

高速公路坡度路段服務水準分析之課題¹

Level-of-Service Analysis Issues of Freeway Grade Sections

曾平毅 Pin-Yi Tseng²

摘 要

高速公路坡度路段上的車流特性與平坦路段並不相同，因此於平坦之基本路段所建立之流率與空間平均速率的關係並不適用於分析坡度路段。美國公路容量手冊處理坡度車流時，乃將大車轉換成小車，然後依據坡度、坡度長度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。本文主要指出目前高速公路坡度路段服務水準分析方法之缺失，並探討國內目前之研究成果與作法，更進一步呼籲交通界多投入資源於此項議題之研究。

關鍵詞：高速公路；坡度路段；服務水準

Abstract

Since the traffic flow characteristics between level sections and grade sections of freeway are so different. It is inadequate to use the relationship of flow-rate and space mean speed built by level sections data to analyze the level-of-service of

¹ 本文部分資料整理自與交通部運輸研究所之歷年合作計畫，作者特別感謝運輸研究所之經費支援及美國克拉森大學林豐博教授之指導與協助，惟本文係屬作者觀點，並不代表任何單位之意見。

² 中央警察大學交通學系暨交通管理研究所副教授(聯絡地址為桃園縣龜山鄉大崗村樹人路 56 號；電話為 03-3282321 轉 4619；傳真：03-3281991；E-mail：una139@sun4.cpu.edu.tw)。

之目前作法，以及研討現行分析方法之缺點與未來改進方向。

二、高速公路平坦路段在基本狀況之車流關係

「2001 年台灣地區公路容量手冊」【4】將高速公路平坦路段之基本狀況訂為：

- 車道寬=3.75 公尺；
- 外側路肩寬=3 公尺；
- 內側路肩寬=1 公尺；
- 直線路段；
- 晴朗天氣及良好鋪面；
- 平常日之車流；
- 車流中只有小客車。

高速公路平坦路段基本狀況的佔有率與平均速率關係如圖 1 所示，流率與平均速率的關係則如圖 2 所示。此兩圖乃是根據中山高速公路在台中及汐止附近路段蒐集之資料繪製而成。台中路段之速限為 100 公里/小時，汐止路段之速限則為 90 公里/小時。

由圖 1 知，當佔有率(或密度)增加時，平均速率會減小。由圖 2 可知內車道及外車道的車流特性差異相當大。當流率相同時，外車道之平均速率比內車道之平均速率約低 10 到 20 公里/小時。事實上在穩定車流之狀況下，外車道之流率經常比內車道之流率稍低。而內車道之速率仍比外車道約高 10 到 15 公里/小時。但當車流進入不穩定或壅塞狀況時，內、外車流之差異隨即逐漸消失。

圖 2 顯示，在基本狀況下內側車道之容量為 2,300 小客車/小時。所謂容量係指在某狀況下經常能持續最少 15 分鐘之最大流率的期望值【4】。台灣地區速限為 100 公里/小時之高速公路基本路段，其內車道之平均自由速率大約為 104 公里/小時；若在速限為 90 公里/小時之路段，則自由速率約為 97 公里/小時。當平均速率等於自由速率時，內車道每車道之流率可高達 1,200 小客車/小時，此時佔有率約為 7.5%。這現象意謂在穩定車流狀況下，只要流率不超過 1,200 小客車/小時/車道，或平均車距(headway)不超過 3 秒，或佔有率不超過 7.5%時，則內車道之駕駛人，不會覺得行車有受到限制的感覺，此時平

均速率等於自由速率。車距小於 3 秒時，平均速率開始下降。當流率等於容量時，佔有率會逼近 23%，此時內車道之平均速率仍可維持在 80 公里/小時。

外車道之駕駛人對車距較為敏感，但在穩定車流之狀況下，如車距大於 3.6 秒或流率小於 1,000 小客車/小時/車道時，平均速率仍可維持在自由速率。外車道之自由速率有比速限稍低之現象，並且外車道之大車一般較多，其車流受大車之影響亦較大，相關的研究必須特別注意此一特性。此外，外車道之容量只有 2,000 小客車/小時/車道。如圖 3 所示，流率等於容量時，佔有率約在 22% 左右，但當佔有率超過 20% 時，車流已可能會從穩定狀況進入不穩定狀況。

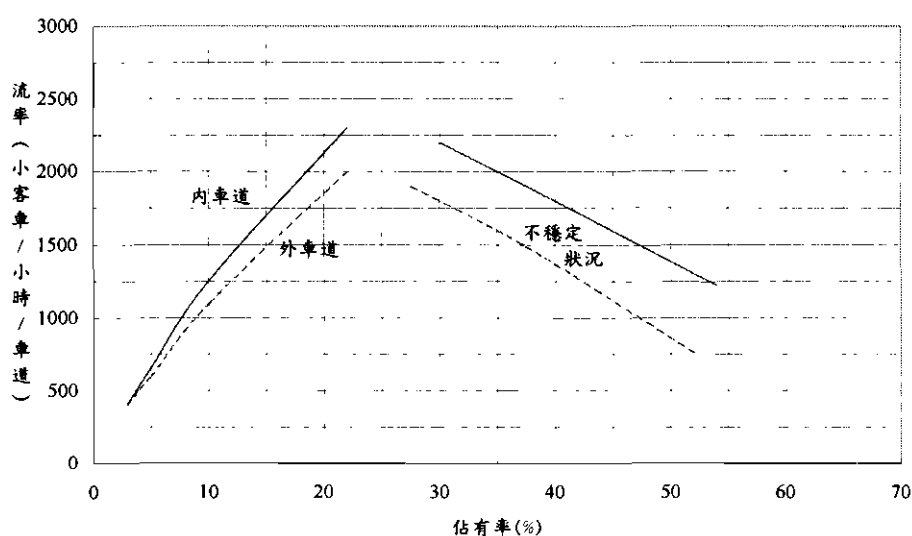


圖 3 中山高速公路平坦基本路段流率與佔有率之關係

三、坡度路段平均速率與流率之關係

目前有關台灣高速公路坡度路段之車流資料有限，運研所只在三義附近高速公路北上坡度路段蒐集過現場資料【2】。根據這些資料及平坦基本路段資料【3】，「2001 年台灣地區公路容量手冊」【4】乃建立圖 4 之關係，以顯示平均速率與流率在不同地點及大車比例（在圖 4 中標註之百分比數值）情況下之可能關係。

從圖 4 可知各曲線代表著不同坡度與大車比例下之車流特性。一般而言，大車比例越高或坡長及坡度增加時，平均自由速率(亦即高速車流在流率趨近零時之平均速率)越低而且容量也有隨著降低之傾向。

四、現行坡度路段服務水準分析之問題與分析

台灣地區之公路容量手冊有許多係引用自美國公路容量手冊，其中關於處理公路坡度路段之車流時，先將大車轉換成小車，然後依據坡度、坡度長度及大車比例將車流轉換成其特定基本狀況下之對等車流。但在這分析過程中，該手冊將坡度路段之流率與速率關係視為可以透過轉換與調整因素，而在平坦路段所建立之「對等車流關係」表示，不僅沒有考慮坡度對自由速率之影響，更忽略了其不同之流率與速率關係曲線。所以分析的結果常有高估平均速率而不能反應實際的服務水準。這問題可用圖 5 說明之。

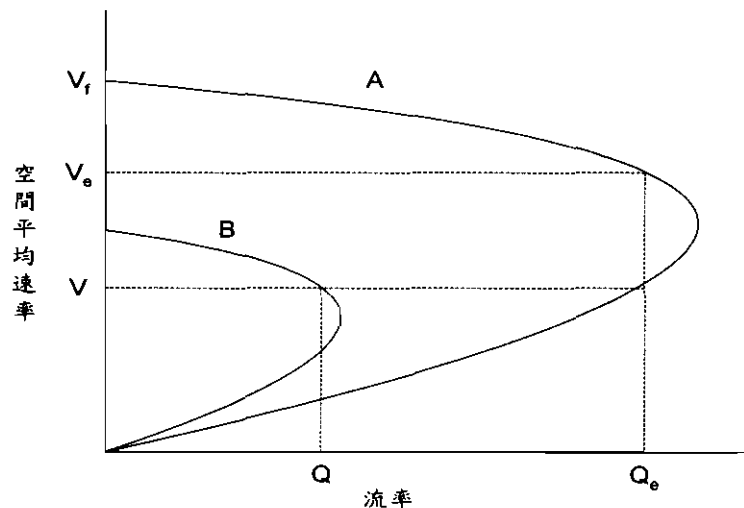


圖 5 坡度路段上實際車流與基本狀況下車流轉換示意圖

圖 5 中，假設曲線 B 代表坡度車流中有混合車種（如小車及 20%大車）時之實際流率與平均速率的關係，流率為 Q 時，其相關空間平均速率為 V 。 V_f 代表根據美國 2000 年容量手冊【6】所估計在基本狀況下之平均自由速率，其相關之流率與空間平均速率的關係假設為曲線 A。在分析過程中， Q 可利用大車之小客車當量（如 5 或 7）轉換成對等小車流率 Q_e ，然後利用曲線 A 以

P_a = 車流 Q_{av} 中之大車比例；

E = 大車之小客車當量；

Q_{bv} = 速率與流率關係曲線 b 在平均速率為 v 時之流率(輛/小時)；

P_b = 車流 Q_{bv} 中之大車比例。

根據上式，大車之小客車當量可估計如下：

$$E = \frac{Q_{bv}(1 - P_b) - Q_{av}(1 - P_a)}{Q_{av}P_a - Q_{bv}P_b} \quad (2)$$

圖 4 中之曲線只有曲線 C 及 D 有很相近的自由速率，所以此曲線可用以估計大車之當量值。例如平均速率為 75 公里/小時之情況下，曲線 D 之流率(Q_{av})為 1,100 輛/小時，其中大車比例(P_a)為 0.5，曲線 C 之流率(Q_{bv})則為 1,200 輛/小時，其中大車比例(P_b)為 0.37。從式 2 可知大車之小客車當量為 1.9。平均速率為 65 及 80 公里/小時之各相關小客車當量則大約是 2.1。

從圖 4 也可知在無大車而且平均自由速率為 85 公里/小時之情況下，速率及流率之關係曲線應在曲線 A 與 B 之間。如某一車流之速率為 75 公里/小時，則其相關流率大約為 1,600 小客車/小時。因曲線 C 有大致相同之自由速率而且在同樣的車流速率(75 公里/小時)下，其流率為 1,200 輛/小時，其中 37% 為大車，所以從式 2 可知曲線 C 所屬之大車之小客車當量大約為 2.0。

從上述之分析可推測，當兩車流之相關自由速率相同時，適用於轉換大車之小客車當量大約在 2.0 左右。在無其他合適資料以測試此當量值在廣泛交通狀況下的適用性之前，「2001 年台灣地區公路容量手冊」【4】乃暫訂坡度路段大車之小客車當量為 2.0。根據此當量及三義路段之資料，坡度路段之速率與小客車流率之關係可能如圖 5 所示。

五、未來研究方向與目前成果

5.1 未來研究方向

目前分析高速公路坡度路段服務水準之方法，實不宜且不能直接使用於平坦路段建立之流率與速率關係。坡度路段之流率與速率關係仍必須有完整、

流率關係曲線。圖 4 之現有資料仍有許多值得改進之處，惟此項工作必須有大量的資料。目前國外已發展有精確可靠之偵測器，可用以蒐集不同坡度狀況下，同一車道之坡度起點、不同坡度地點、坡度頂點等地之流率與速率關係，此資料如包含不同比例之大車，以及車流由正常狀況進如壅塞狀況之廣泛車流情形，則有機會建立不同之流率與速率曲線。

5.2 國內現有成果

台灣高速公路基本路段之幾何設計標準相當均勻，車道寬最少有 3.65 公尺，最多則為 3.75 公尺，路肩寬之變化也不大，目前尚無資料以了解平均自由速率與車道寬、路肩寬等因素之關係，根據現有資料，「2001 年台灣地區公路容量手冊」【4】建議利用下列之自由速率以分析平坦路段：

1. 速限 100 公里/小時之路段

- 內車道自由速率=104 公里/小時
- 外車道自由速率=94 公里/小時

2. 速限 90 公里/小時之路段

- 內車道自由速率=97 公里/小時
- 外車道自由速率=87 公里/小時

坡度路段上的平均自由速率除了可能受上述因素之影響之外，也會受坡度、坡長及重車比例之影響。目前台灣沒有足夠資料可用以訂定小車及大車之自由速率在坡度路段之變化特性，所以現有文獻【3】建議暫時利用美國公路容量手冊所提供之資料。

為測試這些資料之適用性，本文特地在民國 89 年夏天在三義坡度路段蒐集車速變化之資料³，結果如表 2 所示。

表 2 中在離坡度起點 400 公尺及 800 公尺之平均自由速率比美國公路容量手冊【5】之代表性大車速率高得多，其差異大約 20 公里/小時。距離坡度起點超過 1,600 公尺之地點的自由速率則幾乎與美國公路容量手冊所用的速率一樣。

³ 作者特別感謝國道公路警察局簡俊能隊長、兵界力及謝勝隆分隊長商借雷射測速槍，以及研究生曾朝顯、王俊成、姜心怡之協助調查。

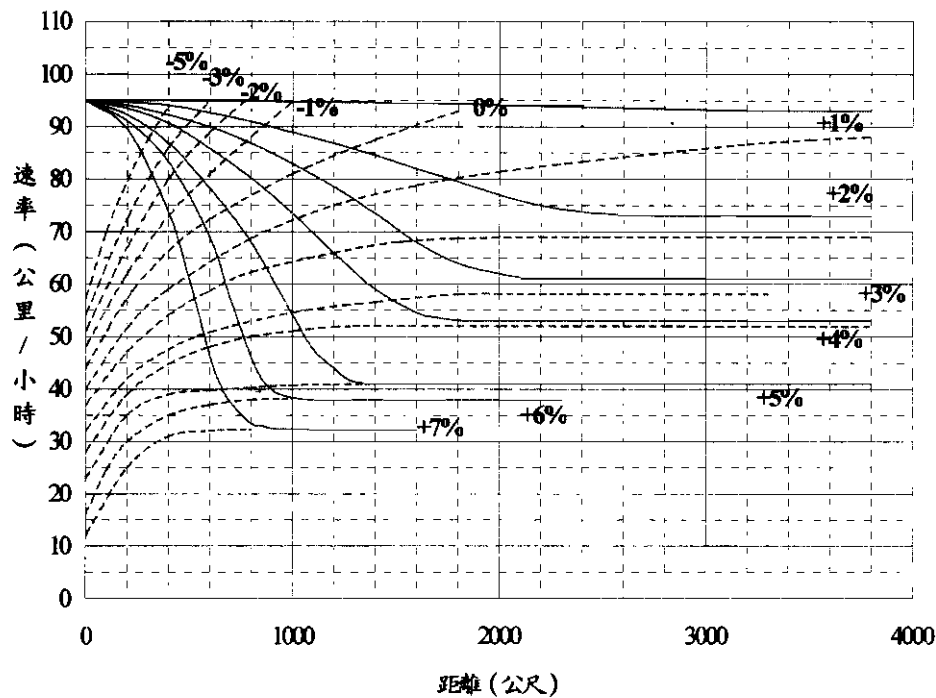


圖 6 大車在上下坡度路段加速(虛線)及減速(實線)之特性

表 3 比較根據上述手續所估計之平均自由速率與從三義北上坡度路段有限的現場資料估計而得的平均自由速率。從此表可知上述的估計手續所得之三義路段平均自由速率大致還算合理。但因圖 5 及式 3 乃根據很有限的資料，所以本節所描述的估計方法須在將來利用較完整的現場資料加以修正。

六、結 語

容量與服務水準分析的工作，必須要針對各種公路設施有完整、周延之資料蒐集與分析，以掌握基本交通特性，據以建立一套完整的分析方法。台灣歷年來投入此方面研究之資源十分有限，故短期間內很難有重大之突破。然而，本文係作者基於多年參與本項研究工作之心得，特別針對高速公路坡度路段服務水準分析之目前問題與未來研究方向，提出初步之探討分析。主要希望喚起國內交通界重視與投入此一重要的研究課題，進一步調查分析，

國 86 年 11 月。

- 4.交通部運輸研究所，「2001 年台灣地區公路容量手冊」，90-16-1183，民國 90 年 3 月。
- 5.Highway Capacity Manual, Special Report 209, Third Edition, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1998.
- 6.Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 2000.
- 7.中華民國運輸學會，「台灣地區城際快速公路容量及特性研究（西濱快速公路部分）」，交通部運輸研究所合作計畫，民國 91 年 6 月。

(91/11/08 收稿，91/12/10 第一次修改，91/12/11 定稿)