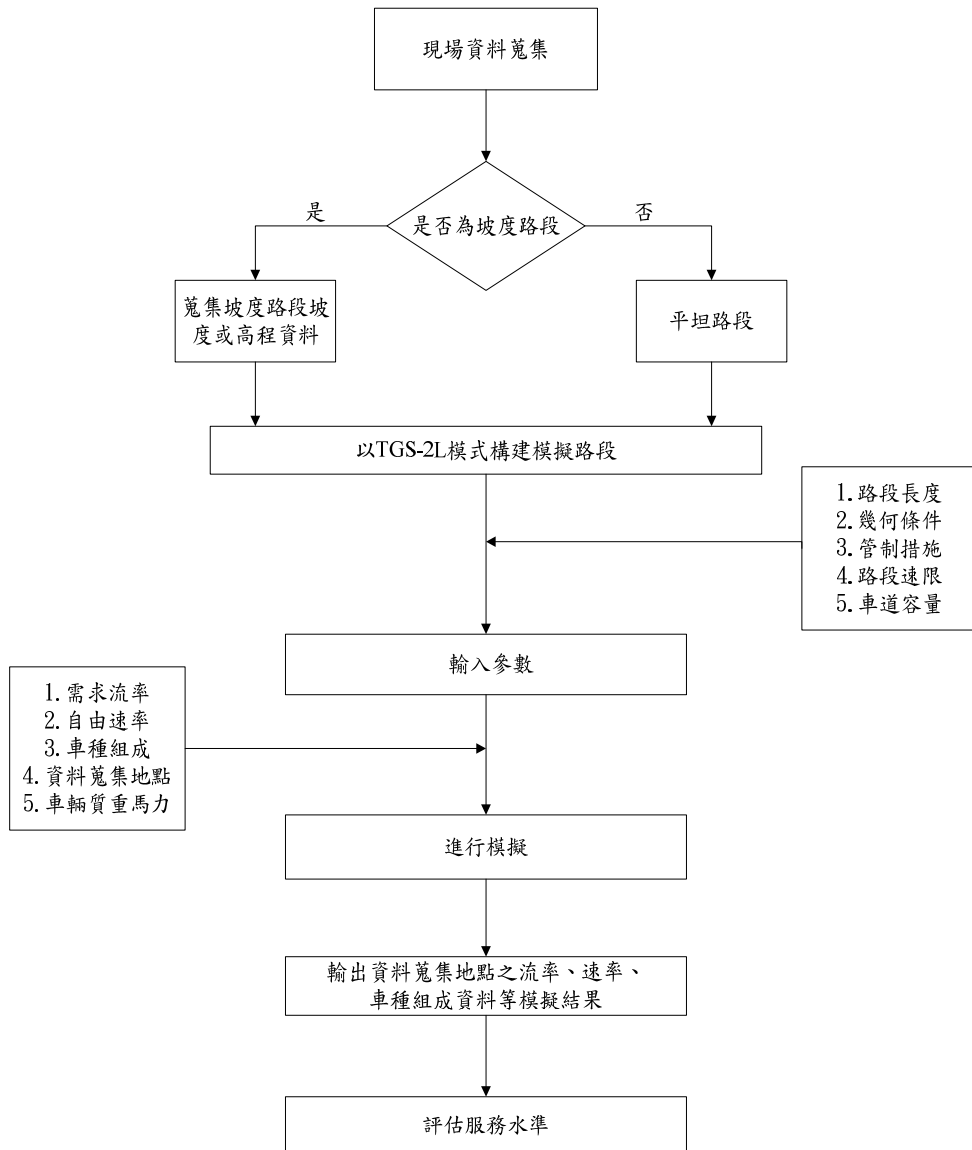


圖 8 運用 TGS-2L 模式分析郊區雙車道公路服務水準流程圖

3. 構建模擬路段

根據現場所蒐集資料，以 TGS-2L 模式之節點及節線構建模擬路段，並設定相關條件，如車道容量、速限、車道寬、路肩寬、路段長度、車道使用限制、坡度或高程、平曲線坡長及曲率半徑（含超高）等。

4. 輸入參數

將模擬次數、模擬時段、模擬時間與長度、亂數設定等，以及現場蒐集所得之資料，

如需求流率、自由速率、車輛特性、車種組成、資料蒐集地點，依照 TGS-2L 模式各檔型之設定輸入以上參數並進行模擬。

若認為某些檔型 TGS-2L 模式預設值不適用，應以現場資料校估後加以調整，例如車輛的馬力及質量、車輛之自由速率等。

5. 輸出模擬結果

TGS-2L 模式之輸出值為各節線之流率、平均速率、耗油量、車種組成，以及各節線中每一資料蒐集地點位置與車道種類，及其流率、空間平均速率、時間平均速率及車種組成。因此本步驟應設定各資料蒐集地點，蒐集上述模擬結果，利用上述輸出值評估服務水準。

6. 評估服務水準

2011 年臺灣 HCM 建議採用表 2 及表 3 之績效指標來評估服務水準；若利用 TGS-2L 模式進行模擬分析，可利用其輸出檔之流率與平均速率，進行服務水準分析。若要估計路段容量，可將輸入之需求流率從低流率一直增加至流率超過設定之容量，即可發現需求流率超過設定之容量時，輸出之節線流率增加幅度趨緩，此時該流率即為路段之估計容量。

4.2 應用 TGS-2L 模式之基本說明

應用 TGS-2L 模式時，最重要的工作是建立一輸入檔，其檔名為 TGS-2L.txt，執行模擬時只要執行 TGS-2L.exe，模擬完成之後即可獲得輸出檔，其檔名為 TGS-2L.out。輸入檔的建立可參見運研所報告^[2]，主要輸入的資料包括：模擬狀況設定（包括模擬次數、模擬時段次數、熱機時間、資料蒐集開始及結束之瞬間、亂數種子等）、幾何設計條件（包括模擬網路之節線與節點的設定、各節線的幾何設計特性等）、需求流率（包括總需求流率、車種組成、車道使用狀況等）、管制狀況設定（包括各區間的速限、禁止超車路段等）。輸出檔主要的資料包括：各偵測站或全部模擬路段之流率與速率、耗油量及車種組成、超車區對向及順向流率、超車百分比等。

4.3 北宜公路（臺 9 線）之實例應用

藉由公路總局的協助，本研究整理臺 9 線北宜公路基本資料，表 4 為里程樁號每 500 公尺之高程資料，表 5 為沿線及彎道長度及半徑。本研究先選取 20 個可能為瓶頸路段的地點，再以 TGS-2L 模式分析各地點的流率與速率關係，找出瓶頸地點。

國道 5 號公路（以下簡稱國 5）於 2006 年 6 月通車，運研所曾針對其通車前後，進行 3 階段的周界交通量調查發現，未通車前平日上午或下午尖峰交通量約 400~560 輛／小時，假日則有 750~1,100 輛／小時；國 5 通車後北宜公路交通量呈現大幅下滑現象，平均約降低 46.82% 左右，主要減少的車種為小型車，幅度高達 6 至 7 成。經進一步整理 2014 年公路總局公路調查臺 9 線交通量資料^[21]，各類車種車輛數、車輛比例、尖峰小時、方向係數等資料，作為以下的初始模擬分析。

表 4 臺 9 線北宜公路段高程及坡度整理資料

里程樁號	高程(m)	里程樁號	高程(m)	里程樁號	高程(m)	里程樁號
14K+500	81	29K+000	474	43K+000	362	57K+000
15K+000	85	29K+500	493	43K+500	361	57K+500
15K+500	107	30K+000	495	44K+000	372	58K+000
16K+000	124	30K+500	467	44K+500	364	58K+500
16K+500	156	31K+000	432	45K+000	360	59K+000
17K+000	192	31K+500	421	45K+500	353	59K+500
17K+500	212	32K+000	378	46K+000	343	60K+000
18K+000	236	32K+500	363	46K+500	333	60K+500
18K+500	259	33K+000	351	47K+000	318	61K+000
19K+000	282	33K+500	312	47K+500	331	61K+500
19K+500	297	34K+000	299	48K+000	308	62K+000
20K+000	317	34K+500	293	48K+500	320	62K+500
20K+500	341	35K+000	246	49K+000	306	63K+000
21K+000	372	35K+500	221	49K+500	349	63K+500
21K+500	392	36K+000	206	50K+000	367	64K+000
22K+000	416	36K+500	195	50K+500	388	64K+500
22K+500	440	37K+000	199	51K+000	404	65K+000
23K+000	452	37K+500	189	51K+500	421	65K+500
23K+500	446	38K+000	195	52K+000	453	66K+000
24K+000	468	38K+500	209	52K+500	437	66K+500
24K+500	480	39K+000	219	53K+000	444	67K+000
25K+000	500	39K+500	242	53K+500	451	67K+500
25K+500	529	40K+000	250	54K+000	455	68K+000
26K+000	546	40K+500	269	54K+500	476	68K+500
26K+500	547	41K+000	311	55K+000	500	69K+000
27K+000	524	41K+500	323	55K+500	515	69K+500
28K+000	535	42K+000	326	56K+000	522	70K+000
28K+500	493	42K+500	360	56K+500	549	

資料來源：[21]。

表 5 臺 9 線北宜公路段彎道與曲率半徑整理資料

彎道 起點	彎道 終點	半徑 (公尺)	彎道長度 (公尺)	彎道 起點	彎道 終點	半徑 (公尺)	彎道長度 (公尺)
20K+000	20K+083	735	83	40K+600	40K+685	33	85
20K+300	20K+398	170	98	41K+000	41K+090	20	90
20K+600	20K+687	108	87	41K+200	41K+430	100	230
21K+443	21K+561	22	118	42K+750	42K+950	68	200
21K+717	21K+846	47	129	43K+300	43K+430	81	130
22K+733	22K+863	50	130	43K+750	43K+965	40	215
24K+150	24K+235	85	85	43K+850	44K+000	42	150
24K+640	24K+732	85	92	44K+200	44K+380	31	180
24K+900	24K+973	50	73	48K+200	48K+310	33	110
26K+950	27K+066	82	116	48K+900	49K+.005	42	105
27K+300	27K+352	32	52	49K+300	49K+380	66	80
27K+400	27K+461	28	61	49K+900	49K+996	33	96
27K+560	27K+622	56	62	53K+900	53K+997	43	97
28K+050	28K+135	54	85	54K+100	54K+230	48	130
29K+300	29K+42	67	120	54K+600	54K+741	50	141
29K+600	29K+705	31	105	54K+655	54K+779	27	124
30K+200	30K+277	45	77	57K+669	57K+082	50	151
30K+850	30K+941	35	91	59K+443	59K+541	43	98
31K+100	31K+268	53	168	60K+097	60K+152	35	55
31K+200	31K+305	58	105	61K+024	61K+090	20	66
31K+400	31K+538	31	138	61K+389	61K+517	33	128
31K+650	31K+790	32	140	62K+012	62K+094	22	82
31K+950	32K+008	38	130	62K+728	62K+.802	29	74
34K+250	34K+043	25	180	62K+872	62K+923	14	51
35K+200	35K+577	98	377	63K+017	63K+084	31	67
36K+800	37K+225	50	425	64K+085	64K+157	19	72
37K+500	37K+753	91	253	64K+874	64K+937	34	63
39K+600	39K+663	73	63	65K+208	65K+254	13	46
39K+700	39K+825	40	125	66K+288	66K+353	17	65
39K+900	40K+003	51	103	67K+479	67K+530	14	51
40K+200	40K+330	57	130	67K+844	67K+957	43	113

4.3.1 瓶頸分析

根據前述的幾設計、速限及禁止超車路段等交通管制、現況交通量等，本研究依據使用者手冊建立 TGS-2L 模式之輸入檔。暫時先分析純小汽車流，至於模擬分析的流率狀況，先以雙向需求流率設定為 10 輛／小時，探討自由速率狀況。另以現況尖峰小時流量 1,005 輛／小時，方向係數 0.55 (北向為 553 輛／小時，南向為 452 輛／小時，分析中流率狀況。最後再以較高的流率狀況 (雙向均為 1,500 輛／小時) 分析過飽和狀況車流。經探討前述 20 處地點的流率與平均速率，結果整理如表 6。

觀察此 20 個地點的自由速率狀況，自由速率較低的地點通常其容量較低，常成為公路瓶頸所在。表 6 自由速率明顯低於 60 公里／小時的幾個地點為潛在的瓶頸。新店往頭城南向的 21K+900 (上坡路段)、58K+500 至 67K+500 (接近頭城的彎道及下坡路段)，以及頭城往新店北向的 67K+500 至 58K+500 (由頭城開始的彎道及上坡路段)，為公路幾何條件不佳的瓶頸路段。另外，觀察此 20 個路段的流率與速率變化，由往北方向在臺 9 線 61K+000 至 58K+500 路段，偵測站的流率由 1,476 輛／小時降低為 1,390 輛／小時，平均速率由 37.3 公里／小時降低至 19.1 公里／小時，該路段位於連續爬坡路段的頂點路段，故其車流運作狀況最為不佳。此外，在北向 55K+000 至 53K+000、53K+000 至 51K+400、51K+400 至 50K+600、50K+600 至 50K+100、26K+600 至 21K+900 等 5 個路段，由低流率 10 輛／小時、中流率至接近容量之高流率，平均速率顯著下降，以上情形顯示該路段可能瓶頸路段，可作為優先改善的目標。

另由高流率狀況 (單向 1,500 輛／小時) 的模擬，各地點的通過流率，南向最低的 3 個地點平均值約為 1,355 輛／小時，北向平均約 1,360 輛／小時，這兩個數值可作為北宜公路南向與北向的公路容量估計值。

4.3.2 車種組成對車流運作之影響

北宜公路位於丘陵區，禁止超車區依實際狀況接近 100%，本研究以現況尖峰小時通量 (北向 553 輛／小時，南向 452 輛／小時) 及各車種比例分析對車流組成所造成的影響，車種比例係以年平均每日各車種比例：北向小客車 53%、大貨車 15%、機車 32%；南向小客車 43%、大貨車 17%、機車 40% 為輸入值，進行混合車流與純小車流之模擬比較分析，模擬結果如表 7。

由表 7 得知，在混合車流狀況下，各路段的平均速率均較純小車流為低，尤其是在 58K+500 至 67K+500 坡度路段；車種造成車流的影響，也隱含著若管制尖峰時段禁行大車，很可能會對於車流行進效率有直接助益。另一方面，若僅以 V/C 來分析目前車流狀況的服務水準等級，則均落在 B 級。但卻無法反映駕駛人比較能感受到的平均速率，由表 7 得知平均速率差異在 10 至 20 公里／小時之間。若以運研所建議的雙績效指標^[2,3]，較可反映行駛速率和速限之間的差異，可準確反映駕駛人在 V/C 及速率所感受的服務水準。

表 6 模擬 20 個路段純小車流在不同流率情境下流率與速率變化情形

需求流率 瓶頸地點	方向 往	北：10 輛／小時 南：10 輛／小時		北：553 輛／小時 南：452 輛／小時		北：1,500 輛／小時 南：1,500 輛／小時	
		流率 (輛／小時)	自由速率 (公里／小時)	流率 (輛／小時)	平均速率 (公里／小時)	流率 (輛／小時)	平均速率 (公里／小時)
19K+400	北	12	67.7	551	64.3	1,359	59.8
	南	10	71.0	452	63.5	1,420	41.0
21K+900	北	13	65.3	560	55.8	1,360	50.0
	南	10	50.8	451	50.0	1,421	50.6
26K+600	北	15	68.8	540	62.7	1,374	60.5
	南	13	72.0	447	63.5	1,360	33.5
32K+200	北	13	69.5	563	61.7	1,366	59.9
	南	13	71.6	458	64.9	1,360	63.3
34K+400	北	14	63.9	554	56.2	1,367	56.5
	南	15	68.1	453	62.2	1,358	56.2
38K+100	北	13	68.5	558	64.8	1,368	65.4
	南	18	70.5	455	64.1	1,361	63.9
39K+600	北	11	67.9	552	64.4	1,368	61.9
	南	17	70.4	455	64.1	1,357	63.4
42K+700	北	12.	67.7	562	62.1	1,365	59.0
	南	16	70.4	455	63.9	1,357	62.1
44K+100	北	12.	67.8	553	64.2	1,365	63.2
	南	15	69.8	462	64.0	1,355	62.9
46K+000	北	13	68.0	557	64.1	1,366	63.4
	南	14	69.7	456	62.3	1,362	59.9
48K+200	北	11	67.4	580	64.6	1,365	64.5
	南	14	69.7	467	63.8	1,361	63.7
50K+100	北	12.	68.3	563	63.3	1,362	52.3
	南	14	61.2	445	55.4	1,354	58.1
50K+600	北	12.	68.8	567	64.0	1,362	52.8
	南	14	68.8	446	59.5	1,357	59.4
51K+400	北	12.	67.4	572	62.3	1,362	48.0
	南	13	67.0	444	59.6	1,357	58.3
53K+000	北	12.	69.0	566	64.9	1,379	55.6
	南	13	69.6	469	63.1	1,354	60.6
55K+000	北	13	68.4	554	58.6	1,381	41.4
	南	13	56.1	478	55.4	1,358	56.0
58K+500	北	14	64.9	561	58.4	1,390	19.1
	南	12	41.3	469	39.3	1,366	39.6
61K+000	北	6	38.3	558	37.4	1,476	37.3
	南	13	41.4	452	36.8	1,365	36.6
64K+100	北	7	34.7	563	34.7	1,473	34.7
	南	13	40.3	459	38.2	1,372	38.3
67K+500	北	5	32.6	563	32.4	1,484	32.4
	南	11	39.4	482	39.2	1,378	39.3

表 7 混合車流與純小車流之車流模擬分析比較

地點 \ 流率	方向 往	混合車流				純小車流			
		流率 (輛／小時)	速率 (公里／小時)	V/C	L.O.S.	流率 (輛／小時)	速率 (公里／小時)	V/C	L.O.S.
19K+400	北	577	43.1	0.42	B4	551	64.3	0.41	B1
	南	441	54.0	0.33	B1	452	63.5	0.33	B1
21K+900	北	562	43.9	0.41	B4	560	55.8	0.41	B1
	南	438	38.8	0.32	B5	451	50.0	0.33	B2
26K+600	北	562	49.2	0.41	B2	540	62.7	0.40	B1
	南	437	54.4	0.32	B1	447	63.5	0.33	B1
32K+200	北	584	49.5	0.43	B1	563	61.7	0.41	B1
	南	454	49.4	0.34	B2	458	64.9	0.34	B1
34K+400	北	553	49.6	0.41	B2	554	56.2	0.41	B1
	南	441	45.9	0.33	B2	453	62.2	0.33	B1
38K+100	北	556	47.9	0.41	B2	558	64.8	0.41	B1
	南	437	52.4	0.32	B1	455	64.1	0.34	B1
39K+600	北	567	45.1	0.42	B2	552	64.4	0.41	B1
	南	458	52.4	0.34	B3	455	64.1	0.34	B1
42K+700	北	542	43.9	0.40	B2	562	62.1	0.41	B1
	南	449	52.4	0.33	B1	455	63.9	0.34	B1
44K+100	北	564	49.8	0.41	B2	553	64.2	0.41	B1
	南	444	52.4	0.33	B1	462	64.0	0.34	B1
46K+000	北	537	49.8	0.39	B2	557	64.1	0.41	B1
	南	449	47.8	0.33	B2	456	62.3	0.34	B1
48K+200	北	542	50.5	0.40	B2	580	64.6	0.43	B1
	南	476	52.3	0.35	B1	467	63.8	0.34	B1
50K+100	北	544	43.1	0.40	B3	563	63.3	0.41	B1
	南	457	52.6	0.34	B1	445	55.4	0.33	B1
50K+600	北	546	44.6	0.40	B3	567	64.0	0.42	B1
	南	454	52.3	0.34	B1	446	59.5	0.33	B1
51K+400	北	538	43.4	0.40	B4	572	62.3	0.42	B1
	南	463	52.1	0.34	B1	444	59.6	0.33	B1
53K+000	北	547	50.5	0.40	B2	566	64.9	0.42	B1
	南	459	52.2	0.34	B3	469	63.1	0.35	B1
55K+000	北	541	44.2	0.40	B3	554	58.6	0.41	B1
	南	462	49.1	0.34	B3	478	55.4	0.35	B1
58K+500	北	538	56.2	0.40	B1	561	58.4	0.41	B1
	南	453	32.1	0.33	B6	469	39.3	0.35	B5
61K+000	北	540	27.5	0.40	B6	558	37.4	0.41	B6
	南	466	29.7	0.34	B6	452	36.8	0.33	B6
64K+100	北	546	13.5	0.40	B6	563	34.7	0.41	B6
	南	464	30.9	0.34	B6	459	38.2	0.34	B5
67K+500	北	559	11.1	0.41	B6	563	32.4	0.41	B6
	南	481	33.4	0.35	B6	482	39.2	0.36	B5

4.3.3 增加北向純小汽車需求流率之影響

由前述分析可知，臺 9 線北向還有一些空間可供宜蘭與頭城方向往北的行車容量，可作為收假日北上車流尖峰時段紓解國道 5 號頭城往新店車流的替代道路。因此本研究模擬在尖峰小時情況下，北上方向分別增加需求流率 200 輛／小時、400 輛／小時的純小車流的流率與平均速率情形，模擬分析結果如表 8。由表 8 可知，增加 200 輛／小時需求量還不會明顯影響北宜公路的服務水準，即便是增加 400 輛／小時需求時，北宜公路北上方向的行車速率與服務水準情況還可接受。因此，若公路主管機關能配合相關的管制措施（例如說尖峰時段禁行大車等），應可以適當轉移國道 5 號之假日末期北上車潮。本研究建議可將此資訊提供收假日國道 5 號駕駛人改道參考。另外，本研究建議交通主管機關可善用 TGS-2L 模式作為分析工具，來進行北宜公路之各項工程改善評估（如改善彎道、增加雙向車道寬度、增設爬坡車道等），或交通管制措施分析（如假日期間禁止大貨車、大客車或機車通行等）。

五、結論與建議

本研究應用運研所發展的模擬分析工具 TGS-2L 模式，分別模擬郊區雙車道公路 1% 至 8% 上下坡度路段，各車種在不同坡度與坡長組合與自由速率變化之情形，以及在坡度路段可超車情境下，雙向需求流率在各種組合下速率變化情形，以所輸出之流率及速率兩個輸出值，進行坡度路段交通特性分析，並提出以 TGS-2L 模式分析郊區雙車道公路服務水準流程、北宜公路（臺 9 線）之應用，獲得以下結論與建議：

1. 現行 2011 臺灣 HCM 採用延滯時間百分比、平均行駛速率、V/C 比作為郊區雙車道公路服務水準績效指標，但在坡度路段可能有低 V/C 比但是車速亦低情形。故運研所建議以 V/C 比（表 2）、行駛速率與速限差距（表 3）作為績效指標來劃分服務水準等級，以表達駕駛人在車流中所關切的速率變化及壅塞程度。本研究根據 TGS-2L 模式模擬分析之結果，認同運研所的建議，應較具合理性與務實性。
2. 經本研究實際應用 TGS-2L 模式發現，透過圖 8 的模擬流程，只要建立合宜的輸入檔，即可模擬分析臺灣郊區雙車道公路之服務水準或估計路段容量，包括了本研究應用於北宜公路（臺 9 線）的服務水準分析；建議後續研究可針對更多不同情境下之郊區雙車道公路進行模擬分析。
3. 經以 TGS-2L 模式設定幾項常見的臺灣郊區雙車道公路情境，模擬分析各車種在上坡路段及下坡路段自由速率受到坡度及坡長的影響、行車方向流率與對向流率不同組合對平均速率之影響等交通特性，結果發現：
 - (1) 各車種於不同自由速率進入不同坡度之自由速率與坡長的關係，除大型車輛（大客車、大貨車、半聯結車、全聯結車）對坡度相當敏感（隨坡長的降低率較為明顯）外，較為特別的小客車也有明顯的情形，機車則相較不敏感。

表 8 純小汽車流於北向流率增加車流率之服務水準分析

地點	方向 往	北上增加 200 輛／小時				北上增加 400 輛／小時			
		流率 (輛／小時)	速率 (公里／小時)	V/C	L.O.S.	流率 (輛／小時)	速率 (公里／小時)	V/C	L.O.S.
19K+400	北	733	64.1	0.54	C1	974	63.9	0.72	D1
	南	440	64.0	0.32	B1	440	64.0	0.32	B1
21K+900	北	743	55.5	0.55	C2	945	54.9	0.70	C1
	南	437	49.8	0.32	B2	437	49.8	0.32	B2
26K+600	北	747	62.3	0.55	C1	963	61.8	0.71	D1
	南	436	64.4	0.32	B1	436	64.4	0.32	B1
32K+200	北	737	60.7	0.54	C1	944	60.2	0.70	D1
	南	442	65.2	0.33	C1	442	65.2	0.33	B1
34K+400	北	765	55.3	0.56	C1	949	55.6	0.70	D1
	南	448	62.6	0.33	B1	448	62.6	0.33	B1
38K+100	北	756	64.4	0.56	C1	967	64.7	0.71	D1
	南	448	64.4	0.33	B1	448	64.4	0.33	B1
39K+600	北	753	64.0	0.55	C1	976	63.9	0.72	D1
	南	450	64.3	0.33	B1	450	64.3	0.33	B1
42K+700	北	764	60.9	0.56	C1	967	60.1	0.71	D1
	南	441	64.2	0.33	B1	441	64.2	0.33	B1
44K+100	北	777	63.6	0.57	C1	962	63.4	0.71	D1
	南	449	64.3	0.33	B1	449	64.3	0.33	B1
46K+000	北	761	63.7	0.56	C1	968	63.7	0.71	D1
	南	449	62.9	0.33	B1	449	62.9	0.33	B1
48K+200	北	770	64.6	0.57	C1	961	64.8	0.71	D1
	南	439	64.3	0.32	B1	439	64.3	0.32	B1
50K+100	北	767	62.7	0.56	C1	960	62.0	0.71	D1
	南	449	56.1	0.33	B1	449	56.2	0.33	B1
50K+600	北	758	63.6	0.56	C1	957	63.3	0.71	D1
	南	452	60.7	0.33	B1	452	60.8	0.33	B1
51K+400	北	757	61.5	0.56	C1	965	60.9	0.71	D1
	南	456	60.3	0.34	B1	456	60.4	0.34	B1
53K+000	北	768	64.6	0.56	C1	967	64.8	0.71	D1
	南	450	63.8	0.33	B1	450	63.8	0.33	B1
55K+000	北	763	54.8	0.56	C1	958	52.7	0.71	D1
	南	475	55.4	0.35	B1	475	55.5	0.35	B1
58K+500	北	774	57.4	0.57	C1	980	57.0	0.72	D1
	南	465	39.4	0.34	B5	465	39.5	0.34	B5
61K+000	北	757	37.3	0.56	C6	961	37.3	0.71	D6
	南	460	36.9	0.34	B6	460	37.0	0.34	B6
64K+100	北	765	34.7	0.56	C6	960	34.7	0.71	D6
	南	456	38.4	0.34	B5	456	38.3	0.34	B5
67K+500	北	765	32.4	0.56	C6	956	32.4	0.71	D6
	南	463	39.2	0.34	B5	463	39.2	0.34	B5

(2) 上坡路段在不同坡度及對向不同流率下的平均速率與流率關係顯示，坡度越大的路

段，平均速率隨行車方向流率之增加的降低率明顯較大；對向流率越大，也會降低行車方向的平均速率，對於降低率則與坡度明顯有關。

(3) 下坡路段在不同坡度及對向不同流率下的平均速率與流率關係顯示，下坡路段的坡度也明顯影響其車流速率與流率的關係；但坡度的大小對於平均自由速率的降低情形，相較於上坡路段較為緩和；對向流率的影響也相較於上坡路段不明顯。

(4) 郊區雙車道公路之上坡路段與下坡路段之平均速率與流率關係差異並不大，但相對而言，下坡方向的影響較大，可能與下坡要謹慎與降低速率以保安全的操作有關。

至於坡度路段之雙向流率，則有平均速率略微隨總和流率增加而較低的關係。

4. 本研究應用 TGS-2L 模式於北宜公路分析部分，顯示了 TGS-2L 模式的實用性，惟受限於時間，尚未能更為廣泛的運用於公路總局可進行的各項工程改善評估 (如改善彎道、增加雙向車道寬度、增設爬坡車道等)，或交通管制措施分析 (如假日期間禁止大貨車、大客車或機車通行等)，然 TGS-2L 模式的確可作為一實用的分析工具。

參考文獻

1. 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。
2. 交通部運輸研究所，公路坡度路段模擬模式之發展及應用 (2/3)，民國 104 年。
3. 交通部運輸研究所，公路坡度路段模擬模式之發展及應用 (3/3)，民國 105 年。
4. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, D.C., 2005.
5. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, D.C., 2010.
6. 曾平毅、陳冠男，「高速公路上坡路段大車之小客車當量」，*運輸計劃季刊*，第 45 卷，第 3 期，民國 105 年，頁 165-188。
7. 曾平毅、陳冠男，「應用 TGS 模式於高速公路坡度路段服務水準分析」，*中華道路季刊*，第 54 卷，第 2 期，民國 104 年，頁 51-62。
8. 曾平毅、林豐博、蘇振維、張瓊文，「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 45 卷，第 1 期，民國 105 年，頁 1-22。
9. 林佳韻，「郊區雙車道公路服務水準分析方法之初探」，中央警察大學交通管理研究所碩士論文，民國 105 年。
10. 交通部運輸研究所，2011 年臺灣公路容量手冊，民國 100 年。
11. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2011.
12. "Heavy Vehicle Effect on Florida Freeways and Highways", Research and Innovative Technology Administration, University Transportation Centers Program, Washington, D.C., 2011(in progress).
13. "Heavy Vehicle Adjustment Factors for High Percentages of Trucks", Report Submitted to

- Research and Innovative Technology Administration, University Transportation Centers Program, Washington, D.C., 2010.
14. *FGSV:Hand buch fuer die Bemessung von Strassen (German Highway Capacity Manual)* HBS2001, Forschungsgesellschaft fuer Strassen und Verkehrswesen, Cologne, (www.fgsv-verlag.de), 2002 (revised edition: 2005).
 15. Brilon, W. and Weiser, F., "Two-Lane Rural Highways: The German Experience", In *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.
 16. CORSIM/TRAFED, Office of Operations Research, Federal Highway Administration, 2001.
 17. 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), Washington, DC: Federal Highway Administration, 1986.
 18. Dixon, M., Haderlie, S., and Sarepalli, S. S. K., "Using TWOPASS 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.
 19. Brannolte, U., *Simulation Program LASI*, Bauhaus-University of Weimar, Weimar, Germany, 1996.
 20. Washburn, S.S. and Li, J., "Development of a Simulation Program for Two-Lane Highway Analysis", Final Report, Center for Multimodal Solutions for Congestion Mitigation, University of Florida, Gainesville, Florida, 2010.
 21. 交通部公路總局，2014年省縣道交通量調查，民國103年。