

86-70-1135

高速公路基本路段容量分析手冊



交通部運輸研究所

中華民國八十六年十一月

86-70-1135

高速公路基本路段容量分析手冊



交通部運輸研究所

中華民國八十六年十一月

**交通部運輸研究所
合作研究計畫出版品摘要表**

出版品名稱：高速公路基本路段容量分析手冊			
國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號 009104860670	運輸研究所出版品編號 86-70-1135	
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：林志明 計畫主持人：林志明 研究人員：蘇振維 聯絡電話：(02)349-6806 傳真號碼：(02)545-0428		合作研究單位：中華民國運輸學會 計畫主持人：林豐博 地址：台北市南京東路五段102號10樓之3 聯絡電話：(02)363-4713	研究期間 自85年 7月 至86年 6月
關鍵詞：分析方法、高速公路基本路段、公路容量、服務水準、手冊			
摘要： <p>這本手冊主要在描述高速公路基本路段容量與服務水準分析的方法，可分別應用於規劃分析與作業分析之運用。本手冊中包括數個例子以作為分析方法應用之說明。在方法論中使用空間平均速度(space-mean speed)將高速公路基本路段的服務水準分為六個等級。因高速公路基本路段之內、外車道之車流特性有顯著的差異，所以在分析時需將其予以分別處理。本手冊為第一版，但在發展本手冊的方法時，所使用的資料仍十分有限，為改善分析方法的可靠性，日後應提升對下列三項車流特性之了解，以作為修正本手冊之依據：1.主線車道上車種分佈的特性；2.坡度路段平均速率與車流率之關係；3.坡度路段大、小車種之加、減速特性。</p>			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
86年11月	49	100	凡屬機密或限閱性出版品均不對外公開。一般性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
管制等級： <input type="checkbox"/> 機密 (<input type="checkbox"/> 解密日期 年 月 日 <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解密) <input type="checkbox"/> 限閱 (<input type="checkbox"/> 解限日期 年 月 日 <input type="checkbox"/> 主辦單位視情況辦理解限) <input checked="" type="checkbox"/> 一般			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見			

PUBLICATION ABSTRACT OF RESEARCH PROGRAM
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE : Manual on Capacity Analysis of Freeway Basic Sections			
ISBN(OR ISSN)	UNIFORM SERIAL CODE FOR GOVERNMENT PUBLICATIONS 009104860670	IOT SERIAL NUMBER 86-70-1135	
DIVISION : Transportation Planning Division DIVISION CHIEF : Tyh-Ming Lin PRINCIPAL INVESTIGATOR : Tyh-Ming Lin PROJECT STAFF: Cheng-Wei Su PHONE : (02)349-6806 FAX : (02)545-0428		PROJECT PERIOD FROM July 1996 TO June 1997	
RESEARCH AGENCY : PRINCIPAL INVESTIGATOR : Feng-Bor Lin PROJECT STAFF : ADDRESS : P. O. Box 935 Potsdam, NY 13676 U.S.A. PHONE : 01-315-265-4995			
KEY WORDS : Analysis methodology; Freeway basic sections; Highway capacity; Level of service; Manual			
ABSTRACT: <p>This manual describes major traffic flow characteristics of freeway basic sections and a methodology for capacity and level-of-service analysis of such sections. The methodology recommended in this manual can be used for both planning analysis and operational analysis. Example applications of this methodology are included. The recommended methodology uses space-mean speed to classify qualities of service into six categories. Its application requires that traffic lanes of a basic section be separated into inside lanes and outside lanes for disaggregated analysis. This requirement is prompted by the fact that the operating characteristics of inside lanes differ significantly from those of outside lanes. Field data available to the development of the recommend methodology are limited. For future revision of this methodology, efforts should be made to improve current understandings of lane distribution of traffic demand, relationships between speed and flow rate on grades, and the acceleration and deceleration characteristics of vehicles on grades.</p>			
DATE OF PUBLICATION November, 1997	NUMBER OF PAGES 49	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

第一章 緒論	1
第二章 車流特性	2
2.1 影響車流運作之因素	2
2.2 基本狀況	2
2.3 車道之車種分佈	3
2.4 車種之組成	7
2.5 時間平均速率及空間平均速率	7
2.6 車流率、平均速率與車流密度之關係	8
2.7 佔有率與車流密度之關係	9
2.8 平坦路段在基本狀況下車流率、平均速率 與佔有率之代表性關係	10
2.9 坡度路段在基本狀況下平均速率與車流率之關係	14
第三章 服務水準	17
第四章 分析架構及方法	19
4.1 訂定需求車流、評選標準及設計標準	19
4.2 訂定幾何設計內容	22
4.3 建立幾何設計之近似直線路段	22
4.4 訂定分析臨界點及估計臨界點之自由速率	24
4.5 分析平坦地段	27
4.5.1 臨界點內、外側車道之需求車流率及車種組成	27
4.5.2 服務車流率及容量	29
4.5.3 車道寬調整因素 f_w 及障礙物調整因素 f_d	30
4.5.4 駕駛人型態調整因素 f_p	30
4.5.5 車種組成調整因素 f_v	33

4.5.6 平均速率	33
4.6 分析坡度路段	34
4.6.1 臨界點自由速率	34
4.6.2 臨界點內、外側車道之需求車流率及車種組成	34
4.6.3 臨界點平均自由速率	34
4.6.4 服務車流率及容量	35
4.6.5 平均速率	36
4.7 評估服務水準	36
第五章 應用範例	37
5.1 例一：平坦路段之運作分析	37
5.2 例二：規劃及設計問題	40
5.3 例三：爬坡道之功能	47
第六章 參考文獻	49

圖目錄

圖 1 高速公路之組成	1
圖 2 車道分類	4
圖 3 平坦路段大車利用內側車道之比例	5
圖 4 坡度路段大車利用內側車道之比例(無爬坡道)	5
圖 5 坡度路段大車利用內、外側車道之比例(有爬坡道)	6
圖 6 中山高速公路平坦基本路段平均速率與佔有率之關係	11
圖 7 平坦路段在基本狀況下車流率與平均速率之關係	12
圖 8 內、外側車道在穩定與不穩定車流狀況下速率之差異	13
圖 9 中山高速公路平坦基本路段車流率與佔有率之關係	15
圖 10 坡度路段在基本狀況下速率與關係	16
圖 11 基本路段分析架構流程	20
圖 12 建立幾何設計近似直線路段之範例	23
圖 13 大車在坡度路段加速及減速之特性	26
圖 14 訂定臨界點之範例	26
圖 15 車道寬調整因素 f_w	31
圖 16 車道與路旁障礙物橫向距離之調整因素 f_d	32
圖 17 初步幾何設計之縱切面定線	41

表目錄

表 1 中山高速公路之車種組成	7
表 2 服務水準等級之劃分	18
表 3 基本狀況下坡度路段臨界點之容量(S_{bg} 之最大值)	35
表 4 坡度路段臨界點之自由速率(公里/小時)	42
表 5 臨界點內、外側車道之需求車流率 q 及大車比例 P_h	42
表 6 平坦路段服務車流率及容量之估計	43
表 7 平坦路段平均速率之估計	44
表 8 坡度路段臨界點內、外側車道之需求流率 q 及大車比例 P_h	44
表 9 坡度路段平均自由速率之估計	45
表 10 坡度路段服務車流率及容量之估計	45
表 11 坡度路段平均速率之估計	46
表 12 例題三，坡度路段臨界點內、外側車道之需求車流率 q 及大車比例 P_h	47
表 13 例題三，坡度路段平均自由速率之估計	48
表 14 例題三，坡度路段之容量及平均速率之估計	48

第一章 緒論

高速公路係指車輛進出受到完全管制之多車道分隔道路。所謂完全管制乃指無平面交叉之路口，並且只能經由匝道進出。如圖 1 所示，高速公路可能包括基本路段、進口匝道、出口匝道、收費站、交織路段及隧道等。基本路段指高速公路上其車流運作不受進、出口匝道、收費站、交織路段及隧道等幾何佈設或車流運作影響之路段。基本路段可能是平坦路段，也可能是有坡度的路段。一般高速公路的坡度很少超過 6%。

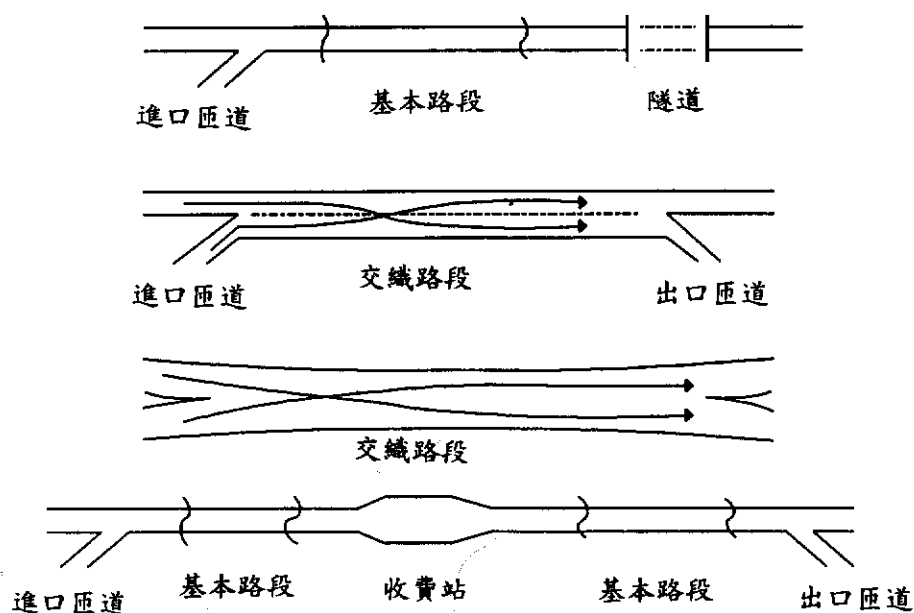


圖 1 高速公路之組成

本章之分析方法可供規劃、設計，及運作分析之用，此方法是綜合交通部運輸研究所在民國 82 年至 86 年間收集的資料及其他研究結果^{[1]、[2]、[3]、[4]}所發展之成果。因為本土化分析方法之發展需要大量本土化資料，而現有本土化資料蒐集仍然有限，未來仍有必要加強資料蒐集與研究工作，以做為持續增訂本章分析方法之根據。

第二章 車流特性

2.1 影響車流運作之因素

影響高速公路上車流運作之因素相當多。其中的主要因素包括：

- 幾何設計：

如車道數、車道寬度、路肩寬度、曲率、坡度、坡長及車道離路旁障礙物之距離等。

- 車流狀況：

如車流之需求(Traffic Demand)、車種之混合組成(Vehicle Mix)及駕駛員之行爲等。

- 鋪面狀況；

- 氣候及照明度；

- 事故；

- 道路施工或養護之作業；

- 車流控制及管理之措施。

影響高速公路上車流運作之因素複雜，且研究之時間、人力與資料有限，故本章分析方法僅考慮車道寬、車道離路旁障礙物之距離、車種組成、坡度、坡長及駕駛人性質等的影響因素。

2.2 基本狀況

爲了分析方便起見，本章將下列之狀況訂定爲基本狀況：

- 車道寬=3.75 米；

- 外側路肩寬=3 米；

- 內側路肩寬=1 米；

- 直線路段；

- 晴朗天氣及良好鋪面；
- 平常日之車流。

2.3 車道之車種分佈

如圖 2 所示，高速公路主線之車道可依車流之性質劃分為內側車道、外側車道及爬坡道。單方向只有 2 車道時，其中靠路肩之車道為外側車道，另一車道為內側車道。單方向有 3 車道時，靠近路肩之車道為外側車道，其他的兩車道為內側車道。單方向有 4 車道時(不包括爬坡道)，最靠近路肩或爬坡道之兩車道為外側車道，其他兩車道為內側車道。

目前有關各車種如何分佈在不同車道之資料很有限。根據現有文獻^{(1)、(2)、(4)}及運輸研究所調查所得之資料，圖 3、4 及圖 5 顯示大車利用內外側車道之可能比例。這些圖中註明之車道數為主線單方向之數量，但不包括爬坡道。從圖 3 可知，當主線只有 2 車道，而大車佔所有車輛總數之 20%時，約有 25%之大車會使用內側車道，從圖 5 也可發現，當一坡度路段有爬坡道，主線有 4 車道，且大車佔所有車輛總數之 20%時，只有大約 2%的大車會使用內側之 2 車道，此外，大約 44%的大車會使用外側之兩條車道，其他 54%之大車則會利用爬坡道。

本章在 4.5 及 4.6 節中對如何利用圖 3、4 及圖 5 以估計車道之車種分佈有說明。

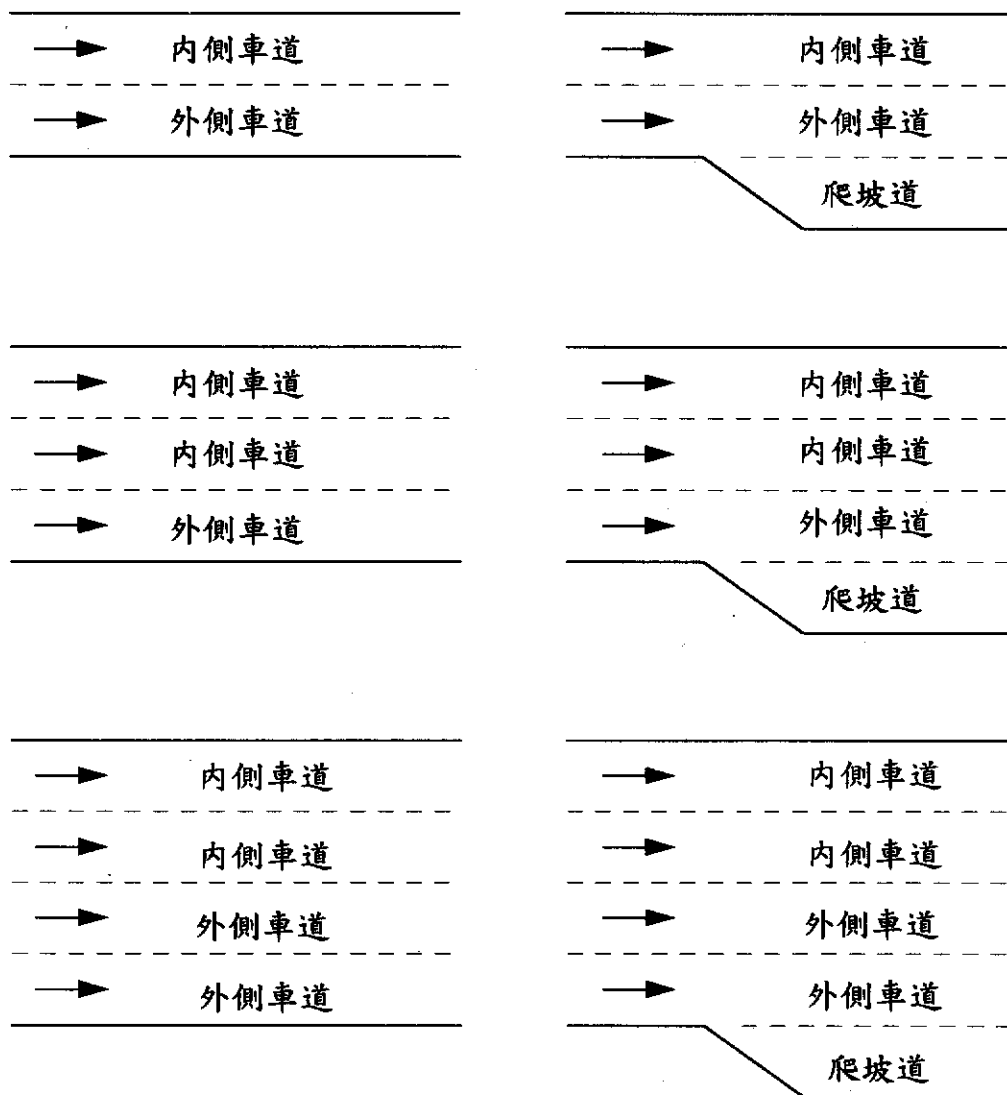


圖 2 車道分類

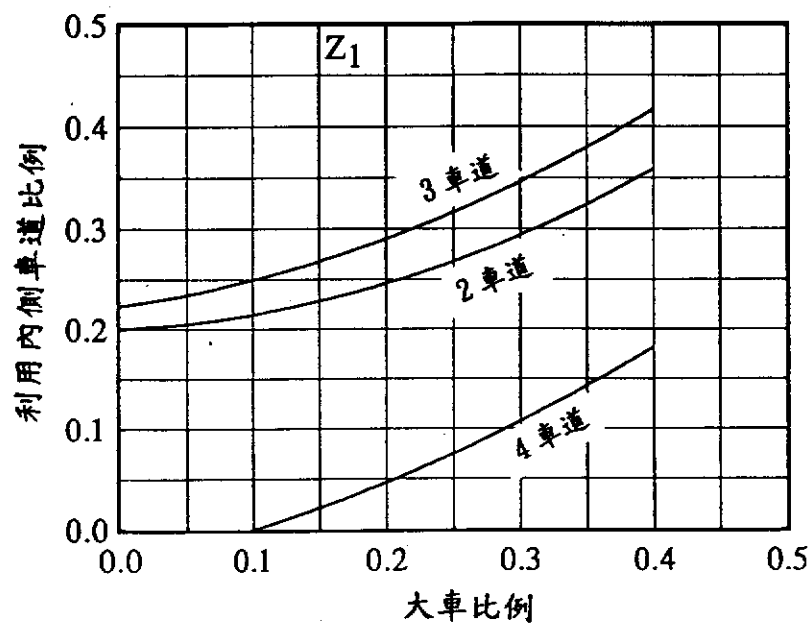


圖 3 平坦路段大車利用內側車道之比例

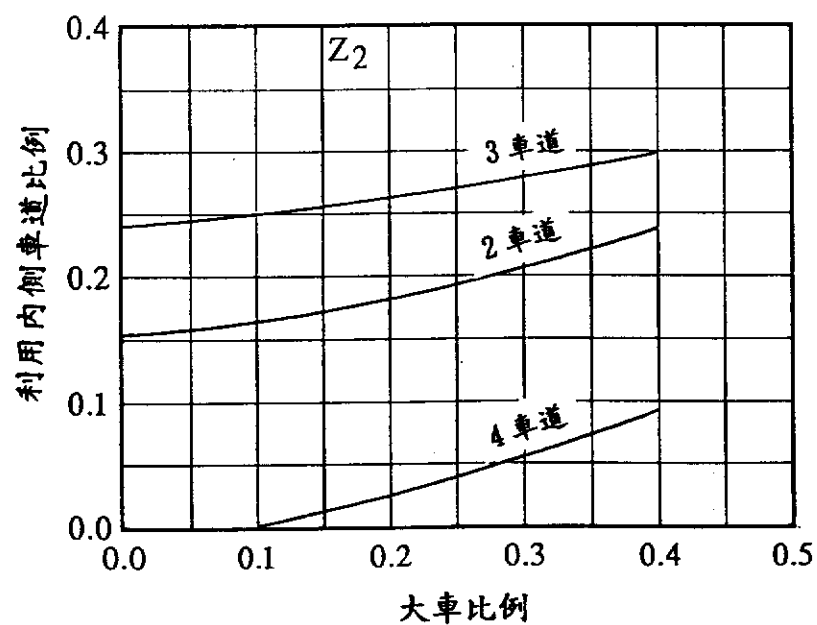


圖 4 坡度路段大車利用內側車道之比例(無爬坡道)

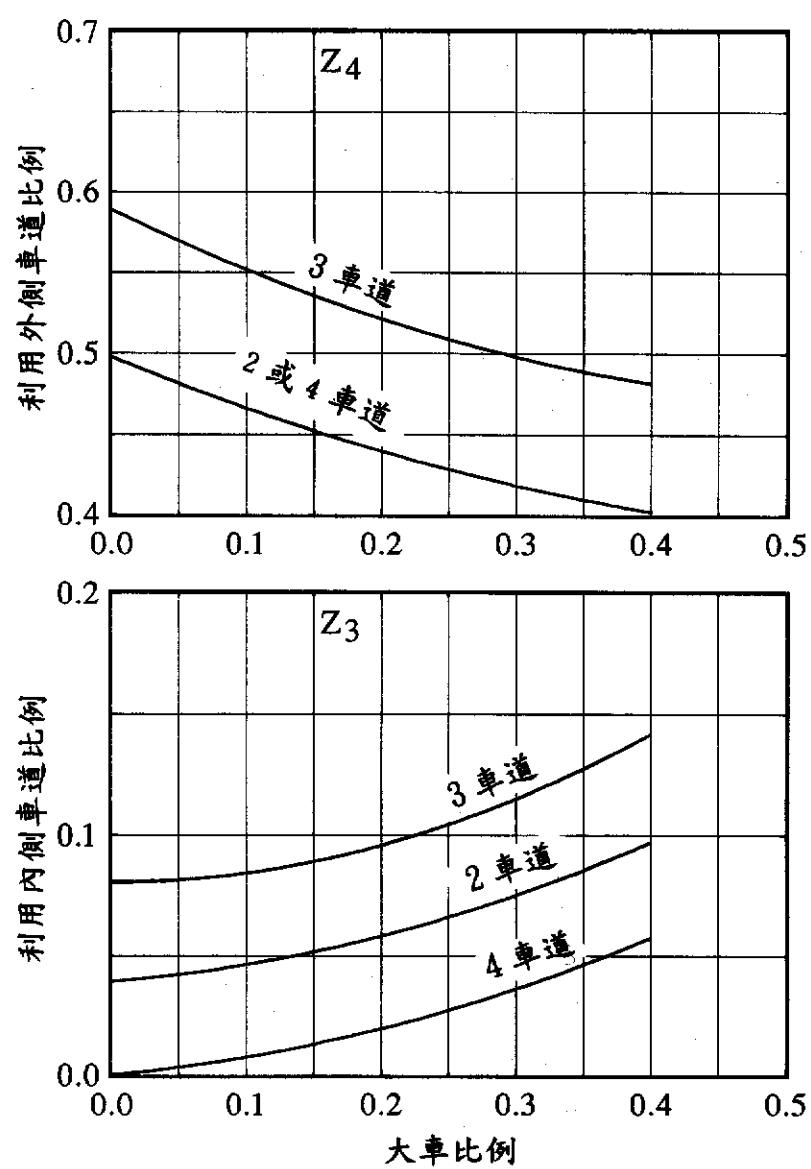


圖 5 坡度路段大車利用內、外側車道之比例 (有爬坡道)

2.4 車種之組成

高速公路上之車輛可分成小客車、小貨車、大客車、大貨車，及聯結車。在容量分析時，若車輛須細分成上述五車種，則資料之取得不易。所以本章之分析方法僅將車輛劃分為小車及大車。小車包括小客車、小貨車及車長小於8米之2軸輕型車輛，其他車輛則為大車。大車所佔之比率隨地點及時間而變，但一般約在15%到30%之間^{(1)、(2)}。⁽⁴⁾。表1顯示中山高速公路不同車種所佔比率之範圍。

表1 中山高速公路車種組成之範圍

車種	百分比
小車	
•小客車	55-73
•小貨車(2軸)	8-14
大車	
•大貨車	6-17
•大客車	3-6
•聯結車	4-14

資料來源：本研究調查。

2.5 時間平均速率及空間平均速率

時間平均速率(Time-Mean Speed)是各車輛速率之平均值，此速率可從下式求得：

$$V_t = \frac{\sum U_i}{n} \quad (1)$$

其中 V_t = 時間平均速率；

U_i = 車輛 i 之瞬間速率(Spot Speed)；

n = 車輛數。

空間平均速率 (Space-Mean Speed) 又稱為平均旅行速率 (Average Travel Speed)。此速率即為旅行之距離除以平均旅行時間。根據此定義，空間平均速率可估計如下：

$$V_s = \frac{n}{\sum(1/U_i)} \quad (2)$$

其中 V_s = 空間平均速率；

n 及 U_i 則如式 1 之定義；

時間平均速率及空間平均速率之關係可用下式代表之：

$$V_s = V_t - \frac{S^2}{V_t} \quad (3)$$

其中 S = 各別車輛時間速率之標準差 (Standard Deviation)。

通常在穩定車流狀況下，時間平均速率只比空間平均速率約高出 1~3 公里/小時。但在從穩定車流狀況轉移到不穩定之狀況，或在擁擠狀況（不穩定車流狀況）下，時間平均速率可能比空間平均速率高出 10~20 公里/小時⁽²⁾。

時間平均速率在容量分析上並沒有很大的利用價值，所以本章此後所指之平均速率，若無特別註明，均指空間平均速率。

2.6 車流率、平均速率與車流密度之關係

所謂車流率係指單位時間內通過一定點之車數，車流率之單位通常為輛/小時或輛/小時/車道。而所謂車流密度則指在單位長度內之車輛數，其單位為輛/公里或輛/公里/車道。如果以 Q 代表車流率， V_s 代表空間平均速率， D 代表車流密度，則三者有以下之關係：

$$Q = D \times V, \quad (4)$$

式 4 表示車流率會隨車流密度及速率而變。事實上速率也隨車流密度而變，所以只有車流密度是自變數。

直接測量車流密度是相當不容易的工作，所以車流密度通常是利用車流率及空間平均速率從式 4 估計而得。近年來因 Video Image Processing(VIP)之科技進展神速，有些高速公路系統已開始利用 VIP 直接量取車流密度。

2.7 佔有率與車流密度之關係

佔有率(Occupancy)係指某一小路段被至少一部車輛所佔據的時間的百分比，通常佔有率是以長 2 公尺或 6 呎的線圈偵測器(Inductive Loop Detector)測得，例如在 5 分鐘的偵測時間內，偵測器線圈被車輛佔據之總時間為 2 分鐘(含車頭進入到車尾離開偵測器之時間)，則佔有率為 40%。

從理論的眼光而言，車流密度與佔有率有以下之關係：

$$D = \frac{10 \times K}{L_d + L_v} \quad (5)$$

其中 D = 車流密度，輛/公里；

K = 佔有率(%)；

L_d = 偵測區長度(公尺)；

L_v = 車輛平均長度(公尺)。

如果無實際資料，建議在應用式 5 時，假設小客車或所有小車之平均長度皆為 5.5 公尺，大車之平均長度為 13.5 公尺。根據這些假設值，如大車之比例為 20%時，則車輛平均長度為 $L_v = 0.2 \times 13.5 + 0.8 \times 5.5 = 7.1$ 公尺。

2.8 平坦路段在基本狀況下車流率、平均速率與佔有率之代表性關係

如圖 6 所示，佔有率(或密度)增加時，平均速率會減小。在基本狀況下，平坦路段之車流率與平均速率的關係如圖 7 所示，此圖乃是根據中山高速公路在台中及汐止附近路段收集之資料繪製而成。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。

從圖 7 可知內側車道及外側車道的車流特性差異相當大。當車流率相同時，外側車道之平均速率比內側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，外側車道之車流率經常比內側車道之車流率稍低。雖然如此，如圖 8 所示，內側車道之速率仍比外側車道約高 10 到 15 公里/小時。但當車流進入不穩定或擠塞狀況時，內、外側車流之差異隨即逐漸消失。

圖 7 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 分鐘之最大車流率的期望值。台灣地區速限為 100 公里/小時之高速公路基本路段，其內側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，內側車道每車道之車流率可高達 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，只要車流率不超過 1,200 小客車/小時/車道，或平均車頭距(Headway)不超過 3 秒，或佔有率不超過 7.5%時，則內側車道之駕駛人，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。車頭距小於 3 秒時，平均速率開始下降。當車流率等於容量時，佔有率會逼近 23%，此時內側車道之平均速率仍可維持在 80 公里/小時。

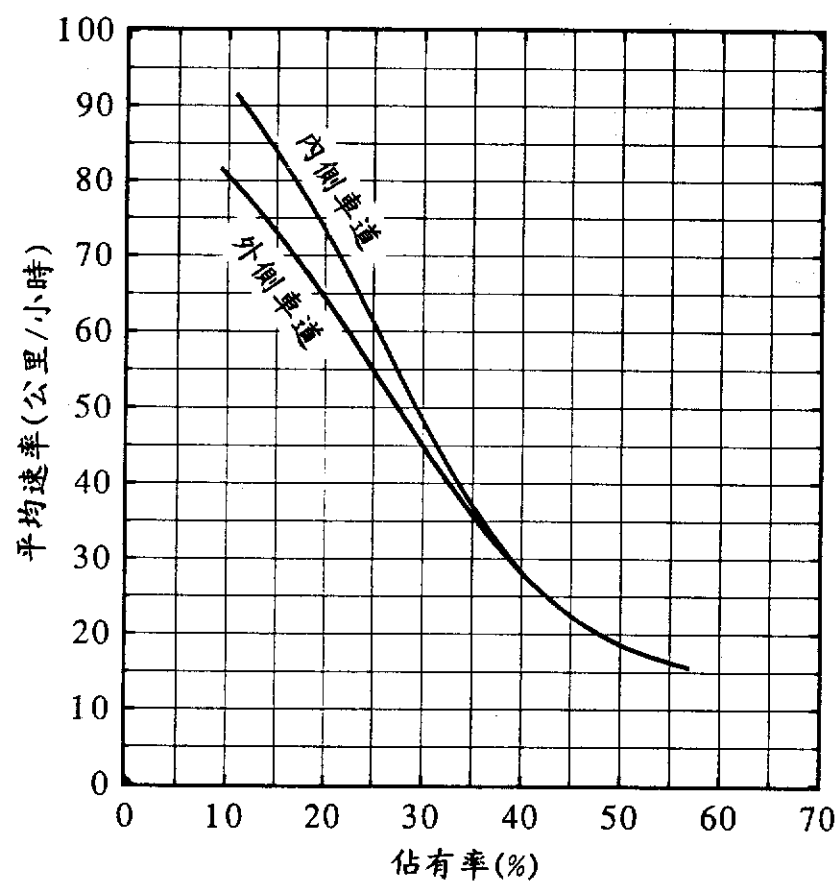


圖 6 中山高速公路平坦基本路段平均速率與佔有率之關係

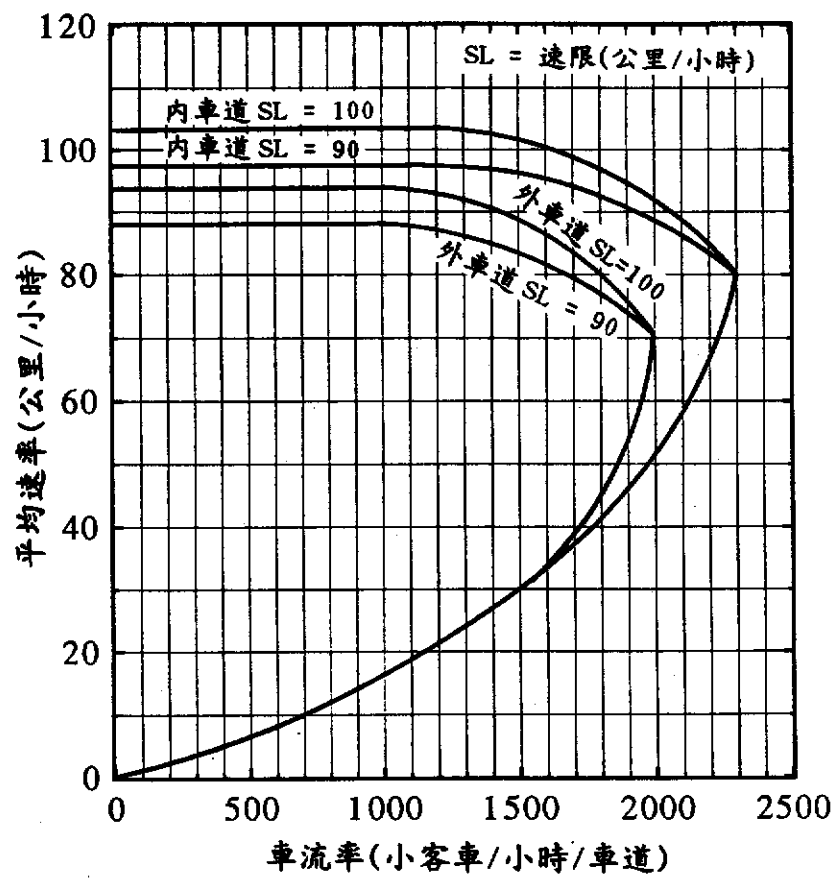


圖 7 平坦路段在基本狀況下車流率與平均速率之關係

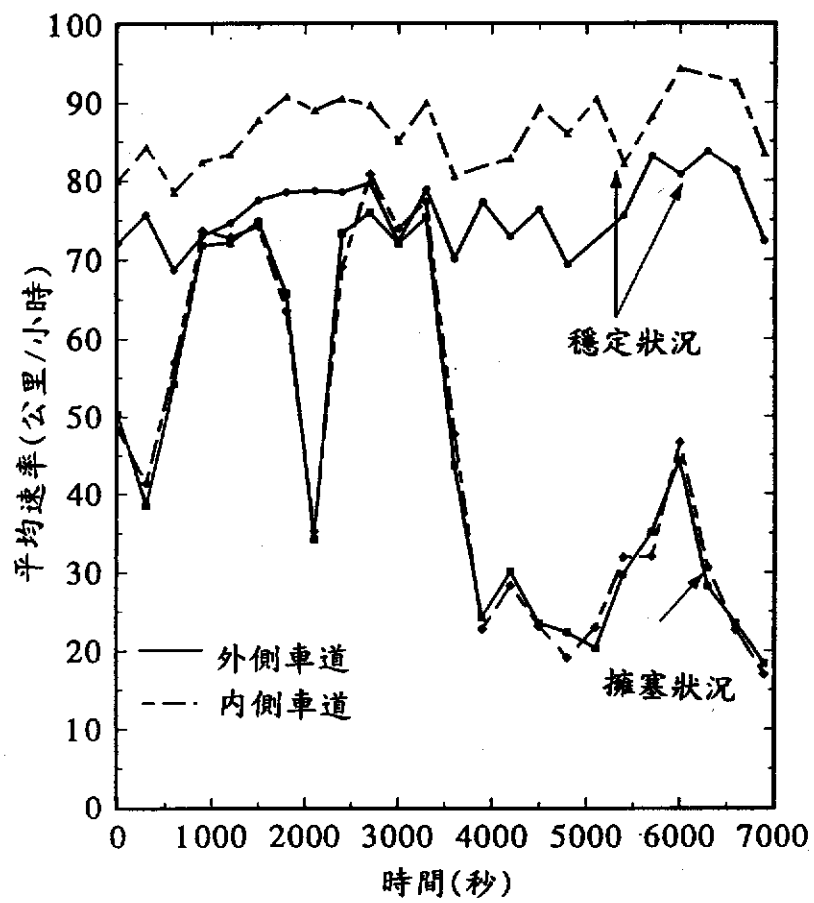


圖 8 內、外側車道在穩定及不穩定車流狀況下速率之差異

外側車道之駕駛人對間距較為敏感，但在穩定車流之狀況下，如車頭距大於 3.6 秒或車流率小於 1,000 小客車/小時/車道時，平均速率仍可維持在自由速率。外側車道之自由速率有比速限稍低之現象。除此之外，外側車道之容量只有 2,000 小客車/小時/車道。如圖 9 所示，車流率等於容量時，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。

2.9 坡度路段在基本狀況下平均速率與車流率之關係

目前有關坡度之本土化資料有限，根據本所針對高速公路三義路段附近收集之資料，圖 10 為基本狀況下，坡度路段之平均速率與車流率之關係。此圖在將來必須用更多的現場資料以校正。

從圖 10 可知坡度路段平均速率與車流率之關係會隨自由速率而變。如自由速率為 70 公里/小時，則容量為每車道約為 1,400 輛/小時/車道。當自由速率降為 50 公里/小時，則容量隨著減少到 600 輛/小時/車道。坡度路段之自由速率受許多因素影響，主要因素包括坡度、坡長及車種組成。在應用圖 10 之前必須先行估計平均自由速率。

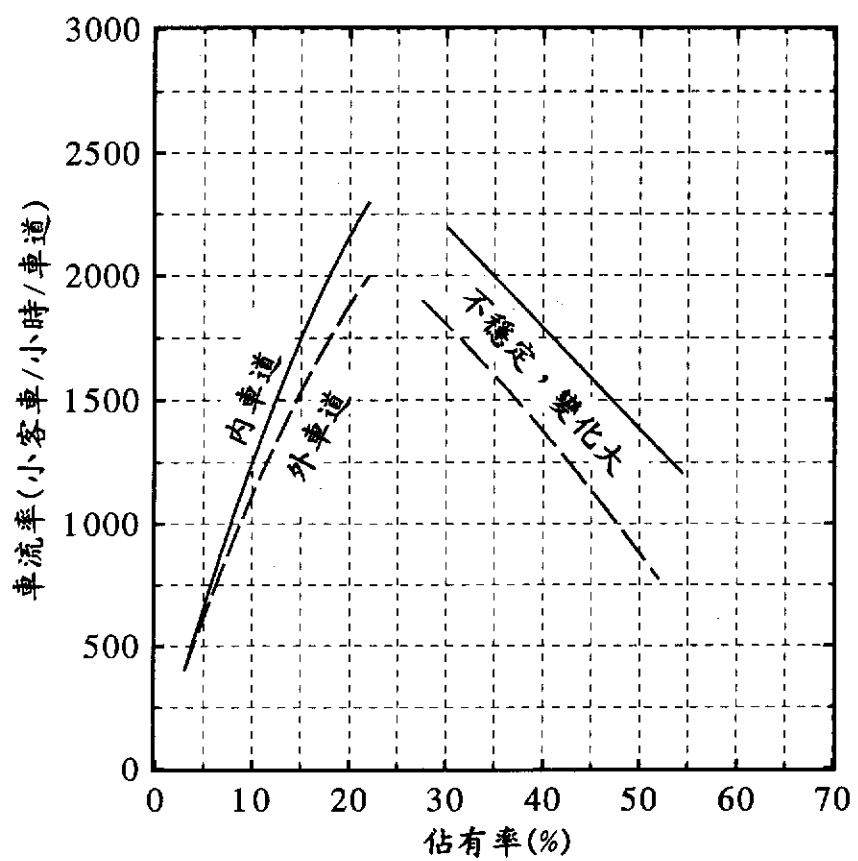


圖 9 中山高速公路平坦基本路段車流率與佔有率之關係

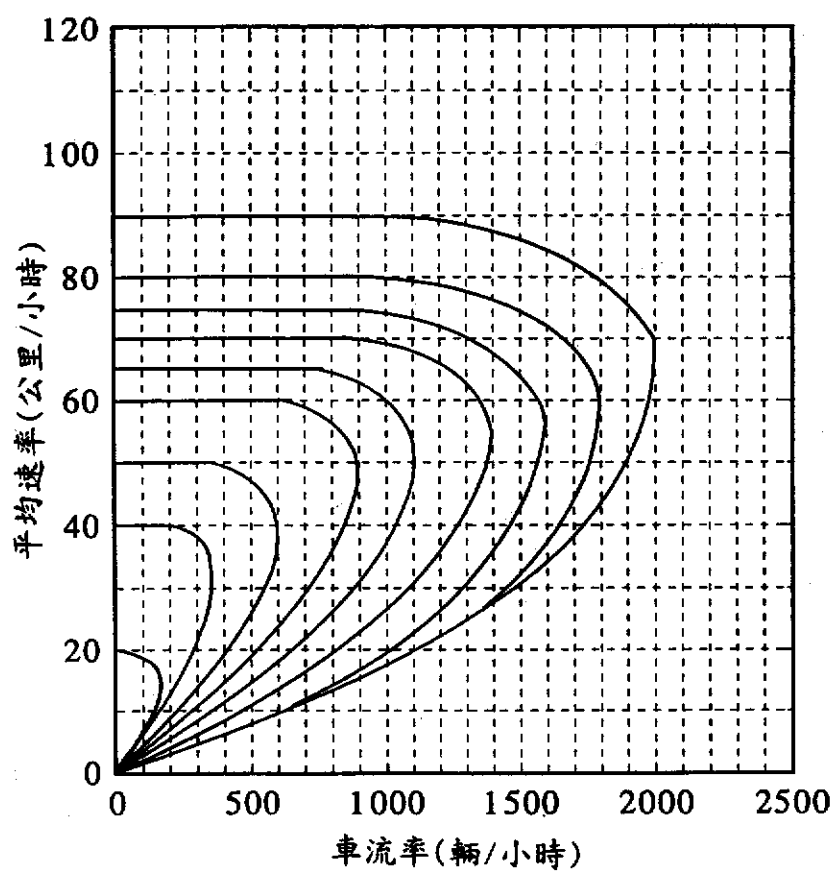


圖 10 坡度路段在基本狀況下速率與車流率之關係

第三章 服務水準

目前高速公路容量分析之方法^{(8)、(9)}將服務水準分成六等級：分別為 A、B、C、D、E 及 F 級。一般 A 級代表有充分行車自由之狀況，E 級代表車流率接近或等於容量之狀況，F 級代表不穩定之壅塞車流狀況。分析基本路段、匝道及交織路段時，劃分服務水準之標準不一致，常導致同等級之服務水準在不同性質之路段，代表不同之車流狀況。這種服務水準之劃分方法，並不適用於高速公路系統服務水準之分析，也無法滿足幾何設計上之需要。因此，有必要訂定同一服務水準之指標，以衡量不同性質路段之運作⁽¹³⁾。

服務水準可依據速率、車流密度、佔有率或其他績效指標進行劃分。表面上車流密度或佔有率最能代表實際車流狀況之好壞，但同樣的車流密度或佔有率可能代表截然不同之車流狀況，所以用車流密度或佔有率劃分服務水準也會有不理想之虞。若同時使用車流密度與速率以劃分服務水準，在運用上又過於複雜。其中，速率乃為駕駛者最關心之績效指標，此外，減少速率隨地點之變化乃為公路幾何設計及運作之一大原則，所以本章建議以速率為劃分服務水準之指標。此外，因內、外側車道的功能不同，在幾何設計及運作時，須著重內側車道之運作，所以服務水準以平坦路段內側車道運作之需要為主而劃分，如表 2 所示。

A 級之服務水準至少要有 100 公里/小時之速率，同時內側車道之車流率不超過 1,600 小客車/小時。故只有在速限 100 公里/小時的基本路段之內側車道才能維持 A 級之服務水準。B 級之服務水準至少要有 95 公里/小時之速率，一般外側車道無法維持此級之服務水準。當服務水準從 B 級降到 E 級時，內側車道之平均速率從 100 公里/小時降到 70 公里/小時，在平均速率 70 公里/小時之情況下，內側車

道之車流率稍低於容量，但仍比外側車道的容量約高出 250 小客車/小時。當平均速率低於 70 公里/小時，內側及外側車道之車流皆已進入不穩定，擁塞之狀況。

表 2 服務水準等級之劃分

等級	速率標準 V_s (公里/小時)	佔有率之上限			
		內側車道		外側車道	
		速限(公里/小時)		速限(公里/小時)	
		90	100	90	100
A	≥ 100	—	11%	—	—
B	$95 \leq V_s < 100$	12%	14%	—	—
C	$90 \leq V_s < 95$	15%	17%	—	11%
D	$80 \leq V_s < 90$	21%	21%	15%	16%
E	$70 \leq V_s < 80$	23%	23%	22%	22%
F	< 70	$> 23\%$	$> 23\%$	$> 22\%$	$> 22\%$

第四章 分析架構及方法

高速公路之規劃、設計及現有設施運作之評估都可借重容量及服務水準之分析。用於規劃及設計之運用時，分析之目的在於決定何種幾何設計才能在將來維持可接受的服務水準。運作分析之目的則在於探討在特定的幾何設計及交通狀況下，一路段的服務水準。

規劃分析及運作分析皆可依據圖 11 之分析架構。除了目的不同之外，規劃分析及運作分析也有其他不同之處。第一，規劃分析須依賴不少預測之交通狀況，這些資料的正確性可能並不高。運作分析則經常可利用近期的調查資料，其準確性較高。第二，規劃分析過程中，幾何設計必須能提供相當高的服務水準，可假設車流是屬於穩定狀況。在此情形下，圖 7 中只有每一曲線的上半部可用於分析。運作分析時通常車流率已知，從圖 7 可知，同一車流率可能屬於兩種不同運轉狀況，一為穩定狀況，另一為不穩定的擁塞狀況，所以運作分析並不一定能訂定真正的服務水準。

圖 11 所示之分析架構，其主要考慮項目及相關的分析方法說明如下：

4.1 訂定需求車流、評選標準及設計標準

需求車流(Traffic Demand)之狀況包括需求車流率(Demand Flow Rate)及大車之比例。在規劃作業時，需求車流率通常以下式估計之：

$$Q_d = A_d \times M_d \times J_d \quad (6)$$

此式中，

Q_d = 流量較高方向之需求車流率(輛/小時)；

A_d = 雙向每天之平均流量(Average Daily Traffic or ADT)；

M_d = 設計小時(Design Hour)內流量佔每天平均流量之比例；

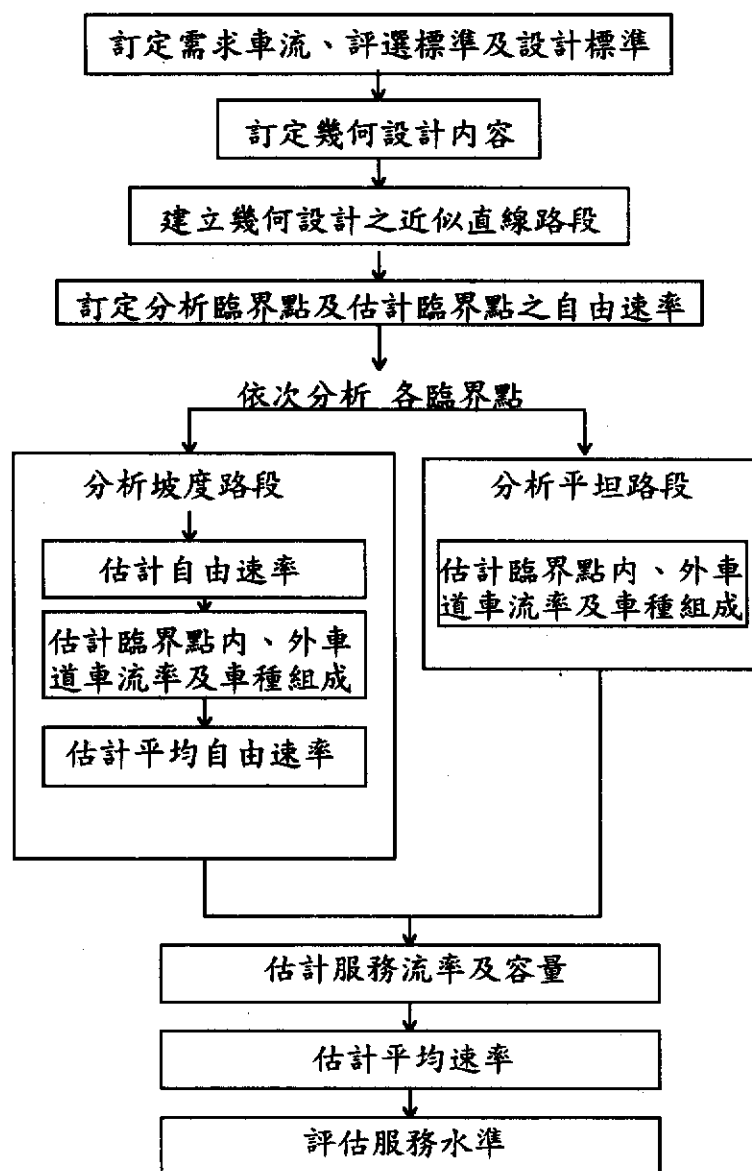


圖 11 基本路段分析架構流程

J_d = 流量較高方向之流量佔雙向流量之比例。

M_d 之值隨地區而變，可能在 0.10 到 0.20 之間， J_d 之值則可能在 0.55 到 0.65 之間。

式 6 中之 Q_d 值代表在設計小時內單方向車流率之平均值。如果在設計小時內之車流率隨時間而變化之現象很顯著，則直接用 Q_d 值所設計出之公路可能造成將來容量嚴重不足。為避免這現象的發生，規劃及設計時之需求車流率最好訂定為尖峰 15 分鐘內之平均車流率。此需求車流率可用下式以估計之：

$$Q = \frac{Q_d}{PHF} \quad (7)$$

此式中，

Q = 單方向分析用之需求車流率(輛/小時)；

PHF = 尖峰因素(Peak-Hour Factor)；

Q_d = 從式 6 所得之車流率。

式 7 之尖峰因素乃指尖峰小時平均車流率跟尖峰 15 分鐘內平均車流率之比例。例如尖峰小時平均車流率為 2,000 輛/小時，而尖峰 15 分鐘平均車流率為 2,500 輛/小時，則尖峰因素等於 0.8。

在運作分析時，需求車流率乃為運作時間內之代表性車流率。此流率也可設定為尖峰小時內尖峰 15 分鐘之平均車流率。如尖峰小時單方向之車流率及尖峰因素已知，則單方向分析用之需求車流率(即尖峰 15 分鐘之車流率)可從式 7 估計而得。但在此運用時，式 7 中之 Q_d 代表尖峰小時單方向之車流率。

評選標準乃指必須維持之最低服務水準。內側車道之服務水準最好不低於 C 級。換言之，內側車道之平均速率最好不低於 90 公里/小時。外側車道之平均速率可假設比內側道之速率低 10 公里/小時，所

以如設計或運作之目標在於讓內側車道維持 95 公里/小時之速率，則外側車道之速率應維持在 85 公里/小時。

當基本路段包含坡度路段時，坡度上之平均速率通常會比平坦路段之速率低，當兩者之速率差值相當大時，容易造成塞車，並且事故也可能增加，坡度路段上之平均速率與平坦路段平均速率之差值最好能保持在 15 公里/小時之內。

4.2 訂定幾何設計內容

幾何設計包括平面及縱斷面之定線(Horizontal and Vertical Alignments)、車道數、爬坡車道、車道寬度、路肩寬度及車道與路旁障礙物之橫向距離(Lateral Clearance)。

4.3 建立幾何設計之近似直線路段

基本路段縱斷面之幾何設計可能包含直線路段及曲段。有曲段時，整個基本路段必須轉換成一系列的近似直線坡度路段(Equivalent Grade)。此轉換的程序以圖 12 之例說明如下。

圖 12 之基本路段包含 4 直線路段、3 個曲段，每一曲段必須以最少兩個直線路段代表之。在點 2 及點 4 之間的曲段長度為 1,600 公尺，因為在點 2 及點 4 之間沒有最低點，所以此曲段可以轉換成兩直線路段。此曲段中點(即點 3)之坡度等於兩旁直線路段坡度之平均值，即 $(0\%+3\%)/2 = +1.5\%$ ，所以在點 2 及點 3 之曲段部分可以 $(0\%+1.5\%)/2 = +0.8\%$ 之上坡直線地段代表之。在點 3 及點 4 之曲段部分也可轉換成另一直線路段。此路段之坡度為 $(1.5\%+3\%)/2 = +2.2\%$ 。

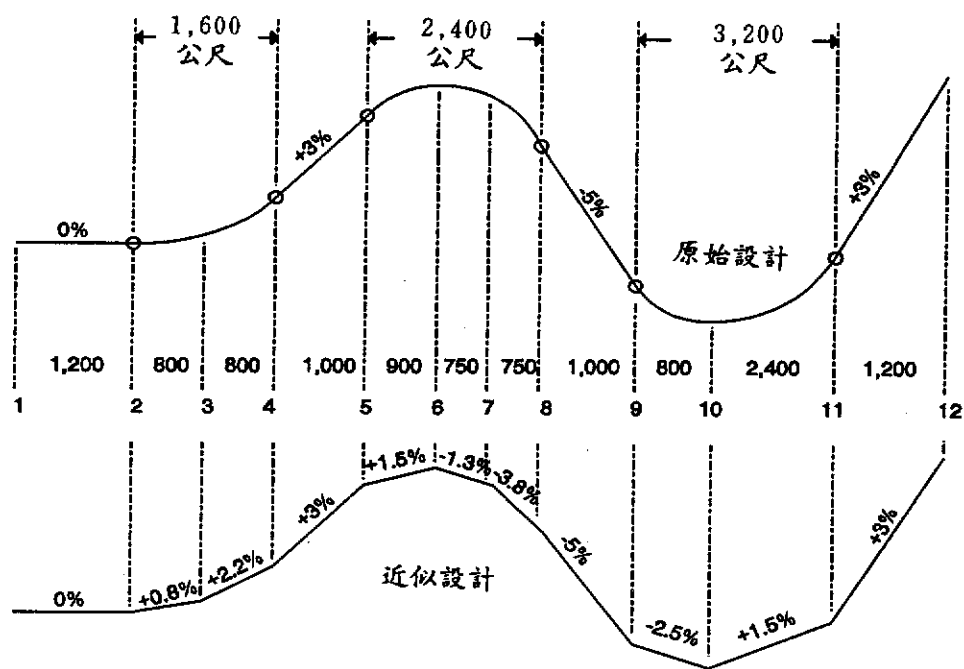


圖 12 建立幾何設計近似直線路段之範例

當一曲段有最高點或最低點時，則該點之位置須先行估計如下：

$$Z = -\frac{G_1 \times L}{G_2 - G_1} \quad (8)$$

其中，

Z = 最高點或最低點距離曲段左側端點之距離；

G_1 = 曲段左側直線路段之坡度(%/100)；

G_2 = 曲段右側直線路段之坡度(%/100)；

L = 曲段之長度。

式 8 中，從左到右上坡路段之 G_1 及 G_2 為正值，下坡路段之 G_1 及 G_2 為負值。

如在點 5 及點 8 之間長為 2,400 公尺之曲段最高點在點 6。左方之直線路段之坡度為 $G_1 = +0.03$ ，右方直線路段之坡度為 $G_2 = -0.05$ ，所以最高點的位置在左端點右側 $-0.03 \times 2400 / (-0.05 - 0.03) = 900$ 公尺之處。最高點之坡度為 0%，所以點 5 及點 6 之間近似直線路段之坡度應為 $(+3\% + 0\%) / 2 = +1.5\%$ 。點 6 與點 8 之間有 1,500 公尺之距離。若要增強分析準確性，則這兩點間之曲段可用兩近似直線路段代表之。點 6 與點 8 間之中點為點 7。此中點之坡度為 $(0\% - 5\%) / 2 = -2.5\%$ 。所以點 6 與點 7 間之近似直線路段應有 $(0\% - 2.5\%) / 2 = -1.3\%$ 之坡度，點 7 與點 8 之間之近似直線路段應有 $(-2.5\% - 5\%) / 2 = -3.8\%$ 之坡度，點 9 與點 11 間之曲段可依據上述之原理轉換成近似直線路段。

4.4 訂定分析臨界點及估計臨界點之自由速率

近似直線路段可分成平坦路段及坡度路段。坡度路段包括主線車道及大車爬坡道。由於爬坡道之功能異於主線車道，故通常爬坡道之服務水準並不是一重要之考慮因素，所以不在本手冊之分析範圍內。但本章之方法仍可用於評估爬坡道之功能。

平坦路段指坡度在1%以下之路段。如所有的平坦路段之車道數、車道寬及車道離路旁障礙物之橫向距離皆相同，則所有平坦路段可當成同一路段以分析之。平坦路段之臨界點為自由速率最低之點。本章之方法假設平坦路段各點之自由速率不會因在車道之位置而變，所以同一車道上任何一點都可當做臨界點。

只有一上坡路段時，臨界點在該路段之頂端。如果有一系列之上、下坡則必須先估計自由速率在各點之值以訂定臨界點。臨界點的自由速率須分成小車及大車的個別速率。這些速率須進一步的轉換成平均自由速率。此速率受到坡段起點之速率、坡長、坡度及車種組成之影響。第一個上坡路段起點之速率，可用下述之值做估計之用：

- 速限 100 公里/小時

- 內側車道自由速率=104 公里/小時

- 外側車道自由速率=94 公里/小時

- 速限 90 公里/小時

- 內側車道自由速率=97 公里/小時

- 外側車道自由速率=87 公里/小時

目前台灣地區沒有足夠資料可用於估計小車及大車在坡度路段自由速率之變化情形，在日後的資料調查應再予以補足。所以本章暫時利用美國 1994 年容量手冊⁽⁸⁾所提供之資料，圖 13 代表該手冊之資料，此圖乃根據大車之特性，用此圖以估計小車之自由速率時，圖中各上坡曲線之坡度值須乘於 0.4，下坡曲線之坡度則不變。茲以圖 14 為範例說明圖 13 之用法如下：

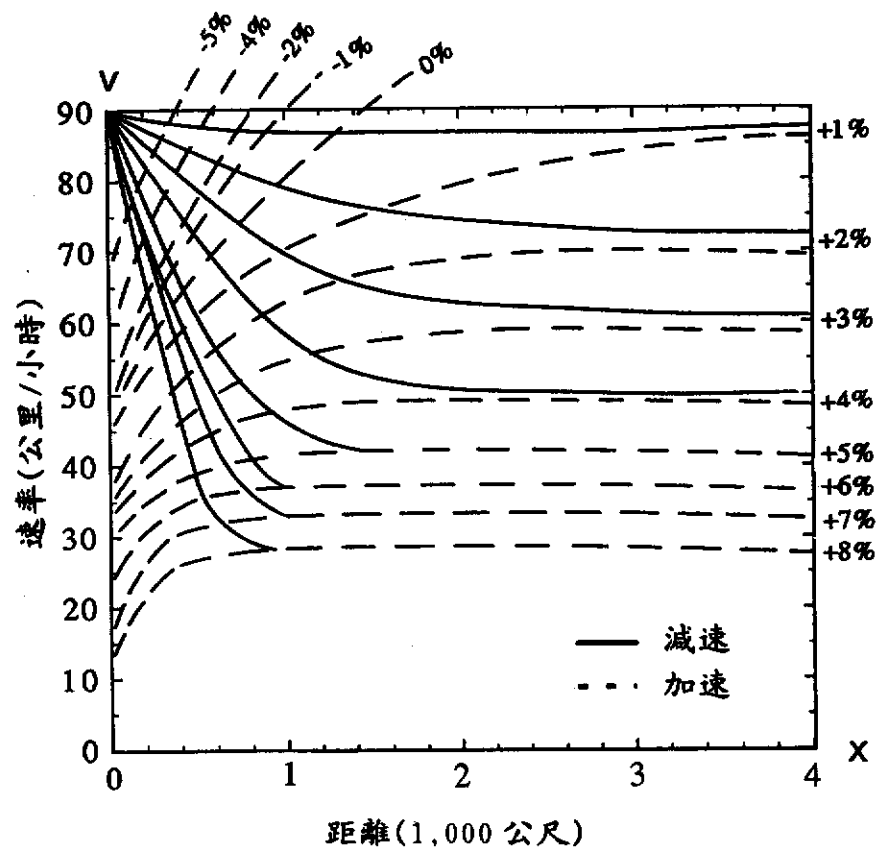


圖 13 大車在坡度路段加速及減速之特性

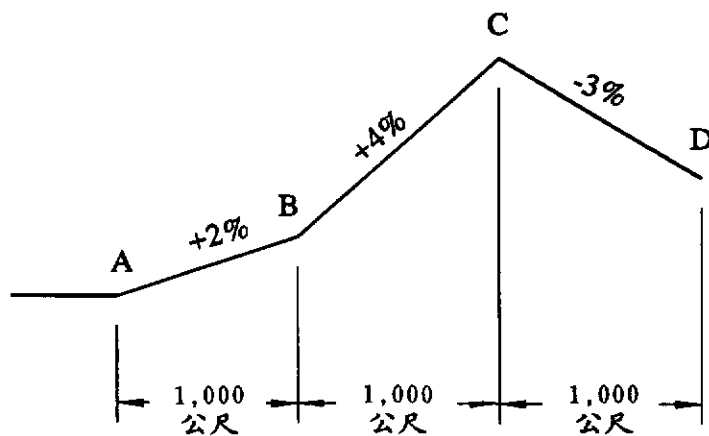


圖 14 訂定臨界點之範例

假設圖 14 中之基本路段上，一大車抵達 A 點時之自由速率為 87 公里/小時，超過 A 點之後，該車進入+2%之上坡路段。所以在 A 點之速率，相當於圖 13 中在+2%上坡路段減速曲線 $X=250$ 公尺處之速率。從 A 點到 B 點之坡長為 1,000 公尺，所以在 B 點之速率應等於在 $X=1,250$ 公尺處之速率，根據圖 13 此速率大約為 77 公里/小時。這速率變成隨後+4%上坡路段起點之速率，此速率相當於圖 13 中+4%減速曲線在 $X=400$ 公尺處之速率。從 B 點到 C 點坡長為 1,000 公尺，所以在 C 點之速率應等於在 $X=1,400$ 公尺之速率，即 53 公里/小時，此速率變成-3%下坡地段起點之速率。在圖 13 中，此速率等於在-3%曲線上 $X=20$ 公尺之速率。沿此下坡行進 1,000 公尺到 D 點時之速率為 $X=1,020$ 公尺地點之速率，即約 102 公里/小時。如果速限為 90 公里/小時，則平均自由速率可能不會超過 100 公里/小時，所以在 D 點之速率可假設為 100 公里/小時，根據上述速率估計值，臨界點在 C 點，在此點大車之自由速率為 53 公里/小時。

小車之臨界點與大車之臨界點相同，估計小車在圖 14 路段之自由速率時，+2%之上坡路段之坡度須減為 $+2\% \times 0.4 = +0.8\%$ ，+4%路段之坡度則須減為 $+4\% \times 0.4 = 1.6\%$ 。+0.8%之路段可當成平坦地段，所以在 B 點之速率與 A 點之速率相同，即 87 公里/小時，抵達 C 點時，小車之速率會降到約 82 公里/小時。

4.5 分析平坦路段

4.5.1 臨界點內、外側車道之需求車流率及車種組成

本章根據圖 3 以估計內側車道上，大車佔全部大車之比例 Z_1 。內側車道上小車佔全部小車之比例則利用下式估計之：

$$Y = \frac{rN_1(1-H+HR_0) - HZ_1N_2}{rN_1(1-H) + N_2(1-H)} \quad (9)$$

此式中，

Y = 內側車道上小車佔全部小車之比例；

r = 內側車道平均每車道車輛數與外側車道平均每車道車輛數之可能比值。平坦路段： $r=1.2$ ；坡度路段： $r=3.2-0.02 \times$ 大車在臨界點之自由速率；

N_1 = 內側車道數；

N_2 = 外側車道數；

H = 大車佔總車數之比例；

Z_i = 內側車道上大車佔大車總數之比例($i=1, 2, 3$)。平坦路段： $i=1$ ；無爬坡道坡度路段： $i=2$ ；或有爬坡道坡度路段： $i=3$ (見圖 3, 4 或 5)；

R_0 = 外側車道上大車佔大車總數之比例。平坦路段： $R_0 = 1 - Z_1$ ；無爬坡道坡度路段： $R_0 = 1 - Z_2$ ；有爬坡道坡度路段： $R_0 = Z_3$ (見圖 5)。

臨界點內、外側車道之需求車流率及車種組成，可從下列二式以求得：

$$q = \frac{Q \times (1-H) \times R_s}{N} + \frac{Q \times H \times R_h}{N} \quad (10)$$

及

$$P_h = \frac{Q \times H \times R_h}{N \times q} \quad (11)$$

此二式中，

P_h = 大車佔內側車道或外側車道所有車輛之比例；

q = 內側或外側車道平均每車道之需求車流率，輛/小時；

Q = 單方向總需求車流率，輛/小時；

H = 大車佔總車數之比例；

R_s = 內側車道或外側車道上，小車佔所有小車之比例。內側車道： $R_s=Y$ ，外側車道： $R_s=1-Y$ ；

平坦路段指坡度在 1% 以下之路段。如所有的平坦路段之車道數、車道寬及車道離路旁障礙物之橫向距離皆相同，則所有平坦路段可當成同一路段以分析之。平坦路段之臨界點為自由速率最低之點。本章之方法假設平坦路段各點之自由速率不會因在車道之位置而變，所以同一車道上任何一點都可當做臨界點。

只有一上坡路段時，臨界點在該路段之頂端。如果有一系列之上、下坡則必須先估計自由速率在各點之值以訂定臨界點。臨界點的自由速率須分成小車及大車的個別速率。這些速率須進一步的轉換成平均自由速率。此速率受到坡段起點之速率、坡長、坡度及車種組成之影響。第一個上坡路段起點之速率，可用下述之值做估計之用：

- 速限 100 公里/小時

- 內側車道自由速率 = 104 公里/小時

- 外側車道自由速率 = 94 公里/小時

- 速限 90 公里/小時

- 內側車道自由速率 = 97 公里/小時

- 外側車道自由速率 = 87 公里/小時

目前台灣地區沒有足夠資料可用於估計小車及大車在坡度路段自由速率之變化情形，在日後的資料調查應再予以補足。所以本章暫時利用美國 1994 年容量手冊^[8]所提供之資料，圖 13 代表該手冊之資料，此圖乃根據大車之特性，用此圖以估計小車之自由速率時，圖中各上坡曲線之坡度值須乘於 0.4，下坡曲線之坡度則不變。茲以圖 14 為範例說明圖 13 之用法如下：

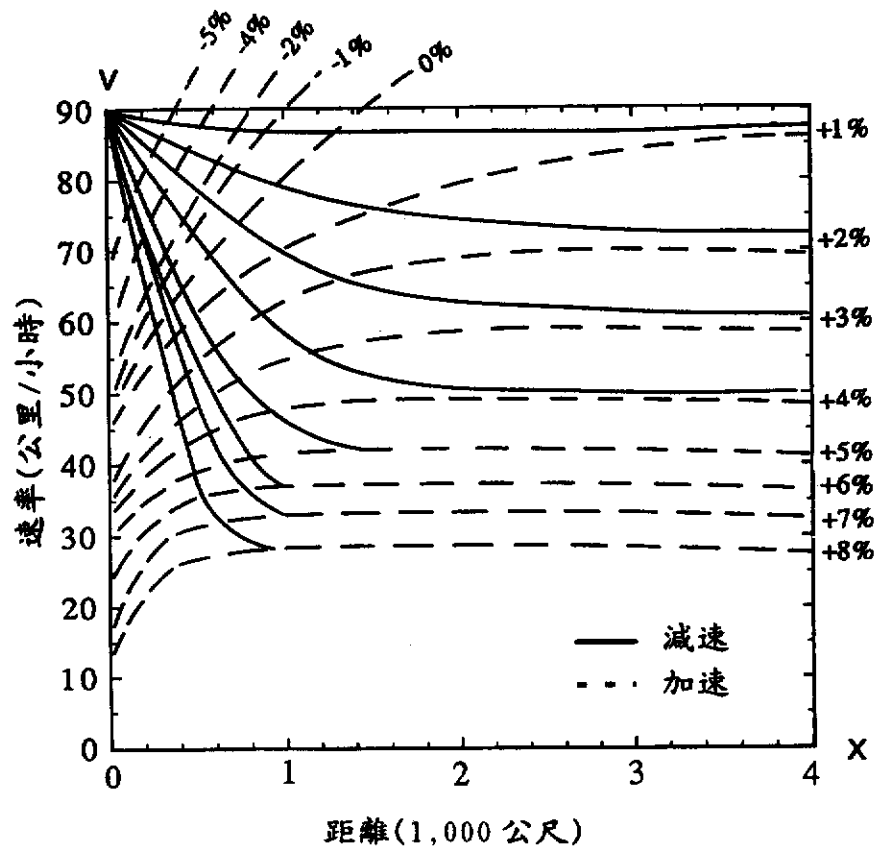


圖 13 大車在坡度路段加速及減速之特性

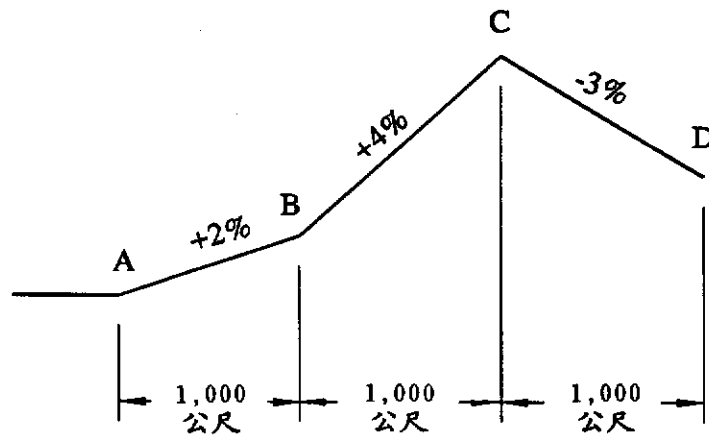


圖 14 訂定臨界點之範例

假設圖 14 中之基本路段上，一大車抵達 A 點時之自由速率為 87 公里/小時，超過 A 點之後，該車進入+2%之上坡路段。所以在 A 點之速率，相當於圖 13 中在+2%上坡路段減速曲線 $X=250$ 公尺處之速率。從 A 點到 B 點之坡長為 1,000 公尺，所以在 B 點之速率應等於在 $X=1,250$ 公尺處之速率，根據圖 13 此速率大約為 77 公里/小時。這速率變成隨後+4%上坡路段起點之速率，此速率相當於圖 13 中+4%減速曲線在 $X=400$ 公尺處之速率。從 B 點到 C 點坡長為 1,000 公尺，所以在 C 點之速率應等於在 $X=1,400$ 公尺之速率，即 53 公里/小時，此速率變成-3%下坡地段起點之速率。在圖 13 中，此速率等於在-3%曲線上 $X=20$ 公尺之速率。沿此下坡行進 1,000 公尺到 D 點時之速率為 $X=1,020$ 公尺地點之速率，即約 102 公里/小時。如果速限為 90 公里/小時，則平均自由速率可能不會超過 100 公里/小時，所以在 D 點之速率可假設為 100 公里/小時，根據上述速率估計值，臨界點在 C 點，在此點大車之自由速率為 53 公里/小時。

小車之臨界點與大車之臨界點相同，估計小車在圖 14 路段之自由速率時，+2%之上坡路段之坡度須減為 $+2\% \times 0.4 = +0.8\%$ ，+4%路段之坡度則須減為 $+4\% \times 0.4 = 1.6\%$ 。+0.8%之路段可當成平坦地段，所以在 B 點之速率與 A 點之速率相同，即 87 公里/小時，抵達 C 點時，小車之速率會降到約 82 公里/小時。

4.5 分析平坦路段

4.5.1 臨界點內、外側車道之需求車流率及車種組成

本章根據圖 3 以估計內側車道上，大車佔全部大車之比例 Z_1 。內側車道上小車佔全部小車之比例則利用下式估計之：

$$Y = \frac{rN_1(1-H+HR_0) - HZ_1N_2}{rN_1(1-H) + N_2(1-H)} \quad (9)$$

此式中，

Y = 內側車道上小車佔全部小車之比例；

r = 內側車道平均每車道車輛數與外側車道平均每車道車輛數之可能比值。平坦路段： $r=1.2$ ；坡度路段： $r=3.2-0.02 \times$ 大車在臨界點之自由速率；

N_1 = 內側車道數；

N_2 = 外側車道數；

H = 大車佔總車數之比例；

Z_i = 內側車道上大車佔大車總數之比例($i=1,2,3$)。平坦路段： $i=1$ ；無爬坡道坡度路段： $i=2$ ；或有爬坡道坡度路段： $i=3$ (見圖 3, 4 或 5)；

R_0 = 外側車道上大車佔大車總數之比例。平坦路段： $R_0 = 1 - Z_1$ ；無爬坡道坡度路段： $R_0 = 1 - Z_2$ ；有爬坡道坡度路段： $R_0 = Z_3$ (見圖 5)。

臨界點內、外側車道之需求車流率及車種組成，可從下列二式以求得：

$$q = \frac{Q \times (1-H) \times R_s}{N} + \frac{Q \times H \times R_h}{N} \quad (10)$$

及

$$P_h = \frac{Q \times H \times R_h}{N \times q} \quad (11)$$

此二式中，

P_h = 大車佔內側車道或外側車道所有車輛之比例；

q = 內側或外側車道平均每車道之需求車流率，輛/小時；

Q = 單方向總需求車流率，輛/小時；

H = 大車佔總車數之比例；

R_s = 內側車道或外側車道上，小車佔所有小車之比例。內側車道： $R_s=Y$ ，外側車道： $R_s=1-Y$ ；

R_h = 內側車道或外側車道上，大車佔所有大車之比例。內側車道： $R_h = Z_i (i=1,2,3; \text{如式 9 之說明})$ ；平坦路段或無爬坡道坡度路段之外側車道： $R_h = 1 - Z_i (i=1,2)$ ；有爬坡道坡度路段之外側車道： $R_h = Z_4$ ；

N = 內側車道數(N_1)或外側車道數(N_2)。

4.5.2 服務車流率及容量

服務車流率指車道在預期或實際狀況下，為保持特定服務水準時所能承載的最大車流率。平坦路段之服務車流率可由下式估計之：

$$S = S_b \times f_w \times f_d \times f_p \times f_v \quad (12)$$

其中，

S = 外側或內側每車道之服務車流率(輛/小時)；

S_b = 從圖 7 估計所得在基本狀況下之服務車流率(小客車/小時/車道)；

f_w = 車道寬之調整因素；

f_d = 車道與路旁障礙物橫向距離之調整因素；

f_p = 駕駛人型態之調整因素；

f_v = 車種組成之調整因素。

式 12 中 S_b 之值隨能維持或應維持之平均速率而變，如一基本路段之內側車道應維持 B 級之服務水準，從表 2 可知此路段須維持 95 到 100 公里/小時之速率。如速限為 100 公里/小時，則內側車道 S_b 值在 1,600 到 1,900 小客車/小時/車道之間(見圖 7)，此 B 級在基本狀況下之代表性服務車流率為 $(1,600+1,900)/2=1,750$ 小客車/小時/車道。本章假設在穩定狀況下，平坦路段外側車道之速率比內側車道低 10 公里/小時，所以如內側車道之速率能維持 95 到 100 公里/小時之間時，則外側車道之速率在 85 到 90 公里/小時之間，其相關之 S_b

值在 1,400 到 1,650 小客車/小時/車道之間。

容量為在預期或實際狀況下之最大服務車流率。用式 12 估計平坦路段之容量時，內側車道之 S_b 值為 2,300 小客車/小時/車道，外側車道之 S_b 值為 2,000 小客車/小時/車道。這些 S_b 值代表在基本狀況下，平坦路段內、外側車道在無大車時之個別容量。

4.5.3 車道寬調整因素 f_w 及障礙物調整因素 f_d

中山高速公路原來設計之車道寬為 3.75 公尺，內側路肩寬為 1.5 公尺，外側路肩寬則有 3 公尺。因為本章所用資料均在此幾何設計之狀況下收集，目前無法確定車道寬及障礙物對服務車流率之影響，所以本章暫時借重美國 1994 年容量手冊所提供之資料。此資料顯示當路寬從 3.66 公尺降到 3.05 公尺時，容量約減少 10%。此外，當側面障礙物之距離從 1.8 公尺降到 0.0 公尺時，容量也減少 8%到 12%。台灣之車輛較小，而且駕駛員可能對車道寬及車道旁之障礙物較不敏感，所以本章將美國 1994 年容量手冊之調整因素稍加修定成圖 15 及圖 16 以供分析之用。

4.5.4 駕駛人型態調整因素 f_p

高速公路若主要是服務工作旅次之車流時，駕駛人通常會很有效率的利用公路之容量，若多數車輛為度假、休閒旅次時，則容量之利用效率很可能會降低。目前對駕駛人特性之影響了解很粗淺，本章提供下列之調整因素做參考之用：

工作旅次車流： $f_p = 1.00$

休閒或假日車流： $f_p = 0.85 \sim 1.00$

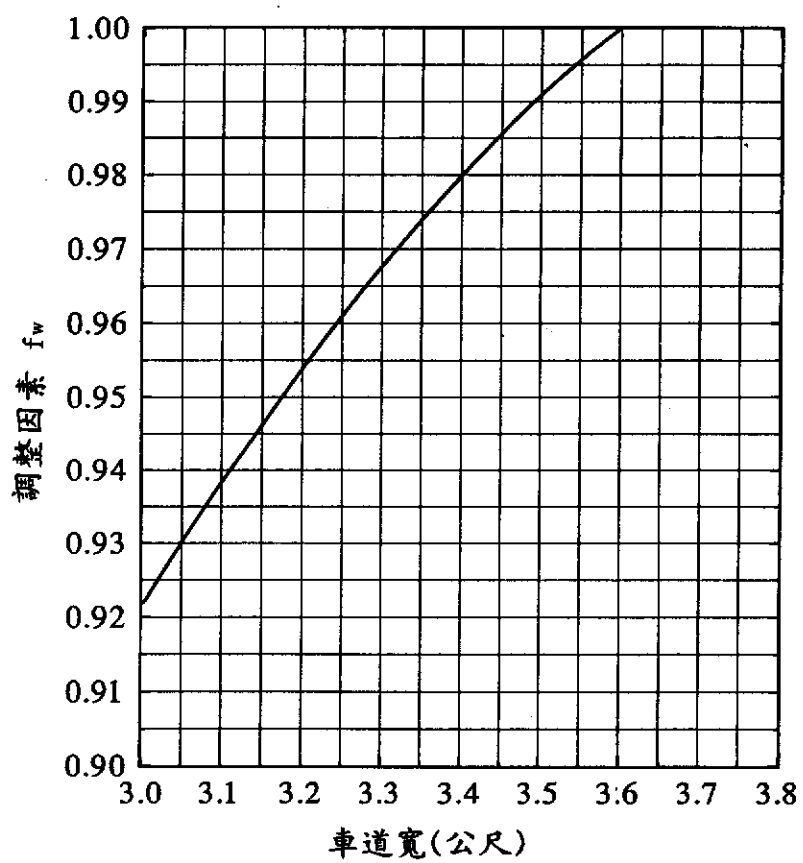


圖 15 車道寬調整因素 f_w

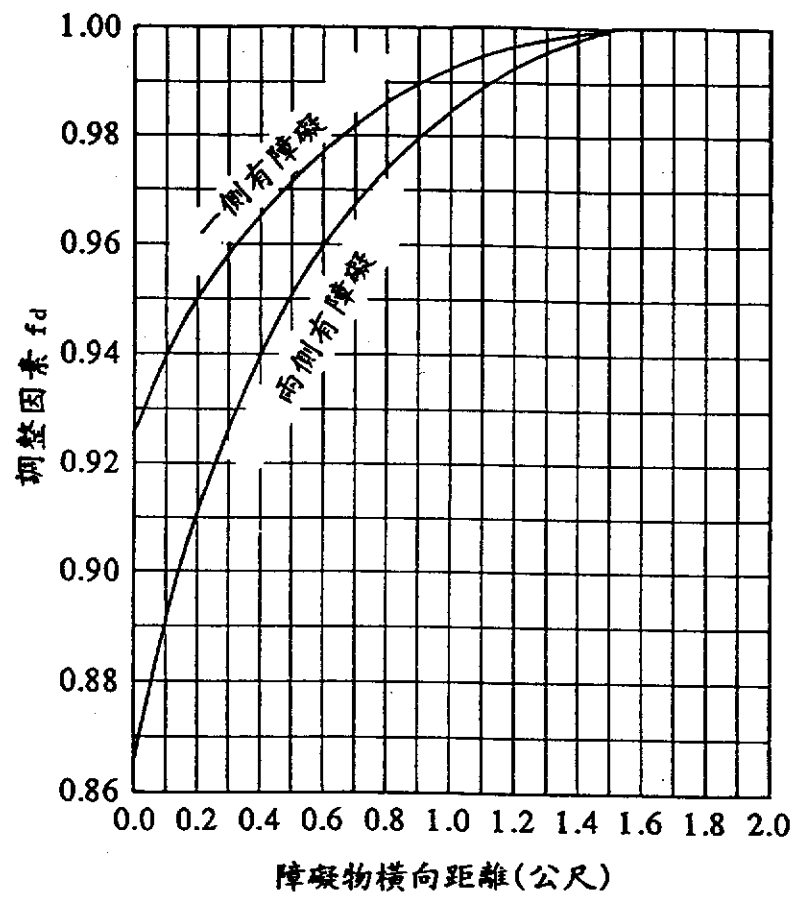


圖 16 車道與路旁障礙物橫向距離之調整因素 f_d

4.5.5 車種組成調整因素 f_v

如小車及大車混雜在同一車流時，服務車流率及容量也會減低，車種組成調整因素可估計如下：

$$f_v = \frac{1}{1 + P_h \times (E_h - 1)} \quad (13)$$

此式中，

P_h = 大車佔內側或外側車道車輛之比例(見式 11)；

E_h = 大車之小客車當量。

在平坦路段上任何車種之小客車當量可從下式估計之^[3]：

$$E = 0.53 + 0.13 \times L - (0.13L - 0.47) \frac{V}{120} \geq 1 \quad (14)$$

此式中，

E = 小客車當量；

L = 車長(公尺)；

V = 車速(公里/小時)。

在進行高速公路之規劃及設計作業時，速率一般應採用 80 公里/小時以上之標準。假設大車之平均車長為 13.5 公尺，則速率在 80 公里/小時之小客車當量低於 1.4。為避免因估計錯誤造成將來容量之不足，大車之小客車當量可設定為 1.4。

4.5.6 平均速率

平坦路段之平均速率可從圖 7 估計之，但須先將需求車流率轉換成在基本狀況下相等之小客車流率。轉換之手續如下：

$$q_e = \frac{q}{f_w \times f_d \times f_p \times f_v} \quad (15)$$

在規劃及設計作業時，車流應屬穩定狀況，所以 q_e 可用在圖 7 以估計平均速率，例如 q_e 為 1,500 小客車/小時/車道，而速限為 100 公

里/小時，則內側車道之平均速率為 102 公里/小時，外側車道之平均速率為 88 公里/小時。

4.6 分析坡度路段

4.6.1 臨界點自由速率

臨界點自由速率之分析須考慮內、外側車道小、大車之自由速率。這些自由速率的估計在 4.4 節已有說明。

4.6.2 臨界點內、外側車道之需求車流率及車種組成

坡度路段臨界點內、外側車道之需求車流率及車種組成可依 4.5.1 節之方法估計之。利用該方法時，須先利用圖 4 或圖 5 以估計內側車道上大車佔全部大車之比例(即 Z_2 或 Z_3)。此估計值可用於式 9 以估計在內側車道上小車佔全部小車之比例(即 Y)。內、外側車道個別之需求流率(q)及大車比例(P_h) 則可分別從式 10 及式 11 求得。

4.6.3 臨界點平均自由速率

大、小車在臨界點之平均自由速率可估計如下：

$$V_f = V_s - \frac{(V_s - V_h) \times P_h}{0.75} \geq V_h \quad (16)$$

此式中，

V_f = 平均自由速率(公里/小時)；

V_s = 小車在臨界點之自由速率(公里/小時)；

V_h = 大車在臨界點之自由速率(公里/小時)；

P_h = 大車佔內側車道或外側車道總車輛數之比例。

4.6.4 服務車流率及容量

如在臨界點之平均速率為已知，在臨界點之服務車流率可由下式估計之：

$$S_g = S_{bg} \times f_w \times f_d \times f_p \quad (17)$$

此式中，

S_g = 為內側或外側車道之服務車流率(輛/小時)；

S_{bg} = 為從圖 10 所估計而得在基本狀況下之服務車流率(輛/小時)。

S_{bg} 之值隨平均自由速率及在特定服務水準能維持之平均速率而變。例如自由速率為 70 公里/小時而平均速率能維持在 60 公里/小時之情況下，圖 10 顯示其相對應之服務車流率約為 1,350 輛/小時。

利用式 17 估計容量時，必須使用 S_{bg} 之最大值。 S_{bg} 之最大值代表在基本狀況下臨界點之容量，其值相當於圖 10 中各曲線之最高車流率。在基本狀況下，不同自由速率臨界點之容量如表 3 所示。

表 3 基本狀況下坡度路段臨界點之服務車流率(S_{bg} 之最大值)

自由速率(公里/小時)	容量(輛/小時/車道)
20	180
30	250
40	350
50	600
60	900
65	1,100
70	1,400
75	1,600
80	1,800
90	2,000

4.6.5 平均速率

坡度路段臨界點內側或外側車道之平均速率可從圖 10 估計之，但需求車流率須先轉換成基本狀況下之相等車流率 q_{eg} ，轉換公式如下：

$$q_{eg} = \frac{q}{f_w \times f_d \times f_p} \quad (18)$$

如 q_{eg} 為 1,200 輛/小時/車道，臨界點之平均自由速率為 70 公里/小時，從圖 10 可知平均速率大約為 66 公里/小時。

4.7 評估服務水準

因為服務水準之指標為平均速率，所以在 4.5.6 及 4.6.5 節所估計得之平均速率可用於表 2 以決定服務水準之等級。此外車流密度及佔有率也可用式 4 及式 5 估計之。

在規劃及設計之分析過程中，不論服務水準之等級，只要各臨界點內側或外側車道之平均速率不能達到設計標準，則有必要修正幾何設計，修正後之幾何設計必須重新分析。

第五 應用範例

5.1 例一：平坦路段之運作分析

一平坦路段有如下的幾何設計及交通狀況：

- (1)車道數：3；
- (2)車道寬：3.5 公尺；
- (3)路肩寬：2 公尺；
- (4)護欄在路肩之邊線上；
- (5)單方向需求流率：4,050 輛/小時；
- (6)尖峰因素：0.9；
- (7)大車比例：0.3；
- (8)速限：90 公里/小時；
- (9)駕駛人型態：工作性。

根據以上狀況，估計此路段之容量、服務水準、內側車道在車流穩定狀況下之密度及佔有率。

步驟 1：訂定需求車流率；評選標準及設計標準

本例題以尖峰 15 分鐘之車流率為分析之依據，在此狀況下，尖峰小時之車流率須轉換成尖峰 15 分鐘之流率，即 $Q = 4,050 / 0.9 = 4,500$ 輛/小時(見 P.21 之式 7)。本例題之目的在於評估服務水準，不涉及評選標準及設計標準。

步驟 2：訂定幾何設計內容

本例題之幾何設計如上所述。

步驟 3：建立近似直線路段

因本例題之路段為平坦路段，所以不須轉換成近似直線路段。

步驟 4：訂定分析臨界點

因本例題之路段為平坦路段，所以任何一點都可當作臨界點。

步驟 5：估計臨界點之需求流率及車種組成

因大車佔總車數之 30%，從 P.5 之圖 3 可知大約有 35%之大車會利用內側之兩車道($Z_1 = 0.35$)。P.27 之式 9 中各變數之值為： $N_1 = 2$ (見 P.4 之圖 2)； $N_2 = 1$ (見 P.4 之圖 2)； $H = 0.3$ ； $Z_1 = 0.35$ ； $R_0 = 1 - Z_1 = 0.65$ ； $r = 1.20$ ； $Y = 0.86$ 。

在估計內側車道之需求流率及大車比例時，P.28 之式 10 及 11 中各變數之值為： $Q = 4,500$ 輛/小時； $H = 0.3$ ； $R_s = Y = 0.86$ ； $R_h = Z_1 = 0.35$ ； $N = 2$ ； $q = 1,591$ 輛/小時/車道； $P_h = 0.15$ 。這些數據表示內側車道每車道之車流率為 1,591 輛/小時，其中大車佔 15%。

在估計外側車道之需求流率及大車比例時，式 10 及 11 中各變數之值為： $Q = 4,500$ 輛/小時； $H = 0.3$ ； $R_s = 1 - Y = 0.14$ ； $R_h = 1 - Z_1 = 0.65$ ； $N = 1$ ； $q = 1,318$ 輛/小時/車道； $P_h = 0.67$ 。

步驟 6：估計服務車流率及容量

式 12 中(見 P.29)，內側車道之服務車流率為 $S = 1,591$ 輛/小時/車道，外側車道之服務車流率為 $S = 1,318$ 輛/小時/車道。此外，車道寬調整因素為 $f_w = 0.991$ (見 P.31 之圖 15)，障礙物調整因素 $f_d = 1.0$ (見 P.32 之圖 16)，駕駛人型態調整因素為 $f_p = 1.0$ 。內側車道有 15%的大車，外側車道則有 67%的大車。假設大車之小客車當量為 $E_h = 1.4$ ，則內側車道車種組成調整因素為 $f_v = 0.94$ ，外側車道之調整因素為 $f_v = 0.79$ (見 P.33 之式 13)。

根據以上之數據，內側車道在基本狀況下之服務車流率 S_0 可由式 12 求得，即 $1,591/0.991/1.0/1.0/0.94 = 1,708$ 小客車/小時/車道。外側車道之相對應服務車流率為 $S_0 = 1,318/0.991/1.0/1.0/0.79 = 1,683$ 小客車/小時/車道。

在利用第 29 頁之式 12 以估計容量時，內側車道在基本狀況下之容量為 2,300 小客車/小時/車道，外側車道在基本狀況下之容量為 2,000 小客車/小時/車道。所以內側車道之實際容量為 $2,300 \times 0.991 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.94 = 2,143$ 輛/小時/車道，外側車道之實際容量為 $2,000 \times 0.991 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.79 = 1,566$ 輛/小時/車道。根據內側車道在基本狀況下之服務車流率(1,708 小客車/小時/車道)及第 12 頁之圖 7，可知如車流屬穩定狀況，則平均速率大約為 94 公里/小時，如車流屬不穩定狀況，則平均速率大約為 37 公里/小時。外側車道之服務車流率為 1,683 小客車/小時/車道，所以平均速率在穩定狀況下大約是 80 公里/小時，在不穩定狀況下則將 37 公里/小時。從表 2 可知在穩定狀況下，內、外側車道的服務水準分別為 C 級與 D 級。

步驟 7：估計內側車道在車流穩定狀況下之密度及佔有率

內側車道之服務車流率為 1,591 輛/小時/車道(或 1,708 小客車/小時/車道)，其在穩定狀況下之平均速率為 94 公里/小時。所以根據式 4(見 P.9)可知相關的密度為 $D = 1,591/94 = 16.9$ 輛/公里/車道，或 $1,708/94 = 18.2$ 小客車/公里/車道。

假設小車平均車長為 5.5 公尺，大車平均車長為 13.5 公尺，因內側車道有 15% 是大車，所以平均車長為 $0.85 \times 5.5 + 0.15 \times 13.5 = 6.7$ 公尺。如假設偵測區長度為 2 公尺，則從式 5(見 P.9)可知內側車道之佔有率為 $K = 16.9 \times (6.7+2)/10 = 14.7\%$ 。如用小客車為單位，則 $K = 18.2 \times (5.5+2)/10 = 13.7\%$ 。

5.2 例二：規劃及設計問題

根據地形研判高速公路之一基本路段必須包括一平坦路段及一上坡路段，以減輕施工之費用。此基本路段設計之有關狀況如下：

- (1)單方向需求車流率：3,000 輛/小時；
- (2)尖峰因素：1.00；
- (3)大車比例：0.30；
- (4)速限：100 公里/小時；
- (5)駕駛人型態：一般工作性駕駛人；
- (6)服務水準及設計速率：

平坦路段內側車道最少須維持 C 級之服務水準，平均速率必須在 92 公里/小時以上。坡度路段內側車道之平均速率必須在 80 公里/小時以上。

步驟 1：訂定需求車流率，評選標準及設計標準

因單方向之需求車流率為 3,000 輛/小時，尖峰因素為 1.00，所以設計單方向之需求車流率為 $Q=3,000$ 輛/小時(見 P.21 之式 7)。如前所述，此基本路段之內側車道最少必須維持 C 級之服務水準。根據此服務水準及前述相關之設計速率，並假設外側車道之速率比內側車道之速率低 10 公里/小時，則內、外側車道之最低設計速率如下：

- (1)平坦路段內側車道：92 公里/小時；
- (2)平坦路段外側車道：82 公里/小時；
- (3)坡度路段內側車道：80 公里/小時；
- (4)坡度路段外側車道：70 公里/小時。

步驟 2：訂定幾何設計內容

初步幾何設計之性質如下：

- (1) 如圖 17a 所示，此設計先有一平坦路段，再接上長度為 500 公尺之曲段。曲段之後為一長達 1,000 公尺之 +4% 上坡路段。
- (2) 車道寬為 3.4 公尺；路肩寬為 1 公尺；兩旁有護欄。護欄在路肩之邊線上。
- (3) 主線有兩車道，沒有爬坡道。

步驟 3：建立近似直線路段

根據在 4.3 節所說明之程序，圖 17a 之原幾何設計可轉換成一系列近似直線路段，結果如圖 17b。

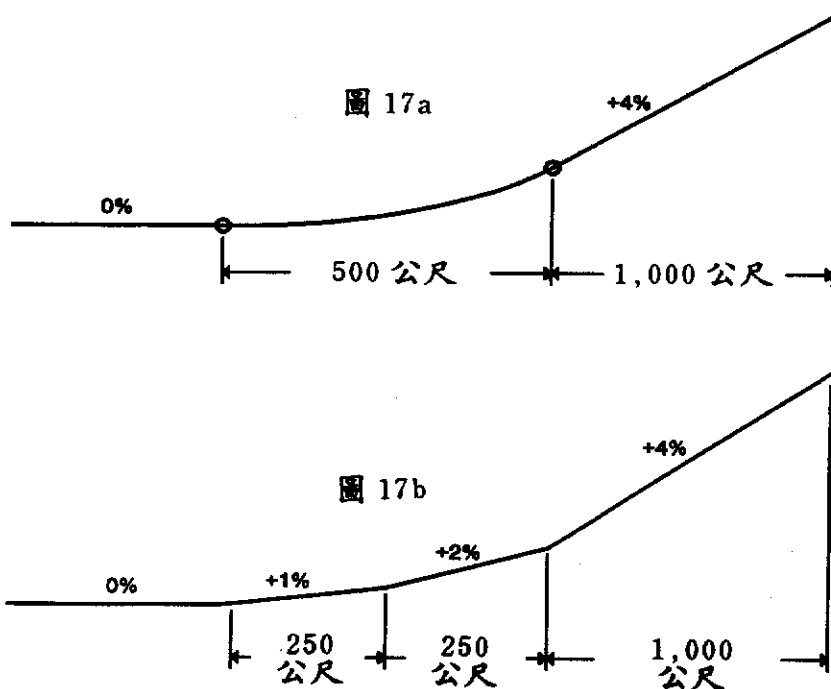


圖 17 初步幾何設計之縱切面定線

步驟 4：訂定分析臨界點及臨界點之自由速率

平坦路段任何一點皆可當作臨界點。此例之坡度路段則包括三個相連而且坡度持續上升之近似直線上坡路段，所以臨界點應在坡度路段之終點。因速限為 100 公里/小時，估計臨界點之自由速率時可假設內側車道在坡度路段起點之自由速率為 104 公里/小時，外側車道在起點之自由速率則為 94 公里/小時。根據這些速率及 P.26 之圖 13 估計所得，在坡度路段臨界點之自由速率列於表 4 中。

表 4 坡度路段臨界點之自由速率(公里/小時)

車道種類	小車(V_s)	大車(V_h)
內側車道	88	60
外側車道	84	57

步驟 5：分析平坦路段

根據 P.5 之圖 3，約有 29%之大車會利用內側車道($Z_1 = 0.29$)。從 P.27 之式 9 並利用 $r = 1.2$ ， $N_1 = 1$ ， $H = 0.3$ ， $Z_1 = Z_2 = 0.29$ ， $R_0 = 1 - Z_1 = 0.71$ ， $N_2 = 1$ ，可知約有 63%之小車會使用內側車道($Y = 0.65$)。根據這些及其他相關的資料，P.28 之式 10 及式 11 可用以估計內、外側車道之需求流率及大車比例。結果如表 5 所示：

表 5 平坦路段內、外側車道之需求流率 q 及大車比例 R_h

車道種類	R_s	R_h	q (輛/小時/車道)	P_h
內側車道	0.65	0.29	1,626	0.16
外側車道	0.35	0.71	1,374	0.47

註：P.28 之式 10 及式 11 中， $Q = 3,000$ 輛/小時， $H = 0.3$ ， $N = 1$

根據在步驟 1 所定的設計標準，平坦路段內、外側車道各須維持 92 公里/小時和 82 公里/小時之速率。在這些速率下之服務車流率，可從 P.28 之式 11 求得。估計服務車流率之相關因素及結果列於表 6 中。

表 6 平坦路段服務車流率及容量之估計

項目	內側車道	外側車道	註
設計速率(公里/小時)	92	82	步驟 1
設計速率之 S_b (小客車/小時/車道)	2,000	1,750	圖 7
S_b 最大值(小客車/小時/車道)	2,300	2,000	圖 7
車道寬調整因素(f_w)	0.98	0.98	圖 15
障礙物調整因素(f_d)	0.985	0.985	圖 16
駕駛人型態調整因素(f_p)	1.00	1.00	假設值
大車比例(P_h)	0.16	0.47	表 5
大車之小客車當量(E_q)	1.4	1.4	建議值
車種組成調整因素(f_v)	0.94	0.83	式 13
設計速率之服務車流率 S (輛/小時/車道)	1,815	1,402	式 12
容量(輛/小時/車道)	2,087	1,602	式 12

在估計平均速率之前須先將表 5 中平坦路段之需求車流率用 P.33 之式 15 轉換成在基本狀況下之相等的小客車流率 q_0 。轉換之有關因素及結果如表 7 所示。

表 7 平坦路段平均速率之估計

項目	內側車道	外側車道	註
速限(公里/小時)	100	100	
需求流率(輛/小時/車道)	1,626	1,374	表 5
車道寬調整因素(f_w)	0.98	0.98	表 6
障礙物調整因素(f_d)	0.985	0.985	表 6
駕駛人型態調整因素(f_p)	1.00	1.00	表 6
車種組成調整因素(f_c)	0.94	0.83	表 6
基本狀況下相等小客車 需求車流率 q_s (輛/小時/車 道)	1,792	1,715	式 15
平均速率(公里/小時)	96	84	圖 7

步驟 6：分析坡度路段

根據 P.5 之圖 4，使用內側車道之大車約佔所有大車之 21% ($Z_2 = 0.21$)。外側車道上，大車之自由速率為 57 公里/小時(見 P.42 之表 4)，所以 P.27 之式 9 中之 r 值為 $r = 3.2 - 0.02 \times 57 = 2.06$ 。在式 9 中，因 $r = 2.06$ ， $N_1 = N_2 = 1$ ， $H = 0.3$ ， $Z_1 = 0.21$ ， $R_0 = 1 - Z_2 = 0.79$ ，所以內側車道上小車佔所有小車之比例為 $Y = 0.87$ 。根據這些資料及其他相關的資料，P.28 之式 10 及式 11 可用以估計內、外側車道之需求流率及大車比例，結果如表 8 所示。

表 8 坡度路段臨界點內、外側車道之需求車流率 q 及大車比例 P_h

車道種類	R_s	R_h	q (輛/小時/車道)	P_h
內側車道	0.87	0.21	2,016	0.09
外側車道	0.13	0.79	984	0.72

平均自由速率可從 P.42 之表 4 之自由速率，表 8 之大車比例及

P.36 之式 16 估計而得，結果如表 9 所示。

表 9 坡度路段平均自由速率之估計

車道種類	自由速率(公里/小時)		大車比例 P_h	平均自由速率 V_f (公里/小時)
	小車(V_s)	大車(V_h)		
內側車道	88	60	0.09	85
外側車道	84	57	0.72	58

坡度路段之服務車流率及容量可由 P.35 之式 17 估計之。在此例中，坡度路段之服務車流率為內、外側車道各能維持 80 公里/小時及 70 公里/小時之設計速率時能承載之最大車流率。估計服務車流率及容量之因素及結果如表 10 所示。

表 10 坡度路段服務車流率及容量之估計

項目	內側車道	外側車道	註
平均自由速率 V_f (公里/小時)	85	58	表 9
設計速率(公里/小時)	80	70	
設計速率之 S_{bg} (輛/小時/車道)	1,550	*	圖 10
S_{bg} 最大值(輛/小時/車道)	1,900	870	圖 10 及 V_f
車道寬調整因素(f_w)	0.98	0.98	表 6
障礙物調整因素(f_d)	0.985	0.985	表 6
駕駛人型態調整因素(f_p)	1.00	1.00	表 6
需求車流率(輛/小時/車道)	2,016	984	表 8
服務車流率 S_g (輛/時/車道)	1,496	*	式 17
容量(輛/小時/車道)	1,834	840	式 17

註：*因自由速率只有 58 公里/小時，設計速率不可能達到 70 公里/小時。

估計需求車流率之平均速率時，須將需求車流率轉換成在基本狀況下之相等車流率。估計平均速率所需之因素及結果如表 11 所示。

表 11 坡度路段平均速率之估計

項目	內側車道	外側車道	註
平均自由速率(公里/小時)	85	58	表 9
需求流率(輛/小時/車道)	2,016	984	表 8
車道寬調整因素(f_w)	0.98	0.98	表 6
障礙物調整因素(f_d)	0.985	0.985	表 6
駕駛人型態調整因素(f_p)	1.00	1.00	表 6
基本狀況下相等 車流率 q_{eg} (輛/小時/車道)	2,088	1,019	表 6 式 18
平均速率(公里/小時)	擁塞	擁塞	圖 10

步驟 7：評估服務水準

由表 7 中可知平坦路段不受下游上坡路段之影響時，內側及外側車道之平均速率符合設計標準。在同樣情況下，從 P.9 之式 4 可知內側車道之相對車流密度為 $1,626/96=16.9$ 輛/公里/車道，外側車道之車流密度為 $1,374/84=16.4$ 輛/公里/車道。假設小車之長度為 5.5 公尺，大車的長度為 13.5 公尺，則因內側車道有 16% 之大車(表 5)，其平均車長為 $L_a=5.5 \times 0.84+13.5 \times 0.16=6.8$ 公尺。若偵測器偵測長度為 2 公尺，則從式 5 所估計得之內側車道佔有率為 $16.9 \times (2.0+6.8)/10=14.9\%$ 。

從表 11 可知坡度路段內、外側車道之需求車流率大於相對之容量，所以路段之幾何設計會造成車流之擁塞。在此情形下，幾何設計必須更改。因為表 10 已提供足夠的資料以評估幾何設計，表 11 之分析乃是多餘的。

5.3 例題三：爬坡道之功能

例題二中，坡度路段之幾何設計不合乎設計標準。如果增設一爬坡車道，則內、外側車道是否能個別達到 80 及 70 公里/小時之速率？

步驟一：訂定坡度路段臨界點及估計臨界點之自由速率

如同例二所示，臨界點在坡度路段之終點，其相關之自由速率已列於表 4 中。

步驟二：估計坡度路段臨界點之需求流率及車種組成

根據 P.6 之圖 5，使用內側車道之大車約佔所有大車之 3% ($Z_3 = 0.03$)，使用外側車道之大車則約佔所有大車之 42% ($Z_4 = 0.42$)。因外側車道上大車之自由速率為 57 公里/小時(見表 4)，所以式 9 中之 r 值為 $r = 3.2 - 0.02 \times 57 = 2.06$ 。式 9 中，因 $r = 2.06$ ， $N_1 = N_2 = 1$ ， $H = 0.3$ ， $Z_i = Z_3 = 0.03$ ， $R_0 = Z_4 = 0.42$ ，所以內側車道上小車佔所有小車之比例為 $Y = 0.79$ 。根據這些及其他相關的資料，第 28 頁之式 10 及式 11 可用以估計內、外車道之需求流率及大車比，結果如表 12 所示。

表 12 例題三，坡度路段臨界點內、外側車道之需求車流率 q 及大車比例 P_h

車道種類	R_s	R_h	q (輛/小時/車道)	P_h
內側車道	0.79	0.03	1,686	0.02
外側車道	0.21	0.42	819	0.46

步驟三：估計坡度路段平均自由速率

平均自由速率可從 P.42 之表 4 之自由速率，表 12 之大車比例及 P.34 之式 16 估計而得，結果如表 13 所示。

表 13 例題三，坡度路段平均自由速率之估計

車道種類	自由速率(公里/小時)		大車比例	平均自由速率
	小車(V_s)	大車(V_h)	P_h	V_f (公里/小時)
內側車道	88	60	0.02	87
外側車道	84	57	0.46	67

步驟四：估計坡度路段平均速率

估計坡度路段之平均速率時，須先將需求車流率轉換成在基本狀況下之相等車流率。估計平均速率所需之因素及結果如表 14 所示，坡度路段之容量也列於表中以供比較之用。

表 14 例題三，坡度路段之容量及平均速率之估計

項目	內側車道	外側車道	註
平均自由速率 V_f (公里/小時)	87	67	表 13
需求車流率(輛/小時/車道)	1,686	819	表 12
車道寬調整因素(f_w)	0.98	0.98	表 6
障礙物調整因素(f_d)	0.985	0.985	表 6
駕駛人型態調整因素(f_p)	1.0	1.0	表 6
容量(輛/小時/車道)	1,900	1,200	圖 10
相等車流率 q_{eq} (輛/小時/車道)	1,747	848	式 18
平均速率(公里/小時)	78	67	圖 10

步驟五：評估

增設爬坡道之後，坡度路段內側車道的容量從原來的 1,834 輛/小時/車道(見 P.45 之表 10)增加到 1,900 輛/小時/車道(見表 14)，外側車路的容量從 840 輛/小時/車道(見 P.45 之表 10)增加到 1,200 輛/小時/車道(見表 14)。表 14 顯示內、外側車道之速率仍比設計速率約低 2 到 3 公里/小時，所以幾何設計有必要再修改。

第六 參考文獻

1. 高速公路局，「八十四年度高速公路交通動態資料調查報告」，邱穀工程顧問公司辦理，民國 84 年 6 月。
2. Lin, F. B., Su, C. W., Chen, C. F., and Huang, H. H., "An Analysis of Traffic Flow Characteristics on Sun Yat-Sen National Freeway for Capacity and Level-of-Service Analysis," *Transportation Planning Journal*, Vol. 22, No. 4, December 1993, pp. 445-478.
3. Lin, F. B., Su, C. W., and Huang, H. H., "Uniform Criteria for Level-of-Service Analysis of Freeways," *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 122, No. 2, 1996, pp. 123-130.
4. 鄭賜榮等人，高速公路坡度路段車道容量提昇之研究，交通部運輸研究所，計畫編號處 NSC-84-2211-E-172-001，民國 84 年 7 月。
5. Wardrop, J. G., "Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research," *Institute of Civil Engineers Proceedings*, London, Part II, No. 1, 1952, pp. 325-362.
6. Gerlough, D. L., and Huber, M. J., *Traffic Flow Theory, a Monograph*, Special Report 165, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1975.
7. May, A. D., *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1990.
8. *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, Third Edition, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1994.
9. 龍天立等人，「台灣地區公路容量手冊」，交通部運輸研究所出版品編號 79-27-160，民國 79 年。

高速公路基本路段容量分析手冊

出版者：交通部運輸研究所

地址：台北市敦化北路 240 號

電話：(02) 3496789

經銷處：交通部運輸研究所運輸資訊組

三民書局：台北市重慶南路一段 61 號

正中書局：台北市衡陽路 20 號 3 樓

五南文化廣場：台中市中山路 2 號

新進圖書廣場：彰化市光復路 177 號

青年書局：高雄市青年一路 141 號

印刷者：萬達打字印刷有限公司

地址：台北市新生南路 3 段 84-1 號 2 樓

電話：(02) 3627718

中華民國八十六年十一月初版一刷

本書印製 200 冊，每冊工本費 100 元

統一編號：

009104860670