運輸計劃季刊
第四十二卷 第一期
民國一〇二年三月
頁 1～ 頁 16

Transportation Planning Journal
Vo1. 42 No. 1
March 2013
PP. 1 ～16

雪山隧道之速限對通行能力的影響分析[1]

IMPACT ANALYSIS OF TRANSPORTATION CAPABILITY BY SPEED LIMIT IN XUESHAN TUNNEL

曾平毅 Pin-Yi Tseng[2]
林豐博 Feng-Bor Lin[3]
張瓊文 Chiung-Wen Chang[4]
蘇振維 Cheng-Wei Su[5]
呂怡青 Yi-Ching Lu[6]

(101 年 12 月 24 日收稿，102 年 1 月 24 日第一次修改，102 年 3 月 30 日定稿)

摘 要

雪山隧道的行車速率管制，自通車以來由原先的速限 70 公里/小時，調高到 80、90 公里/小時。然而，雪山隧道的速限調整，主要著眼於運輸通行效率的提升，但是否有顯著效果？本研究利用交通部高速公路局的 VD 資料，分析雪山隧道內的自由車流速率，以了解小車在隧道內運行之基本特性。其次分析隧道內的速率與流率關係及容量，並進一步剖析速限提高對於車道容量與通行能力之影響。結果發現，速限從 70 公里/小時調高為 80 公里/小時之後，容量顯著增加，北上內外車道平均約增加 200 輛/小時，南下內、外車道平均各約增加 150 輛/小時及 300 輛/小時。但速限調高到 90

1. 本文為交通部運研究所合作計畫「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) 之部分成果，初稿曾於 101 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兼系主任（聯絡地址：333 桃園縣龜山鄉大崗村樹人路 56 號中央警察大學交通學系；電話：03-3282321 轉 4619；E-mail：una139@mail.cpu.edu.tw）。
3. 美國克拉森 (Clarkson) 大學土木與環境工程學系教授。
4. 交通部運輸研究所運輸計畫組簡任研究員兼副組長。
5. 交通部運輸研究所運輸計畫組組長。
6. 交通部運輸研究所運輸計畫組副研究員。

公里/小時後，容量沒有顯著變化。然而，速限提高到 90 公里/小時之後，雪山隧道在不同需求流量狀況下之里程生產量普遍提高；在流率接近容量時，里程生產量約提高 10%，顯示運輸能力有所提升。

關鍵詞： 長隧道；速率與流率關係；容量；速限；里程生產量

ABSTRACT

The speed limit in Xueshan Tunnel was 70 km/h in the beginning, and was raised to 80 km/h and 90 km/h primarily for improving the traffic operating efficiency. But, were there any significant effects? This study used the VD data from the Freeway Bureau to investigate the free flow speed in Xueshan Tunnel and identify the basic operational characteristics of small vehicles. The relationship between the speed and flow-rate and the capacity in the tunnel were then analyzed, followed by an investigation of the impacts of raised speed limit on the capacity and the transportation capabilities. The results showed that the capacity significantly increased to an average of approximately 200 veh/h on the northbound lanes, 150 veh/h on the southbound inside lane, and 300 veh/h on the southbound outside lane when the speed limit was raised from 70 km/h to 80 km/h. No significant changes in the capacity were observed when the speed limit increased to 90 km/h. However, the mileage production at various flow rates generally increased after the speed limit was raised to 90 km/h. The mileage production increased by about 10% when the flow rate is close to the lane capacity, indicating that the transportation capabilities were improved.

Key Words: *Long tunnel, Speed and flow-rate relationship, Capacity, Speed limit, Mileage production*

一、前　言

長達 12.9 公里的雪山隧道是國道 5 號高速公路上最長的隧道，也是世界第 6 長之公路隧道 [1,2]。此隧道有兩個單向孔道 (行車淨高為 4.6 公尺) 分向通行，各向孔道各有 2 個車道 (車道寬度為 3.5 公尺，左右各有 0.3 公尺之路肩及 1 公尺之人行道)，穿越了高達 3,886 公尺高之雪山山脈，為雙向 4 車道之國道 5 號隧道群之一重要公路設施。雪山隧道之位置與坪林收費站以北的隧道群路段，如圖 1 所示，主要的隧道包括雪山隧道 (12.9 公里)、彭山隧道 (3.8 公里)及石碇隧道 (2.7 公里)。雪山隧道內的坡度 (grade) 為 1.255% (往南方向下降)，隧道內有一系列的平曲線與直線路段，最短之平曲線半徑為 1,500 公尺。根據 AASHTO [3] 之幾何設計標準，此隧道之最大安全行車速率超過 120 公里／小時。

公路隧道通常是潛在的車流瓶頸 (bottleneck)，但其容量有很大的變異性。公路路段之容量是指最少能經常持續 15 分鐘之最大交通流率 [4]。Koshi 等人 [5] 指出，日本的公路隧道的容量在 1,100 ~ 1,350 輛／小時／車道 (vphpl) 之間。Levinson 等人 [6] 檢核紐約市

Callahan 隧道的運作，發現該隧道容量為大約 1,600vphpl。而 Chin 與 May [7] 的研究指出，加州 24 號公路之一部分路段，在長度 900 公尺的 Caldecott 隧道出口 60 公尺處有超過 2,000vphpl 之隧道容量。不論是國際上或是國內，對於長公路隧道運作特性之了解則很欠缺 [8,9]。

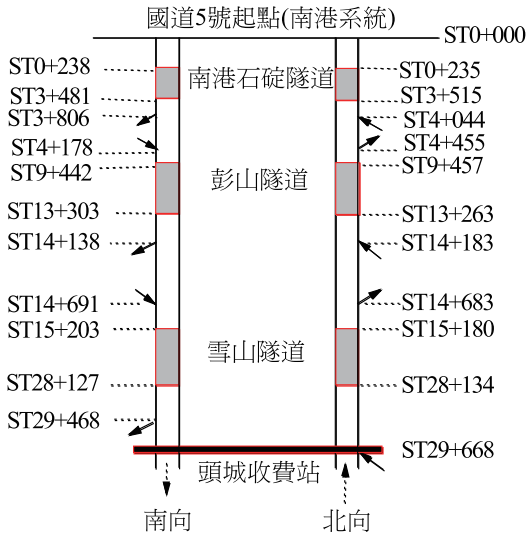


圖 1　國道 5 號南港系統至頭城收費站之間的公路設施概況

Lemke [10] 指出公路隧道比其他開放 (open) 之公路路段較為安全；但在 1999 年至 2001 年之間發生在歐洲阿爾卑斯山系之 Mont Blanc、Tauern 和 Gotthard 隧道裡的異常災禍 [11]，提升了各界對於長隧道交通安全之關心。有鑑於此，我國高速公路局 (以下簡稱高公局) 在 2007 年 10 月之前對於國道 5 號之雪山隧道段採取較嚴謹之交通管制；管制重點包括速限 (speed limit) 為 70 公里／小時，且只允許小車通行、禁止在隧道內變換車道、前後車之距離至少 50 公尺，緊急停止時之前後車距離至少為 20 公尺。然而，規範行車前後間距之規定恐不合宜且不易執法。雪山隧道內之行車間距要求至少 50 公尺，並不是普遍的規定，類似的作法是在瑞士的 Gotthard 隧道，在 2001 年發生毀滅性的事故後，此隧道裡的大車彼此之間必須保持至少 150 公尺之距離，以確保當發生任何事故時最多只有一部大車涉入 [12]，以降低危險。

國道 5 號的通行車種與行車速率管制，在 2007 年 10 月之前限定只有小車可以通行雪山隧道，速限為 70 公里／小時；2007 年 10 月之後，高公局仍管制雪山隧道內之行車速限在 70 公里／小時，而國道 5 號之其他路段則提高速限為 80 公里／小時；2007 年 11 月起則開放大客車通行雪山隧道，自 2008 年 3 月 16 日起則將雪山隧道內之速限亦提高至 80 公里／小時；而後，經全面檢視公路幾何條件，於 2010 年 11 月 1 日將速限提高至 90 公里／小時，其他路段除雪山隧道北口至南港系統交流道之間的速限為 80 公里／小時外，

其餘路段均為 90 公里／小時。然而，雪山隧道的速限調整，主要因應每逢假日必塞車的民怨，著眼於運輸通行效率的提升，但是否有顯著的提升？實有待進一步探討分析。

雪山隧道中裝設有許多的交通管理設備，包括每一車道平均距離約 350 公尺之迴圈偵測器 (loop detector) 及平均約每 175 公尺處裝設之 CCTV 系統。迴圈偵測器可用以蒐集交通資料，例如流量、車種、車速及占有率 (occupancy)，這些資料經彙整成每 5 分鐘資料格式來儲存。這些偵測器已經累積了相當多的交通資料，可用以了解長隧道之車流特性。本研究之目的在於利用這些偵測器的資料，分析雪山隧道內不同地點與不同時間的自由車流速率 (free-flow speed)、速率與流率關係、車道容量，尤其是不同速限下對車道容量與通行效率之影響。

二、自由車流速率

自由車流速率 (以下簡稱自由速率)，指一車輛在不受其他車輛影響之情況下的速率。自由速率反映速限、幾何設計及其他與車流有關行車環境 (如天候、照明度等) 的影響。如果一地點的自由速率比上游路段的自由速率低，則該地點可能有較低的容量。

一般而言，如高速公路上車距 (headway) 在 5 秒以上 (或流率在 700 輛／小時以下)，則前車對後車行進的影響不顯著，因此後車可視為在自由旅行狀態中。本研究沒有個別車輛速率之資料。國道 5 號公路偵測器資料為每 5 分鐘資料，因此本研究利用在早上 6 點到晚上 8 點之間，每 5 分鐘流量不超過 12 輛 (平均車距在 25 秒以上) 的偵測器資料，估計在不同偵測站的平均自由速率。國道 5 號 3 個主要隧道的第一個及最後一個偵測器位置如下：

南下

石碇隧道：1.072K 及 3.178K

彭山隧道：9.840K 及 12.945K

雪山隧道：15.478K 及 28.236K

北上

石碇隧道：3.198K 及 1.068K

彭山隧道：12.922K 及 9.457K

雪山隧道：28.420K 及 15.448K

自由速率受速限的限制；國道 5 號公路的速限從 2006 年 6 月雪山隧道通車之後曾經過數度的調整，所以本研究利用表 1 所列日期的偵測器資料探討自由速率隨速限及空間的變化。因為新的速限生效之後，自由速率須隔一段時間才會達穩定狀況，所以本研究所用的資料為新速限生效最少 3 個月之後的資料。

表 1　分析自由速率所用之偵測器資料

偵測器(資料期間)	雪山隧道		雪隧以北路段	
	速限(km／h)	生效年月	速限(km／h)	生效年月
2007 年 9 月(22 天)	70	2006 年 6 月	70	2006 年 6 月
2008 年 2 月(11 天)	70	2006 年 6 月	80	2007 年 10 月
2008 年 6 月(18 天)	80	2008 年 3 月	80	2007 年 10 月
2010 年 1～5 月(41 天)	80	2008 年 3 月	80	2007 年 10 月
2011 年 2～5 月(23 天)	90	2010 年 11 月	80	2007 年 10 月

分析上述偵測器資料的結果列於圖 2 到圖 7 中。這些圖顯示國道 5 號上的自由速率有下列特性：

1. 速限從 70 公里／小時提高到 80 公里／小時，然後又進一步提高到 90 公里／小時的管制策略提高了自由速率，但速率增加的程度隨速限的增加而減少。平均自由速率高出速限的大約值如表 2 所示。
2. 在 2011 年 2 月到 5 月之間，雪山隧道速限為 90 公里／小時，其他路段的速限為 80 公里／小時。從圖 4 及圖 7 可知，北上車流在彭山隧道及石碇隧道的自由速率，幾乎跟雪山隧道內之自由速率一樣高，南下車流在彭山隧道及石碇隧道的自由速率，則顯著的低於雪山隧道內的自由速率。這現象的一可能原因是北上駕駛員離開雪山隧道之後，仍習慣以接近 90 公里／小時行車。
3. 雪山隧道北上有 1.255%之上坡，南下則有同樣坡度的下坡。但是 2011 年的資料顯示南北向之平均自由速率的差別非常小。在大約 16+000K 及 24+000K 之間，南下的自由速率比北上約高 1.5 公里／小時左右。在 24+000K 及 28+000K 之間，南下的自由速率常稍低於北上；因此坡度對自由速率的影響不顯著。

表 2　平均自由速率高出速限之大約值

方向	速限 (公里／小時)	雪山隧道		彭山隧道		石碇隧道	
		內車道	外車道	內車道	外車道	內車道	外車道
北上	70	＋5	＋3	＋10	＋7	＋9	＋6
	80	＋5	＋2	＋9	＋6	＋5	＋5
	90	＋2	－1	－	－	－	－
南下	70	＋6	＋4	＋7	＋4	＋7	＋4
	80	＋4	＋2	＋4	＋2	＋3	＋2
	90	＋2	－2	－	－	－	－

註：表內“－”表示未調整速限為 90 公里／小時。

4. 雪山隧道速限為 70 及 80 公里／小時之期間內，自由速率明顯高於速限，但是速限提高到 90 公里／小時之後，自由速率大約與速限相等。這現象可能是因為速限為 90 公里／小時之期間的執法較嚴格。另一個原因可能是駕駛員難以接受比 90 公里／小時還高的速率。
5. 如圖 4 所示，北上車流進入雪山隧道之後，自由速率有逐漸下降的趨勢。自由速率在 21.055K (隧道中點附近) 處最低，然後回升。最高及最低的自由速率的差距大約只有 4

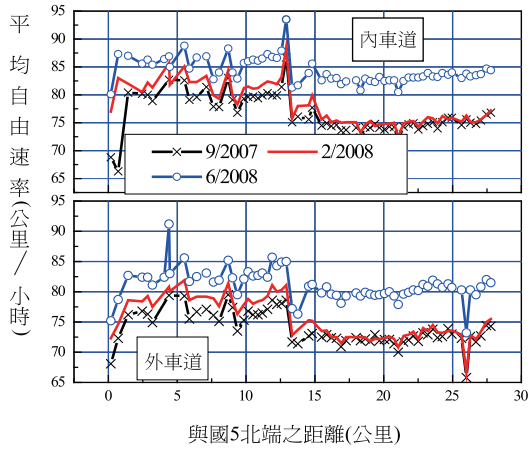


圖 2　北上內外車道自由速率在 2007 年及 2008 年之變化狀況 (速限：70kph 或 80kph)

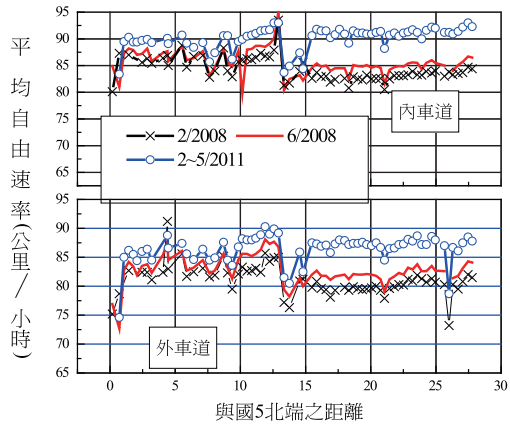


圖 3　北上內外車道自由速率在 2008 年及 2011 年之變化狀況 (速限：80kph 或 90kph)

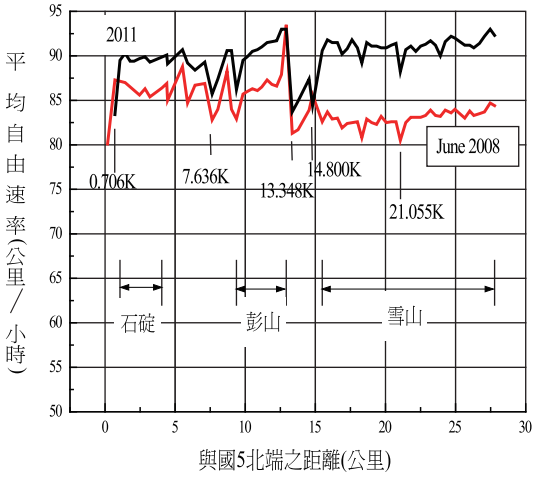


圖 4　北上內車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況

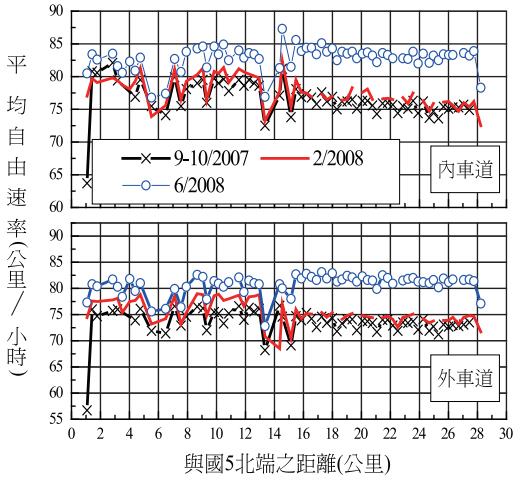


圖 5　南下內外車道自由速率在 2007 及 2008 年之變化狀況 (速限：70kph 或 80kph)

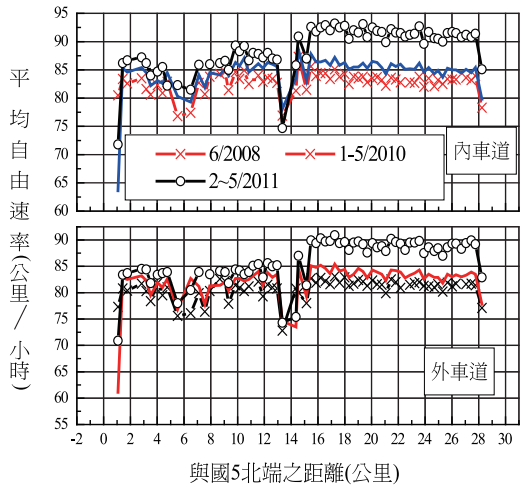


圖 6 南下內外車道自由速率在 2008、2010 及 2011 年之變化狀況（速限：80kph 或 90kph)

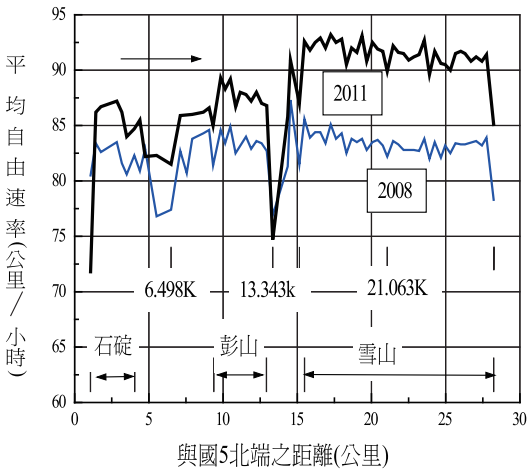


圖 7 南下內車道自由速率在 2008 及 2011 年之變化狀況

公里／小時。車流進入彭山隧道之後，自由速率逐漸下降，從進口到出口的下降程度大約為 5 公里／小時。石碇隧道的自由速率相當穩定，圖 4 顯示南下車流在 3 個隧道上半段的自由速率皆有比下半段高的現象，但差距只有 1~2 公里／小時。

6. 不論日期及速限，自由速率隨地點的變化型態相當一致。有數個地點的自由速率比鄰近上下游偵測器所在地點的自由速率顯著的低。這些地點包括：

南下路段

石碇隧道進口之上游

6.498K 處

彭山隧道出口下游 13.343K 處

雪山隧道進口上游

雪山隧道出口

北上路段

雪山隧道 21.055K 及 18.313K 處

雪山隧道出口下游，出口匝道上游 14.800K 處

彭山隧道進口上游 13.348K 處

7.636K 處

石碇隧道出口附近

雪山隧道自由速率明顯降低之處的共同特色是兩地點皆有人行橫坑。

三、國道 5 號流率與速率關係之基本型態

流率與速率的關係為分析高速公路作業的基本資料，這些關係受許多因素的影響，但一般而言，車流速率高的時候，相關車流密度低，因此流率也低。密度逐漸增加之後，流率也增加，但速率會下降。如果從上游欲通過一路段的流率接近或等於能通過的流率，則車流呈不穩定狀況。上游來的需求流率超過通過一路段之流率時，車流進入壅塞狀況，速率迅速下降，而且能通過一路段的流率也減少。這現象如圖 8 所示 7 個從穩定狀況進入壅塞狀況之車流樣本所示。從此圖亦可知，從穩定狀況進入壅塞狀況時之流率及速率有相當大的變異性；換言之，穩定及壅塞狀況沒有明確的界線。此外，圖 8 亦顯示，不論車流是否穩定，同一速率所相關的流率可能有很大差異，同一流率時之相關速率的差異更大。因此一路段的容量可估計，但不容易確定。

容量指在沒有壅塞狀況時，在某一行車環境下 (如速限、天候、車種組成等) 經常能通過一定點 (或一路段) 的最高流率。此流率並非在不同時段內觀察到的流率的最高值。容量應視為車流從穩定狀況進入壅塞狀況之前最高流率的期望值 (亦即平均值)。此外，公路容量分析的對象一般是尖峰 15 分鐘或更長時段內的車流狀況，因此容量為能維持最少 15 分鐘之流率。

如圖 9 所示，每 15 分鐘的資料顯示流率相同時，速率有相當大的變異，速率相同時之相關流率也有很大的不同。但是在穩定的車流狀況下 (速率未開始急速下降之前)，流率與速率關係有明確的趨勢。這狀況下的流率與速率之關係可合理的用一平均關係來代表。進入壅塞狀況之後，車流不穩定，因此流率與速率的關係常有非常大的變異。在這情況下的流率與速率關係難以用平均關係來正確的代表。但一般的壅塞狀況下，速率下降時，流率通常也隨著降低。這特性與在穩定狀況速率下降時流率會繼續增高的現象不同。

為了訂定代表性的流率與速率關係，本研究將每 5 分鐘的偵測器資料整合成 15 分鐘資料，然後根據流率與速率關係的趨勢，分成小區域來估計個別區域的總平均流率及速率，這些總平均流率及速率所顯現的關係為代表性的關係。圖 9 顯示代表性流率與速率關係之一樣本。

車流進入壅塞狀況之後，有些地點的流率與速率資料分散在相當廣的區域，但多數資料仍顯現典型，速率與流率同時下降或速率下降時流率不再增加的現象。在這情況下，本研究只用這些比較集中的資料來估計平均速率及流率。因此在壅塞狀況下的代表性速率與流率關係，只能顯示流率與速率關係之大約趨勢。這些關係不宜用來規劃、設計或訂定控制策略。

上述探討流率與速率關係的對象，包括國道 5 號南北向內外車道在隧道進出口附近及

隧道中點附近。因為流率與速率的關係受速限的影響，所以本研究將 2007 年 9 月至 2011 年 5 月間的偵測器資料，根據相關速限分別分析。2007 年 11 月開始，大客車可使用雪山隧道。大客車百分比大約是全天車輛的 2.5% [13]。大客車只能行駛外車道，而且內外車道車流各占總車流的比例接近 50% [13]，因此本研究假設 2007 年 11 月起，外車道之大客車占外車道總車輛之 5%。此外，大客車之小車當量值設定為 1.5。

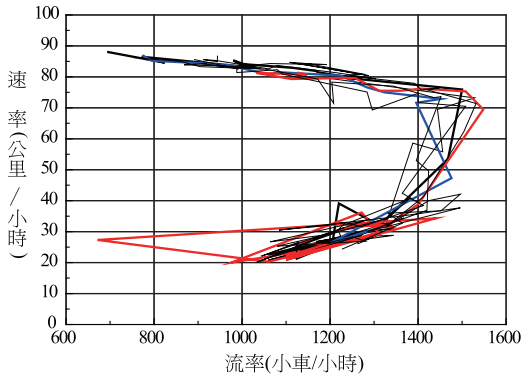


圖 8 車流從穩定進入壅塞狀況之流率與速率關係樣本（北上內車道在 27.779K 處)

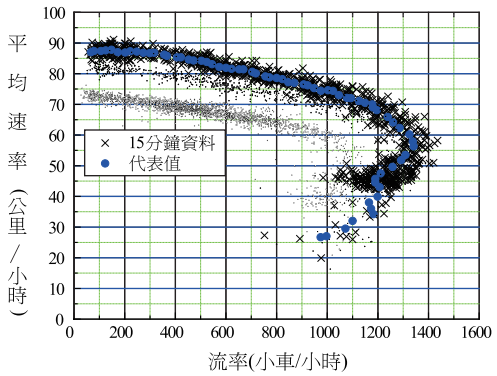


圖 9 每 15 分鐘之流率、速率資料及其代表性關係的樣本（北上內車道在 21.055K)

國道 5 號公路在不同地點之流率與速率關係呈現三種基本型態；第 1 種型態如圖 10 中速限為 90 公里／小時的代表性關係所示。這種型態的特點是穩定車流的流率達到某一程度之後，速率急速並大幅下降，結果車流很快地進入相當壅塞的狀況。這種型態一般是因為從一定點上游來的流率在短時間內遠超過該定點的容量，而且流率超過容量的情況持久不散；隧道進口最容易有這現象。第 2 種型態如前述的圖 9 所示，這種型態常常是因為一定點上游的流率受限制，因此只稍微高於該定點的容量，結果壅塞程度緩慢增加，速率及流率也隨著慢慢減低。第 3 種型態如圖 11 所示，這種型態比較特殊，一般穩定狀況及壅塞狀況交界點的速率在 50 公里／小時以上，但圖 11 顯示速率低到 40 公里／小時的時候，流率與速率關係還沒有呈現速率及流率同時下降的傾向。在這情形下，相關的容量不容易確定。圖 11 所示之型態產生在石碇隧道北上進口下游約 300 公尺處。

四、2011 年雪山隧道之流率與速率關係

2011 年期間雪山隧道之速限為 90 公里／小時，圖 12 顯示北上內外車道車流在雪山隧道進出口及中點附近的代表性流率與速率的關係。如果不考慮隧道外之地點，則雪山隧道中點附近 (21.055K) 及出口附近 (15.855K) 的流率與速率關係代表最不理想的車流特性。在穩定的車流狀況下，隧道中點附近的速率比其他地點低，其容量比進口附近 (27.779K

及 28.420K) 的容量低得多。隧道出口下游 (14.800K) 在短距離內有進出口匝道，因此該處的作業特性也不理想。圖 12 亦顯示雪山隧道的北上車道在隧道中點附近有較差的作業特性。

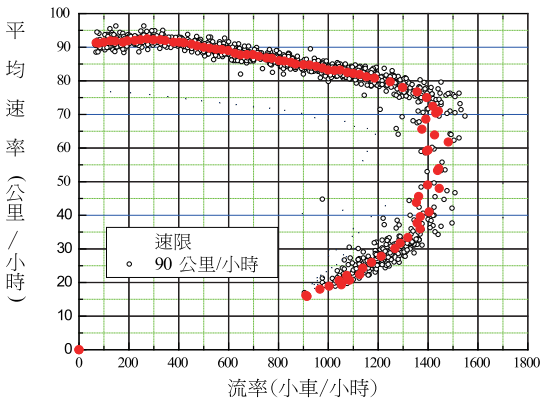


圖 10 流率與速率關係之型態樣本 1 (北上 27.779K)

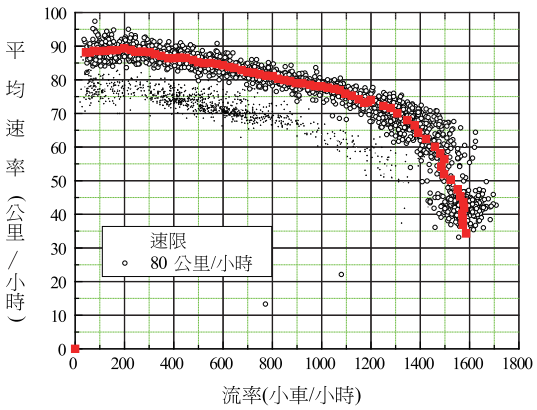
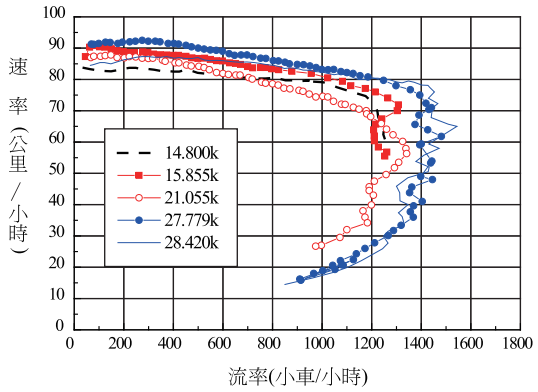
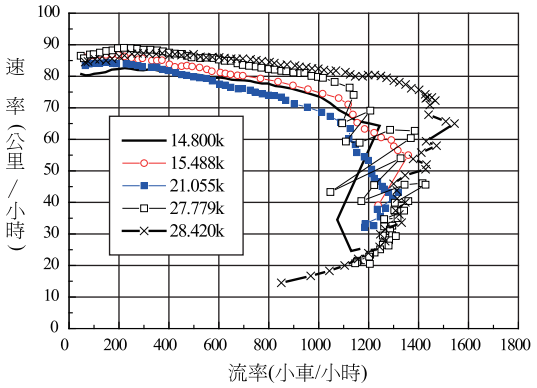


圖 11 流率與速率關係之型態樣本 2 (北上 3.198K)



(a)內車道



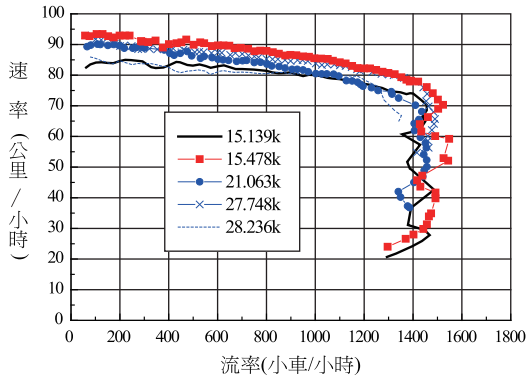
(b)外車道

圖 12　雪山隧道北上進出口附近及中點附近流率與速率關係

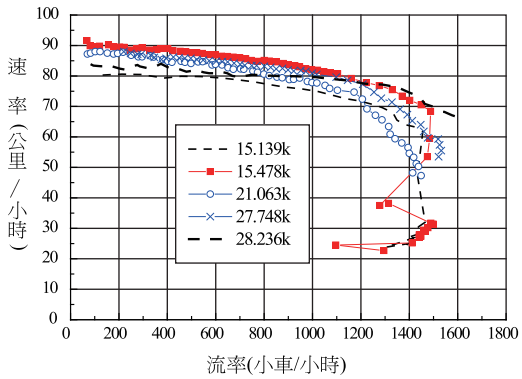
圖 13 為 2011 年雪山隧道南下車流之內車道及外車道的代表性速率與流率關係。此圖顯示雪山隧道內在中點附近 (21.063K) 的作業特性最不理想。這現象與北上路段的作業特性相似。

雪山隧道內，南北向在隧道中點附近的流率與速率關係皆比上游路段差。從圖 14 可知，此隧道北上路段的交通功能比南下路段不理想。北上的容量比南下的容量約低 150 輛／小時／車道。

圖 15 顯示彭山隧道南北向車流在未進入壅塞狀況之前的流率與速率關係幾乎沒有區別，但是南下車流在較低的流率時就會進入壅塞狀況。這現象可能是北上出口附近沒匝道而南下出口附近有匝道所造成。此外，石碇隧道南北向的流率與速率關係，亦有類似彭山隧道的性質。



(a)內車道



(b)外車道

圖 13　雪山隧道南下進出口附近及中點附近流率與速率關係

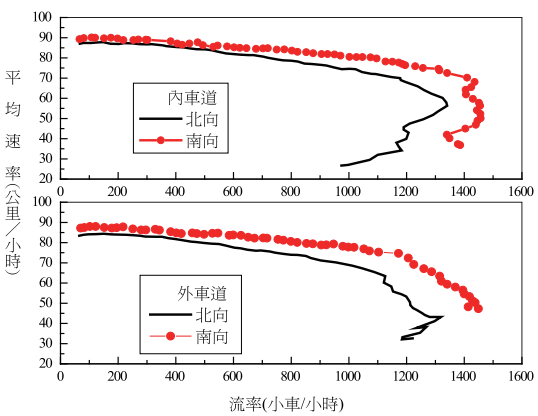


圖 14 雪山隧道南北向流率與速率關係之比較

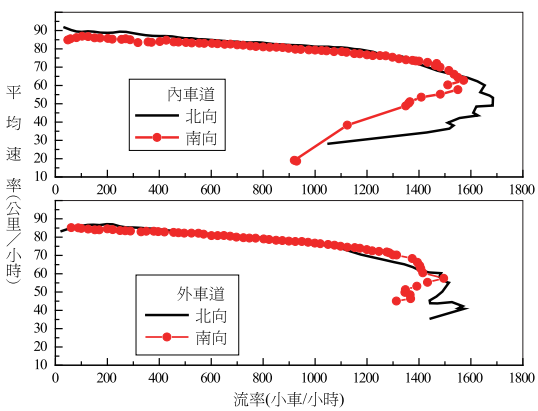


圖 15 彭山隧道南北向流率與速率關係之比較

五、速限與容量的關係

國道 5 號的速限從 70 公里／小時提高到 80 公里／小時之後，南北向容量顯著地改善，但雪山隧道的速限從 80 公里／小時提高到 90 公里／小時之後，容量幾乎沒有變化。圖 16

及圖 17 為這個現象的兩個例子。本研究並進一步分析得表 3 之結果，顯示在不同速限時，南北向內外車道在不同地點的容量及其相關臨界速率 (亦即流率等於容量時之平均速率)。

速限從 70 公里／小時提高到 80 公里／小時之後，北上內車道各地點的容量平均大約增加了 200 輛／小時，北上外車道容量之改善程度則平均在 200 輛／小時以上。南下內車道的容量平均約增加 150 輛／小時，外車道的容量則約增加 300 輛／小時。

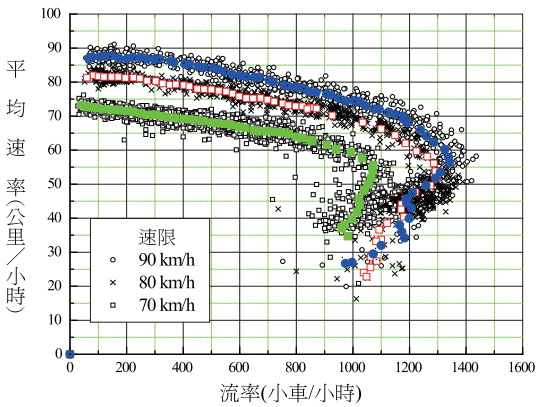


圖 16 北上內車道在 21.055K 處流率與速率在不同速限下之關係

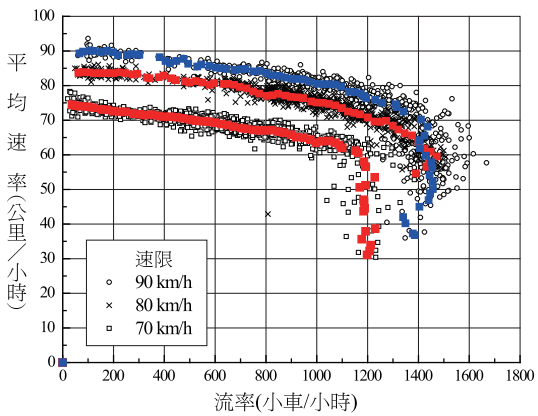


圖 17 南下內車道在 21.036K 處流率與速率在不同速限下之關係

雪山隧道的速限從 80 公里／小時提高到 90 公里／小時之後，雖然容量幾乎沒增加，但其通行能力或運輸功能 (transportation capability) 事實上大有改善。容量的相關臨界速率常隨地點而有很大的差異。以表 3 中所列的臨界速率為例，其變異範圍在 40 與 71 公里／小時之間。如兩路段各有 1,300 及 1,400 輛／小時／車道的容量，但其相關臨界速率各為 60 及 45 公里／小時，則容量為 1,300 輛／小時／車道的路段在一小時內最多能產生 1,300 ×60=78,000 車公里之里程，容量較高的路段在一小時內最多只能產生 1,400×45=63,000 車公里的里程。從這立場而言，上述容量低的路段反而有較高的運輸功能。因此里程生產量 (mileage production) (亦即流率乘以速率) 可作為為評估公路運輸功能之一比較合適的參數。張瓊文等人 [9] 的研究亦建議利用里程生產量來評估隧道的運輸功能。

以圖 18 在北上 21.055K 處的內車道為例，速限從 80 公里／小時提高到 90 公里／小時之後，容量沒有實質的增加，但從里程生產量的立場而言，圖 19 顯示在穩定狀況下 (里程生產量隨流率的增加而增加)，90 公里／小時速限下的里程生產量大於 80 公里／小時速限下的生產量。流率在 1,000 ~ 1,350 輛／小時之範圍內時 (流率接近容量)，速限 90 公里／小時的里程生產量比速限 80 公里／小時的里程生產量約高 10%。里程生產量也有助於訂定公路之運作策略。圖 18 顯示速率與里程生產量有明顯的關係，所以這種關係可作為訂定管制策略的參考。

表 3　雪山隧道在不同地點之容量及臨界速率

地點		速限(km／h)					
與國 5 北端之距離	車道位置	70		80		90	
		容量 (pcph)	臨界速率 (km／h)	容量 (pcph)	臨界速率 (km／h)	容量 (pcph)	臨界速率 (km／h)
15.488k	北上內車道	1050	51	1260	66	1310	72
20.055k	北上內車道	1070	56	1300	52	1340	56
27.779k	北上內車道	1190	64	1400	68	1440	71
15.488k	北上外車道	1030	49	1250	55	1280	55
21.055k	北上外車道	960	40	1250	48	1260	50
27.779k	北上外車道	930	65	1280	55	1260	72
15.478k	南下內車道	1280	64	1450	71	1500	69
21.063k	南下內車道	1230	54	1440	58	1470	58
27.442k	南下內車道	1290	58	>1530	57	1500	62
27.748k	南下內車道	1330	62	>1550	63	1500	66
28.236k	南下內車道	–	–	–	–	>1353	<66
15.478k	南下外車道	1160	58	1450	71	1560	53
21.063k	南下外車道	>1230	<54	1440	58	1420	51
27.442k	南下外車道	>1270	<54	>1530	57	>1550	<55
27.748k	南下外車道	>1370	<54	>1550	63	>1630	65
28.236k	南下外車道	–	–	1570	61	1630	65

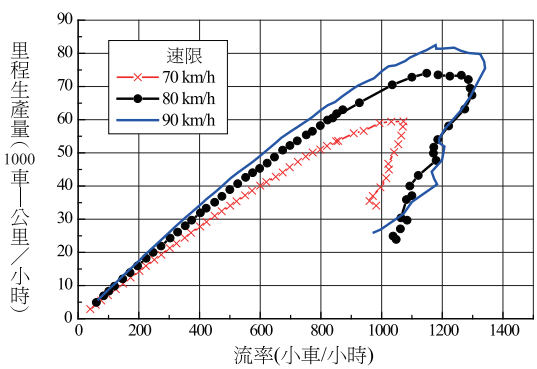


圖 18 北上內車道在 21.055K 處之里程生產量與流率的關係

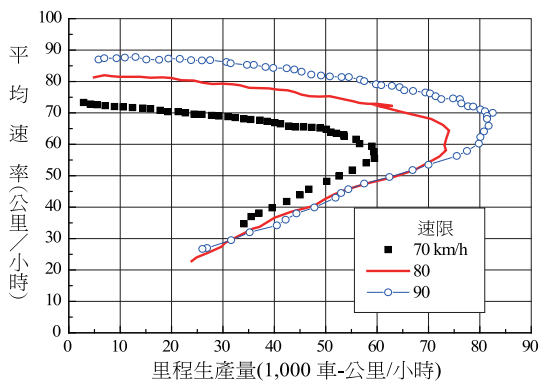


圖 19 北上內車道在 21.055K 處之里程生產量與速率的關係

運輸設施通常追求效率及安全兩大目標，本研究之主體在於探討速限對於雪山隧道通行能力之影響，並沒有特別針對安全議題進行討論。雪山隧道在通車初期 (2008 年 6 月之前) 僅發生 2 件 A2 事故及 8 件 A3 事故 [9]，截至 101 年 6 月則有 9 件火燒車事件 [14]，但是在 2012 年 5 月 7 日卻發生了 2 死 28 傷的首都客運重大事故，其肇事原因雖屬人為因素 (大客車駕駛未保持安全距離)，但是雪山隧道提高速限之後，是否造成交通安全之負面影響，為一重要研究課題，建議後續研究持續追蹤分析。

六、結　語

經本研究之分析發現，雪山隧道內南北向在隧道中點附近的流率與速率關係皆比上游路段差。此隧道北上路段的交通功能比南下路段不理想，北上的容量比南下的容量約低 150 小車／小時／車道。進一步而言，雪山隧道北上在隧道中點附近的容量只有 2,600 小車／小時 (內外車道各為 1,340 及 1,260 小車／小時)。北上隧道進口附近的容量稍高，可達 2,700 小車／小時 (內外車道各為 1,440 及 1,260 小車／小時)，但是進口進入壅塞狀況然後開始疏解時的流率高於容量。因隧道中點附近的容量不足，所以在假日高流量期間容易造成往上游傳遞的衝擊波，造成隧道進口及其上游路段壅塞情況的惡化。

相較目前已知日本的公路隧道容量約 1,100 ~ 1,350 小車／小時／車道 [5]，美國紐約市 Callahan 隧道的容量約 1,600 小車／小時／車道 [6]，臺灣之雪山隧道容量約 1,260 ~ 1,440 小車／小時／車道。不論就實務運作或是學術研究而言，國際或是國內仍有必要持續對於長公路隧道之運作特性深入了解。

國道 5 號公路之速限曾數度調高，速限從 70 公里／小時調高為 80 公里／小時之後，北上內車道各地點的容量平均大約增加了 200 小車／小時，北上外車道容量之改善程度則平均在 200 小車／小時以上。南下內車道的容量平均約增加 150 小車／小時，外車道的容量則約增加 300 小車／小時。但雪山隧道之速限從 80 公里／小時又調高到 90 公里／小時之後，容量沒有顯著變化。另一方面，本研究利用里程生產量進行分析，結果發現速限提高之後，雪山隧道在不同需求流量狀況下之里程生產量普遍提高，顯示其運輸功能有所提升。流率在 1,000 ~ 1,350 小車／小時之範圍內時 (流率接近容量)，速限 90 公里／小時的里程生產量比速限 80 公里／小時的里程生產量約高 10%。此外，速率與里程生產量有明顯的關係，所以這種關係可作為訂定管制策略的參考。

參考文獻

1. 高速公路局，「雪山隧道宣導專區」，hppt://www.freeway.gov.tw/，民國 97 年。
2. 呂介斌等，「雪山隧道規劃設計回顧」，現代營建，第 318 期，民國 95 年，頁 32-42。
3. American Society of State Highways and Transportation Officials, *A Policy on Geometric Design*

of Highways and Streets, American Society of State Highways and Transportation Officials, Washington, D.C., 2004.

4. Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board of the National Academies of Science, Washington, D.C., 2000.
5. Koshi, M., Kuwarara, M., and Acahane, M., "Capacity of Sags and Tunnels on Japanese Motorways", *ITE Journal*, Vol. 62, No. 5, 1992, pp. 17-22.
6. Levinson, H. S., Golenberg, M., and Howard, J., "Callahan Tunnel Capacity Management", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1956, 1985, pp.1-10.
7. Chin, H. C. and May, A. D., "Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1005, 1991, pp.75-82.
8. 林豐博、蘇振維，「國道 5 號雪山隧道車流特性之研究」，**運輸計劃季刊**，第 38 卷，第 1 期，民國 98 年，頁 85-120。
9. 張瓊文、林豐博、曾平毅，「雪山隧道內車流特性與容量之分析」，**中國土木水利工程學刊**，第 22 卷，第 3 期，民國 99 年，頁 141-148。
10. Lemke, K., "Road Safety in Tunnels", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1740, 2000, pp.170-174.
11. IAM Mororing Trust, "Dartford Tunnel Needs More Investment. London, 2004", www.iam.org.uk/motoringtrust/news/, 2008.
12. Rapp, M. H., "Alternative One-Way Traffic and Truck Metering for Increase Safety in Tunnels through the Swiss Alps", Proceedings of 9th World Congress on Intelligent Transport Systems, ITS America, CD-ROM, 2002.
13. 交通部運輸研究所，**高快速公路收費站、隧道及坡度路段容量及車流特性之研究 (2/3)**，民國 101 年。
14. 高速公路局，「本局快報最新消息」，http://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=610&p=1152，民國 102 年。