

第四章 高速公路基本路段

目 錄

	頁次
4.1 緒論.....	4-1
4.2 分析對象.....	4-2
4.3 車流特性.....	4-2
4.3.1 車種組成	4-2
4.3.2 車種之車道分布	4-3
4.3.3 車流之車道分布	4-6
4.3.4 平坦路段大型車輛之小車當量	4-9
4.3.5 平坦路段平均自由速率	4-12
4.3.6 平坦路段代表性流率與速率關係	4-13
4.3.7 平坦路段之容量	4-21
4.3.8 代表性車輛之總重/馬力比	4-22
4.3.9 代表性聯結車於坡度路段之速率與行車距離關係	4-22
4.3.10 坡度路段平均速率與流率之關係	4-24
4.3.11 占有率與車流密度之關係	4-24
4.4 績效指標及服務水準劃分標準	4-26
4.5 分析方法.....	4-28
4.5.1 平坦路段之服務水準分析	4-29
4.5.1.1 訂定幾何設計狀況	4-29
4.5.1.2 訂定須維持之服務水準	4-29
4.5.1.3 估計需求流率	4-30
4.5.1.4 估計對等小車流率	4-31
4.5.1.5 估計平均自由速率 V_f	4-31
4.5.1.6 設定基準速限 V_L	4-32
4.5.1.7 估計容量 Q_{max} 、V/C 比及服務水準	4-32
4.5.1.8 估計平均速率 $\bar{V}$ 、 $\bar{V}/V_L$ 比及服務水準	4-32
4.5.2 代表性重車於坡度路段之速率變化分析	4-32

4.5.3 坡度路段之服務水準分析	4-35
4.5.3.1 坡度路段之判別	4-35
4.5.3.2 服務水準評估	4-38
4.6 應用例題.....	4-41
4.6.1 例題 1	4-41
4.6.2 例題 2	4-42
4.6.3 例題 3	4-43
4.6.4 例題 4	4-46
4.6.5 例題 5	4-46
4.6.6 例題 6	4-47
參考文獻.....	4-50

圖 目 錄

	頁次
圖 4.1 國道 1 號及 3 號公路路段之流率與速率關係	4-1
圖 4.2 三義路段北上小車之車道分布	4-5
圖 4.3 三義路段北上大車之車道分布	4-5
圖 4.4 2 車道且開放路肩路段車流之車道分布	4-6
圖 4.5 3 車道路段車流之車道分布	4-6
圖 4.6 3 車道且開放路肩路段車流之車道分布	4-7
圖 4.7 4 車道路段車流之車道分布	4-7
圖 4.8 國 3 南下鶯歌系統-大溪路段小車跟隨小車之平均車距.	4-10
圖 4.9 國 1 及國 3 大車之小車當量	4-10
圖 4.10 國 1 及國 3 之 4 軸聯結車小車當量	4-11
圖 4.11 國 1 及國 3 之 5 軸聯結車小車當量	4-11
圖 4.12 國 3 南下大溪-龍潭 66.015K 各車道流率與速率關係....	4-13
圖 4.13 國 3 南下鶯歌系統-大溪路段各車道之流率與速率關係.	4-14
圖 4.14 2 車道平坦路段之代表性流率及速率關係	4-14
圖 4.15 3 車道平坦路段之代表性流率及速率關係	4-15
圖 4.16 4 車道平坦路段之代表性流率及速率關係	4-15
圖 4.17 2 車道且開放路肩平坦路段之代表性流率及速率關係...	4-15
圖 4.18 3 車道且開放路肩平坦路段之代表性流率及速率關係...	4-16
圖 4.19 國 1 北上 8.243K 路肩及一般車道之綜合流率與 速率關係對比	4-21
圖 4.20 高速公路 123 kg/kW 聯結車高速上坡後，速率與 行車距離之關係	4-23
圖 4.21 高速公路 123 kg/kW 聯結車低速上坡後，速率與 行車距離之關係	4-23
圖 4.22 高速公路 123 kg/kW 聯結車低速下坡後，速率與 行車距離之關係	4-24
圖 4.23 國 1 南下 8.947K 密度 D1 及 D2 估計值的關係	4-26
圖 4.24 縱切面用近似縱切線來代表之情況一	4-33

圖 4.25	縱切線及拋物線形縱曲線所構成之縱切面示意圖	4-34
圖 4.26	縱切面用近似縱切線來代表之情況二	4-35
圖 4.27	3 車道上坡路段容量模擬值	4-40
圖 4.28	3 車道上坡路段平均速率模擬值	4-40
圖 4.29	例題 2 之近似縱切面示意圖	4-43
圖 4.30	代表性聯結車上坡減速時速率與行車距離之關係	4-44
圖 4.31	代表性聯結車上坡加速時速率與行車距離之關係	4-45
圖 4.32	代表性聯結車下坡加速時速率與行車距離之關係	4-45
圖 4.33	高速公路模擬路網示意圖	4-47
圖 4.34	例題 6 之模擬結果	4-49

表 目 錄

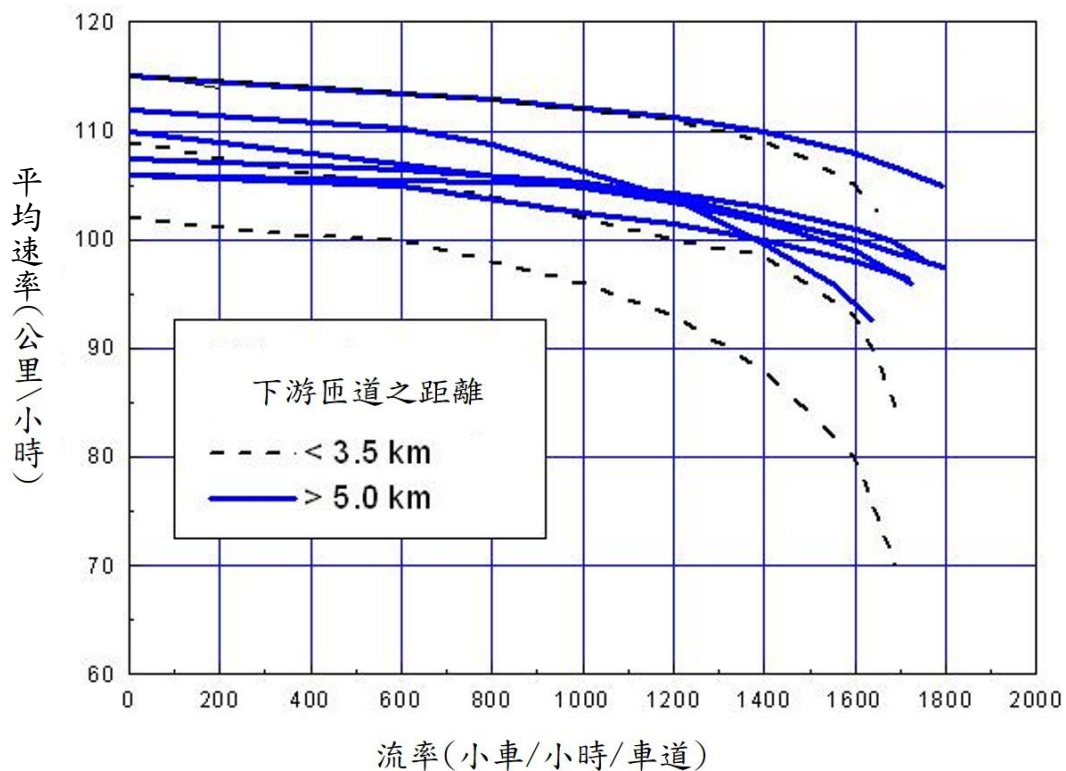
	頁次
表 4.1	國 1 及國 3 偵測器蒐集之大車及聯結車比例 4-3
表 4.2	未開放路肩路段，車種之車道分布 4-4
表 4.3	開放路肩路段，車種之車道分布 4-4
表 4.4	平坦路段於穩定車流狀況下之車道分布估計模式 4-8
表 4.5	平坦路段於壅塞狀況下車流之車道分布 4-9
表 4.6	國 1 及國 3 大型車輛在平坦路段之小車當量估計模式 .. 4-12
表 4.7	平坦路段平均自由速率建議值 4-13
表 4.8	2 車道平坦路段之代表性流率與速率關係 4-16
表 4.9	3 車道平坦路段之代表性流率與速率關係 4-17
表 4.10	4 車道平坦路段之代表性流率與速率關係 4-18
表 4.11	2 車道且開放路肩平坦路段之代表性流率與速率關係 ... 4-19
表 4.12	3 車道且開放路肩平坦路段之代表性流率與速率關係 ... 4-20
表 4.13	高速公路代表性車輛之總重/馬力比 4-22
表 4.14	根據需求流率/容量比之服務水準等級劃分標準 4-28
表 4.15	根據平均速率/速限比之服務水準等級劃分標準 4-28
表 4.16	式(4.9)之係數估計模式..... 4-37

4.1 緒論

高速公路基本路段指在車流穩定狀況下，交通運轉不受匝道、隧道、收費系統或主線號誌控制影響的路段。一般而言，這種路段存在於遠離匝道、隧道及其他影響車流運轉之設施的地點。

臺灣高速公路有許多匝道，匝道與主線匯流或分流的地點時常為瓶頸路段，車流通過瓶頸路段之後產生加速行為，可能須行進一公里之後才能回復正常行車狀況。如果下游瓶頸壅塞程度越嚴重，那麼對上游車流的影響範圍也越大，因此距離多遠才可以視為基本路段難以確定。

國道1號及3號公路數個路段之車輛偵測器資料顯示(如圖4.1)，距離下游匝道不到3.5公里處的流率增高時，平均速率的下降程度相當高；但是當距離超過5公里之後，匝道影響則不顯著[1]。所以在目前車流狀況之下，基本路段預期離下游匝道最少5公里，離上游匝道則為1公里以上。



資料來源：[1]。

圖 4.1 國道 1 號及 3 號公路路段之流率與速率關係

基本路段可能坡度平坦，也可能有上、下坡。這種路段的運轉可能受車道數、車道寬、車種組成、坡度、坡長及駕駛行為等因素之影響。臺灣高速公路的車道寬多數在 3.5 公尺及 3.75 公尺之間，路肩寬通常在 1.8 公尺及 3.3 公尺之間。其他狀況相同時，在這些車道寬及路肩寬範圍內的路段預期有相近的交通運轉特性。

「2011 年臺灣公路容量手冊」[2]第四章分析高速公路基本路段的方法依賴很有限而且陳舊的流率與速率關係。此舊版分析方法亦缺乏適用於分析坡度路段之工具。為了建立改良的分析方法，本所以新發展之公路交通系統模擬模式 (Highway Traffic Systems Simulation Model，簡稱 HTSS 模式，目前最新版本為 2021 年版)並分析 2018 年國 1 及國 3 號高速公路偵測器所蒐集之車流特性[3]。國道 5 號壅塞路段屬公路隧道或受隧道影響，因此尚無適合探討之基本路段。

4.2 分析對象

本章之分析對象分成平坦路段、代表性重車於上下坡之速率變化及坡度路段服務水準之評估。平坦路段及代表性重車於上下坡之速率變化可用圖、表及分析性模式來分析。坡度路段的運轉很複雜，本章建議採用 HTSS 模式來分析。將來可考慮利用大量的模擬資料建立可用來分析坡度路段之圖、表及分析性模式。

4.3 車流特性

4.3.1 車種組成

高速公路偵測器根據車長將車輛分成三類。長度不超過 5.5 公尺者視為小車；長度超過 5.5 公尺但不超過 12.2 公尺者屬大車；長度超過 12.2 公尺者為聯結車。根據這些劃分標準，大車中可能有不少車長接近 5.5 公尺之輕型貨車。聯結車則包括半聯結車及全聯結車。大客車的長度不超過 12.2 公尺，因此屬於大車。

根據 2018 年 16 天之偵測器資料，在早上 5 點到晚上 7 點之間

通過 10 處路段的大車及聯結車比例如表 4.1 所示。

表 4.1 國 1 及國 3 偵測器蒐集之大車及聯結車比例

國道	路段	大車百分比(%)		聯結車百分比(%)	
		平均	範圍	平均	範圍
1	1N1 汐止-五堵北上	3.6	2.8-4.9	2.3	1.5-3.5
	1N2 湖口-楊梅北上	3.5	2.2-5.5	4.3	2.8-5.7
	1N3 新竹-竹北北上	4.0	2.2-6.2	3.8	2.5-5.4
	1S1 五堵-汐止南下	2.8	3.2-5.6	2.9	2.3-3.9
	1S2 楊梅-湖口南下	3.1	1.6-4.9	3.8	2.3-5.0
	1S3 內湖-圓山南下	8.6	8.2-8.8	2.5	2.2-3.0
3	3N1 龍潭-大溪北上	2.5	1.6-4.3	1.6	0.7-3.1
	3N2 關西-龍潭北上	2.9	1.1-5.0	1.1	0.4-1.9
	3S1 鶯歌系統-大溪南下	1.9	0.8-4.0	1.7	0.5-3.9
	3S2 大溪-龍潭南下	2.0	0.9-3.9	1.7	0.7-3.7

資料來源：[3]。

4.3.2 車種之車道分布

如表 4.2 及 4.3 所示，不同車種使用各車道之比例隨地點、車道數及路肩是否開放而異，車道編號以最內側車道為 1 車道，向外依序遞增。車種之車道分布有下列之一般性質：

1. 小車幾乎均勻的集中在最內側之兩車道。
2. 大車使用外車道之比例最高，使用內側道的比例常不到 10%。
3. 聯結車很少使用內車道，使用外車道之比例可達 87%。
4. 本章分析之開放路肩路段均限行小車，因此路肩開放時，偵測器資料顯示少有大車及聯結車會進入路肩。於 2 車道路段(如 1N1 及 1S3)，15%~27%之小車使用路肩；於 3 車道路段(如 1N3 及 3N1)，則 9%~13%之小車使用路肩。

表 4.2 未開放路肩路段，車種之車道分布

路 段	小 車				大 貨 車				聯 結 車			
	車 道				車 道				車 道			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1N2	38.5	38.8	22.7	-	17.0	30.5	52.5	-	1.3	19.0	79.7	-
1N3	37.6	36.3	26.1	-	19.5	35.0	45.5	-	1.7	57.4	40.9	-
1S2	39.6	39.0	21.4	-	9.5	21.4	69.1	-	0.6	23.3	76.2	-
3N2	36.1	39.3	24.6	-	6.3	31.6	62.1	-	3.1	16.6	80.4	-
3S1	29.5	28.8	24.1	17.6	8.0	10.8	35.2	46.0	0.0	5.9	46.9	47.2
3S2	37.7	36.7	25.6	-	2.3	27.3	70.3	-	0.8	11.9	87.3	-

資料來源：[3]。

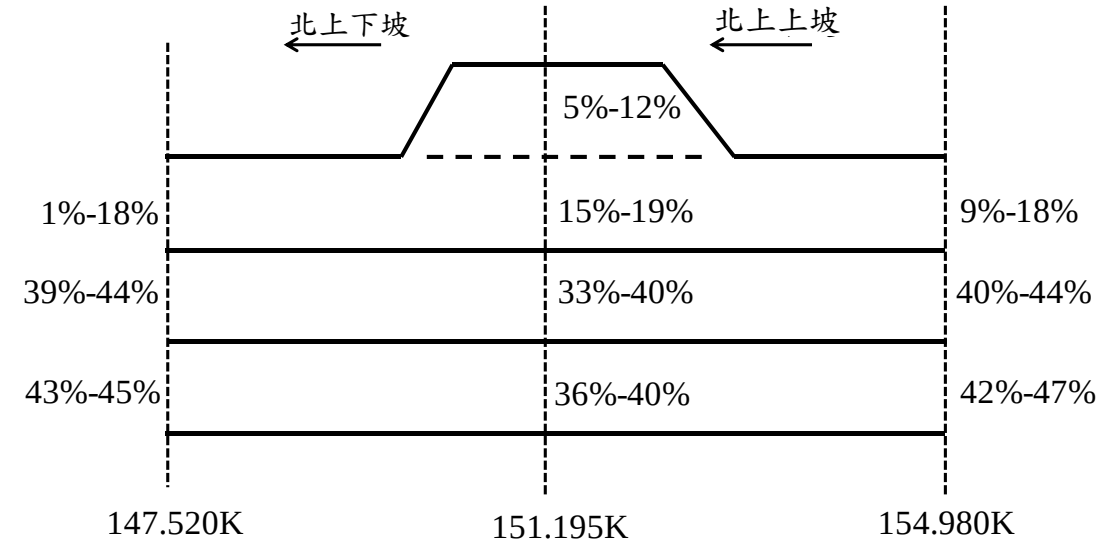
表 4.3 開放路肩路段，車種之車道分布

路 段	小車				大車				聯結車				路 肩
	車道				車道				車道				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1N1	44.7	39.8	(15.4)	-	35.2	57.4	(7.4)	-	30.1	69.5	(0.4)	-	開
1N1	50.0	48.9	(1.2)	-	32.9	66.6	(0.5)	-	28.5	71.3	(0.2)	-	關
1N3	33.0	31.1	26.5	(9.3)	16.2	43.7	35.4	(4.8)	0.4	51.1	48.1	(0.4)	開
1N3	35.8	38.1	24.8	(1.3)	12.3	38.7	48.3	(0.7)	0.2	41.0	58.7	(0.1)	關
3N1	33.1	31.3	22.6	(13.0)	11.8	34.7	49.2	(4.4)	3.1	20.7	74.2	(2.0)	開
3N1	38.5	40.4	19.9	(1.2)	8.3	32.3	58.8	(0.6)	0.5	19.9	79.5	(0.1)	關
1S3	35.1	27.2	(26.6)	-	38.6	50.2	(0.1)	-	37.2	51.4	(0.3)	-	開
1S3	49.0	37.0	(2.9)	-	38.6	50.3	(0.0)	-	33.3	55.5	(0.0)	-	關
註：()內之值為路肩使用百分比													

資料來源：[3]。

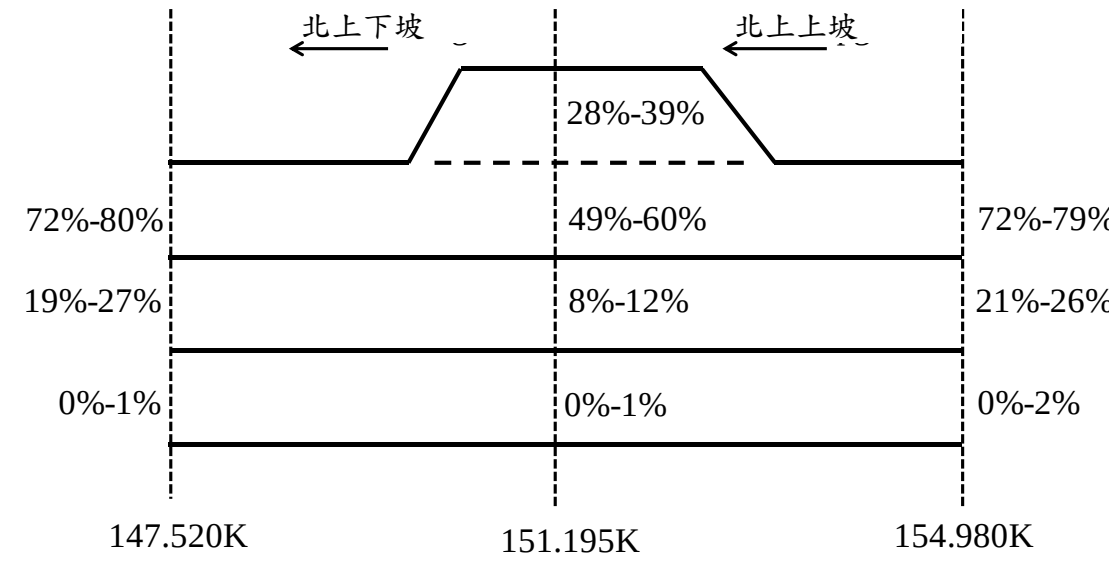
坡度路段上車流之車道分布預期會隨需求流率、坡度、坡長、車種組成及是否有爬坡道而異。目前現場資料有限。本所於 2014 年

的研究[4]曾探討小車及大型貨車在國 1 三義坡度路段(147K-155K 之間)的車道分布。此路段北上的上坡及下坡坡度各約在 4.5%及 2.8% 左右。圖 4.2 及 4.3 分別顯示北上小車及大車的車道使用率。在進入上坡之前，絕大多數的大車使用外車道。在有爬坡車道的地點，使用外車道及爬坡車道之大車占所有大車之比例更高。多數小車均勻的使用最內側兩車道。在有爬坡車道的地點，也有小部分小車進入爬坡道。南下之小車及大型貨車有相似之車道分布。



資料來源：[4]。

圖 4.2 三義路段北上小車之車道分布

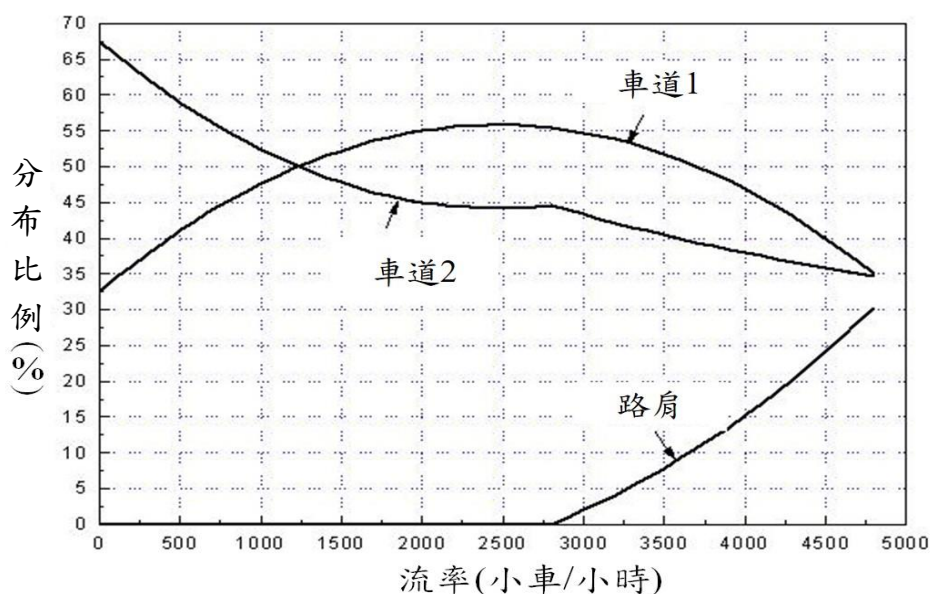


資料來源：[4]。

圖 4.3 三義路段北上大車之車道分布

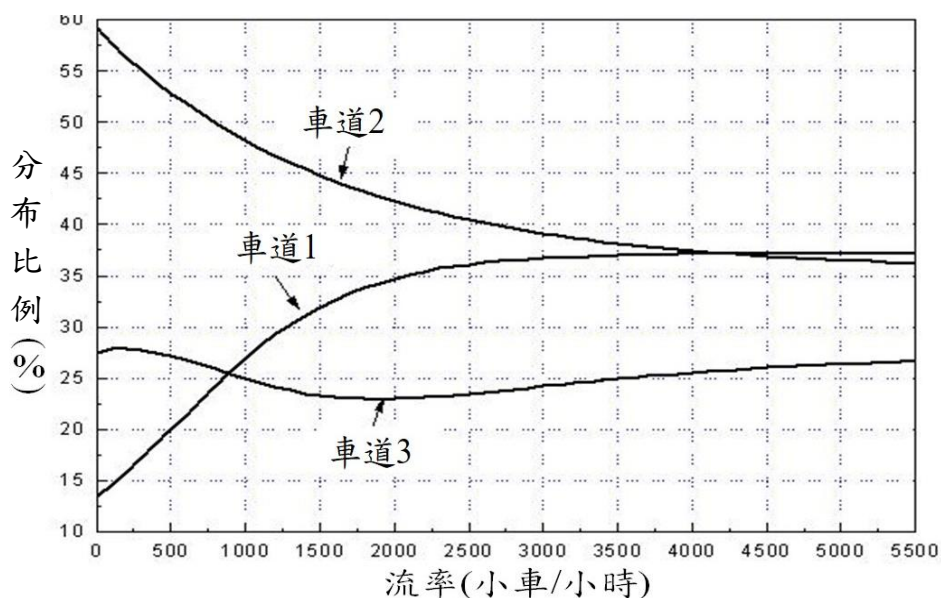
4.3.3 車流之車道分布

單向各車道的使用率隨需求流率、車道數、是否開放路肩、車流屬穩定或壅塞狀況及路段所在地而異。圖 4.4~4.7 顯示不同類型路段在車流穩定狀況下之車道分布，車道編號以最內側車道為 1 車道，向外依序遞增，這些車道分布可用表 4.4 所列之模式來估計。壅塞狀況時之車道分布則列於表 4.5。



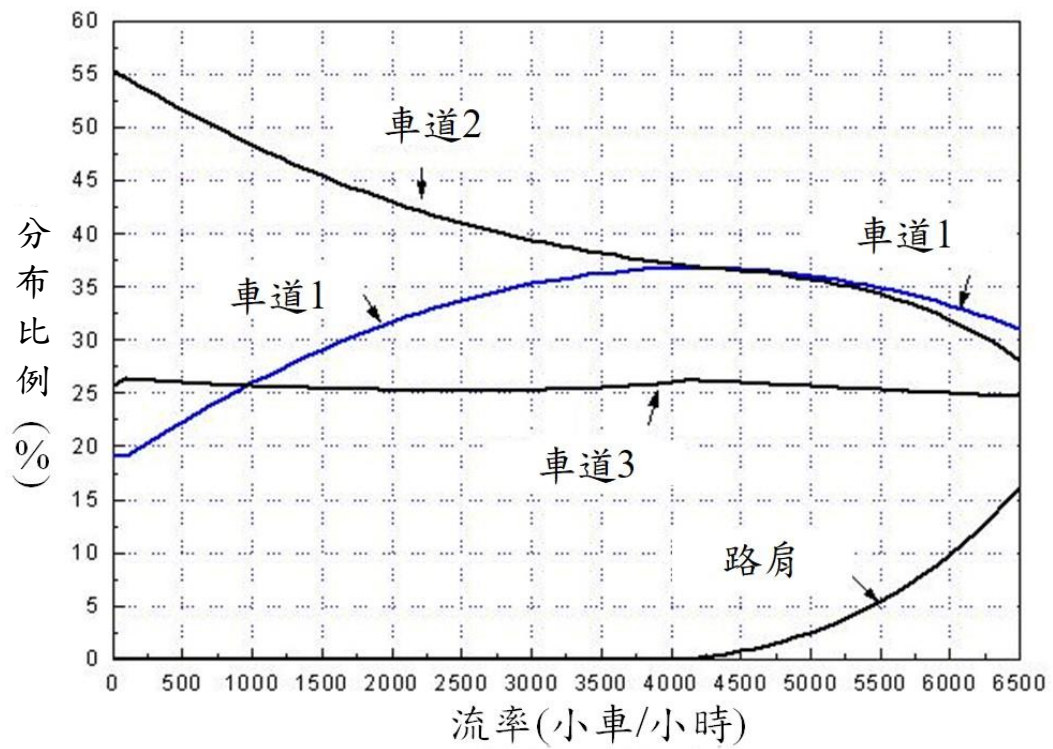
資料來源：[3]。

圖 4.4 2 車道且開放路肩路段車流之車道分布



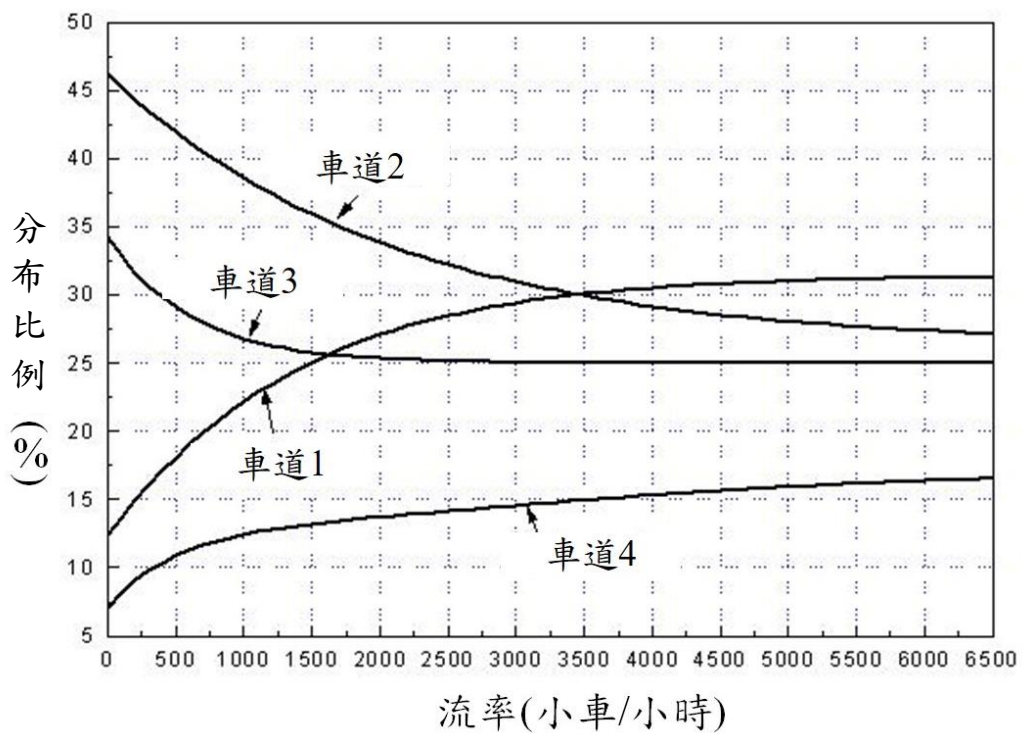
資料來源：[3]。

圖 4.5 3 車道路段車流之車道分布



資料來源：[3]。

圖 4.6 3 車道且開放路肩路段車流之車道分布



資料來源：[3]。

圖 4.7 4 車道路段車流之車道分布

表 4.4 平坦路段於穩定車流狀況下之車道分布估計模式

路段屬性		估計模式		
一般 車道數	路肩 開放	車道	分布比例 P_i (%)	適用流率範圍 Q (輛/小時)
2	有	1	$P_1 = 32.5 + 0.0189Q - 3.828 \times 10^{-6}Q^2$	$\leq 4,800$
		2	$P_2 = 100 - P_1$	$\leq 2,800$
			$P_2 = 67.8 - 0.0103Q + 7.1313 \times 10^{-7}Q^2$	2,800~4,800
		路肩	$P_S = 0$	$\leq 2,800$
			$P_S = 100 - P_1 - P_2$	2,800~4,800
3	無	1	$P_1 = 4.3 + \frac{32.852}{1 + e^{-\frac{Q-551.23}{571.821}}}$	$\leq 5,500$
		2	$P_2 = 35.4 + 17.4e^{-\frac{Q-500}{1622.4}}$	$\leq 5,500$
		3	$P_3 = 100 - P_1 - P_2$	$\leq 5,500$
3	有	1	$P_1 = 19 + 0.00871Q - 1.0666 \times 10^{-6}Q^2$	$\leq 6,500$
		2	$P_2 = 85.7 - \frac{51.364}{1 + e^{-\frac{Q+601.74}{1,632}}}$	$\leq 4,080$
			$P_2 = 37.6 - \frac{47.359}{1 + e^{-\frac{Q-7646.6}{828.04}}}$	4,080~6,500
		3	$P_3 = 100 - P_1 - P_2$	$\leq 4,080$
			$P_3 = 29.0 - 6.67 \times 10^{-4}Q$	4,080~6,500
		路肩	$P_4 = 0$	$\leq 4,080$
			$P_4 = 100 - P_1 - P_2 - P_3$	4,080~6,500
4	無	1	$P_1 = -131.1 + \frac{162.442}{1 + e^{-\frac{Q+2580.9}{1,276}}}$	$\leq 6,500$
		2	$P_2 = 26.3 + 15.63e^{-\frac{Q-500}{2,064.33}}$	$\leq 6,500$
		3	$P_3 = 25.0 + 4.09e^{-\frac{Q-500}{612.4}}$	$\leq 6,500$
		4	$P_4 = 1 - P_1 - P_2 - P_3$	$\leq 6,500$

資料來源：[3]。

表 4.5 平坦路段於壅塞狀況下車流之車道分布

路段屬性		車道分布比例(%)			
一般 車道數	路肩	車道			
		1	2	3	4
2	有	37	32	(31)	
3	無	33	34	33	
3	有	25	25	26	(24)
4	無	25	25	25	25
註：()內之值為路肩使用百分比					

資料來源：[3]。

雖然車道分布隨路段所在地而異，同一類型之路段有類似的特性，例如 3 車道路段在車流穩定而且中、低流率的狀況下，中間車道(第 2 車道)之使用率最高。流率增加時，內車道(第 1 車道)及中間車道的使用率逐漸接近。外車道(第 3 車道)的使用率低於其他兩車道。在高流率，或壅塞狀況時，各車道的使用率接近 33%。

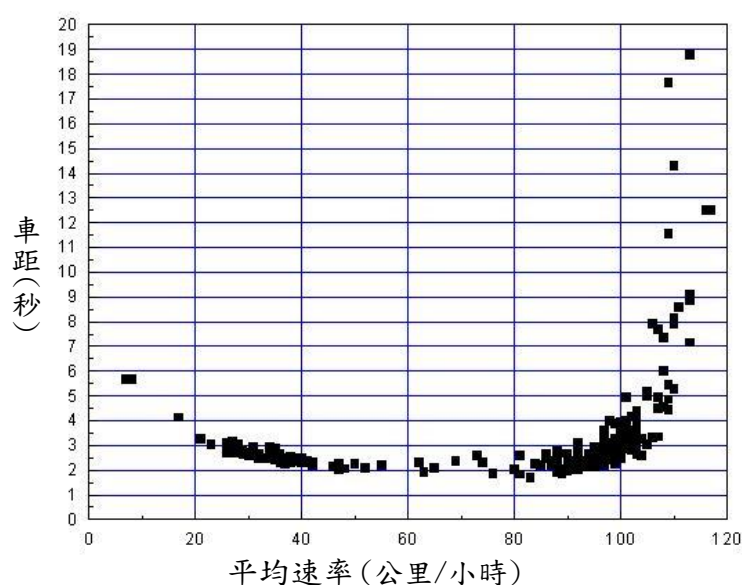
在路肩開放的路段上，車道使用之行為比較複雜。通常路肩開放且路肩開始有顯著車流時，一般車道之平均流率大約在 1,200~1,600 輛/小時左右。在中、低流率，且路肩未開放之前，第 2 車道的使用率高於第 1 車道。路肩開放之後，第 1 及第 2 車道的使用率隨流率的增高而逐漸降低。在快進入壅塞狀況之前，路肩的使用率只有一般車道使用率之 37%-85%。進入壅塞狀況之後，每車道的使用率皆相近。

4.3.4 平坦路段大型車輛之小車當量

本手冊第二章 2.4.13 節對估計平坦路段上大車之小車當量有詳細的說明。目前臺灣缺乏可用以估計小車當量之現場資料，所以本所 2019 年之研究報告[3]先根據偵測器資料篩選小車跟隨小車之車距與速率關係(圖 4.8 為分析結果之一)。然後利用美國一大型研究計畫之結果[5]估計小車跟隨大型車輛及大型車輛跟隨小車之額外車距。根據此手續估計大型車輛之小車當量如圖 4.9~圖 4.11 所示，並可用表 4.6 之公式估計近似值。小車當量之主要影響因素為車種及車速，

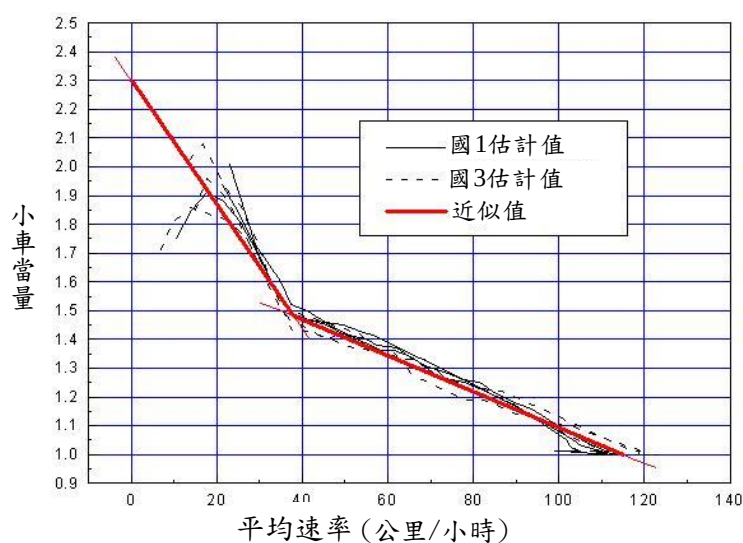
在目前常見的車種組成範圍內，大型車輛比例對小車當量的影響很微弱。

臺灣聯結車多數類似 4 軸聯結車，所以所有聯結車可當作 4 軸聯結車來估計當量。當量深受速率之影響。分析現存路段時，平均速率可從現場資料來估計。規劃新路段時，平均速率在當量未估計之前難以預測，因為一般路段之大型車輛比例不高，而且容量分析之主要對象為高速穩定狀況，所以採用固定的當量值 1.4 是一保守而且可接受的作法。



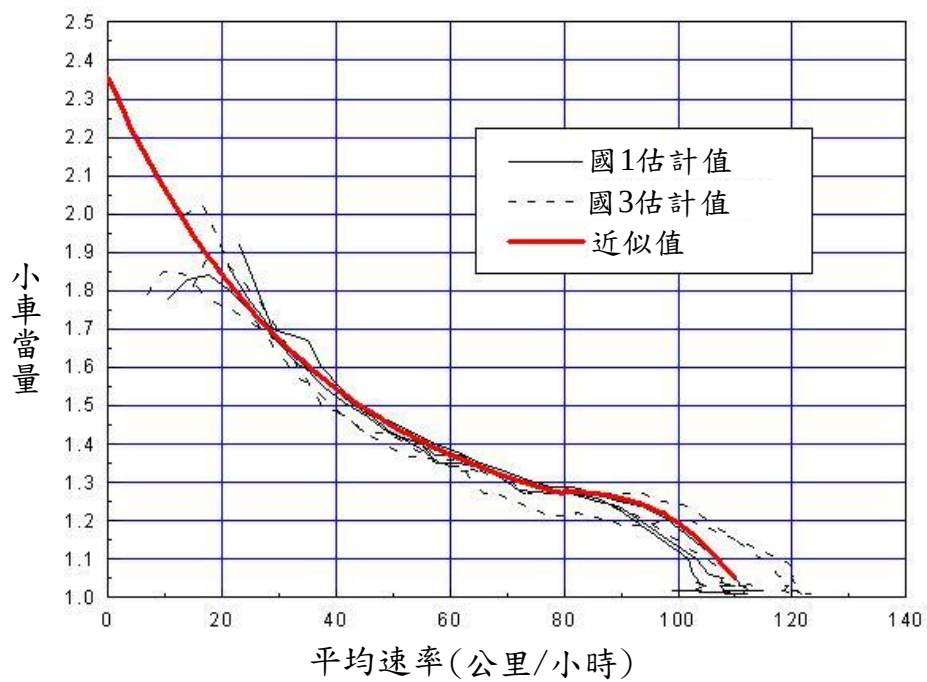
資料來源：[3]。

圖 4.8 國 3 南下鶯歌系統-大溪路段小車跟隨小車之平均車距



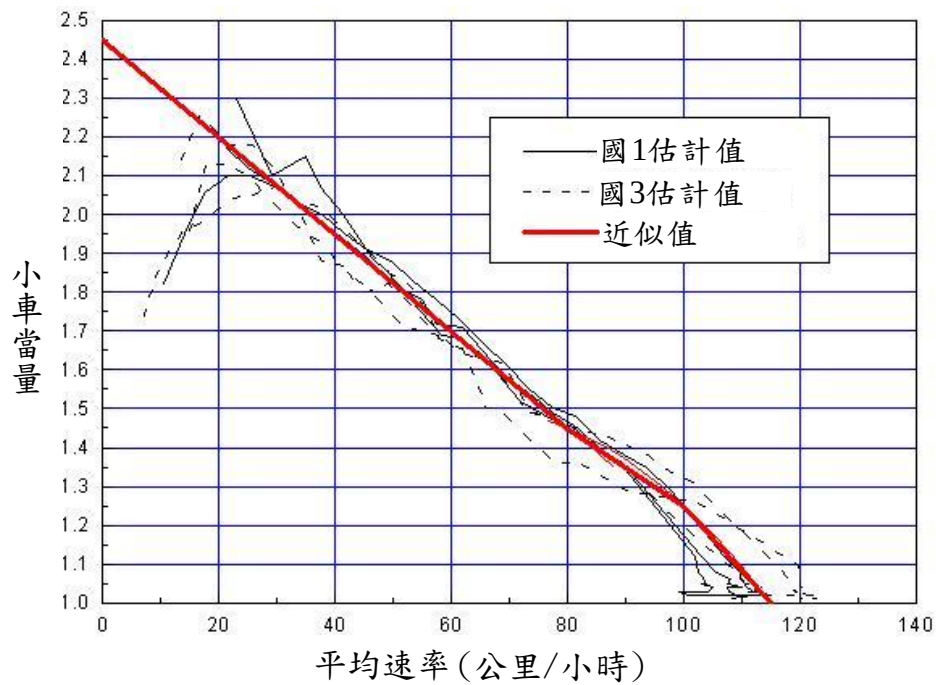
資料來源：[3]。

圖 4.9 國 1 及國 3 大車之小車當量



資料來源：[3]。

圖 4.10 國 1 及國 3 之 4 軸聯結車小車當量



資料來源：[3]。

圖 4.11 國 1 及國 3 之 5 軸聯結車小車當量

表 4.6 國 1 及國 3 大型車輛在平坦路段之小車當量估計模式

車種	估計模式	適用速率範圍 V (公里/小時)
大車	$E_{SU} = 2.3 - 0.0216V$	≤ 38
	$E_{SU} = 1.72 - 0.00623V$	38~115
	$E_{SU} = 1.0$	> 115
4 軸聯結車	$E_{T4} = 1.13 + 1.226 e^{-\frac{V}{36.883}}$	≤ 80
	$E_{T4} = 1.29 - \frac{0.6453}{1 + e^{-\frac{V-114.24}{7.9753}}}$	80~112
	$E_{T4} = 1.0$	> 112
5 軸聯結車	$E_{T5} = 2.45 - 0.0125V$	≤ 80
	$E_{T5} = 0.73 + 0.0243V - 1.905 \times 10^{-4}V^2$	80~115
	$E_{T5} = 1.0$	> 115

資料來源：[3]。

4.3.5 平坦路段平均自由速率

路段的綜合平均自由速率不一定比速限高。速限為 100 公里/小時之情況下，路段平均自由速率比速限高 0~15 公里/小時，平均差距為 5 公里/小時。速限為 110 公里/小時之路段的平均自由速率比速限高 -2~5 公里/小時，平均差距為 3 公里/小時[3]，但多數路段的平均自由速率比速限高 5 公里/小時。速限 90 公里/小時基本路段的自由速率不詳，預期接近 100 公里/小時。在無現場資料情況下，本章建議採用表 4.7 所列之平均自由速率。

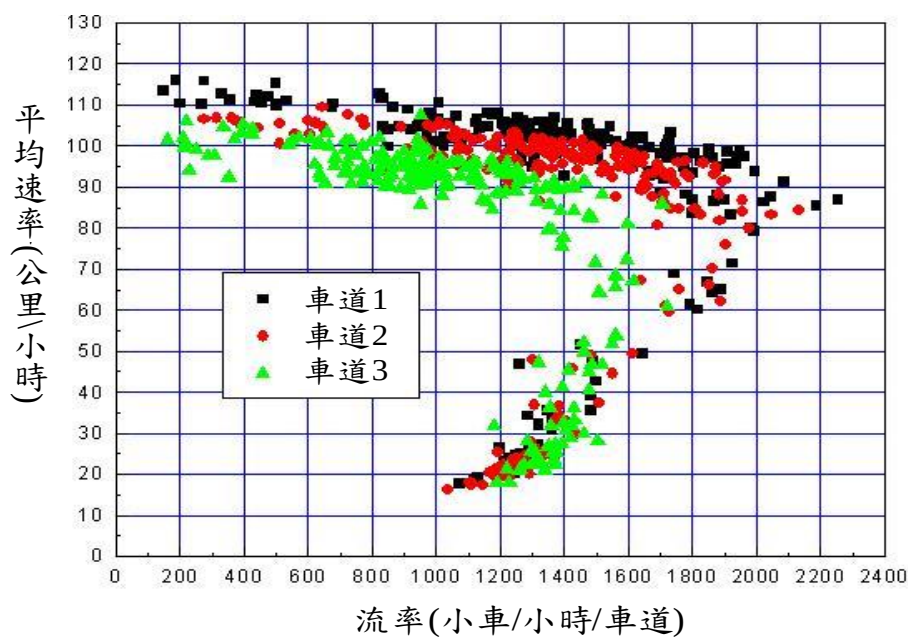
表 4.7 平坦路段平均自由速率建議值

速限(公里/小時)	平均自由速率(公里/小時)
90	100
100	105
110	115

資料來源：[3]。

4.3.6 平坦路段代表性流率與速率關係

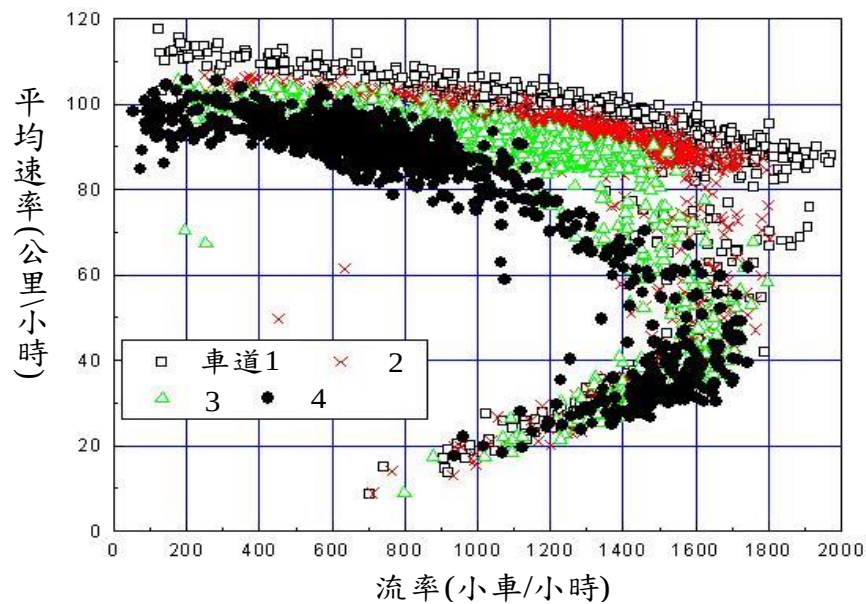
同一路段之不同車道有不同的流率與速率關係，如圖 4.12 及圖 4.13 所示，最內側兩車道之流率與速率關係通常差距不大，但其他車道上之流率與速率關係則與內車道有顯著的差異。一般而言，越往外側，車道的交通功能越弱，因此車道數越多，平均每車道能承載的最高流率越低。



註：車道編號以最內側車道為 1 車道，向外依序遞增

資料來源：[3]。

圖 4.12 國 3 南下大溪-龍潭 66.015K 各車道流率與速率關係



註：車道編號以最內側車道為 1 車道，向外依序遞增
資料來源：[3]。

圖 4.13 國 3 南下鶯歌系統-大溪路段各車道之流率與速率關係

臺灣高速公路有許多匝道之間的路段不長，因此不屬於基本路段。而車輛偵測器常有低估流率之情形，雖然電子收費系統(ETC)所蒐集之通過收費門架(gantry)流率準確度較高，但其估計之速率為相鄰兩門架間之平均速率，因此不能顯示基本路段的車流特性。於上述種種狀況下，基本路段之實際車流特性難以確定。圖 4.14~圖 4.18 所表示之平坦路段於不同自由速率下之代表性流率及速率關係乃是參考車輛偵測器及電子收費系統資料，並經由電腦模擬所訂定。這些關係可用表 4.8~表 4.12 所列之模式、容量及臨界速率來代表。

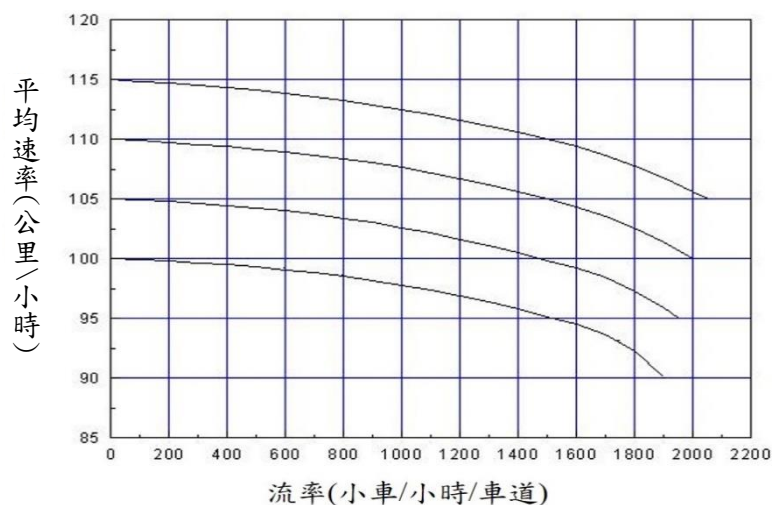


圖 4.14 2 車道平坦路段之代表性流率及速率關係

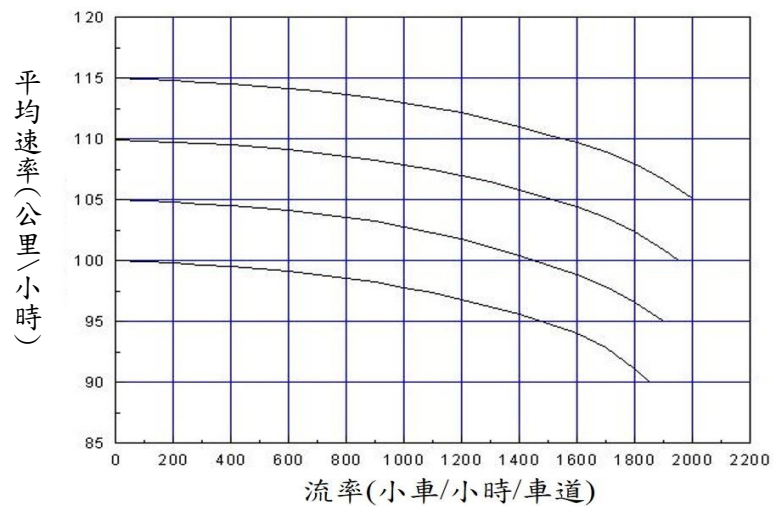


圖 4.15 3 車道平坦路段之代表性流率及速率關係

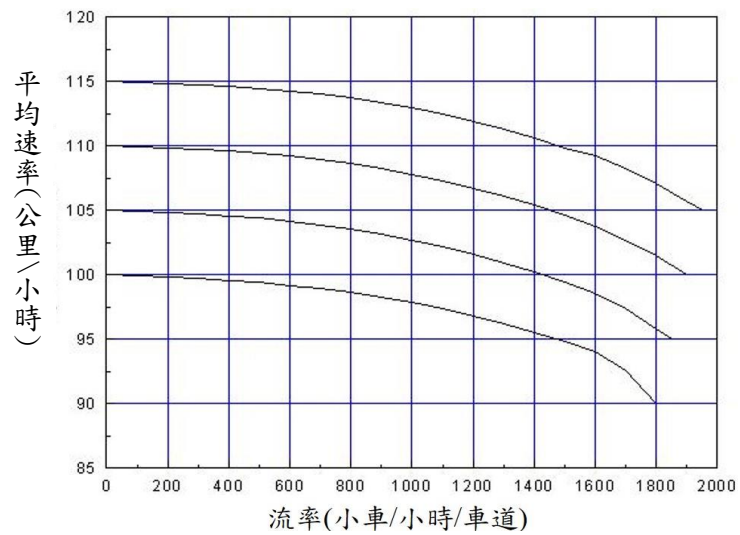


圖 4.16 4 車道平坦路段之代表性流率及速率關係

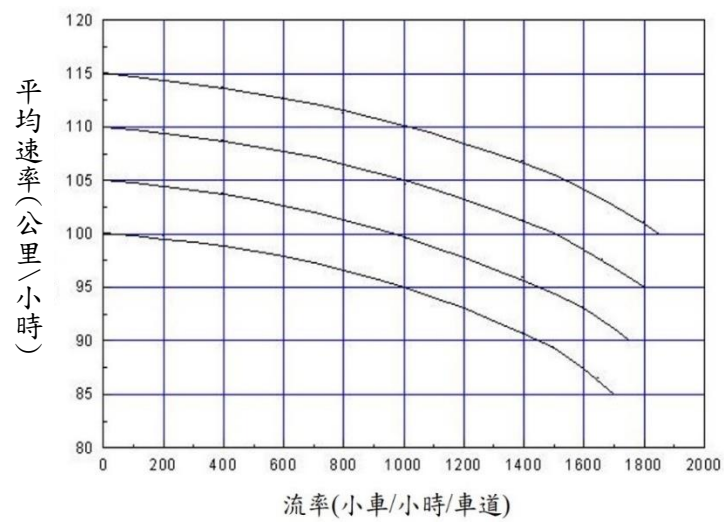


圖 4.17 2 車道且開放路肩平坦路段之代表性流率及速率關係

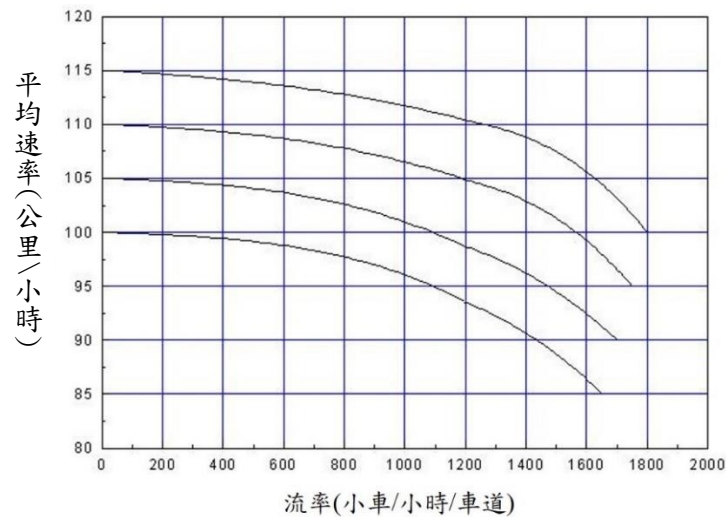


圖 4.18 3 車道且開放路肩平坦路段之代表性流率及速率關係

表 4.8 2 車道平坦路段之代表性流率與速率關係

自由速率 V_f (公里/小時)	流率 Q (小車/小時/車道)	流率 Q 與速率 V 之關係	容量 Q_{max} (小車/小時/車道)	臨界速率 (公里/小時)
115	0~1,500	$V = 116.05 - \frac{21.042}{1 + e^{-\frac{Q-2162.1}{725.26}}}$	2,050	105
	1,500~2,050	$V = 113.05 - \frac{33.019}{1 + e^{-\frac{Q-2,581.3}{467.67}}}$		
110	0~1,500	$V = 110.78 - \frac{19.579}{1 + e^{-\frac{Q-2,070.2}{645.99}}}$	2,000	100
	1,500~2,000	$V = 107.92 - \frac{38.229}{1 + e^{-\frac{Q-2,577.8}{427.41}}}$		
105	0~1,500	$V = 105.60 - \frac{14.781}{1 + e^{-\frac{Q-1,743.2}{537.84}}}$	1,950	95
	1,500~1,950	$V = 100.79 - \frac{18.473}{1 + e^{-\frac{Q-2,124.5}{221.04}}}$		
100	0~1,500	$V = 100.60 - \frac{17.791}{1 + e^{-\frac{Q-1,974.8}{577.44}}}$	1,900	90
	1,500~1,900	$V = 95.76 - \frac{28.001}{1 + e^{-\frac{Q-2,136.8}{173.44}}}$		

表 4.9 3 車道平坦路段之代表性流率與速率關係

自由速率 V_f (公里/小時)	流率 Q (小車/小時/車道)	流率 Q 與速率 V 之關係	容量 Q_{max} (小車/小時/車道)	臨界速率 (公里/小時)
115	0~1,500	$V = 115.48 - \frac{23.03}{1 + e^{-\frac{Q-2,221.6}{575.00}}}$	2,000	105
	1,500~2,000	$V = 112.25 - \frac{58.239}{1 + e^{-\frac{Q-2,687.6}{349.41}}}$		
110	0~1,500	$V = 110.52 - \frac{37.062}{1 + e^{-\frac{Q-2,588.3}{613.77}}}$	1,950	100
	1,500~1,950	$V = 106.54 - \frac{21.263}{1 + e^{-\frac{Q-2,161.7}{256.29}}}$		
105	0~1,500	$V = 105.41 - \frac{23.378}{1 + e^{-\frac{Q-2,078.5}{518.01}}}$	1,900	95
	1,500~1,900	$V = 102.12 - \frac{34.835}{1 + e^{-\frac{Q-2,351.1}{330.58}}}$		
100	0~1,500	$V = 100.40 - \frac{16.816}{1 + e^{-\frac{Q-1,855.0}{499.06}}}$	1,850	90
	1,500~1,850	$V = 96.45 - \frac{41.506}{1 + e^{-\frac{Q-2,236.6}{227.55}}}$		

表 4.10 4 車道平坦路段之代表性流率與速率關係

自由速率 V_f (公里/小時)	流率 Q (小車/小時/車道)	流率 Q 與速率 V 之關係	容量 Q_{max} (小車/小時/車道)	臨界速率 (公里/小時)
115	0~1,500	$V = 115.28 - \frac{13.69}{1 + e^{-\frac{Q-1,679.7}{422.87}}}$	1,950	105
	1,500~1,950	$V = 112.11 - \frac{18.104}{1 + e^{-\frac{Q-2,078.0}{288.36}}}$		
110	0~1,500	$V = 110.29 - \frac{12.158}{1 + e^{-\frac{Q-1,562.8}{413.03}}}$	1,900	100
	1,500~1,900	$V = 108.92 - \frac{39.217}{1 + e^{-\frac{Q-2,464.3}{458.29}}}$		
105	0~1,500	$V = 105.34 - \frac{13.281}{1 + e^{-\frac{Q-1,595.4}{423.72}}}$	1,850	95
	1,500~1,850	$V = 101.03 - \frac{12.298}{1 + e^{-\frac{Q-1,858.1}{184.22}}}$		
100	0~1,500	$V = 100.34 - \frac{14.082}{1 + e^{-\frac{Q-1,697.6}{450.87}}}$	1,800	90
	1,500~1,800	$V = 95.57 - \frac{20.163}{1 + e^{-\frac{Q-1,927.7}{131.33}}}$		

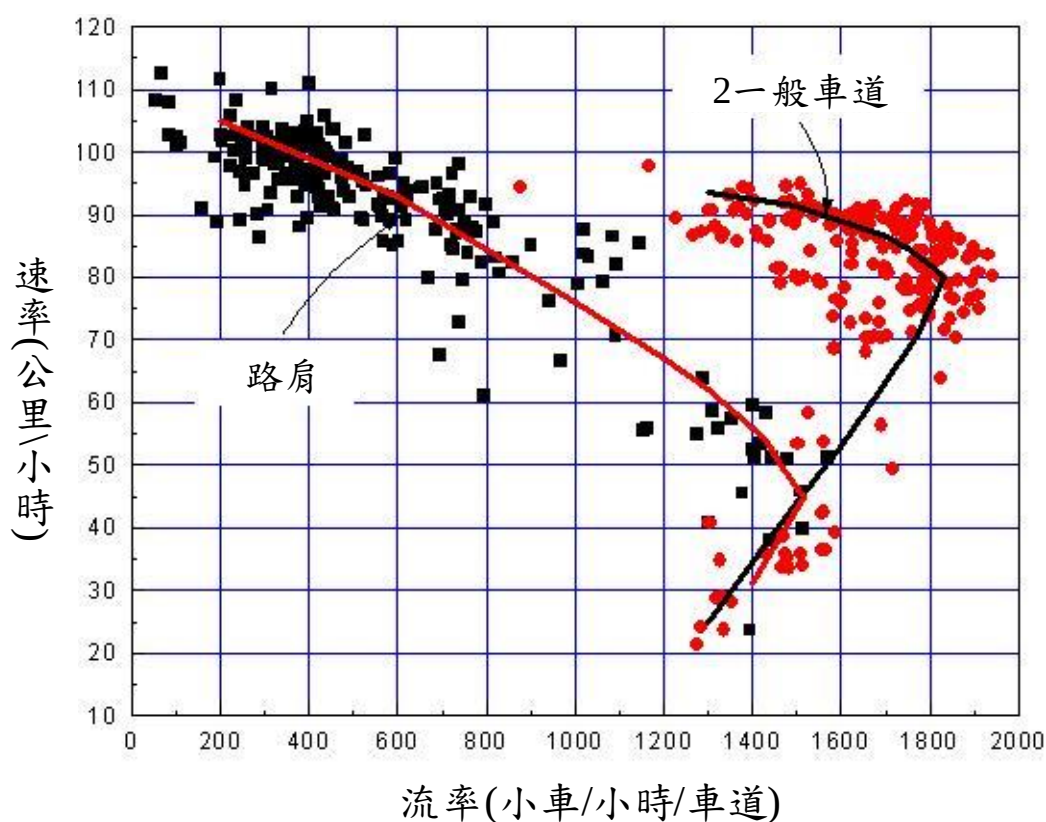
表 4.11 2 車道且開放路肩平坦路段之代表性流率與速率關係

自由速率 V_f (公里/小時)	流率 Q (小車/小時/車道)	流率 Q 與速率 V 之關係	容量 Q_{max} (小車/小時/車道)	臨界速率 (公里/小時)
115	0~1,500	$V = 117.17 - \frac{37.722}{1 + e^{-\frac{Q-2,105.2}{751.37}}}$	1,730	100
	1,500~1,730	$V = 110.01 - \frac{23.71}{1 + e^{-\frac{Q-1,947.9}{309.48}}}$		
110	0~1,500	$V = 111.62 - \frac{31.37}{1 + e^{-\frac{Q-1,839.4}{634.26}}}$	1,700	95
	1,500~1,700	$V = 104.32 - \frac{18.464}{1 + e^{-\frac{Q-1,794.7}{246.49}}}$		
105	0~1,500	$V = 106.73 - \frac{30.714}{1 + e^{-\frac{Q-1,746.1}{611.50}}}$	1,670	90
	1,500~1,670	$V = 99.65 - \frac{33.186}{1 + e^{-\frac{Q-2,015.8}{298.08}}}$		
100	0~1,500	$V = 101.32 - \frac{32.721}{1 + e^{-\frac{Q-1,812.8}{567.22}}}$	1,630	85
	1,500~1,630	$V = 92.898 - \frac{18.886}{1 + e^{-\frac{Q-1,759.1}{177.70}}}$		
註：容量、流率及速率為一般車道及路肩之平均值				

表 4.12 3 車道且開放路肩平坦路段之代表性流率與速率關係

自由速率 V_f (公里/小時)	流率 Q (小車/小時/車道)	流率 Q 與速率 V 之關係	容量 Q_{max} (小車/小時/車道)	臨界速率 (公里/小時)
115	0~1,200	$V = 115.95 - \frac{28.104}{1 + e^{-\frac{Q-2,056.3}{609.89}}}$	1,760	100
	1,200~1,760	$V = 111.11 - \frac{20.671}{1 + e^{-\frac{Q-1,774.2}{172.06}}}$		
110	0~1,200	$V = 110.48 - \frac{18.225}{1 + e^{-\frac{Q-1,552.2}{429.93}}}$	1,725	95
	1,200~1,725	$V = 106.75 - \frac{41.406}{1 + e^{-\frac{Q-1,992.9}{261.38}}}$		
105	0~1,200	$V = 105.34 - \frac{21.742}{1 + e^{-\frac{Q-1,495.2}{358.76}}}$	1,690	90
	1,500~1,690	$V = 102.47 - \frac{49.644}{1 + e^{-\frac{Q-2,091.5}{358.01}}}$		
100	0~1,200	$V = 100.26 - \frac{23.419}{1 + e^{-\frac{Q-1,511.3}{337.26}}}$	1,650	85
	1,200~1,650	$V = 99.066 - \frac{146.832}{1 + e^{-\frac{Q-2,677.6}{456.80}}}$		
註：容量、流率及速率為一般車道及路肩車道之平均值				

路肩的容量在 1,450~1,550 小車/小時之間，其相關臨界速率偏低，在 40~55 公里/小時之範圍，一般車道的臨界速率則高得多，圖 4.19 為其中一例。通常路段進入壅塞時，路肩的流率遠低於一般車道之容量，其值在一般車道流率之 37%至 85%之間。以圖 4.19 為例，路段車流穩定時，一般車道之平均流率最高約可達 1,800 小車/小時/車道，此時路肩所承載之流率則只能達到 900 小車/小時左右，大約等於一般車道容量之 50%。路段進入壅塞之後，一般車道之流率降低，路肩之流率則仍可繼續增加到 1,500 小車/小時左右。



資料來源：[3]。

圖 4.19 國 1 北上 8.243K 路肩及一般車道之綜合流率與速率關係對比

4.3.7 平坦路段之容量

高速公路基本路段在進入壅塞狀況之前能持續的最高流率隨不同日期中尖峰車流狀況及流率持續時間之長短而變。本章將高速公路基本路段的單向容量定義為車流從穩定狀況進入不穩定狀況之前，能持續 1 小時之最高流率的平均值。

直接估計能持續 1 小時之最高流率的平均值需要大量之現場資料才能取得足夠的樣本，但是能持續 1 小時之最高流率的平均值大

約為能持續 15 分鐘之最高流率平均值的 96.5%[3]，因此能持續 1 小時之容量可從能持續 15 分鐘之容量來估計。前述表 4.8~表 4.12 提供高速公路平坦路段平均每車道之容量值。

4.3.8 代表性車輛之總重/馬力比

車輛總重/馬力比是影響坡度路段上車速特性之主要因素。總重包括車輛本身、駕駛員、乘客及貨品之重量。馬力指瞬間從引擎輸出之馬力，而非引擎能輸出之最高馬力，瞬間馬力受到駕駛行為及車輛設計的影響。根據國 1 現場資料探討之結果[3]，代表性總重/馬力比如表 4.13 所示。

表 4.13 高速公路代表性車輛之總重/馬力比

車種	總重(kg)	馬力(kW)	總重/馬力比(kg/kW)
小車	2,000	36	56
大客車	15,000	215	70
大貨車	10,500	124	85
聯結車	32,000	260	123

資料來源：[3]。

4.3.9 代表性聯結車於坡度路段之速率與行車距離關係

規劃一公路常須評估坡度及坡長對重車自由速率之影響。例如美國州公路及運輸協會(American Association of State Highway and Transportation Officials, ASSHTO)之公路設計規範[6]建議上坡時，重車速率之下降程度不宜超過 15 公里/小時。一般的容量分析方法假設坡度路段不影響小車之速率。本所研究[3,4,7,8]則發現坡度也可能顯著影響小車速率。

規劃坡度路段時，宜採用允許通行車種中總重/馬力比最大者作為代表性車輛來分析其速率變化，以評估坡度與坡長之組合。根據表 4.13 所列，高速公路總重/馬力比最大之 123 kg/kW 代表性聯結車於坡度路段之速率與行車距離(水平投影距離)關係，如圖 4.20~圖 4.22 所示。這些圖可根據本手冊附錄 A 之 2021HTSS 模式使用手冊例題 6 所述之方法建立。

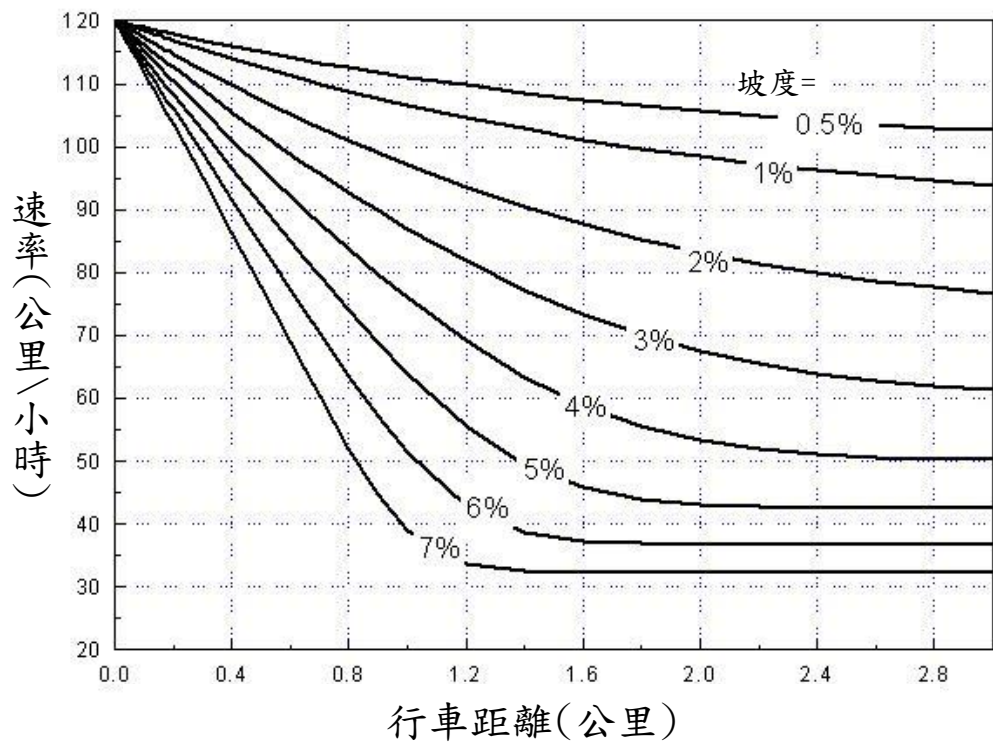


圖 4.20 高速公路 123 kg/kW 聯結車高速上坡後，速率與行車距離之關係

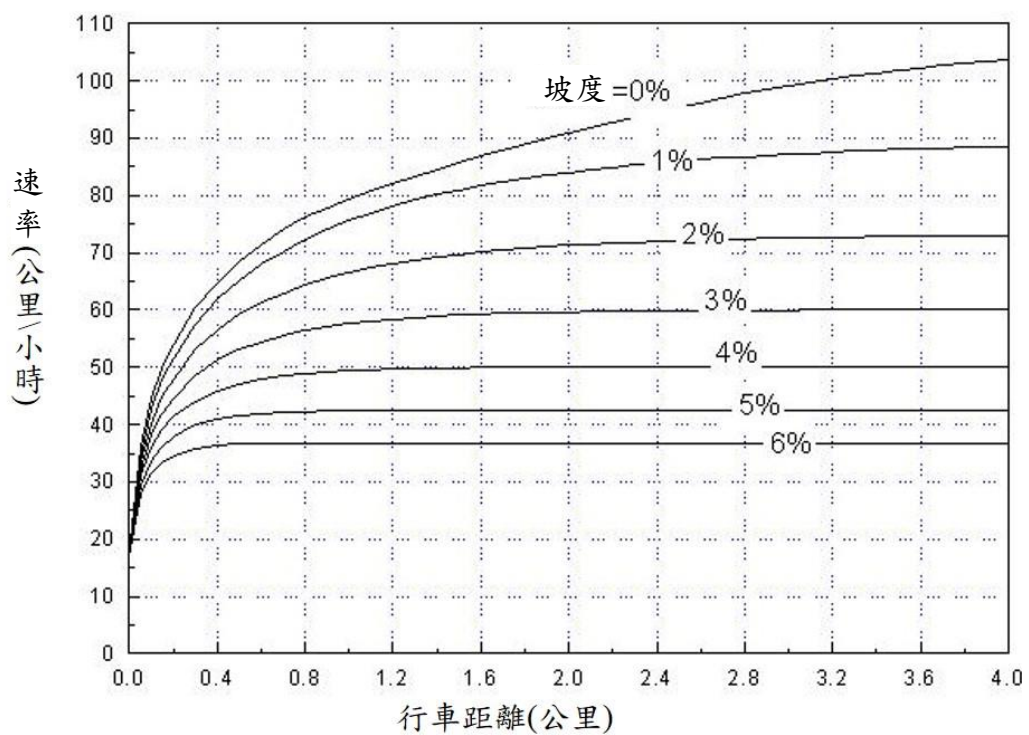


圖 4.21 高速公路 123 kg/kW 聯結車低速上坡後，速率與行車距離之關係

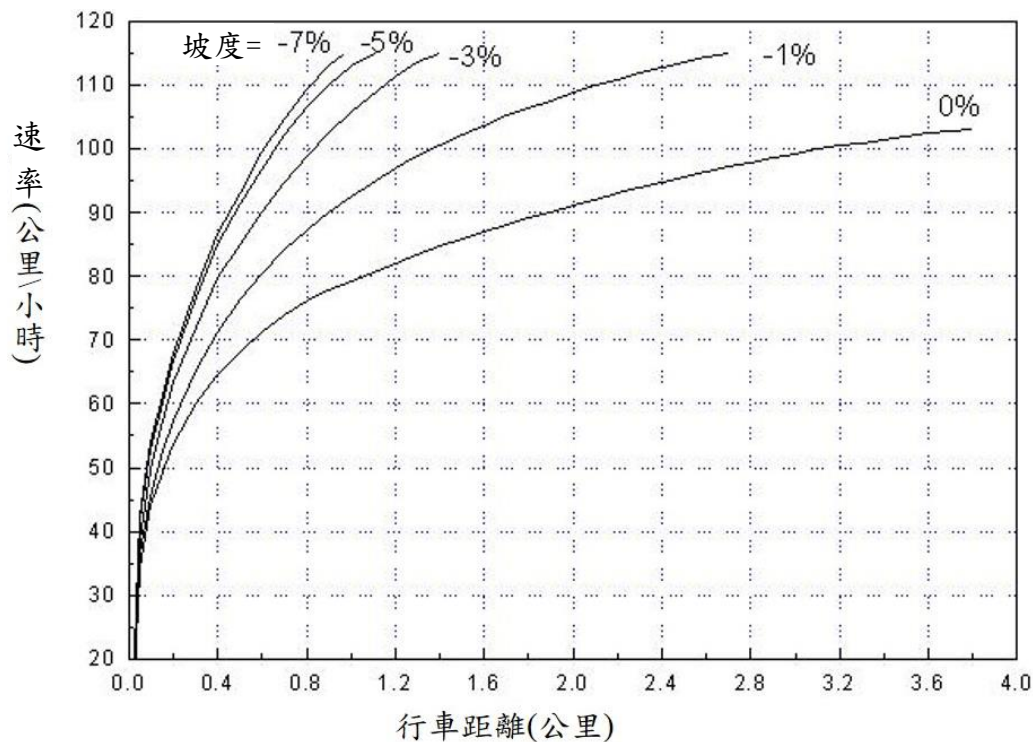


圖 4.22 高速公路 123 kg/kW 聯結車低速下坡後，速率與行車距離之關係

4.3.10 坡度路段平均速率與流率之關係

臺灣高速公路坡度路段之車流資料非常有限。本所只在國 1 三義北上坡度路段蒐集、分析過現場資料[4,7]。這些資料可能已不能反映最近的車流特性。一般而言，大車比例或坡度及坡長增加時，平均自由速率下降，容量也有隨著減少的現象。

坡度路段之速率與流率關係受坡度、坡長、車種組成、車道使用行為等許多因素之影響。目前分析坡度路段還須依賴模擬模式。

4.3.11 占有率與車流密度之關係

占有率(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。通常占有率是以長 6.8 公尺的線圈偵測器(inductive loop detector)測得。國 3 及國 5 偵測器之線圈所佔用之路段長度為 6.8 公尺。但其實際之感應區長度不詳。一般磁場線圈之感應區可能比線圈佔用之路段長 1 公尺左右。如在 5 分鐘的偵測時間內，偵測器感應區被車輛佔據之總時間為 2 分鐘(含車頭進入到車尾離開感應區之

時間)，則占有率為 40%。

臺灣高速公路偵測器所估計之平均速率為時間平均速率(time-mean speed)。在車流穩定的狀況下，此速率比空間平均速率(space-mean speed)約高 0~3 公里/小時。根據流率及空間平均速率，密度可估計如下：

$$D_1 = \frac{Q}{V_s} = \frac{Q}{V_t - \beta} \quad (4.1)$$

公式中，

D_1 = 從流率及空間平均速率推估之密度(輛/公里/車道)；

Q = 流率(輛/小時)；

V_s = 空間平均速率(公里/小時)；

V_t = 偵測器之時間平均速率估計值(公里/小時)；

β = V_t 與 V_s 之差距(公里/小時)。

從理論的眼光而言，車流密度與占有率有以下之關係：

$$D_2 = \frac{10K}{L_d + L_a} \quad (4.2)$$

公式中，

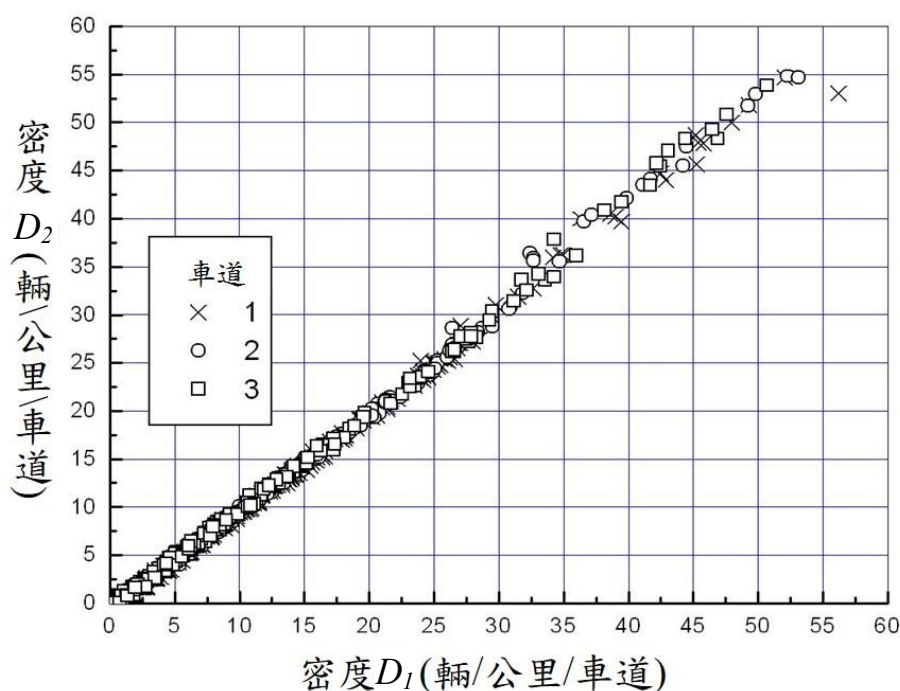
D_2 = 從占有率推估之車流密度（輛/公里）；

K = 占有率（%）；

L_d = 偵測區感應區長度（公尺）；

L_a = 車輛平均長度（公尺）。

如果無實際資料，建議在應用式(4.2)時，假設小客車或所有小車之平均長度皆為 4.6 公尺，大型車輛之平均長度為 9 公尺。根據這些假設值，如大型車輛之比例為 20%時，則車輛平均長度為 $L_a = 0.2 \times 9 + 0.8 \times 4.6 = 5.5$ 公尺。如果 D_1 及 D_2 屬同一時段的車流，其值應相等，如圖 4.23 所示。



資料來源：[3]。

圖 4.23 國 1 南下 8.947K 密度 D_1 及 D_2 估計值的關係

4.4 績效指標及服務水準劃分標準

績效指標之選擇除了須考慮績效指標是否能反映交通運轉品質之外，也須考慮指標應用之難易程度。沒有任何指標能反映一公路在各種狀況下的服務品質，而且能同時滿足規劃、設計及評估之需要。一般而言，用路人最關心的服務品質是壅塞程度及速率。所以本章使用兩個績效指標評估服務水準。

壅塞程度可用需求流率與容量的比值來衡量。此比值常稱為流量/容量比(volume/capacity ratio，或簡稱 V/C 比)。此指標之流量代表欲通過一路段之需求流率。在穩定車流狀況下，V/C 比反映車流的密度(亦即壅塞程度)。V/C 比接近 0 時，車流密度很低，其相關壅塞程度也低。V/C 比接近但不超過 1.0 時，壅塞狀況相當高，車流可能隨時進入不穩定的狀況。理論上，V/C 比超過 1.0 時，容量不足以應付欲通過的流率，因而會造成塞車。

現況評估時，因需求流率難以調查，若路段速率已偏低，亦表示車流呈壅塞狀態、需求流率/容量比(V/C 比)超過 1.0。

規劃設計時，平坦路段以設定最低可接受的 V/C 比服務水準為

原則。但在坡度路段上，V/C 比不能反映以速率衡量之行車效率，因此需同時以速率指標進行評估。例如在一陡的上坡上，V/C 比低，速率也低，從 V/C 比的立場而言，服務品質甚佳，但從速率的角度而言，服務水準並不理想。

駕駛員沒有絕對的自由選擇車速。因此車速高低所代表的服務品質須根據一受行車安全所限制之門檻速率來衡量。可考慮的門檻速率包括速限及平均自由速率。速限的應用有一潛在問題，因速限之訂定須考慮行車安全及駕駛員在自由旅行狀況下欲維持的速率。如果設定的速限太低，則平均速率與速限的比值可能難以分辨速限相同路段之服務品質。這問題可用平均自由速率當門檻值來解決，但平均自由速率難以準確的預估，其現場調查也增加應用的困難，相較而言速限的應用簡便，因此本章採用平均速率/速限比，評估速率所代表之服務品質。

服務水準之劃分標準如表 4.14 及表 4.15 所示，根據 V/C 比劃分之服務水準有 6 級。A 級代表自由旅行狀況，F 級代表需求流率高於容量之壅塞狀況，E 級屬於穩定狀態，但偶爾會進入壅塞狀況的可能性相當顯著。所以設計公路時，不宜根據 E 級之服務水準。而 D 級之服務水準也不理想，故只宜用在規劃市區路段。A、B 及 C 級則適用於規劃郊區路段。高速公路車流在相當高的平均速率時就會進入壅塞狀況，因此不宜讓交通運轉品質降到第 3 級。

根據平均速率/速限比評估時，所用的基準速限為分析路段之速限。若分析路段速限隨該路段的區段而異，則根據各區段之速限及長度加權取平均值。例如一區段長度為 2 公里、速限 50 公里/小時，另一區段長度為 1 公里、速限 70 公里/小時，則平均速限為 $(50 \times 2 + 70 \times 1) / (2 + 1) = 56.7$ 公里/小時。

採用分析路段的速限作為基準速限之方法，不宜用來比較不同路段的相對服務水準(除非不同路段之速限皆相同)。此外，以平均速率/速限比較一路段改善前後之服務水準時，基準速限須用改善前之速限。

應用表 4.14 及表 4.15 之劃分標準評估公路之運轉時必須用 2 個代號來反映服務水準。第 1 個代號(A, B, C, D, E, F)代表壅塞程度，

第 2 個代號(1, 2, 3, 4, 5, 6)代表平均速率的高低。例如某一公路的 V/C 值為 0.4，其平均速率為 75 公里/小時，速限為 90 公里/小時，則服務水準等級為 B2。

表 4.14 根據需求流率/容量比之服務水準等級劃分標準

服務水準	需求流率/容量比 (V/C)
A	$V/C \leq 0.25$
B	$0.25 < V/C \leq 0.50$
C	$0.50 < V/C \leq 0.80$
D	$0.80 < V/C \leq 0.90$
E	$0.90 < V/C \leq 1.0$
F	$V/C > 1.0$

表 4.15 根據平均速率/速限比之服務水準等級劃分標準

服務水準	平均速率/速限比 ($\bar{V}/V_L$)
1	$\bar{V}/V_L \geq 0.90$
2	$0.80 \leq \bar{V}/V_L < 0.90$
3	$0.60 \leq \bar{V}/V_L < 0.80$
4	$0.40 \leq \bar{V}/V_L < 0.60$
5	$0.20 \leq \bar{V}/V_L < 0.40$
6	$\bar{V}/V_L < 0.20$

4.5 分析方法

高速公路之規劃、設計及現有設施運轉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。運轉分析之目的

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。

除了目的不同之外，規劃分析及運轉分析也有其它不同處。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。運轉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。運轉分析通常車流率為已知。從圖 4.12 可知，同一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、壅塞狀況。所以除非所用之流率為需求流率，運轉分析並不一定能訂定出真正的服務水準。

本章分析對象分成下列三項：

1. 評估平坦路段之服務水準；
2. 評估在自由旅行狀況下 123 kg/kW 代表性重車上、下坡時速率之變化；
3. 評估坡度路段之服務水準。

分析方法隨分析對象而異。

4.5.1 平坦路段之服務水準分析

4.5.1.1 訂定幾何設計狀況

本章假設分析路段的車道寬及路肩寬在常見的範圍之內(車道寬：3.5~3.8 公尺；路肩寬：1.8~3 公尺)。高速公路基本路段之平曲線(horizontal curve)通常有長的曲率半徑，因此平曲線對車流運轉的影響不顯著。在這些情況之下，幾何設計狀況主要包括車道數及路肩是否開放。

4.5.1.2 訂定須維持之服務水準

規劃及設計公路必須根據最低應維持之服務水準以選擇幾何設計。在都會區附近的平坦基本路段最少應維持 D2 級之服務水準，都會區外之平坦基本路段則最低應維持 C2 級之服務水準。

運轉分析之目的在於評估一設施所能提供之服務水準，所以不必事先訂定最低應維持之服務水準。但評估結果一般用於決定一設

施之服務水準是否能接受，或訂定改善不同設施之優先順序，所以在決策的過程中仍須訂定一最低應維持之服務水準。

4.5.1.3 估計需求流率

需求流率代表欲通過一分析路段之流率。在無壅塞之狀況下，需求流率等於實際通過一路段之流率。分析路段若有壅塞狀況，需求流率則必須根據該路段壅塞區上游(停等車隊或慢行車隊之上游)，從各方向欲進入分析路段的流率來估計。短於 15 分鐘之分析沒有實用價值。如果分析時段為 15 分鐘，則需求流率可訂為該 15 分鐘內之平均流率，不必考慮時間的變化性。但如果分析時段較長(例如尖峰小時)，長時間內之流率可能隨者時間而有顯著變化，所以應將分析時段切割成不同短時段，每時段的需求流率根據預測或現場資料來訂定。但目前只有電腦模擬才能合理分析隨時間變化的需求流率。

一般而言，在接近或已進入壅塞狀況時之情況下，尖峰 15 分鐘之車流對隨後的交通運轉可能有深遠的影響。因此訂定需求流率時，宜根據下列原則：

1. 規劃及設計的分析宜根據尖峰 15 分鐘之需求流率。
2. 除非用電腦模擬，否則評估現況時也宜根據尖峰 15 分鐘之需求流率，不宜採用長分析時段(如 1 小時)之平均流率，以避免過度高估實際能提供之服務水準。
3. 用電腦模擬長時間(如 1 小時)之運轉時，宜將分析時段切分成數個短時段，每一短時段之需求流率根據現況或預測之流率變化型態來訂定，如果沒有足夠的資料，則應根據尖峰 15 分鐘之需求流率進行分析。必要時，尖峰 15 分鐘之需求流率可估計如下：

$$Q_{15} = \frac{ADT \times K \times D}{PHF} \quad (4.3)$$

或

$$Q_{15} = \frac{Q_{60}}{PHF} \quad (4.4)$$

此兩式中，

Q_{15} = 尖峰 15 分鐘單方向之需求流率(輛/小時)；

ADT = 設計年(design year)平均每日流量(輛)；

K = 設計小時流量係數(都會區：0.08~0.12；其他區域
0.12~0.16)；

D = 流量之方向分布係數(0.5~0.65)；

Q_{60} = 實際或預測之尖峰小時流率(輛/小時)；

PHF = 尖峰小時係數(0.85~0.95)。

4.5.1.4 估計對等小車流率

分析平坦路段時，混合車流之需求流率須轉換成每車道之平均對等小車流率。根據各種車輛之比例及小車當量，對等小車流率可估計如下：

$$Q_e = Q_{15} \left[1 + \sum_{i=1}^n P_i (E_i - 1) \right] / N \quad (4.5)$$

此式中，

Q_e = 單向每車道之平均對等小車需求流率(小車/小時/車道)；

Q_{15} = 尖峰 15 分鐘單向混合車流之需求流率(輛/小時)；

n = 小車除外之車種數；

P_i = 小車除外，車種 i 之比例；

E_i = 車種 i 之小車當量；

N = 車道數(若分析路段路肩開放，車道數加 1)。

評估現存路段而且平均速率已知時，小車當量可用表 4.6 之模式來估計。規劃高速公路基本路段且路段平坦時，可將所有非小車之車輛的小車當量訂為 1.4。

4.5.1.5 估計平均自由速率 V_f

平均自由速率可從現場資料估計或參考表 4.7 之建議值來設定。

4.5.1.6 設定基準速限 V_L

基準速限須根據本章 4.4 節所述之原則訂定。

4.5.1.7 估計容量 Q_{max} 、 V/C 比及服務水準

根據車道數及平均自由速率，平均每車道之容量可從表 4.8~表 4.12 所列的關係來估計。必要時可用內插或外插法估計。 V/C 比可估計為 Q_e/Q_{max} ，其相關服務水準可從表 4.14 訂定。如果規劃設計時此服務水準不符合要求，則不必進一步評估平均速率。

4.5.1.8 估計平均速率 $\bar{V}$ 、 $\bar{V}/V_L$ 比及服務水準

根據車道數及平均自由速率，可用圖 4.14~圖 4.18 所示之代表性流率與速率關係或表 4.8~表 4.12 所列之模式估計平均速率 $\bar{V}$ 。必要時可用內插或外插法估計。 $\bar{V}/V_L$ 比值之相關服務水準可從表 4.15 來訂定。

4.5.2 代表性重車於坡度路段之速率變化分析

重車爬坡性能比小車差，因此在坡度路段上的車速可能有相當大的差異。這種差異不僅會減低服務水準，也可能造成交通安全之惡化。因此公路設計之工作有必要評估代表性重車在坡度路段時，其速率與行車距離(水平投影距離)之關係，來評估坡度與坡長的組合。本章圖 4.20~圖 4.22 可用來協助此評估工作。比較精密的評估則須依賴模擬模式。本節說明用圖分析之方法。

應用圖 4.20~圖 4.22 之前須將分析路段之縱切面(profile)用一系列近似縱切線(vertical tangent)來代表。這工作有兩種情況。第一種情況是沿道路中心線在不同地點的高程已知。在這情況下，兩地點之間的縱切面平均坡度可估計如下：

$$G = \frac{100(Z_b - Z_a)}{X_b - X_a} \quad (4.6)$$

此式中，

G = 從點 a 到點 b 之平均坡度；

Z_a = 點 a (上游定點) 之高程(公尺)；

Z_b = 點 b (上游定點) 之高程(公尺)；

$X_b - X_a$ = 點 a 與點 b 之水平距離(公尺)。

根據式(4.6)所估計之平均坡度 G ，在兩點之間的縱切面可用一坡度等於 G 之縱切線來代表，如圖 4.24 所示。

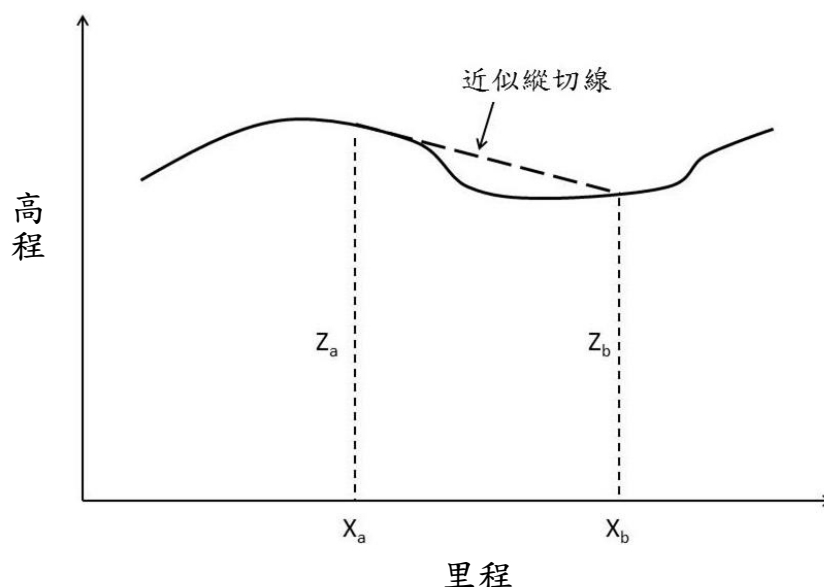


圖 4.24 縱切面用近似縱切線來代表之情況一

第二種情況為分析路段符合現代公路設計標準。這種路段的縱切面只含有縱切線及呈拋物線形之縱曲線(vertical curve)，如圖 4.25 所示。在這情況下，縱曲線須用數個近似縱切線來代表。

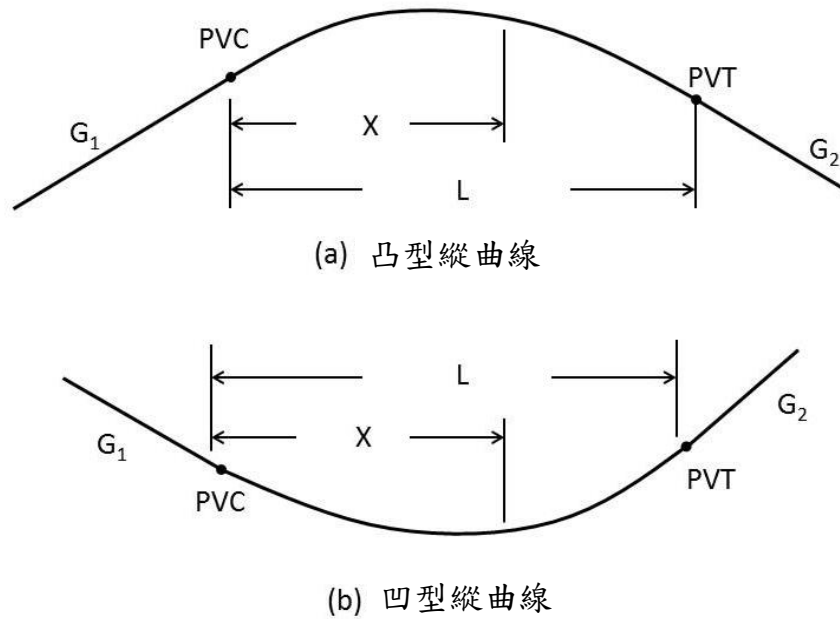


圖 4.25 縱切線及拋物線形縱曲線所構成之縱切面示意圖

此轉換工作須根據下式估計在數個縱曲線上定點的坡度：

$$G_x = G_1 + \frac{G_2 - G_1}{L} X \quad (4.7)$$

此式中，

G_x = 縱曲線上一定點之坡度(%)；

G_1 = 縱曲線起點 PVC (point of vertical curve)所在縱切線之坡度(%)，上坡為正值，下坡為負值；

G_2 = 縱曲線終點 PVT (point of vertical tangency)所在縱切線之坡度(%)，上坡為正值，下坡為負值；

L = 縱曲線長度(公尺)，亦即 PVC 與 PVT 之水平距離；

X = 縱曲線上定點與 PVC 之水平距離(公尺)。

而縱曲線上兩定點之間的平均坡度等於在該兩地點個別坡度的平均值。

根據這原則，縱曲線可迅速的用數個縱切線來代表。以圖 4.26 所示之縱切面為例，PVC 之坡度為+5%，PVC 下游 300 公尺處之坡度為+2%(5+(-4-5)/900*300)，因此 PVC 下游 300 公尺內的縱切面可

用一坡度等於 $+3.5\%((5+2)/2)$ 之縱切線來代表。

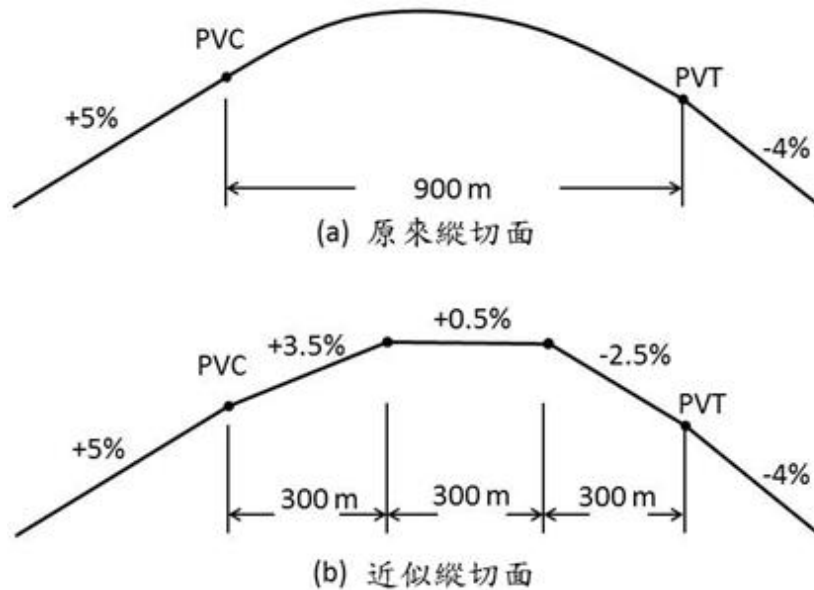


圖 4.26 縱切面用近似縱切線來代表之情況二

第二項工作是用圖 4.20~圖 4.22 估計在各近似縱切線起點及終點之自由速率。規劃及設計坡度路段時，代表性重車進入上坡後之平均自由速率，不宜下降 15 公里/小時以上。本章 4.6 節例題 3 說明相關之估計方法。

4.5.3 坡度路段之服務水準分析

4.5.3.1 坡度路段之判別

高速公路坡度路段為代表性重車(總重/馬力比=123 kg/kW)以速限加 10 公里/小時，但不超過 115 公里/小時之速率 V_0 (公里/小時)進入上坡路段之後，速率下降超過 5 公里/小時之路段。一路段是否判別為坡度路段可根據下列步驟檢核。

1. 用式(4.8)估計上坡時可維持最低速率，此速率稱為爬行速率(crawl speed)。

$$V_{min} = 14.14 + 95.67e^{-\frac{G}{4.123}} \quad (4.8)$$

此式中，

V_{min} = 爬行速率(公里/小時)；

G = 坡度(%)。

2. 如果進入上坡之速率 V_0 (速限加 10 公里/小時，但不超過 115 公里/小時)低於或等於 $V_{min}+5$ 公里/小時，則速率之下降不會超過 5 公里/小時，因此分析路段可視為平坦路段。
3. 如果進入上坡之速率 V_0 高於 $V_{min}+5$ ，需再分別估計以 120 公里/小時之速率進入上坡之後，速度降到 V_0 及 V_0-5 之相關行車距離 X_1 (公里)及 X_2 (公里)。
4. 當代表性重車以 120 公里/小時速率進入一坡度均勻上坡之後，其速率與行車距離的關係可用以下式子代表：

$$V = A + \frac{B-A}{1+e^{-\frac{X-C}{D}}} \quad (4.9)$$

在此公式中，相關變數如下說明：

V = 速率(公里/小時)；

X = 行車距離(公里)；

A, B, C, D = 表 4.16 所示的係數。

如有必要估計一特定速率之相關行車距離，式(4.9)可轉換成下式：

$$X = C - D[\ln\left(\frac{B-A}{V-A} - 1\right)] \quad (4.10)$$

則速度降到 V_0 及 V_0-5 之相關行車距離 X_1 (公里)及 X_2 (公里)，可以式(4.11)及式(4.12)分別估算。

$$X_1 = C - D[\ln\left(\frac{B-A}{V_0-A} - 1\right)] \quad (4.11)$$

$$X_2 = C - D[\ln\left(\frac{B-A}{V_0-5-A} - 1\right)] \quad (4.12)$$

5. 如果 X_2-X_1 小於坡長，則代表性重車上坡之後的速度下降程度超過 5 公里/小時，因此分析路段判別為坡度路段。

表 4.16 式(4.9)之係數估計模式

係數	坡度 G(%)	估計模式
A	≤0.5	$A = 194.1675 + 0.125G$
	0.5~1.5	$A = 200.16 - \frac{37.91}{1 + e^{-\frac{G-1.1416}{0.38081}}}$
	1.5~2.5	$A = 40.35019 + 132.53981e^{-\frac{G-1.5}{7.58057}}$
	2.5~4.0	$A = 113.4181 + 43.09185e^{-\frac{G-2.5}{3.54411}}$
	4.0~5.0	$A = 112.08441 + 29.55559e^{-\frac{G-4}{4.40704}}$
	5.0~8.0	$A = 130.52636 + 5.11364e^{-\frac{G-5}{0.86234}}$
B	≤2.5	$B = -12.0404 + 121.15229e^{-\frac{G}{5.68314}}$
	2.5~8.0	$B = 18.79822 + 47.27075e^{-\frac{G-2.5}{3.5932}}$
C	≤2.5	$C = -10.759 + \frac{11.40123}{1 + e^{-\frac{G+0.62556}{0.90426}}}$
	2.5~4.5	$C = -0.14184 + \frac{0.70497}{1 + e^{-\frac{G-2.2507}{0.51267}}}$
	4.5~8.0	$C = 0.55445 - \frac{0.06905}{1 + e^{-\frac{G-5.8835}{0.35501}}}$
D	≤2.5	$D = -1.43227 + 3.14882e^{-\frac{G}{7.11252}}$
	2.5~8.0	$D = 0.136771 + 0.65236e^{-\frac{G-2.5}{2.37222}}$

上述工作可用「臺灣公路容量分析專區」網站所提供的 checkgrade.exe 執行檔來執行，有意使用者須將該執行檔下載至作業系統為 Windows 之電腦，於同一個目錄資料夾(folder)中建立一個輸入檔。此輸入檔須定名為 input.txt。輸入檔 input.txt 須包括 2 行資料。第一行資料為公路類型，必須為 FREEWAY(表示分析對象為高速公路)、MULTI(表示分析對象為郊區多車道公路)或 TWO(表示分

析對象為郊區雙車道公路)。第二行須包括進入分析路段之速率 V_0 (公里/小時)、坡度(%)以及坡長(公尺)，下列兩行為 Input.txt 之一例。

FREEWAY

110.0 3.8 470.0

執行分析時，只要在執行檔快速按滑鼠左鍵兩下(double click)。如無問題，輸出檔 result.txt 會顯示在同一個目錄資料夾中。

4.5.3.2 服務水準評估

為避免運轉品質顯著變化而造成之壅塞及安全問題，坡度路段之服務水準應與附近平坦路段相同。規劃及設計上坡時，代表性重車進入上坡後之平均自由速率，也不宜下降 15 公里/小時以上。而在經費限制下，規劃及設計坡度路段之服務水準較平坦路段稍低尚可接受，但宜儘量避免低於 D3 級。

目前分析坡度路段必須依賴 2021HTSS 模式。2021HTSS 模式是一微觀模擬模式。應用此模式需有一模式之執行檔 2021htss.exe 及一輸入檔(檔名必須訂為 htss.txt)。此兩檔需放在以 Windows 為平台(如 XP, Windows 10 等)的電腦的同一子目錄(folder)內。欲執行模擬時，只要在執行檔快速按滑鼠左鍵兩下(double click)。輸出檔 htssout.txt 會出現在同一子目錄。輸入檔必須根據本手冊附錄 A 之 2021HTSS 模式使用手冊建立。模式執行檔及輸入檔範本可從「臺灣公路容量分析專區」網站下載。因為使用者手冊對輸入檔的建立及模式的應用有詳細的說明，本章只簡單介紹模式的性質及功能。

模擬路段須用單方向節線(link)來代表。一節線可有不同性質的車道。模擬的路段可有坡度及平曲線。

輸入檔包括不同檔型(data type)之資料。模擬資料的主要項目如下：

1. 模擬控制：如重覆模擬之次數，資料蒐集開始及結束之時間等。
2. 節線之間的關係：如從一節線離開之後會進入那一節線等。
3. 車道之設置。

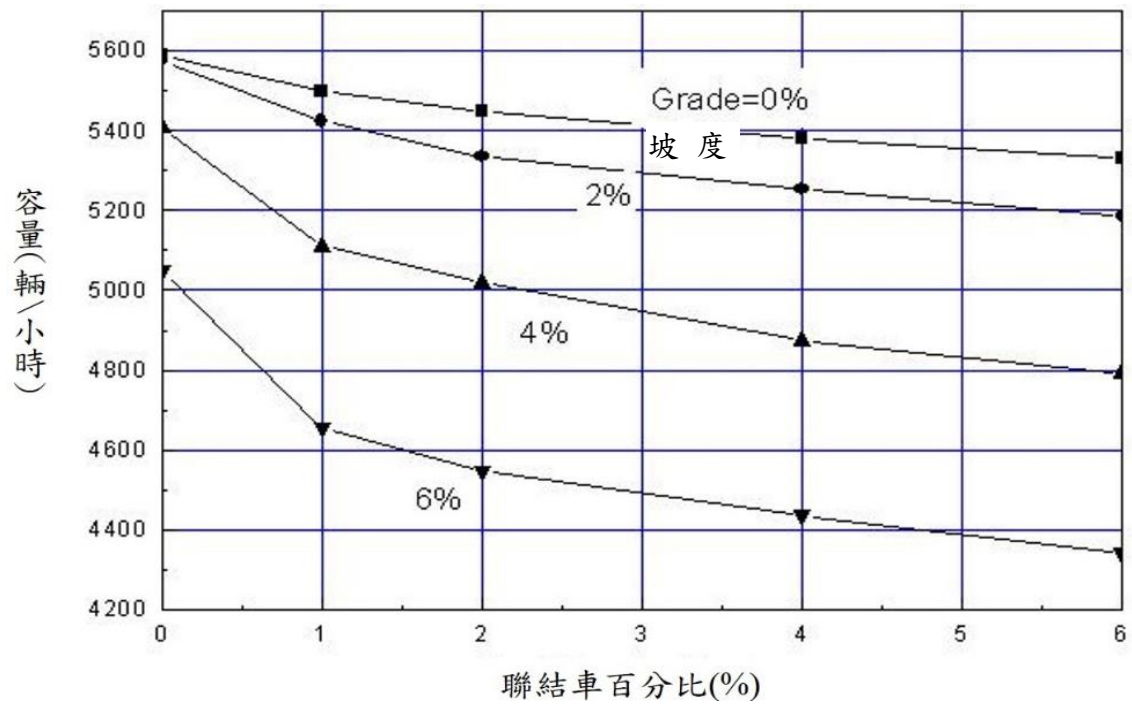
4. 流率及車種比例。
5. 速限及自由旅行速率。
6. 坡度路段及平曲線之性質。
7. 各車種之代表性總重/馬力比。
8. 偵測站之設置。

模擬高速公路車流時，2021HTSS 模式之使用者可設定一般車道及路肩。坡度路段的幾何設計可用兩方式建立在輸入檔中。第一方式是設定每數十公尺距離之高程；第二方式是設定縱切線之起點、終點及坡度。一般應用時，模擬車輛之屬性(如車長、總重/馬力比、駕駛行為等)隨機變化。評估代表性車輛在坡度路段之自由速率變化可用輸入檔將車輛屬性固定，不隨車輛而變。

坡度路段的交通運轉特性受需求流率、車道數、坡度、坡長、車種組成及是否有爬坡道等因素的影響，圖 4.27 及圖 4.28 為在特定狀況之下，模擬上坡路段之容量及平均速率。用 2021HTSS 模式分析路段之一大工作在於建立輸入檔。為利使用者方便利用，容量分析專區網站提供下列輸入檔範例以協助輸入檔之建立：

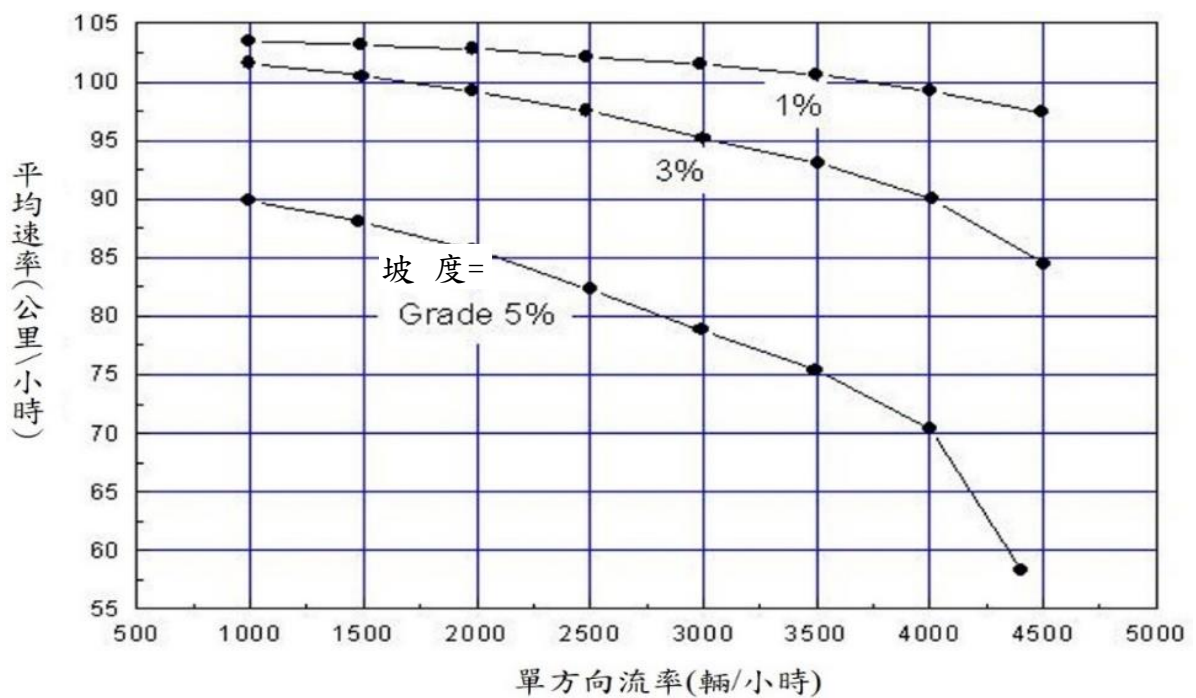
1. Free2L.txt (高速公路單向 2 車道)
2. FreeS2.txt (高速公路單向 2 車道，有隧道)
3. Free3L.txt (高速公路單向 3 車道)
4. Free4L.txt (高速公路單向 4 車道)
5. Free2L1S.txt (高速公路單向 2 車道並開放路肩)
6. Free3L1S.txt (高速公路單向 3 車道並開放路肩)

本手冊附錄 A 之 2021 HTSS 模式使用手冊第三、四、五節及第六節之例題(如例題 15 及 17)對這些輸入檔之建立及應用有詳細的說明。



註：1.5%大客車、坡長 5 公里、起點自由速率 105 公里/小時

圖 4.27 3 車道上坡路段容量模擬值



註：1.5%大客車、4%聯結車、坡長 5 公里、起點自由速率 105 公里/小時

圖 4.28 3 車道上坡路段平均速率模擬值

4.6 應用例題

4.6.1 例題 1

一平坦路段設計年之預測單向尖峰小時流量為 3,500 輛/小時，其中 10% 為大型車輛(包括大客車、大型單體貨車及聯結車)。尖峰小時係數為 0.9。路段之速限為 90 公里/小時。路段平均自由速率的估計值為 100 公里/小時。設計年尖峰 15 分鐘的服務水準不能低於 C2。試估計所需車道數。

解：

1. 訂定須維持之服務水準

已決定最低服務水準為 C2。

2. 估計混合車流尖峰 15 分鐘需求流率

$$Q_{15} = 3,500 / 0.9 = 3,889 \text{ 輛/小時(式 4.4)}$$

3. 訂定幾何設計狀況

表 4.8 及表 4.9 顯示平均自由速率 100 公里/小時之單向容量為 3,800 (如有 2 車道)或 5,550 (如有 3 車道)。所以單向最少需 3 車道。

4. 估計每車道平均對等小車需求流率(式 4.5， $E_1=1.4$ ， $P_1=0.1$ ， $N=3$)

$$Q_e = 3,889 [1 + 0.1(1.4 - 1)] / 3 = 1,348 \text{ 小車/小時/車道}$$

5. 估計平均自由速率

平均自由速率已估計為 100 公里/小時。

6. 設定基準速限

分析路段平坦、速限為 90 公里/小時。此速限為基準速限。

7. 估計容量、V/C 比及相關服務水準

從表 4.9 可知，3 車道、自由速率 100 公里/小時之路段容量為 1,850 小車/小時/車道。V/C 比等於 $Q_e / Q_{max} = 1,348 / 1,850 = 0.73$ 。從表 4.14 可知，相關服務水準為 C 級。此服務水準可接受，因此須進一步評估平均速率。如果 V/C 比大於 0.8，則沒有必要評估此路

段之平均速率。

8. 估計平均速率及相關服務水準

根據表 4.9，在 3 車道、100 公里/小時自由速率、而且流率等於 1,348 小車/小時/車道之情況下，平均速率為：

$$\bar{V} = 100.4 - \frac{16.816}{1 + e^{-\frac{1,348 - 1,855}{499.06}}} = 95.9 \text{ 公里/小時}$$

平均速率($\bar{V}=95.9$ 公里/小時)與基準速限($V_L=90$ 公里/小時)的比 $\bar{V}/V_L=1.07$ 。

表 4.15 顯示此比屬 1 級之服務水準。因此單向 3 車道路段的服務水準為 C1，符合要求。

9. 討論

如果上述分析結果顯示 3 車道不能提供最少 C2 之服務水準，則必須試用 4 車道。

4.6.2 例題 2

例題 1 之路段如單向有 3 車道，其容量為 1,850 小車/小時/車道，平均速率為 95.9 公里/小時。如果在尖峰時將此路段之路肩開放，試評估對容量及平均速率之影響。

解：

假設平均自由速率不變(100 公里/小時)，從表 4.12 可知在 3 車道並開放路肩時，單向總容量為 $1,650 \times 4 = 6,600$ 小車/小時。不開放路肩時之單向總容量為 $1,850 \times 3 = 5,550$ 小車/小時。所以路肩開放之後，單向路段容量增加 1,050 小車/小時。

假設單向流率也不變($1,348 \times 3$ 小車/小時)。開放路肩之後平均每車道之流率為 $3 \times 1,348 / 4 = 1,011$ 小車/小時/車道。從表 4.12 可估算自由速率 100 公里/小時，流率 1,011 小車/小時/車道之平均速率為：

$$\bar{V} = 100.26 - \frac{23.419}{1 + e^{-\frac{1,011 - 1,511.3}{337.26}}} = 95.9 \text{ 公里/小時}$$

此速率與開放路肩之前的平均速率相同。

路肩開放之後，路肩的速率稍高於一般車道[3]，路段之自由速率也可能提高，因此上述分析可能低估開放路肩後的平均速率。

4.6.3 例題 3

一高速公路坡度路段之縱切面可用圖 4.29 之四縱切線來代表。如果 123 kg/kW 代表性聯結車以 95 公里/小時之速率從 A 點進入 4% 之上坡。試估計該車在 B、C 及 D 點之速率。

解：

為說明方便起見，本章將圖 4.20~圖 4.22 複製為圖 4.30~圖 4.32。

1. 圖 4.29 A 點之情況(速率 95 公里/小時，坡度+4%)相當於圖 4.30 中 4%上坡曲線上之 A 點。從 A 點行進 800 公尺之後的情況相當於圖 4.30 中 4%上坡曲線之 B 點。代表性聯結車在此點的速率大約為 65 公里/小時。

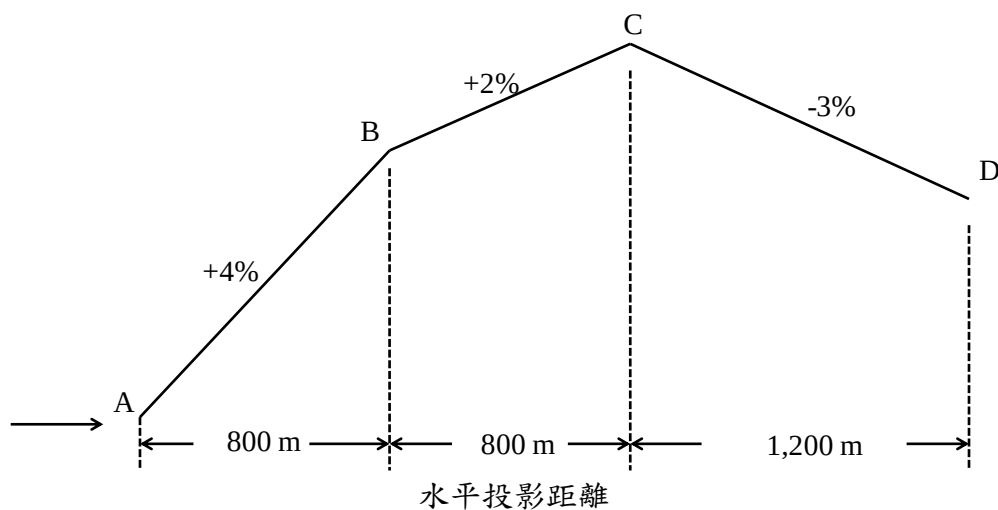


圖 4.29 例題 2 之近似縱切面示意圖

2. 聯結車以 65 公里/小時從 B 點進入 2%之上坡的情況不存在於圖 4.30 之任何減速曲線上。這表示聯結車進入 2%上坡之後會加速。在圖 4.30 中 B 點的情況相當於圖 4.31 中 2%上坡曲線之 B 點。從 B 點行進 800 公尺之後的情況相當於圖 4.31 中 2%上坡曲線之 C 點，聯結車在這一點的速率大約為 67 公里/小時。
3. 聯結車以 67 公里/小時的速率從 C 點進入 3%下坡之情況相當於

圖 4.32 中 3%下坡曲線之 C 點。從此地點行進 1,200 公尺之後的情況相當於圖 4.32 中 3%下坡曲線之 D 點，其相關速率大約 115 公里/小時。

根據上述之分析，代表性聯結車在各點的速率如下：

- A 點：95 公里/小時；
- B 點：65 公里/小時；
- C 點：67 公里/小時；
- D 點：115 公里/小時；

公路幾何設計之原則是速率變化不宜超過 15 公里/小時。代表性聯結車上坡時之速率降低了 $95-65=30$ 公里/小時，因此須考慮此路段對行車安全及經濟效益之衝擊以評估變更設計之效益及可行性。

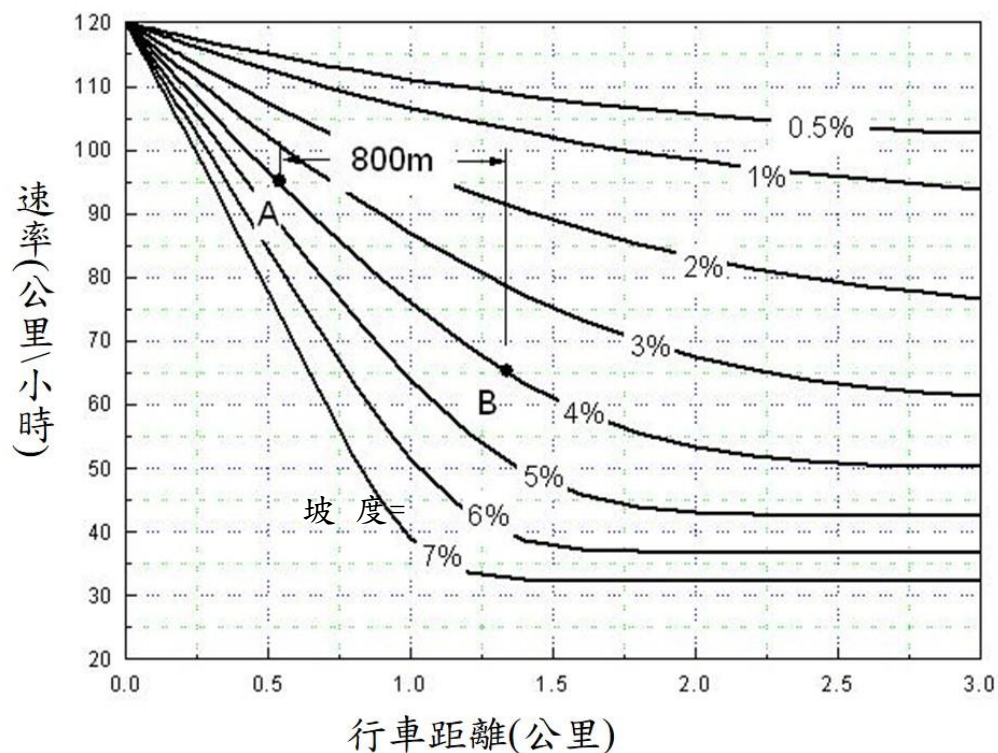


圖 4.30 代表性聯結車上坡減速時速率與行車距離之關係

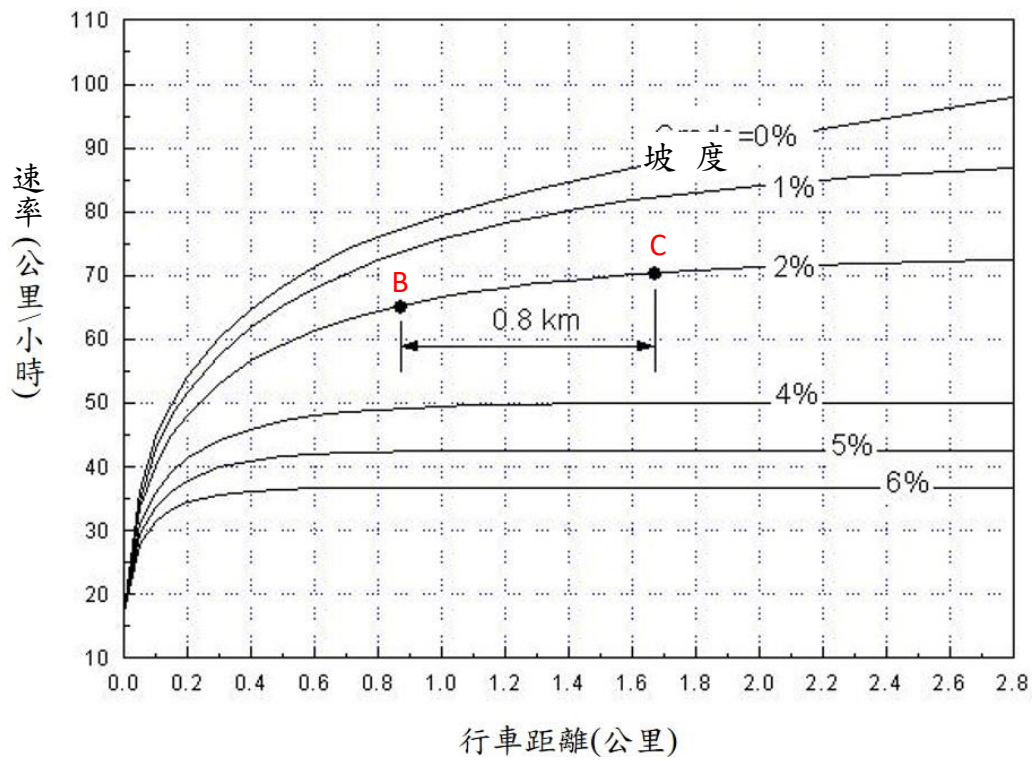


圖 4.31 代表性聯結車上坡加速時速率與行車距離之關係

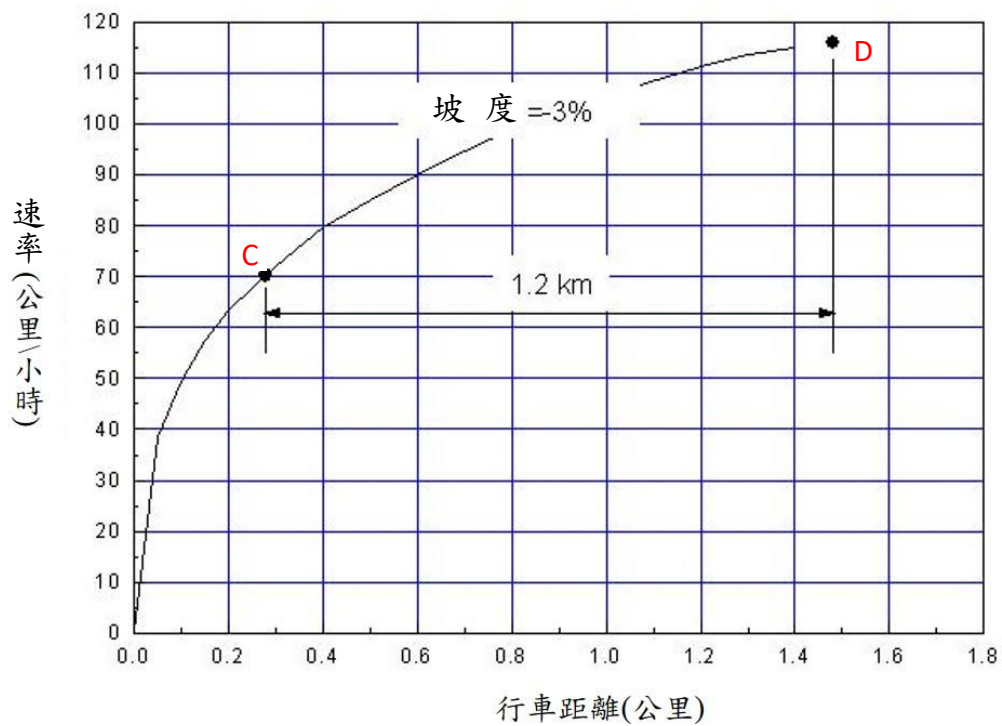


圖 4.32 代表性聯結車下坡加速時速率與行車距離之關係

4.6.4 例題 4

代表性聯結車以 90 公里/小時之速率進入一 5%之上坡。如果車速在此上坡之降低程度不宜超過 15 公里/小時，試估計坡長(水平投影距離)之上限。

解：

車速 90 公里/小時而且上坡坡度為 5%之情況相當於圖 4.30 中 5%曲線上行車距離為 0.5 公里之點。從該點沿著 5%曲線行進到里程約 0.8 公里之點時速率約下降 15 公里/小時。因此上坡坡長不宜超過 300 公尺。

4.6.5 例題 5

大型車速限 100 公里/小時之高速公路上，一路段之坡度及坡長(水平投影距離)各為 2.7%及 300 公尺，試問此路段是否可當作平坦路段進行分析。

解：

本例題可用兩方法來處理。其中一方法是用 checkgrade.exe 執行檔。另一方法是根據本章 4.5.3.1 節所描述之步驟，用式(4.8)、式(4.11)、式(4.12)估計代表性重車爬行速率及上坡後速率下降 5 公里/小時之行車距離。兩方法所得之結果均相同。

如用 checkgrade.exe，則須先建立一輸入檔 input.txt，此輸入檔只需包括下列 2 行資料：

FREEWAY

110 2.7 300

如果用式(4.8)、式(4.11)、式(4.12)，則需執行下列之計算：

1. 從式(4.8)估計爬行速率如下：

$$V_{min} = 14.14 + 95.67e^{-\frac{2.7}{4.123}} = 63.8 \text{ 公里/小時}$$

因速限為 100 公里/小時，進入上坡之速率 V_0 應假設為 100+10 及 115 公里/小時之較小值，亦即 $V_0=110$ 公里/小時。此速率高於 $V_{min}+5$ ，因此上坡之後速率下降可能超過 5 公里/小時。

2. 用表 4.7 之模式估計式(4.11)及式(4.12)之係數 A、B、C、D。

$$A = 113.41815 + 43.09185e^{-\left(\frac{2.7-2.5}{3.54411}\right)} = 154.1456$$

$$B = 18.79822 + 47.27075e^{-\left(\frac{2.7-2.5}{3.5932}\right)} = 69.50973$$

$$C = -0.14184 + \frac{0.70497}{1 + e^{-\frac{2.7-2.507}{0.51267}}} = 0.35592$$

$$D = 0.136771 + 0.65236e^{-\left(\frac{2.7-2.5}{2.37222}\right)} = 0.73639$$

3. 從式(4.11)估計速率從 120 公里/小時降到 $V_0=110$ 公里/小時所需之行車距離 X_1 公里。 X_1 為：

$$X_1 = C - D \left[\ln \left(\frac{B - A}{110 - A} - 1 \right) \right] = 0.318 \text{ 公里}$$

4. 從式(4.12)估計速率從 120 公里/小時降到 $V_0-5=105$ 公里/小時所需之行車距離 X_2 。 X_2 為：

$$X_2 = C - D \left[\ln \left(\frac{B - A}{105 - A} - 1 \right) \right] = 0.481 \text{ 公里}$$

5. 估計速率從 V_0 降到 V_0-5 所需之行車距離為：

$$X_2 - X_1 = 0.163 \text{ 公里} = 163 \text{ 公尺}$$

6. 坡長 300 公尺超過 $X_2 - X_1 = 163$ 公尺，所以走完上坡路段之後，速率下降超過 5 公里/小時。分析路段不能當作平坦路段進行分析。

4.6.6 例題 6

本所「臺灣公路容量分析專區」網站提供 2021HTSS 模式之執行檔及模擬單向 2 車道高速公路之輸入檔範例，其檔名為 Free2L.txt，此範例所模擬之路網如圖 4.33 所示。

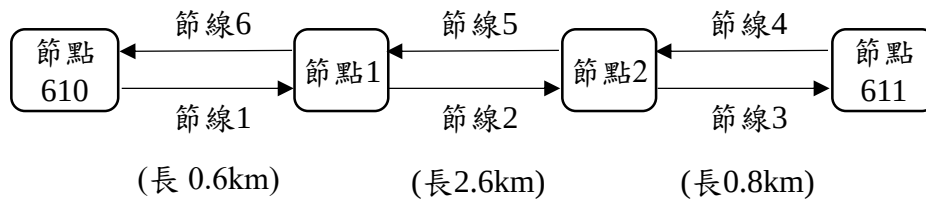


圖 4.33 高速公路模擬路網示意圖

如果所有節線為平坦路段，車流中只有小車，平均自由速率為

90 公里/小時，臨界速率為 75 公里/小時，其他狀況與 Free2L.txt 所代表的狀況相同，試用 Free2L.txt 說明估計節線 1 之容量。

解：

非阻斷性車流路段的容量受車道數、自由速率、坡度、坡長、曲率半徑、車種組成及駕駛行為等因素影響，其值通常屬車流很接近不穩定之狀況，所以難以確定。HTSS 模式用檔型 46 及 47 資料所設定之平均自由速率及檔型 50 所設定路段為平直且只有小車時之預期容量及臨界速率來控制模擬之車流特性。在路段平直且只有小車之情形下，模擬所得之容量值通常與檔型 50 資料設定值的差異一般不超過 50 小車/小時。如上述平均自由速率、容量及臨界速率輸入值之組合異常(如臨界速率比自由速率低 25 公里/小時以上)，則模擬結果可能與預期值有較大差異。

不論分析路段是否平直或有坡度、曲度及不同車種，用 HTSS 模式估計容量的程序包括下列步驟：

1. 根據欲模擬的狀況建立輸入檔。其中檔型 0 資料之重複模擬次數宜設定為最少 10 次。此外，須注意檔型 50 資料中之容量及臨界速率為假設路段平直而且只有小車時之預期值。
2. 用檔型 30 將進入分析路段之需求流率設定在很可能低於容量之值。例如只有小車時，高速公路、郊區多車道公路及郊區雙車道公路之需求流率可分別先設為 1,500、1,200、1,000 小車/小時/車道×車道數。根據設定之需求流率執行模擬並紀錄輸入檔中在「LINK STATISTICS」標題下，從分析節線離開之流率(輸出流率)及平均速率。
3. 增加需求流率重新模擬，直到需求流率增加時，輸出流率呈穩定狀況或降低，而且平均速率急速下降為止。平均速率急速下降表示車道已進入不穩定之壅塞狀況，在這之前的最高流率可視為容量估計值之一樣本。
4. 若欲增進容量估計值之代表性，可將檔型 0 資料中之隨機亂數更改再重新模擬，以取得另一估計樣本。各樣本之平均值代表分析路段之容量。

圖 4.34 顯示一次模擬作業(HTSS 模式自動用不同亂數重複模擬

10 次)之結果。此圖顯示 2 車道之需求流率低於 3,600 小車/小時之情況下，從節線 1 離開之流率大約等於需求流率。平均速率則隨需求流率之增加而逐漸降低到 75 公里/小時左右。需求流率超過 3,600 小車/小時之後，平均速率急速下降。能離開節線 1 之流率也隨著顯著下降。因此 3,600 小車/小時可當作容量估計值之一樣本。

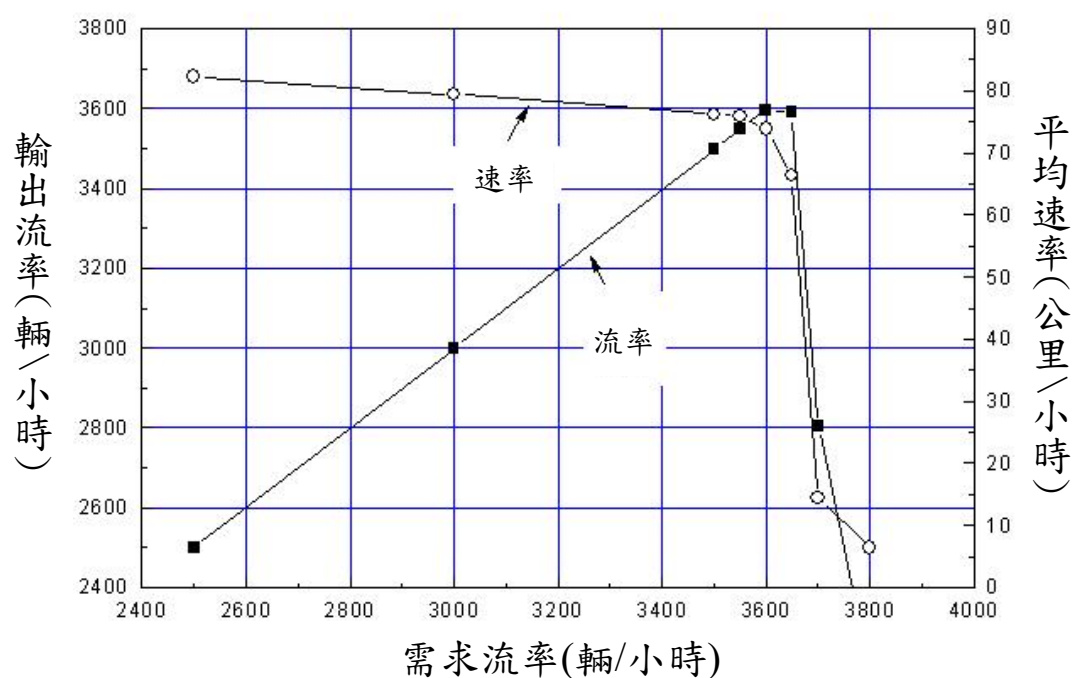


圖 4.34 例題 6 之模擬結果

本例題顯示需求流率超過 3,600 輛/小時之後，能從節線 1 離開之流率顯著及相關平均速率皆顯著下降。但是在某些狀況下，平均速率急速下降之後，輸出流率可能還會繼續增加。如果最高流率之相關平均速率比平均自由速率低 35 公里/小時或低於 70 公里/小時，則該最高流率於規劃或分析高速公路設施之應用價值很低，不宜當作容量之估計樣本。

參考文獻

1. 「108 年臺灣公路容量分析軟體(THCS)與專區網站更新維護服務」附錄一，109-098-1425，交通部運輸研究所，民國 109 年 7 月。
2. 「2011 年臺灣公路容量手冊」，100-132-1299，交通部運輸研究所，民國 100 年 10 月。
3. 「公路交通系統模擬模式調校與新版容量手冊研訂(3/3)」，108-097-1419，交通部運輸研究所，民國 108 年 10 月。
4. 「公路坡度路段模擬模式之發展及應用(1/3)」，103-76-1343，交通部運輸研究所，民國 103 年 5 月。
5. Drakopoulos, A., Liu, Y., and Horowitz, A., *Heavy Vehicle Performance During Recovery from Forced-Flow Urban Freeway conditions Due to Incidents, Work Zones and Recurring Congestion*, Final Report submitted to Research and Innovative Technology Administration United States Department of Transportation, Washington, D.C., December 2013.
6. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D, C., 2011.
7. 「高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性之研究(1/3)」，100-78-1292，交通部運輸研究所，民國 100 年 5 月。
8. 「公路交通系統模擬模式調校與新版容量手冊研訂(2/3)」，107-047-1402，交通部運輸研究所，民國 107 年 5 月。