

# 國道 5 號雪山隧道車流特性之研究<sup>1</sup>

## TRAFFIC FLOW CHARACTERISTICS IN AND NEAR THE SHEA-SAN TUNNEL ON NATIONAL HIGHWAY 5

林豐博 Feng-Bor Lin<sup>2</sup>

蘇振維 Cheng-Wei Su<sup>3</sup>

(97 年 6 月 18 日收稿, 97 年 10 月 15 日第一次修改, 97 年 11 月 25 日第二次修改,  
98 年 2 月 12 日定稿)

### 摘 要

雪山隧道長度 12.9 公里, 是國道 5 號高速公路上最長的隧道, 也是世界第六長之公路隧道。此隧道有兩個單向孔道, 且每孔道有 2 個車道。在雪山隧道中及國道 5 號其他路段上設置很多的車輛偵測器, 不停的收集交通狀況資料。為了確保行車安全, 國道高速公路局對雪山隧道內變換車道、速限、最小跟車間距及何種車種能進入隧道均有明文規定。到目前為止, 國道高速公路局已各將速限及車種的限制調整過一次。從 95 年 6 月通車至今, 這些交通控制策略的演變及大量的偵測器在隧道內外收集到的交通特性資料, 提供了一難得探討長隧道內車流特性及交通控制策略影響的機會。此外, 臺灣交通界亦有需要評估雪山隧道之作業績效以謀求改善策略。因此, 本研究的目的在於了解雪山隧道在速限為 70 公里/小時, 而且只有小車能通行時的車流特性。分析之資料為民國 96 年 9 月及 10 月中偵測器所收集的資料。分析結果顯示雪山隧道 4 個車道的平均容量大約只有 1,000

- 
1. 本研究承國道高速公路局坪林行控中心呂明剛先生之協助, 特此致謝。
  2. 美國紐約克拉森大學教授。
  3. 交通部運輸研究所副組長 (聯絡地址: 105 臺北市敦化北路 240 號 8 樓運輸計畫組; 電話: 02-23496801; E-mail: jason@iot.gov.tw)。

小車／小時／車道。此容量遠低於一般快速公路及多車道公路之容量，這低容量的主要因素，很可能是現行法規要求在正常狀況下跟車間距最少必須保持 50 公尺之規定。

**關鍵詞：**平均速率；容量；跟車間距；流率；里程生產量；占有率；速限

## ABSTRACT

*With a length of 12.9 km, the Shea-San Tunnel is the longest tunnel on Taiwan's National Highway 5 and the sixth longest highway tunnel in the world. The tunnel has two one-way tubes. Each tube has two lanes. Inside the tubes and in other sections of the National Highway 5, there are a number of vehicle detectors that collect traffic data. The Bureau of National Freeway Management has implemented a series of traffic control measures to ensure traffic safety in the tunnel. These measures regulate lane-changing, speed limit, minimum car-following distance, and the use of the tunnel by various types of vehicles. So far, the Bureau has revised the speed limit and the control of access to the tunnel once. This evolution of control measures and the availability of a large number of vehicle detectors provided a rare opportunity to explore the traffic characteristics and the impact of changes in traffic control in a long tunnel. There is also a need to assess the operating efficiency of the tunnel to identify areas that need improvement. The objective of this study is to provide an understanding of the capabilities and the deficiencies of the traffic operation of the Shea-San Tunnel when the speed limit in this tunnel is 70 km/h and only small vehicles can enter the tunnel. To this end, the traffic data collected by the detectors in September and October 2007 are analyzed. The analysis shows that the four traffic lanes in the tunnel have an average capacity of only about 1,000 small vehicles per hour per lane. This capacity is extremely low in comparison with that of a lane of either a typical freeway or a multilane highway. The minimum car-following distance (50 meters) requirement is potentially the most significant cause of the low operating efficiency.*

**Key Words:** *Average speed, Capacity, Car-following distance, Flow rate, Mileage production, Occupancy, Speed limit*

## 一、緒 論

國道 5 號高速公路包含南港頭城段、頭城蘇澳段、蘇澳花蓮段、花蓮臺東段四項計畫，目前只有南港頭城段與頭城蘇澳段完成通車，總長度約為 54 公里，配置雙向 4 車道。南港頭城段為連接臺北都會區及宜蘭市之高速公路，其中包括南港隧道、石碇隧道、烏塗隧道、彭山隧道與雪山隧道共五隧道，這些隧道均為雙孔設計，而單向每孔道均配置有內、外 2 車道，其行車淨高為 4.6 公尺，車道寬為 3.5 公尺，2 側各有 0.3 公尺寬之路肩及外側

配有 1.0 公尺之人行道<sup>[1]</sup>。南港隧道、石碇隧道、烏塗隧道及彭山隧道之長度各為 0.46 公里、2.70 公里、0.27 公里與 4 公里，至於雪山隧道長度有 12.90 公里，為目前世界第六長之公路隧道。雪山隧道的興建工程包括周邊設施（如交通控制、監視系統及意外事件緊急處理系統等）歷時 15 年，完工後之初步結算，國道 5 號計畫南港頭城段（約 31 公里）總經費在 601 億元以內，其中雪山隧道土建部分約為 260 億元<sup>[2,3]</sup>。雪山隧道在民國 95 年 6 月 16 日通車。目前交通界對長隧道內車流特性的了解非常缺乏，因此，本研究的目的在於分析雪山隧道之車流特性，以供長隧道規劃及改善控制策略之參考。

公路隧道內之肇事率一般比隧道外之公路路段低<sup>[4]</sup>，但隧道內車禍會產生嚴重的後果，因此隧道內之行車安全特別必須加以重視。根據 IAM (Institute of Advanced Motorists) Motoring Trust 的資料<sup>[5]</sup>，1990 年以來公路隧道之重大車禍，大部分都發生在歐洲的 Alps (阿爾卑斯山脈) 的隧道。最嚴重的是在 1999 年及 2001 年間在 Mont Blanc (France/Italy)、Tauren (Austria) 及 Gotthard (Switzerland) 之隧道所發生的車禍，共有 62 人死亡，並造成這些隧道長時間的關閉。這短期內一連串的大車禍，迫使歐洲國家加強隧道行車安全措施<sup>[5-8]</sup>。

國道新建工程局在設計雪山隧道時也特別注重行車安全，除了南下、北上各配置成單行的孔道之外，雪山隧道並設有適當防火、通風設施、緊急事件逃生孔道及交通狀況監視系統。此外，負責管理營運的國道高速公路局對通過隧道之車種、速率與行車間距加以嚴格管制。

在車種管制方面，雪山隧道通車初期是禁止大型車通行（其他路段無此管制），大約 17 個月的期間（95 年 6 月至 96 年 10 月），只有小車可以通行，南下與北上的大型車，必須分別在坪林交流道前與頭城交流道前，駛離國道 5 號主線，避行雪山隧道，直到民國 96 年 10 月底之後，也只開放了大型客運車通行雪山隧道外側車道。

在速限管制方面，國道 5 號高速公路全線之速限原為 70 公里／小時，96 年 10 月起除雪山隧道外之路段均調整為 80 公里／小時（包括石碇隧道、烏塗隧道與彭山隧道），但從 97 年 3 月 16 日起，雪山隧道內之行車速率也調高為 80 公里／小時。這一連串的速限調整，是希望藉由提升道路容量，改善國道 5 號假日壅塞的車流狀況。

依據何文菊<sup>[9]</sup>引用內政部警政署國道公路警察局（2004）資料指出：「高速公路交通事故的肇因以駕駛疏失居多，而未保持行車安全距離占 18% 居首位、未注意車前狀態占 11% 居第二、轉向（變換車道）不當占 9% 居第三。」，高速公路局為了確保國道隧道內之行車安全，於隧道路段內外側車道間劃有雙白線，以禁止車輛變換車道，在雪山隧道內更訂有「在正常情形下，應保持 50 公尺以上的行車安全距離，如因隧道內壅塞、事故或其他特殊狀況，導致車速低於每小時 20 公里或停止時，仍應保持 20 公尺以上安全距離。」<sup>[2]</sup>，石碇隧道、烏塗隧道與彭山隧道並沒有此一規定。至於民國 96 年 10 月底開放大客車行駛後，規定大型車須保持 60 公尺的行車安全措施。這些行車間距的規定在世界各國隧道車輛之管制措施中也算是相當嚴格的。目前國外隧道中只有瑞士 (Switzerland) 的 Gotthard 隧道（長 16.8 公里）及 San Bernard 隧道（長 6.6 公里）也有最小跟車距離之規

定。在 2001 年 Gotthard 隧道車禍造成 11 人死亡之後，管制這兩隧道之機構規定隧道中之大貨車必須保持 150 公尺以上之間距<sup>[10]</sup>，以避免在同一場車禍中，發生多輛貨車同時撞車的事故。

隧道行車安全是管制長隧道車流不可忽視的重點，然而長隧道之興建通常花費巨大資金，所以交通管制策略的訂定必須同時與經濟效益加以權衡。在評估隧道經濟效益時，必須對車流特性要有充分的了解，世界各國早期所興建之長隧道雖然有車輛監視系統，但缺乏自動車流資料收集之功能，所以長隧道內車流特性之資料普遍缺乏。

國道 5 號高速公路南北 2 向，設置了近百組的偵測器，在雪山隧道內約每隔 350 公尺，便有一組偵測器，這些偵測器所收集的資料，由坪林行控中心處理成每 5 分鐘一筆之車流量、平均速率、平均車長、占有率及其他車流參數值。這種持續接收的偵測器資料，是交通界非常珍貴的智慧財產，其所顯示幾何設計、交通狀況及控制策略的關係不僅可供將來規劃國道隧道之參考，也可直接用於擬定改善雪山隧道運輸功能之策略。此外，雪山隧道及國道 5 號高速公路之速限及車種限制的演變，亦可提供交通界難得探討車流管制對隧道車流特性影響之機會。因此，雪山隧道為探討長隧道車流特性之一難得且重要的對象。

基於上述之考量，本研究利用民國 96 年 9 月與 10 月偵測器資料，以探討在下列狀況下雪山隧道之交通特性：

1. 車流中只有小型車，而在隧道內不能任意變換車道。
2. 雪山隧道中速限為 70 公里／小時，但其他路段（包括南港隧道、石碇隧道、烏塗隧道及彭山隧道）之速限 9 月份為 70 公里／小時，10 月份調高為 80 公里／小時。
3. 雪山隧道中前後車在正常狀況下應保持的最短跟車間距為 50 公尺。

本研究的研究結果，可協助評估雪山隧道 96 年 10 月底開放大客車與 97 年 3 月提高速限至 80 公里／小時後之效益，也可作為擬定交通管制策略改善方案之參考。

## 二、分析對象及資料

本研究之分析對象為民國 96 年 9 月及 10 月國道 5 號高速公路里程 14.540 公里 (14.540K) 至 28.420 公里 (28.420K) 的交通特性，分析路段的範圍包括雪山隧道及其兩端進出口附近之路段，其總長度大約 15 公里（其中隧道路段約 12.9 公里），其相對設施及里程數如圖 1 所示。在 9 月份至 10 月份期間，雪山隧道內之速限為 70 公里／小時。其他路段（包括石碇隧道、烏塗隧道與彭山隧道）之速限在 9 月時均為 70 公里／小時，但從 10 月 1 日起調高為 80 公里／小時。在兩個月之分析期間只限小型車行駛，南下與北上之大型車，必須在坪林交流道與頭城交流道以前駛離國道 5 號高速公路。速限調高之後，駕駛員可能需一段時間才能充分適應新的速限，因此本研究避開前二週，而使用 10 月份第 13 天以後的偵測器資料，進行分析與研究。

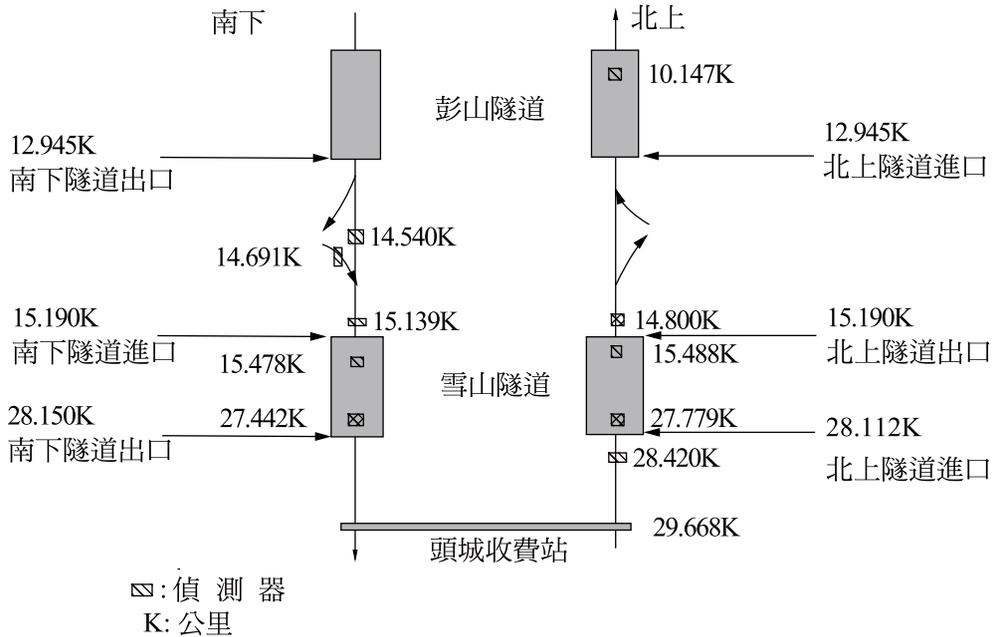


圖 1 雪山隧道及其附近公路設施示意圖

圖 1 標示了幾個偵測器地點，其中南下方向 14.540K 處的偵測器在主線上，14.691K 處者可偵測坪林南下進口匝道匯入的車流，至於在 15.139K 處之偵測器為南下進入雪山隧道前之最後 1 個偵測器，進入隧道後的第 1 個偵測器在 15.478K 處（離隧道口只有 288 公尺）。南下 28.236K 為雪山隧道出口之最後 1 個偵測器的地點，但經本研究分析 9 月份至 10 月份資料後發現，此偵測器並無法提供適當的資料，所以本研究分析出口倒數第 2 個在 27.442K 處之偵測器資料。北上進入雪山隧道之車輛會先通過上游約 1.56K 遠之頭城收費站，進入隧道前之最後一個偵測器在 28.420K 處，進入隧道之第 1 個與最後 1 個偵測站之里程分別為 27.779K 與 15.488K。出口後的第 1 個偵測器在 14.800K 處。

本研究在利用偵測器資料之前，會先分析每 5 分鐘之平均速率及流率是否有不合理之處。一般而言，民國 96 年 9 月及 10 月偵測器所顯示之車流特性，如平均自由速率及流率隨時間的變化，相當穩定與合理，除了有時故障之外（沒有資料備記載與傳出）。至於，偵測器的最大問題是當每 5 分鐘流量只有 1 輛時，曾偵測到車速出現 120 公里／小時的數據，但這種情形多發生在清晨 12 點到 3 點之間，所以其數據尚稱合理。本研究的重點在於探討流率相當高時之交通操作，所以清晨及速率過高時之資料，並不會採用於探討流率與速率之關係。

彭山隧道亦有許多偵測器，本研究僅利用北上 10.147K 處的偵測器資料，討論在不同車流管制策略下，與雪山隧道交通特性之差異。坪林行控中心係偵測器資料整理成每 5 分鐘之流量、平均速率及占有率後加以儲存。每偵測站有 2 個圓形磁場偵測線圈，其所涵蓋

的總長度為 4.95 公尺。占有率代表在依特定取樣時段 (如 5 分鐘)，偵測區內最少有一車輛之時間百分比。因為一般公路容量分析的分析對象為尖峰 15 分鐘的狀況<sup>[9]</sup>，所以本研究將 5 分鐘資料整合成 15 分鐘資料，以探討下列車流特性：(1) 需求流率之型態；(2) 內、外車道之平均速率、流率及占有率；(3) 隧道之運輸功能。

### 三、流率及速率的一般型態

進入雪山隧道之流率、速率與占有率，會隨日期、時間及行車方向而變化，但其隨時間的變化型態有高度的規則性。本研究利用南下及北上進口處第 1 組偵測器所得資料，以了解流率與速率之一般型態。

從圖 2 可知，星期一到星期四間雖然流率隨日期稍有變化，其一天中流率隨時間而變化的型態非常一致。北上早晨及下午尖峰時段比南下之相對尖峰大約早 3 小時。南下早晨尖峰比下午尖峰高，北上的情形剛好相反。此外，內側車道 15 分鐘流率很少超過 800 小車／小時 (小客車)。在非週六、日與國定假日之一般日，幾乎沒有塞車現象。

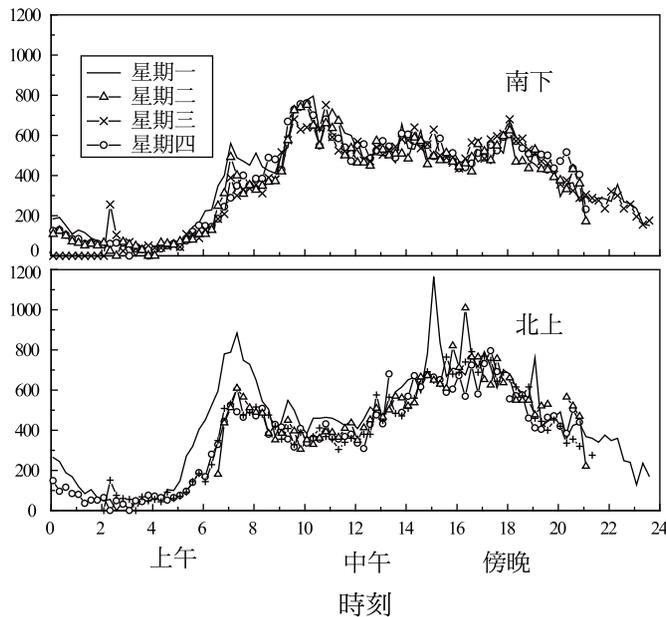


圖 2 雪山隧道進口處星期一至星期四內側車道流率隨時間之變化

在非國定假日期間，星期五及星期六之車流比星期一到星期四的流率高，如圖 3 所示。星期六之流率通常比星期五的流率高。南下內側車道之 15 分鐘流率在星期六時，可接近 1,400 小車／小時，在星期五時則大約只有 1,000 小車／小時。北上尖峰流率經常比

南下流率低。星期六之北上內側車道的尖峰流率最高只大約有 1,100 小車／小時。星期五北上之內側車道流率經常在 900 小車／小時以下。

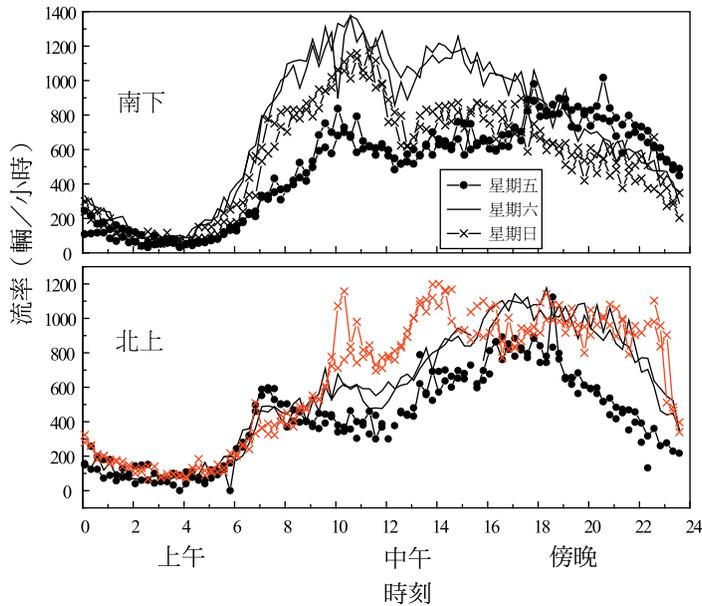


圖 3 雪山隧道進口處星期五、六、日內側車道流率隨時間之變化

如圖 4 所示，內側車道之尖峰流率一般比外側車道之流率高。內側車道之尖峰流率在 900 小車／小時或 1,100 小車／小時之範圍時，外側車道之流率可能比內側車道低 200 ~ 300 小車／小時。但當有塞車狀況時，外側車道之流率會接近或甚至超過內側車道之流率。

至於內、外側車道之相對速率，從圖 5 可知，當車流穩定而且內側車道速率高於 75 公里／小時，內側車道的平均速率經常高於外側車道。如果車流增大而平均速率從 75 公里／小時降到大約 60 公里／小時，則內側車道之平均速率逐漸變成低於外側車道之平均速率。車流從穩定狀況進入不穩定，壅塞狀況之後，內、外側車道之平均速率約在 30-60 公里／小時之範圍時，外側車道之平均速率經常比內側車道之速率高。在嚴重塞車，平均速率低於 30 公里／小時之情況下，內側車道之平均速率又經常高於外側車道之平均速率。

雪山隧道在非國定假日間之南下車流不多，幾乎沒有塞車之情形發生。但北上星期日經常有嚴重塞車。如圖 6 所示，一般而言，北上內側車道 15 分鐘流率增高到 1,000 ~ 1,200 小車／小時，並持續大約 1.5 小時之後就有嚴重塞車之現象。塞車通常在下午 3 點左右開始，然後持續到晚上 11 點左右。塞車期間之平均速率只有 25 公里／小時。

相對而言，南下之流率雖然比較高，但是塞車之情況沒有北上嚴重。在民國 96 年 9 月至 10 月期間，非國定假日期間有塞車情況之日期只有 10 月 20 日及 10 月 27 兩天。10 月 20 日之塞車僅持續 75 分鐘，其平均速率在 14 ~ 38 公里／小時之範圍。10 月 27 日之

塞車持續 3.5 小時，平均速率只有 25 公里／小時左右。即使在 9 月 24 日中秋節假期中流率較高的情況下，南下速率維持在 42 公里／小時以下之塞車狀況也只有延續了 3.5 小時，如圖 7 所示。

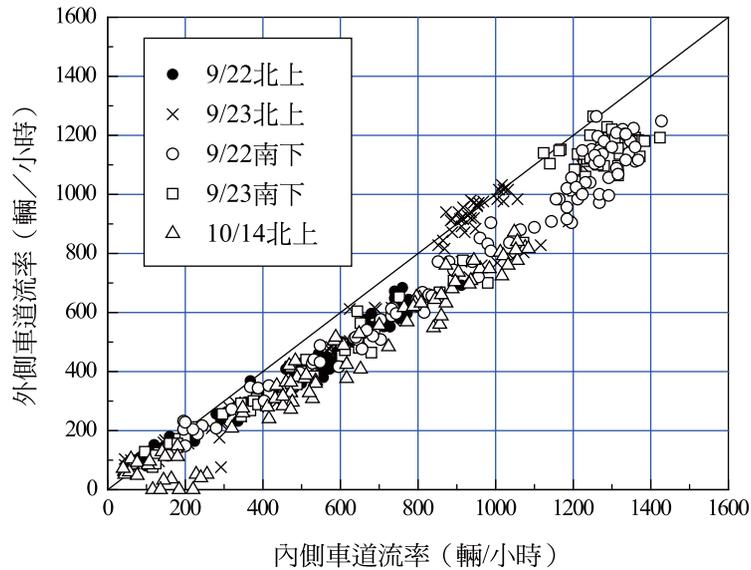


圖 4 雪山隧道內外側車道流率之比較

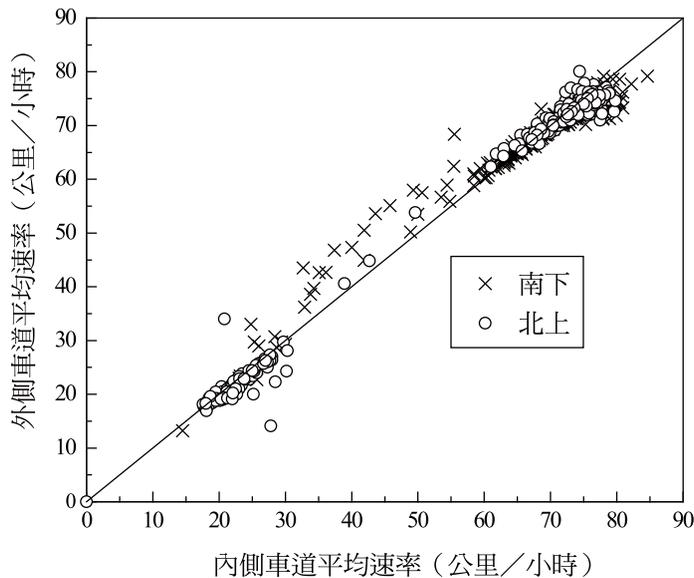


圖 5 雪山隧道進口處內外車側道速率之比較

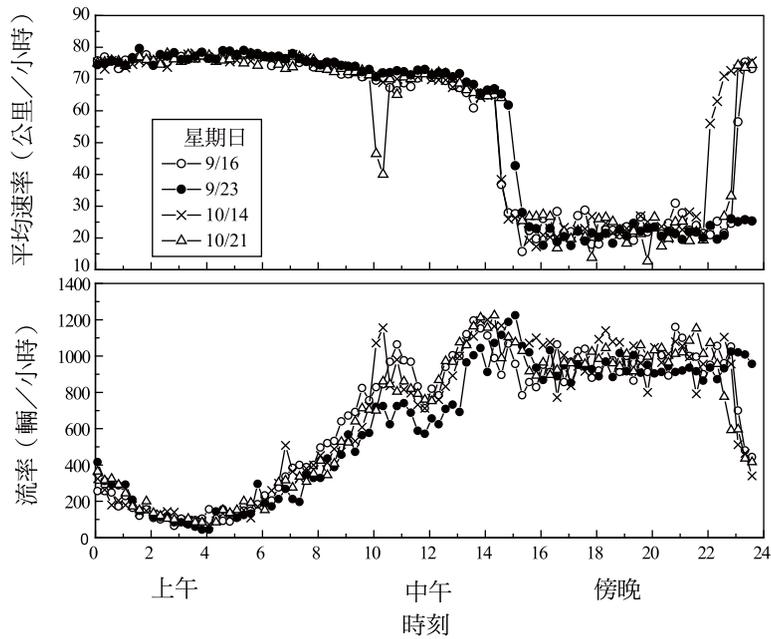


圖 6 雪山隧道北上入口處 (27.779K) 內側車道流率與速率在星期日隨時間之變化

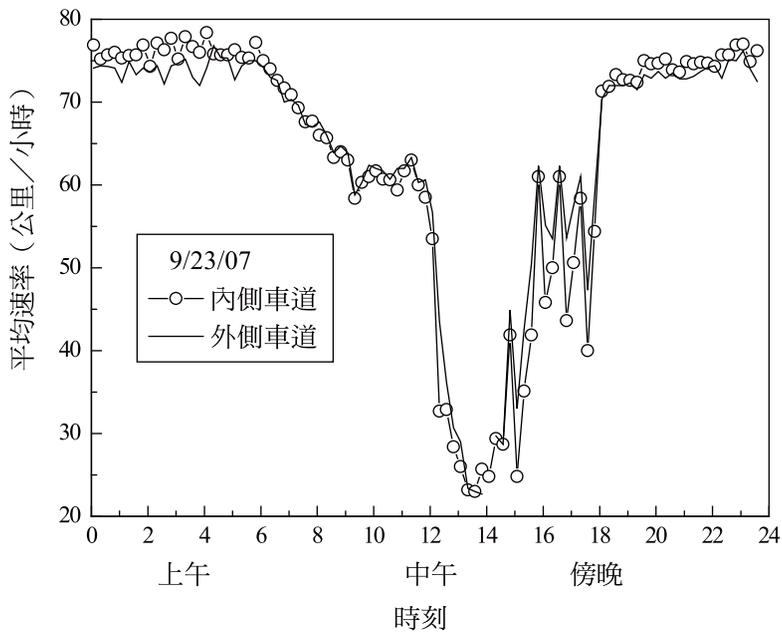


圖 7 雪山隧道南下進口處內外側車道速率隨時間之變化

#### 四、隧道進口上游處之車流特性

如圖 1 所示，離南下雪山隧道進口只有 51 公尺之 15.139K 處與離北上進口處 308 公尺之 28.420K 處，各設有 1 組偵測器，因為這 2 處的車流狀況直接影響進入雪山隧道車流之流率與速率，本研究分析此 2 處的資料，以了解這 2 處流率、速率、占有率及其他相關參數間之關係。

一路段的車流狀況可劃分成速率較高的穩定狀況及速率較低或交通壅塞的不穩定狀況，從穩定狀況進入不穩定狀況時的車流狀況稱為臨界狀況。在臨界狀況時的流率（即為臨界流率），代表該路段的容量。當欲通過該路段之流率超過容量愈多，車流呈現不穩定的程度愈高，壅塞程度也愈嚴重。然而，臨界流率並非固定不變，其數值受到進入不穩定狀況前之車流狀況的影響。容量為評估路段的重要參數，其值只能根據車流從穩定進入不穩定狀況時之情形加以估計，所以容量應取不同車流狀況下臨界流率的平均值。因此，本研究分析之對象只包括 96 年 9 月及 10 月中流率較高，而且速率變化也大的日期。北上日期包括 9 月 9 日、16 日、23 日、24 日、30 日及 10 月 14 日、21 日、28 日，南下日期分別為 9 月 22 日、23 日、24 日（中秋節假期）及 10 月 20 日、27 日。

圖 8~11 顯示上述隧道進口上游 2 地點速率、占有率與流率的關係。占有率是代表密度的一個參數。密度愈高，占有率愈高。從圖 8 及圖 9 得知，當占有率接近 0% 時，平均速率會接近速限或高出一些（9 月速限為 70 公里/小時，10 月速限為 80 公里/小時），當占有率增加，平均速率會隨之下降。圖 8 顯示南下進口處附近之占有率從 0% 增加到 15% 時，平均速率大約減少 6~7 公里/小時。占有率在 15%~22% 之範圍時，平均速率快速降低，這表示行車自由程度已大受限制，而駕駛員必須注意下游狀況，準備隨時調整速率或跟車距離以避免發生擦撞。當占有率超過大約 22% 之後，車流進入不穩定狀況。在此情形下，車流開始形成密集車隊，平均速率可能急速下降。因此，在 15 分鐘內，平均車速可從大約 60 公里/小時降到 30 公里/小時以下，因而造成嚴重塞車的現象。這種車流狀況之迅速變化從圖 8 及圖 9 中占有率在 22%~60% 範圍內很少有數據的緣故。從圖 8、9 亦可知，北上車流進入不穩定狀況時之占有率比南下低，而且外側車道進入不穩定狀況之占有率也比內側車道低。因此，可推論北上地點之運輸功能不如南下地點，外側車道之運輸功能也比內側車道差。

當占有率增加，平均速率減少時，流量與速率的關係也隨之變化。占有率從 0% 上升時，因車流密度增加而速率緩慢下降，所以流量隨之增高，如圖 10 及 11 所示。但流量不可能無限的增加。圖 10 提示南下 9 月及 10 月車流之平均速率各降到 58~60 公里/小時及 65~70 公里/小時之範圍時，流率不能再增加。在這些速率範圍內，少數駕駛員稍微減速就可能造成密集車隊之形成，結果平均車速急速下降，流率也開始降低，流率變化的程度隨壅塞程度而變。如圖 11 北上資料所顯示，高密度車隊紓解時（平均速率增加），流率可能高於穩定狀態時之流率。

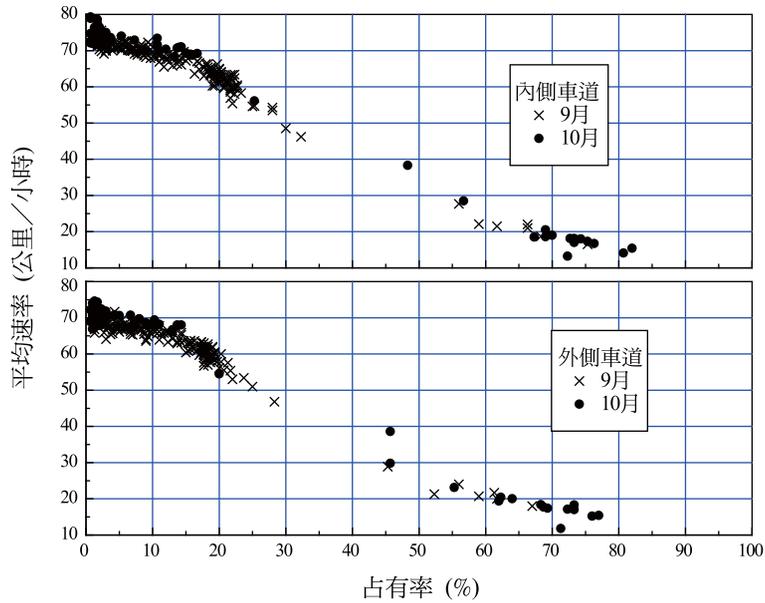


圖 8 雪山隧道進口附近南下速率—占有率之關係 (15.139K)

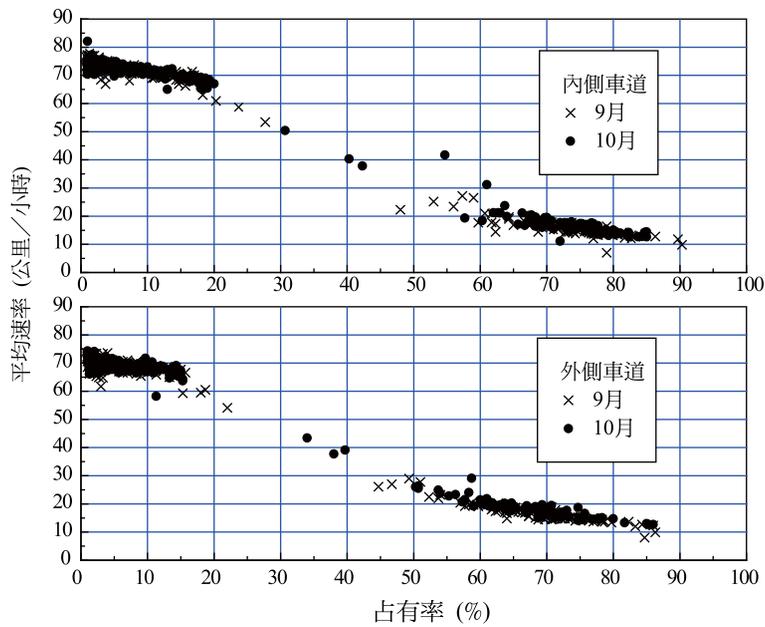


圖 9 雪山隧道進口附近北上速率—占有率之關係 (28.420K)

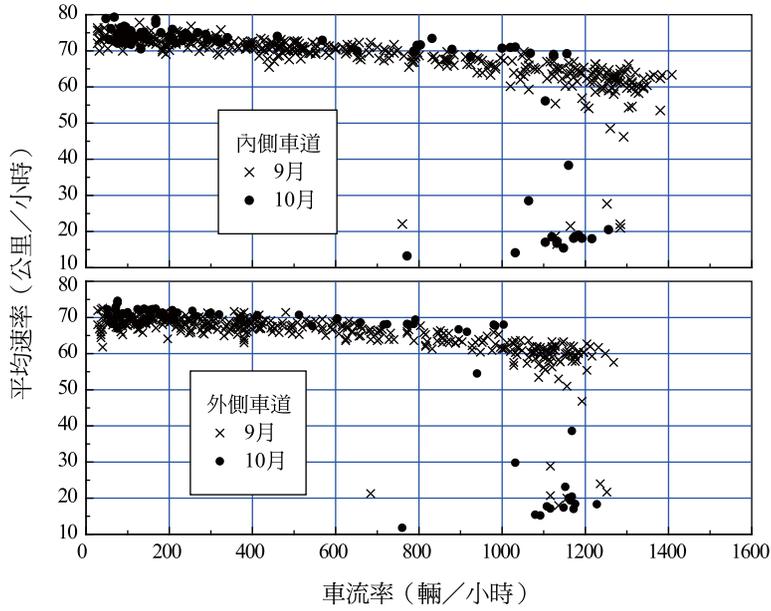


圖 10 雪山隧道進口附近南下流率—速率之關係 (15.139K)

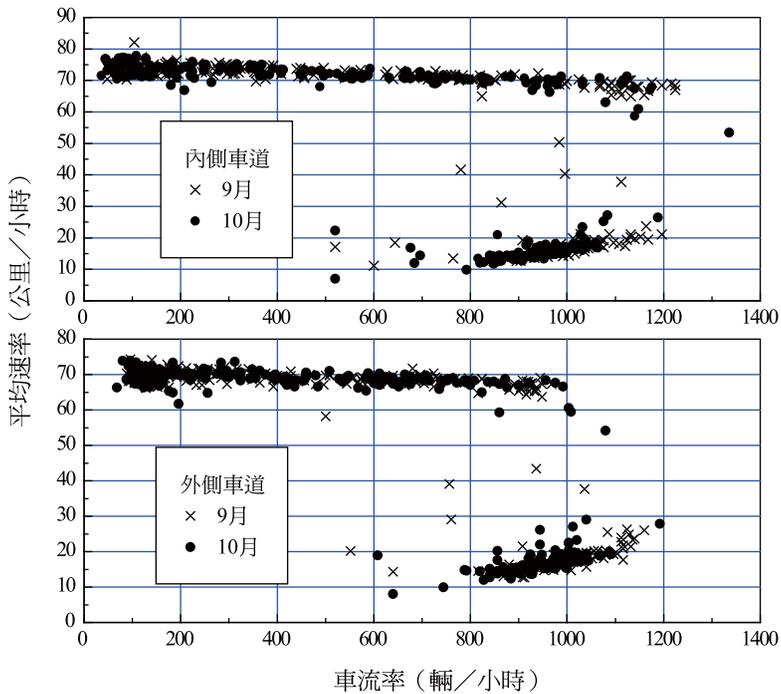


圖 11 雪山隧道進口附近北上流率—速率之關係 (28.420K)

一路段的運輸功能不能只用速率或流率加以評估，因為同一流率也可能是高速率或低速率嚴重壅塞之狀況。在速率相同時，流率也可能在相當大的範圍內變換。因此，本研究利用路段之里程生產量 (mileage production) 協助探討隧道進口附近路段之運輸功能。

所謂里程生產量係代表在一小時內通過一定點的車輛能行走的距離，其值等於一小時內之流量乘於其平均速率，此指標的單位為 1,000 輛·公里/小時。如果兩路段能承載的最高流率相同，則能維持較高速率之路段有較大的里程生產量，其運輸功能較佳。此外，如果兩路段能承載的最高流率不同，其相關之里程生產量亦能顯示因速率不同所產生的不同運輸功能。

如圖 12 及 13 所示，南下及北上隧道進口附近路段之速率與里程生產量的關係，可明顯的區分成兩型態。其中一型態代表穩定車流狀態，另一型態代表不穩定壅塞狀況。一般而言，穩定車流狀況之特性是當平均速率因占有率 (密度) 之增加而減少時，里程生產量仍能夠增高 (因流率增高)。在不穩定狀況之下，平均速率之降低，也帶動里程生產量之減少。車流剛進入不穩定狀況之前 15 分鐘的狀況，可視為臨界狀況。此 15 分鐘可稱為臨界時段，臨界時段之流率代表該路段之容量。

一路段在臨界狀況下的里程生產量及其相關之平均速率，流率及占有率並非固定值。因為車流在何種狀況會進入不穩定狀況，係受到臨界時段前、後車流狀況之影響。表 1 及表 2 所列之 9/23 及 10/28 日之北上內側車道資料，可用以說明此一現象。

表 1 中 10 月 28 日之第 1 時段進入第 2 時段時速率減少，但里程生產量增加，這表示第 1 時段之狀況仍維持穩定。第 2 時段進入第 3 時段時，平均速率降低，里程生產量也減

表 1 北上內側車道在 10 月 28 日車流狀況隨 15 分鐘時段之變化

時段	流率 (容量) (小車/小時)	平均速率 (公里/小時)	占有率 (%)	里程生產量 (1,000 小車·公里/小時)
1	940	72.3	13.7	68.0
2	1,128	70.0	17.0	79.0
3	1,120	68.9	17.0	77.2
4	1,132	70.0	17.0	79.2
5	1,176	69.3	18.0	81.5
6	1,224	68.4	19.3	83.7
7	1,216	69.0	18.7	83.9
8	1,092	67.3	17.7	73.5
9	996	40.3	40.3	40.1
10	1,004	14.4	85.0	14.1

資料來源：本研究整理。

表 2 北上內側車道在 9 月 23 日車流狀況隨 15 分鐘時段之變化

時段	流率 (容量) (小車/小時)	平均速率 (公里/小時)	占有率 (%)	里程生產量 (1,000 小車·公里/小時)
1	964	66.3	15.7	63.9
2	928	66.9	14.7	62.1
3	980	68.7	15.0	67.3
4	1,080	63.0	18.2	68.0
5	1,148	60.9	20.3	69.9
6	1,336	53.4	27.7	71.3
7	1,076	25.2	53.0	27.1
8	1,036	19.7	64.3	20.4
9	936	16.8	67.3	15.7
10	964	66.3	15.7	63.9

資料來源：本研究整理。

少，這表示第 2 時段可能是一臨界時段。但是平均速率只減少 1.1 公里/小時，而且隨後從第 3 時段進入第 4 時段時，流率、平均速率及里程生產量皆增加。因此，不能確定第 2 時段是臨界時段。為了減少誤判臨界時段的機率，本研究將符合下列條件的 15 分鐘時段  $i$  訂為臨界時段：

1. 車流從穩定狀況接近不穩定狀況，以圖 12 所列之速率與里程生產量之關係為例，臨界時段約發生在里程生產量超過 55,000 輛·公里/小時之情況。
2. 時段  $i$  為第 1 個有下列情況之時段：從時段  $i$  進入時段  $i+1$  然後進入時段  $i+2$  時，平均速率及里程生產量皆連續下降。

參考這標準，表 1 所列之第 7 時段為臨界時段。9 月 23 日車流進入不穩定狀況之前的流率比 10 月 28 日低。在表 2 之第 1 時段到第 5 時段之間，9 月 23 日之車流並無不穩定之情形。第 5 時段進入第 6 時段時，流率大幅增加到 1,336 小車/小時，結果從第 6 時段進入第 7 時段及隨後從第 7 時段進入第 8 時段之過程，平均速率下降，里程生產量也大幅下降。所以第 6 時段為 9 月 23 日之一臨界時段；此臨界時段之狀況與上述 10 月 28 日之臨界狀況有顯著差異。

根據上述臨界狀況之觀念及 9 月及 10 月中車流狀況變化較大日期之偵測器資料，表 3 及表 4 顯示南下及北上內外側車道臨界時段之狀況。雪山隧道內因禁止變換車道而且每隔 350m 便有一部 CCTV，並於汽車收音頻道與隧道內強力廣播禁止變換車道否則會受罰等措施，因此內外側車道之臨界狀況不一定存在於同一時段，所以本研究亦將南、北向各

2 車道之車流合併分析，以探討其合成的速率及里程生產量之關係，如圖 14 所示，並從這些關係找出相關之臨界車流狀況；結果顯示於表 5。

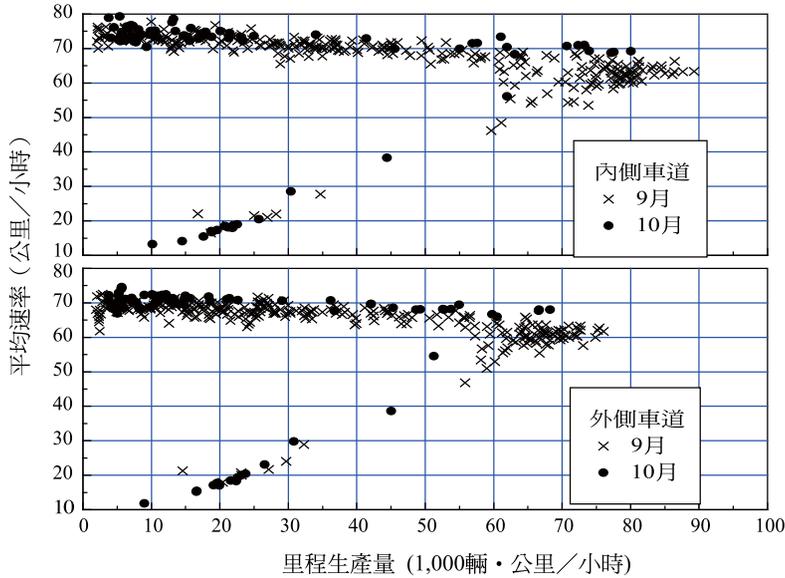


圖 12 南下隧道進口處附近速率與里程生產量之關係 (15.139K)

表 3 南下 15.139K 隧道進口附近內、外側車道臨界車流狀況

車道	日期	平均速率 (公里/小時)	占有率 (%)	流率 (容量) (小車/小時)	里程生產量 (1,000 小車·公里/小時)
內側車道	9月22日	62.6	20.9	1,302	81.51
	9月23日	61.8	20.8	1,274	78.73
	9月24日	60.5	21.5	1,276	77.20
	10月20日	68.7	16.0	1,124	77.22
	10月27日	69.2	16.7	1,156	80.00
外側車道	9月22日	63.3	17.3	1,148	72.67
	9月23日	61.1	19.0	1,232	75.28
	9月24日	60.0	18.7	1,152	69.12
	10月20日	68.0	14.3	1,004	68.27
	10月27日	67.7	13.7	984	66.62

資料來源：本研究整理。

表 4 北上 28.42K 隧道進口附近內、外側車道臨界車流狀況

車道	日期	平均速率 (公里/小時)	占有率 (%)	流率 (容量) (小車/小時)	里程生產量 (1,000 小車·公里/小時)
內側車道	9月9日	68.0	18.3	1,176	79.97
	9月16日	71.3	15.5	1,056	75.29
	9月23日	53.4	27.7	1,336	71.34
	9月24日	66.0	18.3	1,124	74.18
	9月30日	67.3	17.3	1,100	74.00
	10月14日	65.0	18.3	1,132	58.00
	10月21日	68.3	17.3	1,120	76.50
	10月28日	69.0	18.7	1,216	83.90
外側車道	9月9日	60.5	18.7	1,004	60.74
	9月16日	68.7	13.0	872	59.91
	9月23日	60.7	17.8	970	58.88
	9月24日	64.0	15.0	912	58.37
	9月30日	65.4	14.8	926	60.56
	10月14日	67.4	14.3	924	62.28
	10月21日	69.1	14.3	944	65.23
	10月28日	67.3	15.0	968	65.15

資料來源：本研究整理。

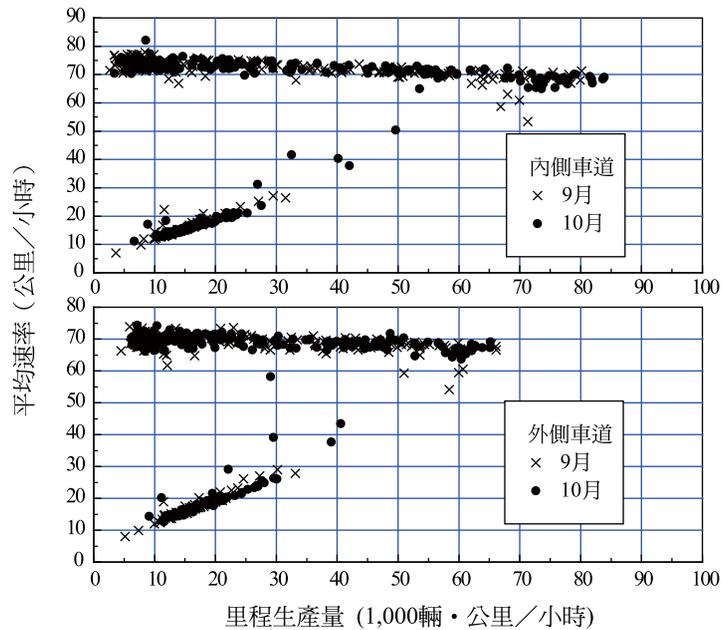


圖 13 北上隧道進口處附近速率與里程生產量之關係 (28.420K)

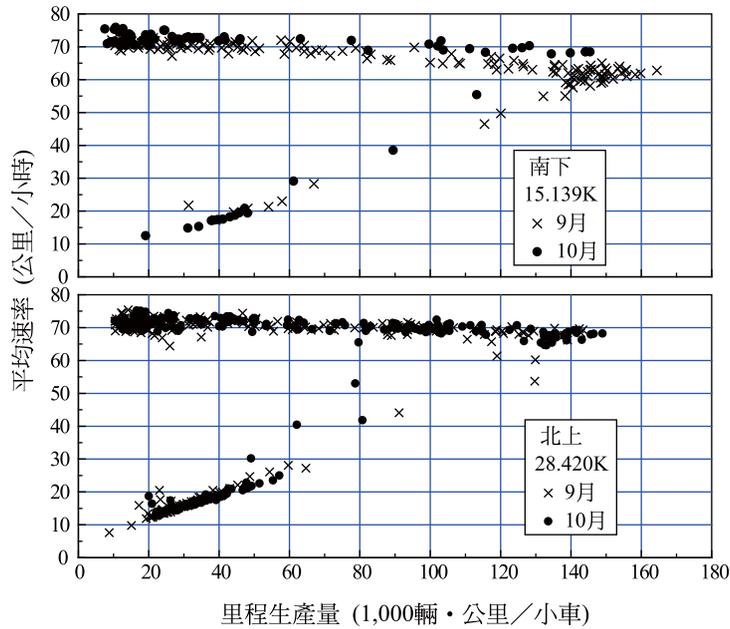


圖 14 南下、北上各 2 車道之車流在隧道進口處附近速率與里程生產量之關係

表 5 南下 15.139K 及北上 28.42K 隧道進口附近雙車道之臨界車流狀況

方向	月份	容量 (小車/小時)	平均速率 (公里/小時)	里程生產量 (1,000 車·公里/小時)
南下	9 月 (中秋假期)	2,432	60.6	147.38
	10 月 (週末)	2,092	68.2	142.67
北上	9 月 (中秋假期)	2,093	62.7	131.13
	9 月 (週末)	2,043	67.5	137.90
	10 月 (週末)	2,047	67.7	138.58

資料來源：本研究整理。

從表 3、4 及 5 可觀察到幾個現象：

1. 10 月份週末南下車道容量及里程生產量只比北上車道約高出 2 ~ 3%，此差距並不明顯。

2. 中秋節期間 (9 月 22 日至 9 月 24 日)，南下車道比北上車道之容量約高出 12%，而里程生產量則約高出 16%。
3. 北上隧道進口距上游收費站只有 1.56 公里，由宜蘭往臺北之主線 2 車道與頭城上匝道 1 車道，通過收費站的車輛，必須匯流併入主線雙車道，在匯流的過程中，車與車之間會產生嚴重的排擠，另加上匯流後距下游的隧道進口不遠，所以進口附近的速率並沒有因速限的提高而有顯著的變化，如圖 11 所示；結果北上車道在 9 月與 10 月的容量及里程生產量數值近似。
4. 南下車道 9 月速限為 70 公里／小時之中秋節假日期間的容量，比 10 月速限為 80 公里／小時之平常週末約高出 16%。這現象造成的原因不能確定，其中一個可能的原因是速限提高之後，南下車流進入隧道前之平均速率及進入隧道後之平均速率比 9 月稍高 (如圖 10 所示)，結果駕駛員對跟車距離的敏感增加，在這情況下少數駕駛員煞車減速就可能帶動上游車輛陸續減速而造成塞車。10 月 21 日及 27 日之偵測器資料顯示，南下在進口附近的車流常在流率 900 ~ 1,100 小車／小時／車道時，平均速率從 60 公里／小時左右在 15 分鐘內就降到 20 公里／小時左右。
5. 在平常週末時，南北向內側車道的容量大約是 1,140 小車／小時，外側車道之容量大約只有 950 小車／小時。
6. 在中秋假期間，南北向內側車道的容量大約是 1,250 小車／小時，外側車道的容量南下可達 1,180 小車／小時，北上只有 940 小車／小時。

## 五、影響隧道進口附近車流狀況之潛在因素

前述南下 15.159K 及北上 28.420K 隧道進口上游的車流特性，可能受到很多因素之影響；其中最值得注意的因素包括南下 14.691K 附近進口匝道處之行車環境變化、北上 29.668K 之收費站與南下 14.791K 處之進口匝道；本節將討論這 3 項主要因素之潛在影響。

### 5.1 行車環境變化

駕駛員接近隧道進口時，可能因為下列行車環境因素的變化而調整速率：(1) 進口處及隧道內行車或視覺空間減小；(2) 隧道內、外光線有顯著差異；(3) 隧道內速限及行車間距規定因強力宣導嚴格取締，致使約束力較隧道外強。如果速率由高轉低，而且車流密度高，則隧道進口處速率的降低可能造成往上游傳遞，形成車速陸續下降的衝擊波 (shock wave)，結果隧道附近的路段會造成一瓶頸地區。

當主線車流進入不穩定的狀況時，速率的變化主要是受車與車之間干擾之影響，而非上述進口環境因素的影響。此外，南下在 14.691K 附近進口匝道 (詳見圖 1) 的車流，也可能影響主線的車速。為了探討隧道進口環境因素本身的影響，本研究分析南下進口匝道沒有車流時，主線南北向在進口附近之速率的變化情形。南下分析路段之分析對象為從匝

道上游 14.540K 到進入隧道第 1 組偵測器所在之 15.478K。這路段上的主線有 3 組偵測器，如圖 1 所示。北上路段之分析對象為從收費站下游 28.420K 到進入隧道後第 1 組偵測器所在之 27.779K。這路段只有兩組偵測器，分析的結果顯示於圖 15 及圖 16。

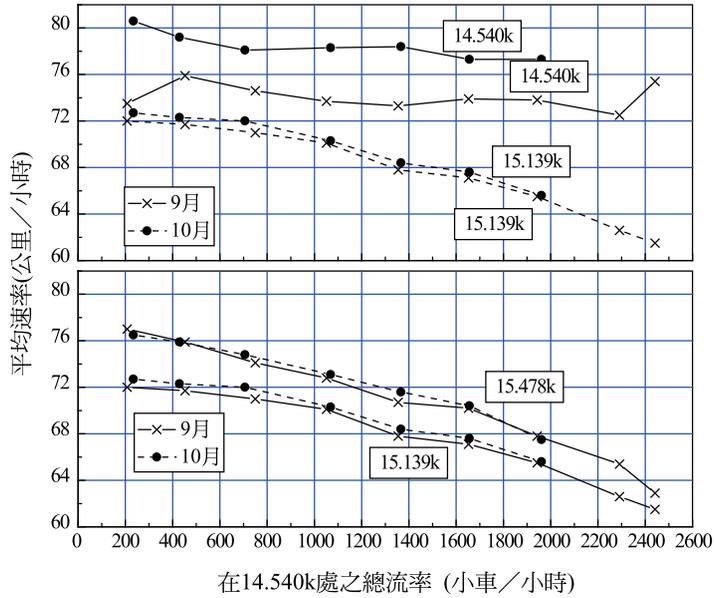


圖 15 南下車流平均速率從 14.540K 到 15.478K 之變化

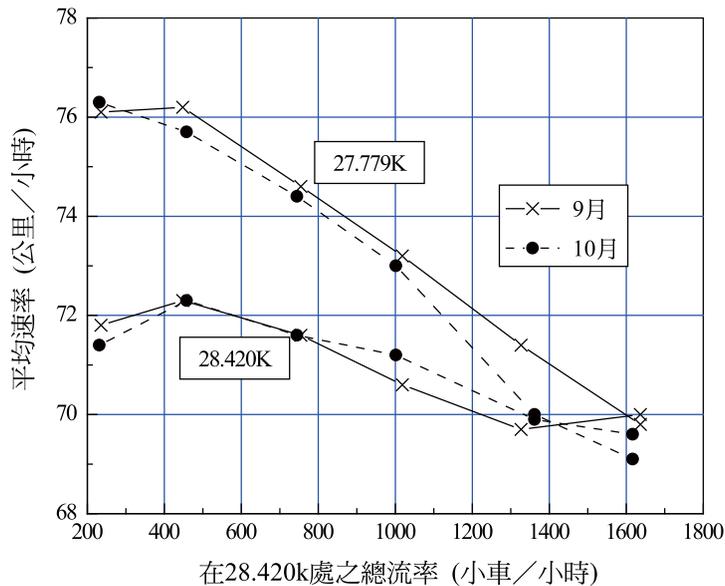


圖 16 北上車流平均速率從 28.420K 到 27.779K 之變化

從圖 15 可觀察到下列南下車流速率變化的情形：

1. 從 14.540K (南下進口上游 650 公尺) 到 15.139K (南下進口上游 51 公尺) 之間，平均速率下降。從 15.139K 行進到隧道內第一組偵測器所在之 15.478K (進口下游 288 公尺) 時，平均車速則升高 2 ~ 5 公里／小時。這現象表示進口壓抑了南下車輛在進入隧道之前的速率。
2. 雪山隧道除外的路段速限從 9 月的 70 公里／小時提高到 10 月的 80 公里／小時之後，14.540K 處，距離南下進口 650 公尺的平均速率上升約 3 ~ 4 公里／小時。但是在進口上游 51 公尺處 (15.139K) 及進口下游 288 公尺處 (15.478K) 的平均速率幾乎沒變化，只稍增了大約 0.6 公里／小時；從這現象可推論進口附近的平均速率的主要影響因素是進口行車環境的變化。
3. 雪山隧道外的速限提高之後，15.139K 及 14.540K 處速率差異增大。主線流率越高，上下游速率相差越大，所以速限的提高可能增加向上游傳遞衝波發生的頻率及其後果之嚴重性。

北上進口環境變化的影響比較不容易確定。此進口上游約 1.56 公里之處有一收費站，收費站與進口之間只有一偵測站。此偵測站位於 28.420K，距離進口尚有 308 公尺，因此沒有資料可顯示車輛在進口上游幾十公尺處之平均速率。根據圖 16 之資料，北上從 28.426K 到 27.779K 之平均速率有下列性質：

1. 在隧道上游 28.428K 處之平均速率比在隧道內 27.779K 處之平均速率低；雙車道流率在 400 小車／小時左右或以下時，差距大約為 4 公里／小時。當流率增大時，兩者的差距逐漸減小。
2. 隧道外速限從 70 公里 (9 月) 提升到 80 公里 (10 月) 之後，北上 28.428K 及北上 27.777K 兩處的平均速率沒有顯著變化。其原因可能是這兩地點離進口不遠，駕駛員行為受進口環境變化的影響較大。
3. 在圖 16 中北上 27.779K (在進口下游 333 公尺) 及圖 15 中南下 15.478K (在進口下游 288 公尺) 處之平均速率幾乎沒有兩樣；從這現象可推測南北向進口之行車環境對平均速率有相同之約束性。此外，北上車流離開收費站之後進入一長約 0.5 公里之 4.075% 的上坡路段 (在收費亭下游 955 公尺，隧道進口上游 101 公尺)。因為車流到達 28.420K 時的速率與南下進口附近的速率沒有顯著差異，所以這上坡對車流在進入隧道之前的平均速率似乎沒有太大影響。

## 5.2 收費站

北上車流進入雪山隧道之前，會先通過距離約只有 1.56 公里之頭城收費站。此收費站北上方向有 7 個收費孔，南下方向只有 4 個收費孔。北上平日開放 3 個收費孔，假日時視車流狀況增開收費孔，駕駛員可持回數票或繳 40 元零錢通過收費站。根據中山高速公路收費站之作業特性，回數票收費方式可讓每一收費孔道的容量達到 850 ~ 950 小車／

小時，找零方式的容量則大約有 350 ~ 550 小車／小時；所以能進入雪山隧道的北上車流，受收費站作業之控制。

根據前述表 5 之資料，北上雙車道在進口上游之流率達到大約 2,050 小車／小時的情況下，車流狀況就進入不穩定之壅塞狀況。因此如果開放了 3 個收費孔，而且平均每收費孔道有 670 小車／小時的車流，則收費站下游會有壅塞狀況。假日車流大於 2,050 小車／小時之狀況下，受制於北上雪山隧道之容量，增加開放北上的收費孔，也不能提升進入隧道的流率。

### 5.3 南下 14.791K 處之進口匝道

南下 14.791K 處與主線相交之進口匝道只有一車道，這匝道有長 200 公尺之加速道，加速道終點距離雪山隧道只有 221 公尺。在南下主線內側車道流率小於 1,000 小車／小時之情況下，由此匝道進入主線之流率通常在 50 小車／小時以下。主線內側車道流率在 1,000 ~ 1,400 小車／小時之範圍時，匝道流率增高到 50 ~ 280 小車／小時。從圖 17 可知，不論主線在匝道上游 14.540K 處及匝道下游 15.139K 處是否有塞車狀況，進口匝道上的車輛通過在 14.691K 之偵測站時，平均速率皆常能維持在 40 ~ 45 公里／小時之範圍內。這現象是因為匝道車流低，因此偵測器下游有足夠空間讓車輛不受阻礙地通過偵測站。

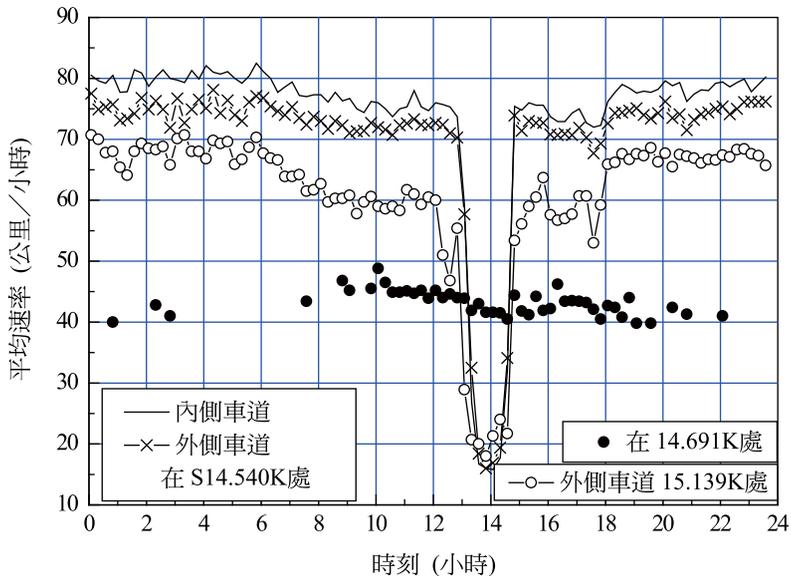


圖 17 南下 9 月 23 日主線及進口匝道在 14.540K 與 15.139K 之間的變化

進口匝道的車流對主線之作業有不良的影響。匝道上有車輛時，上游主線的車輛可能須減速或變換車道。以匝道上游 (14.540K) 及下游 (15.139K) 處內車流率為例，圖 18 顯

示當匝道無車輛時，匝道上、下游主線上兩地點之內側車道流率愈近平衡。換言之，很少有外側車道車輛轉進內側車道；當匝道 5 分鐘的流量增加到 12 輛以上時，下游內側車道流率經常高於上游同一車道的流率，這現象表示有許多在匝道上游主線外側車道的車輛，會轉進內側車道，以避免與進入主線的匝道車輛發生直接的衝突。

一般而言，主線車流與進口匝道 合之後，主線車流之平均速率會降低。如圖 19 所示，主線車輛從進口匝道上游 14.540K 處行進到匝道下游 15.139K 處時，速率的降低程度隨 入流率之增加而增高，所以進口匝道車流之存在增高了 入區域成為一瓶頸路段的機率。

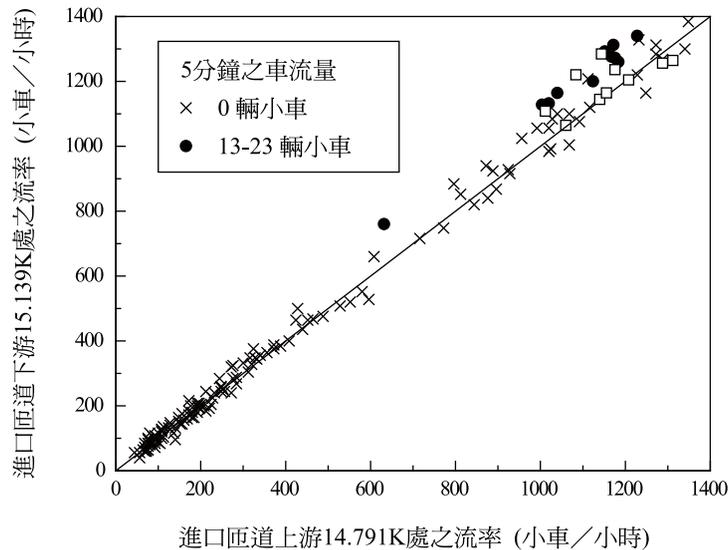


圖 18 南下 14.540K 與 15.139K 之間隨 14.791K 處進口匝道內側車道流量的變化

此外，如表 5 所示，南下在雪山隧道進口附近的路段只能容納有限之流率。此路段之流率超過大約 2,400 小車／小時，車流就可能進入不穩定或很壅塞的狀況。因此將來如果尖峰流量增高，則為了避免嚴重塞車，匝道車流的控制可能成為一不可忽視的問題。

## 六、隧道內車流特性

雪山隧道南北向孔道之坡度相同，只有 1.257%，南下為下坡，北上為上坡。南下出口下游約 63 公尺處有一長約 0.5 公里之下坡 (28.213K 到 28.713K)，坡度為 4.075%，北上出口一直到彭山隧道出口的坡度仍維持在 +1.257%。雪山隧道內有平曲線，最小的曲率半徑有 1,500 公尺，因此從幾何設計的眼光而言，平曲線上之均衡 (equilibrium) 速率在 160 公里／小時以上。換言之，平曲線本身對車輛沒有限制性。

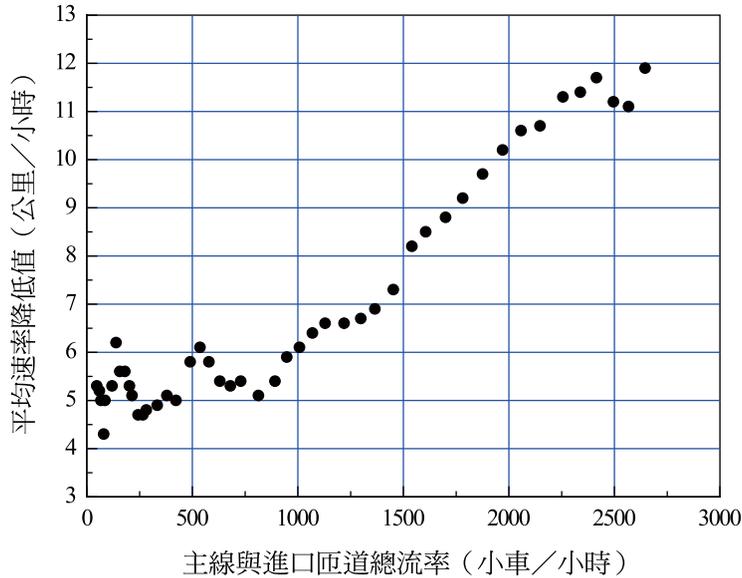


圖 19 南下 14.540K 主線車流與進口匝道匯流之後在 15.139K 處速率之降低值

雖然坡度及曲度皆不大，駕駛員進入雪山隧道之後因車輛及周圍牆壁之相對移動所產生的視覺效應，可能會改變駕駛員之行為，因而造成速率的變化，這種速率的變化對隧道的交通作業有不良的影響。雪山隧道內南下孔道有 35 組偵測器，北上孔道有 36 組偵測器，本研究利用這些及在進出口附近的偵測器資料，探討隧道內平均速率的變化及其對隧道運輸功能的影響。

### 6.1 速率隨地點之變化

如圖 20 及 21 所示，不論行車方向、日期及流率，從進口附近到出口附近平均速率隨地點的變化很有規則性。在進口上游第 1 組偵測器位置的平均速率比在進口下游第 1 組偵測器速率低，這現象已在上一節有所說明。進入隧道之後，平均速率緩慢的下降而在大約隧道中點 (南下 21.063K，北上 21.055K) 達到最低值，總共大約降低 6 ~ 8 公里/小時。超過隧道中點附近之後，在低流率及密度的狀況下 (200 ~ 400 小車/小時/車道)，南下平均速率在絕大多數的偵測站地點只比在 21.063K 之平均速率約高出 1 公里/小時。在流量比較高的情況下 (800 ~ 1,000 小車/小時)，21.063K 下游的平均速率明顯的比 21.063K 處的平均速度高，但最多也只相差約 3 公里/小時。北上平均速率在 21.055K 下游增高的現象比南下的情況更明顯，尤其是在流量較大的情況下。這現象表示在高流率的狀況下，因隧道中點附近的速率比較低，所以上游的車流密度會增加。換言之，中點之上游有較密集的車隊。同時在下游的車輛可陸續加速紓解，因此，下游平均速率的升高現象比較明顯。

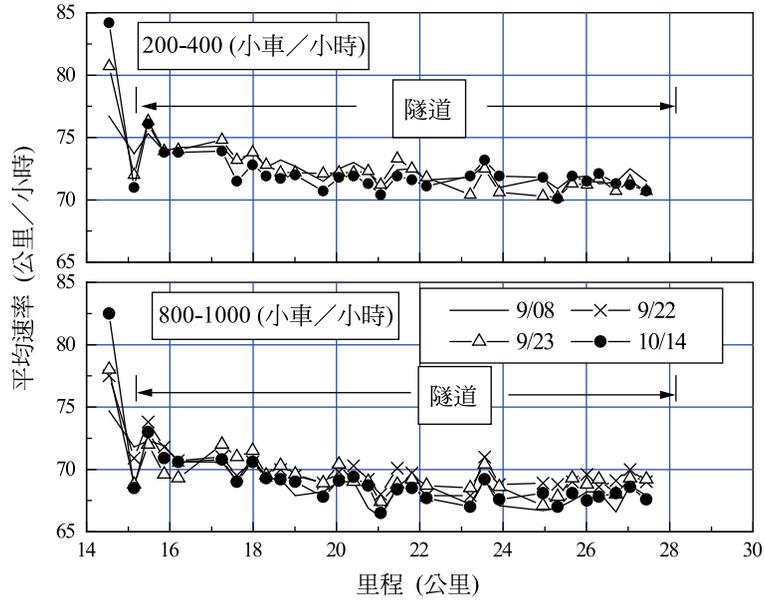


圖 20 南下車道平均速率在雪山隧道隨地點之變化

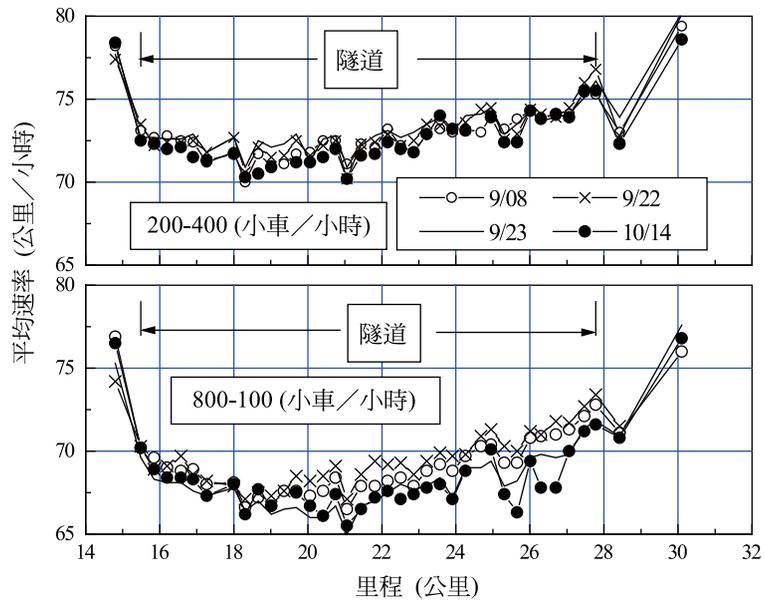


圖 21 北上車道平均速率在雪山隧道隨地點之變化

參考過去高速公路、一般多車道公路及其他沒有號誌化路口公路之容量研究結果<sup>[9]</sup>發現，當流率相同時，不同路段可能有不同的平均速率，但平均速率較高的路段一般會有較高的容量，因此其運輸功能也較大。雪山隧道也有同樣的現象，隧道中點附近因為速率最低，因此其容量及運輸功能也最差。

以圖 22 所示在北上三地點內側車道速率與流率的關係為例，在 27.779K (進口下游 333 公尺) 的平均速率，比在 23.911K (進口下游 4.2 公里) 的平均速率高，而在 23.911K 的平均速率又比在 21.055K 中點附近的平均速率高 (見圖 21)，結果內側車道在 21.055 處能維持的最高流率，比在 27.779K 的最高流率大約低了 130 小車/小時。另外從里程生產量的角度而言，圖 23 也顯示同樣的關係。在南下進口下游 288 公尺 (15.478K) 處之平均速率比在中點附近 21.063K 處之平均速率高 (見圖 20)，結果在進口附近的最高里程生產量比在中點附近約高了 18%。此外，21.063K 處之平均速率與出口附近 27.442K 處之平均速率差異很小，圖 23 顯示這兩處的里程生產量無顯著差異。一般而言，21K 附近內外側車道的運輸功能不是明顯低於其他隧道內的地點，就是與其他地點沒有顯著差異。因此可以合理的推測，雪山隧道南北運輸功能最低的地點在 21K 附近。

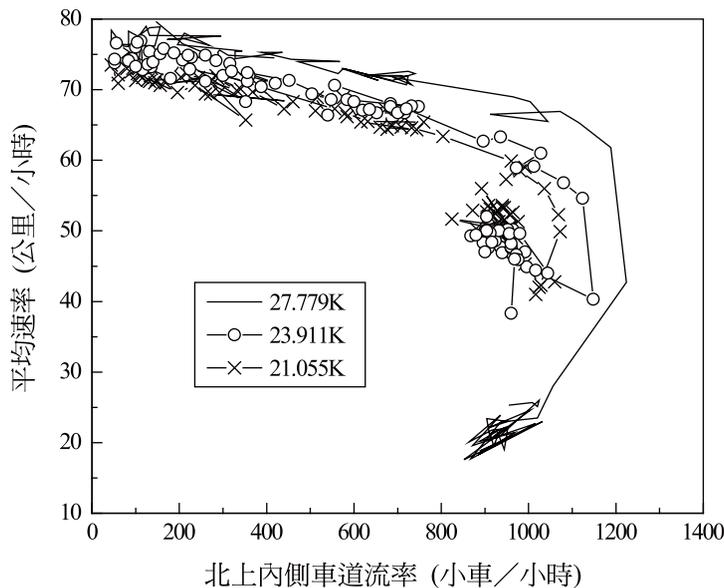


圖 22 雪山隧道內北上三地點流率—速率關係之比較

雖然運輸功能最低的地點在 21K 附近，這並不表示塞車會在此地點先開始。原因是不同路段有不同之運輸功能，只要一路段之運輸功能低於需求，則該路段會變成一瓶頸路段。以圖 22 所示之速率與流率之關係為例，27.779K 處之內側車道最多只能讓大約 1,200 小車/小時之車流通過，如果從隧道上游內側車道來的需求流率很接近或超過 1,200 小車/小時，則 27.779K 處上游會有塞車現象。塞車開始之後每小時大約有 1,200 小車可通過

27.779K 處，並移向 23.911K。但在穩定狀況下，23.911K 處每小時只能讓大約 1,100 輛小車通過，因此 23.911K 上游也開始塞車。此 1,100 小車／小時之車流抵達隧道中點附近 21.055K 處時，每小時只有大約 1,060 輛車可通過，結果 21.055K 上游也開始塞車。下游某一地點開始塞車之後，因其上游密集車隊增長，所以上游的速率可能繼續下降，最後造成走走停停的嚴重塞車現象。

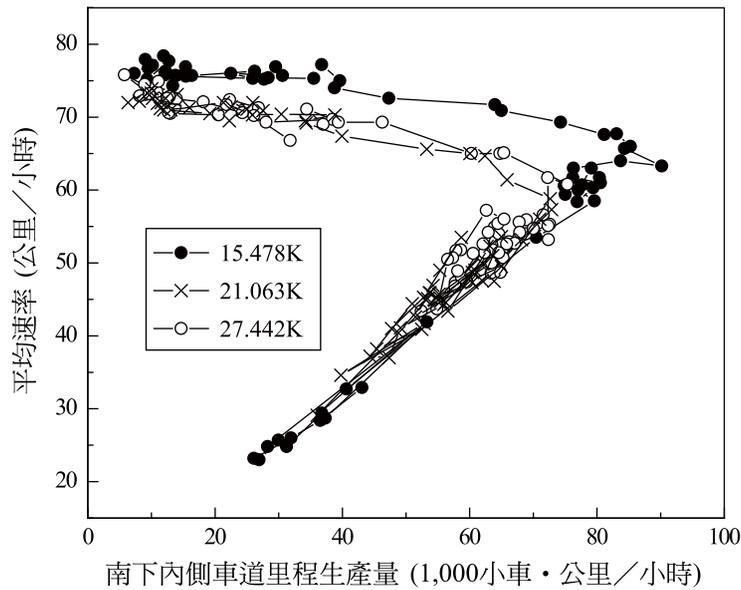


圖 23 雪山隧道內南下三地點平均速率－里程生產量關係之比較

## 6.2 雪山隧道 21K 附近車流特性

因為北上 21.055K 附近及南下 21.063K 附近的運輸功能最差，所以本研究進一步的探討此 2 處的車流特性。此 2 處偵測器所顯示的流率、速率、占有率及里程生產量的性質，如圖 24 到圖 30 所示。

從這些圖可知，雪山隧道外之速限從 9 月的 70 公里／小時提高到 10 月份的 80 公里／小時之後，南下在 21.063K 處之運輸功能沒有顯著的變化，但北上 21.055K 處的平均速率明顯增高，速率相同時能維持的流率及里程生產量也經常比較高 (圖 24 及圖 28)。這現象的原因可能是在速限提高之後，北上 21.055K 下游的車輛以較快的速率紓解。南下出口下游 1.56 公里處之收費站可能有壓抑紓解速率的作用，因此隧道外速限的提高對運輸功能沒有顯著的影響。但因南下出口到收費站之間沒有偵測器，所以目前不能確定收費站的影響力。

從內、外側車道之各別流率與速率的關係來觀察，圖 24 及 25 顯示內側車道通常能維

持較高的最大流率。此外，在約 21.065K 南下經常可維持的最高流率比北上約高 200 小車／小時。若將圖 24 及圖 25 中在隧道中點附近之速率變化特性與圖 10 及圖 11 在進口上游附近的特性相比較，顯然中點附近及進口處上游的車流特性很有差別。如圖 10 及圖 11 所示，車流一進入不穩定狀況，通常在進口上游附近的平均速率會快速下降，而造成車流在長時間內只能以不到 25 公里／小時的速率行進的現象。在中點附近的車流進入不穩定狀況時，平均速率的降低速率比較緩慢，而且經常還能保持在 35 ~ 50 公里／小時之範圍內。上述進口附近及中點附近車流特性的差異，是因為進口上游之車流到達進口上游附近時，在短時間及距離內流率及速率有相當大的變化，而在接近中點附近時，車速及車流的變化比較緩慢。

至於占有率與里程生產的關係，從圖 26 可知北上內、外側車道的占有率各達 20% 及 17% 左右時，里程生產量會最高。但有些時段內，占有率尚未增高到上述之值時，車流已進入不穩定狀況。圖 27 顯示南下內、外側車道占有率在 20% 左右時的里程生產量最高。

圖 28 明顯顯示北上內側車道平均速率在 58 公里／小時左右時，有最高的里程生產量，在速率尚未大幅下降之前，外側車道里程生產量最高時之平均速率在 60 公里／小時左右。如圖 29 所示，南下里程生產量最高時的平均速率也在 57 ~ 60 公里小時左右。從圖 30 可知，在隧道中點附近，南下經常能維持的雙車道最高里程生產量大約在 125,000 ~ 145,000 輛公里／小時之範圍內，比北上的總生產量約高出 26%。

根據雙車道總共之車流狀況，表 6 顯示在中點附近雙車道之臨界車流狀況。從此表可知，不論南下或北上，9 月份及 10 月份在隧道中點附近的臨界狀況沒有太大差異，但是

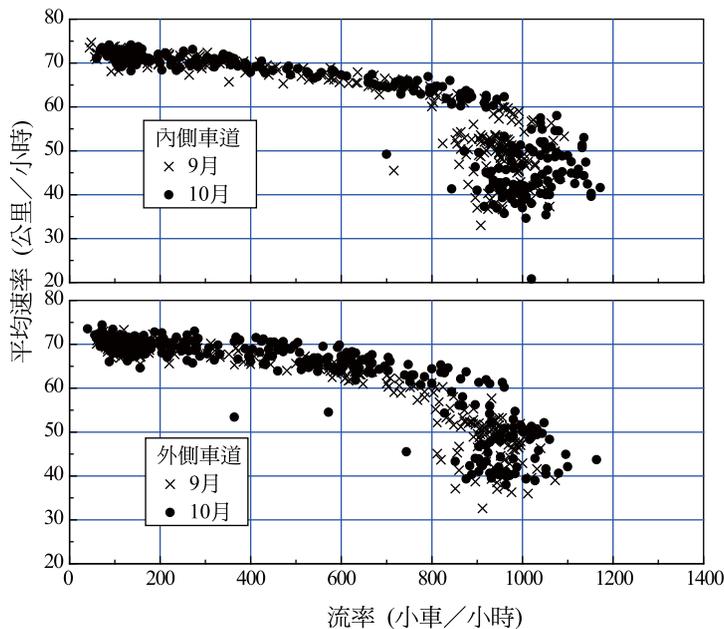


圖 24 北上在 21.005K 速率與流率之關係

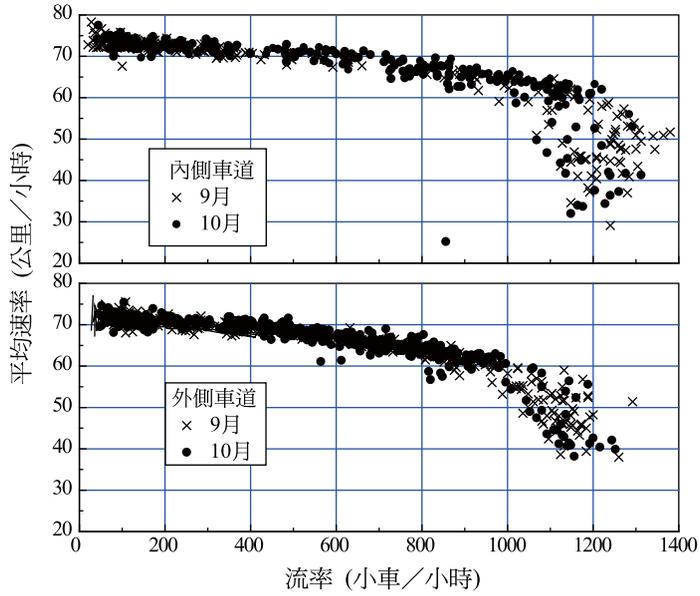


圖 25 南下在 21.063K 速率與流率之關係

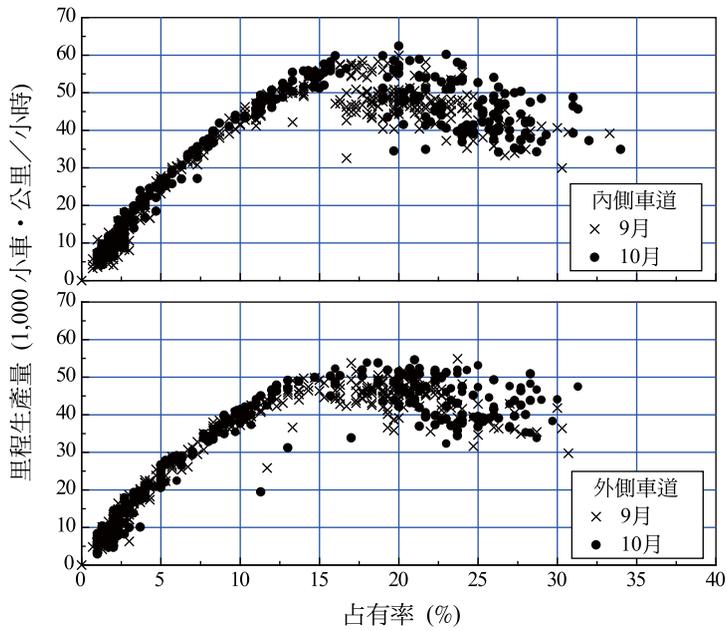


圖 26 北上在 21.055K 里程生產量與占有率之關係

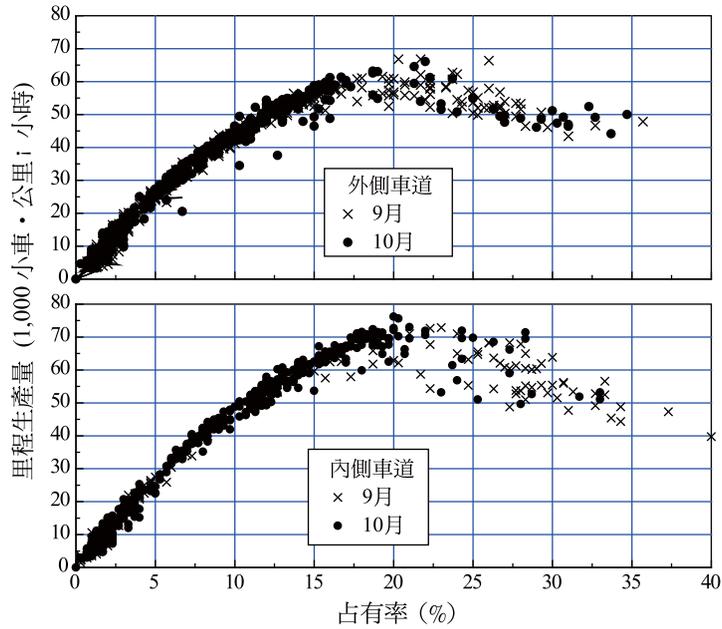


圖 27 南下在 21.063K 里程生產量與占有率之關係

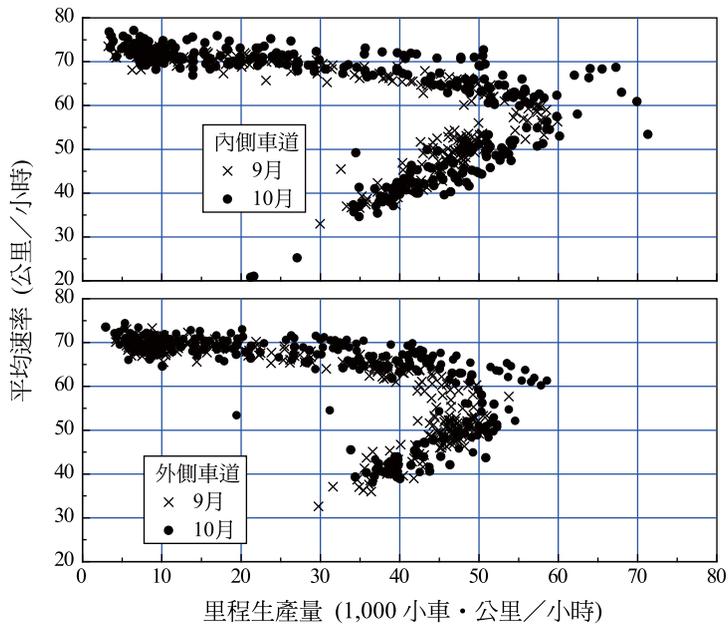


圖 28 北上在 21.005K 速率與里程生產量之關係

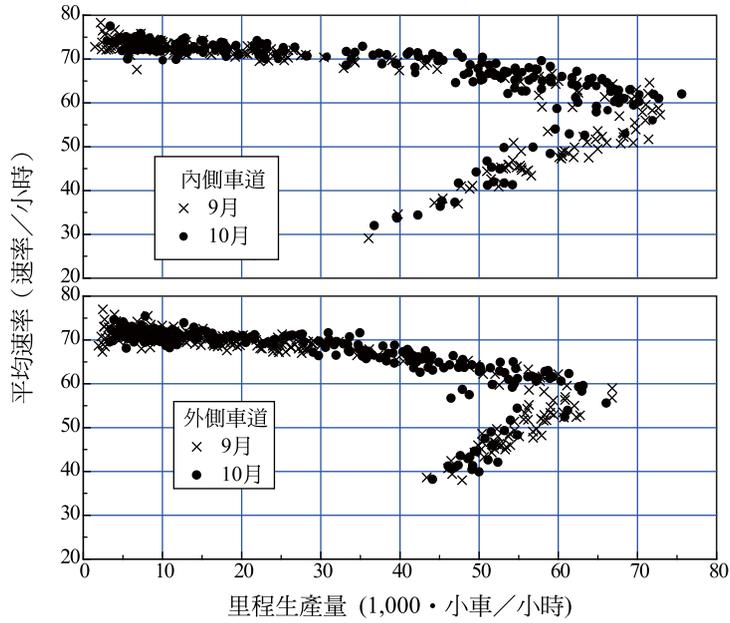


圖 29 南下在 21.063K 速率與里程生產量之關係

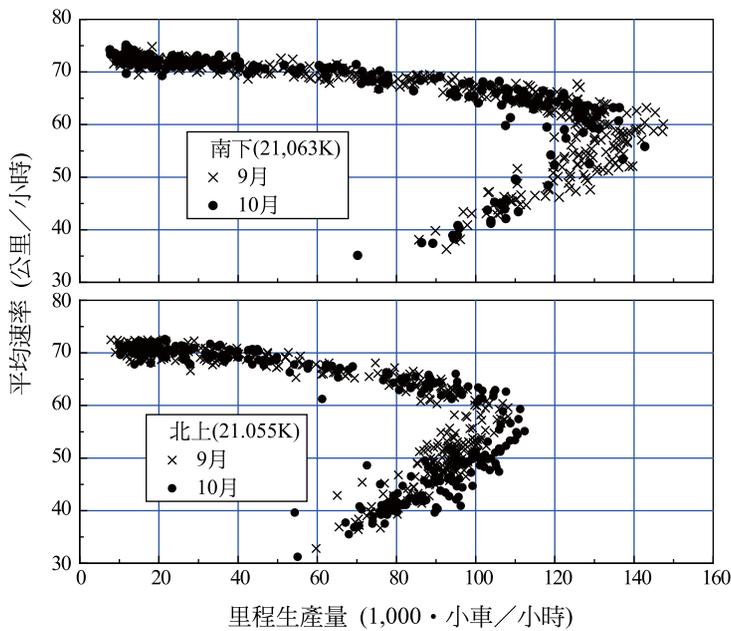


圖 30 北上與南下 21K 附近速率與里程生產量之關係

南下雙車道之容量比北上的容量約高出 400 小車／小時。南、北向容量為何有如此大的差異，不能從偵測器的資料加以探討；一個可能的原因是南下駕駛員多半是出發旅遊，至於北上的駕駛員多半是遊玩了一天從宜蘭返回臺北的遊客，當時之精神已經相當疲倦且歸心似箭。另外南下車流在行經雪山隧道之前已先通過其他隧道，而北上車流則無，使得兩方向之駕駛員有不同之行為。

從表 5 及表 6 之比較亦可知，21K 附近之臨界里程生產量比進口上游附近的生產量低。從容量的眼光而言，除了南下 10 月之情況外，21K 附近之容量也比進口附近低。

表 6 南下 21.063K 及北上 21.055K 處雙車道之臨界車流狀況

方向	月份	容量 (小車／小時)	平均速率 (公里／小時)	里程生產量 (1,000 小車·公里／小時)
南下	9 月	2,264	60.1	139.25
	10 月	2,245	56.4	130.98
北上	9 月	1,827	57.8	105.53
	10 月	1,879	59.0	110.48

資料來源：本研究整理。

## 七、雪山隧道車流特性之評估

由表 6 可知，雪山隧道南北向雙車道的容量各為 2,250 小車／小時及 1,850 小車／小時左右，平均南下車道的容量大約只有 1,125 小車／小時，北上車道的容量還不到 1,000 小車／小時。相對而言，通常高速公路非隧道路段之容量可高達 2,300 小車／小時／車道，而一般的多車道公路容量最少也有 1,900 小車／小時／車道<sup>[9]</sup>，可見雪山隧道之運輸功能有待改善。

雪山隧道運輸功能不佳，有幾個原因，其中之一是能通過隧道的流率受到在進口附近上游路段容量之限制。另由表 5 可知南下進口稍上游路段的雙車道容量最高只有 2,400 小車／小時左右，北上進口稍上游之雙車道容量則只有 2,050 小車／小時左右。如果這些路段的容量不能提高，則雪山隧道的容量不容易獲得改善。

此外，雪山隧道內及進口稍上游路段之容量，可能受到雪山隧道 70 公里／小時之速限所壓抑。一般而言，在幾何設計條件允許之狀況下，提高速限可改善運輸功能。從公路作業績效的角度而言，幾何設計及交通管制策略應盡量避免造成速率隨地點而有所差異。當上游路段的平均速率高於下游路段的平均速率時，車流比較容易造成往上游傳遞的衝擊波，因而造成壅塞狀況。

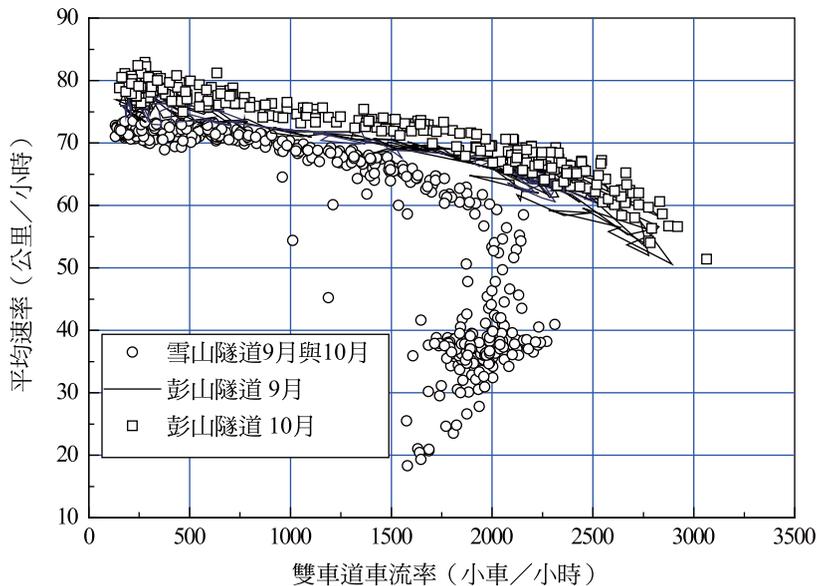


圖 31 雪山及彭山隧道內北上車流速率與流率關係之比較

以北上車流在進入雪山隧道及彭山隧道後大約 3 公里處 (雪山隧道內 25.310K 及彭山隧道內 10.147K) 之車流特性為例，圖 31 顯示彭山隧道速限從 9 月的 70 公里/小時提高至 10 月的 80 公里/小時之後，該隧道在同樣的平均速率時所能維持的流率增高，因此其運輸功能也提升。從這現象可推測，高速公路局將雪山隧道之速限提高到與國道 5 號其他路段相同，以改善雪山隧道及其上游路段行車效率之作法是正確的。

但是圖 31 也顯示，在速限同樣是 70 公里/小時之情況下 (9 月)，彭山隧道之運輸功能比雪山隧道高出許多。這顯著差異的主要原因很可能是雪山隧道內有最小跟車距離限制之故，而彭山隧道並無此限制。最小跟車距離之規定，迫使駕駛員在雪山隧道內必須改變平常駕駛習慣，因此造成特別長的跟車距離。如圖 32 所示，北上車流之平均速率為 70 公里/小時的情況下，彭山隧道內之平均跟車間距 (前車車頭到後車車頭) 大約只有 50 公尺，但雪山隧道內之平均跟車間距則高達 100 公尺左右。這現象明顯的指出雪山隧道內路段縱向空間的運用效率比彭山隧道低得多。因此除非廢除現行最小跟車間距的規定，提高雪山隧道速限可能對改善雪山隧道運輸功能的助益會很有限。最小跟車距離的規定是基於行車安全的考量。美國 Maryland, Minnesota, 及 Pennsylvania 三州也曾在非隧道的易肇事路段上實施最小跟車距離之管制策略<sup>[11]</sup>。在車流不大而且執法嚴格的情況下，這策略可顯著的改善交通安全。但在車流大的路段上，這策略不僅造成執法上的困難，而且容易造成大塞車。以美國 Washington 州的經驗為例，該州的 Washington State Department of Transportation (WSDOT) 及 Washington State Patrol (WSP) 曾在 2006 年合辦一計畫以期改善在該州第 5 號州際公路 (I-5) 上一長 3.2 公里路段的交通安全問題。在此一計畫下，

WSDOT 在所選擇的路段上每 49 公尺 (160 英尺)，畫上白點，並用標誌指示駕駛員必須保持最少 2 白點的距離。這規定相當於要求駕駛員在速率 96 公里／小時 (60 英里／小時) 之情況下保持 2 秒之跟車距離。WSDOT 及 WSP 的計畫本來要進行一年，再評估跟車距離對行車安全的改善程度，但是在 2006 年 8 月實施的第 1 天就造成嚴重大塞車，結果迫使 WSDOT 在第 2 天就將該計畫終止<sup>[12]</sup>。

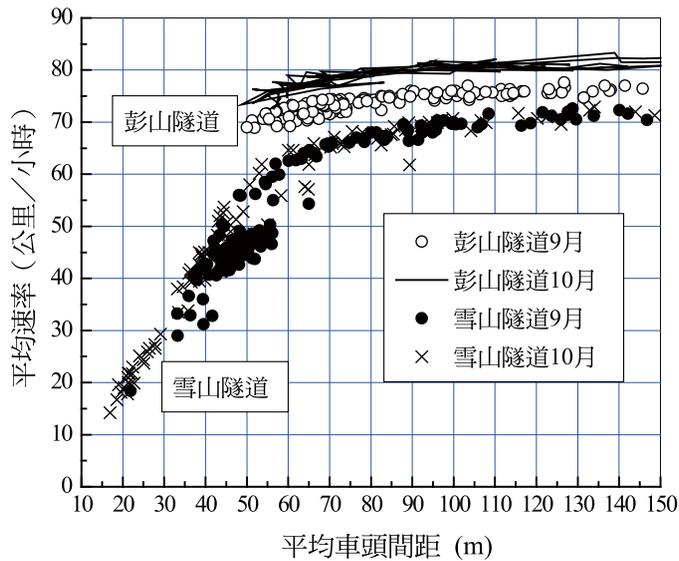


圖 32 雪山及彭山隧道內北上車流速率與平均跟車間距 (車頭到車頭) 關係之比較

WSDOT 及 WSP 計畫失敗的原因與雪山隧道內跟車距離特別長的原因相同；基本上，駕駛員的跟車行為不只是受到跟車距離的影響，車速也是影響駕駛員跟車距離的另一項重要因素。用一固定的跟車距離 (如 50 公尺) 以管制車流，違反一般正常跟車行為，因而導致跟車距離過長而降低該路段的容量。所以最小跟車距離的管制策略只宜使用在行車安全是唯一考量的路段 (換言之，流率遠低於容量之路段)。

交通事故不可能完全避免，因為公路上總有部分駕駛員因飲酒、藥物或疲勞等因素，而無法安全駕駛。交通管制策略對這些駕駛員並沒有很有效之約束力，因此交通管制策略必須是針對其他正常駕駛員的特性而訂。從這角度而言，國外交通界通常認為 2 秒的跟車間距為安全跟車距離，因而宣導跟車時應保持 2 秒之車距。所謂的「間隔 2 秒車距」之跟車原則很容易執行，駕駛員只須利用手錶練習，就像練習鋼琴時打節拍一樣，在口中從 1 數到 3，重覆練習個幾次，就可以抓到 2 秒的跟車間距。

駕駛員在警覺狀況時的反應時間通常大約只有 0.7 秒，在平常狀況下的反應時間則很少超過 1.5 秒，因此美國的公路幾何設計標準<sup>[13]</sup>根據 2 秒的反應時間以檢定公路幾何設計的安全措施。一般而言，在隧道內駕駛員的警覺性比在隧道外高，因此反應時間很少超過

1 秒。另外從高速公路交通運作之經驗而論，當流率接近容量時，通常的平均車距（車尾到車頭）可低到 1.57 秒（相當於 2,300 小車／小時／車道之流率），這表示在流率接近容量之狀況下，高速公路上許多的車輛的車距會小於 1.57 秒。相對而言，雪山隧道在 21K 附近的流率等於容量時，南北向的平均車距大約各為 3.2 秒及 3.9 秒，這些車距超過於維持安全行車所需之車距。

## 八、結論與建議

### 8.1 結論

本研究利用民國 96 年 9 月與 10 月偵測器資料以探討雪山隧道在速限 70 公里／小時，而且正常狀況下跟車距離必須最少 50 公尺的車流特性。偵測器的資料顯示雪山隧道有下列性質：

1. 民國 96 年 9 月與 10 月平常星期一至星期四的車流很少超過 1,000 小車／小時／車道，週末之流率稍高，南下流率經常高於北上，但是北上在星期日 14：30 以後，經常有嚴重的塞車情況，塞車時間超過 8 個小時，南下在平常日很少有塞車情況，中秋節假期之塞車時段大約有 3.5 小時，比北上例行的塞車時段短得多。
2. 南下隧道進口上游附近的雙車道容量最高只有 2,432 小車／小時，北上進口上游附近的雙車道容量大約只有 2,050 小車／小時。這些地點的容量受下游路段、進口匝道或收費站的影響。
3. 雪山隧道內在車流進入塞車狀況前的平均速率隨地點而變化，進入隧道之後的平均速率緩慢降低，並且在 21K 附近達到最低值。21K 附近的運輸功能最差，北上在 21K 附近的雙車道容量大約是 1,850 小車／小時，南下在同一地點附近的雙車道容量大約是 2,250 小車／小時。這些容量比一般高速公路或其他多車道公路的容量低得許多。
4. 雪山隧道的速限提高到 80 公里／小時之後有助於改善運輸功能，但是目前此隧道上最小跟車距離的規定造成過長的跟車距離，因而嚴重的壓抑運輸功能。

### 8.2 建議

1. 本研究提供了將來評估交通策略或運輸功能的基本資料，交通界有必要進一步探討雪山隧道速限提高到 80 公里／小時之後的影響程度。
2. 為了將來調整雪山隧道內交通狀況之用，交通界應深入探討南下在隧道附近進口匝道之影響，此外交通界亦有必要探討頭城收費站作業與北上隧道進口及南下隧道出口附近交通狀況之互動關係。
3. 雪山隧道的運輸功能很低，北上有經常性嚴重塞車情形，目前在雪山隧道最短跟車距離

的規定是否適當，應進一步評估。

4. 南北向低流率（低密度）車流進入雪山隧道之前，在進口附近的平均速率大約是 72 公里／小時，此平均速率是否在雪山隧道速限提高到 80 公里／小時之後會提高，尚待進一步探討。
5. 南下雙車道之容量比北上的容量約高出 400 小車／小時，南、北向容量為何有如此大的差異很難從偵測器的資料加以探討，有一個可能的原因是南下駕駛員多半是出發去旅遊，至於北上的駕駛員多半是遊玩了一天從宜蘭返回臺北的遊客，當時之精神已經相當疲倦且歸心似箭。另外南下車流在行經雪山隧道之前已先通過其他隧道，而北上車流則無，使得兩方向之駕駛員有不同之行為，後續建議加強研究。

## 參考文獻

1. Lemke, K., "Road Safety in Tunnels", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1740, 2000, pp. 170-174.
2. 交通部國道新建工程局，臺北—宜蘭高速公路建設計畫特別報導，民國九十五年。
3. 呂介斌等，「雪山隧道規劃設計回顧」，*現代營建月刊*，第 318 期，民國九十五年，頁 32-42。
4. IAM Motoring Trust, "Dartford Tunnel Needs More Investment", <http://www.iam.org.uk/motoringtrust/news>, 2004.
5. Gagliardi, M. and Bettelini, M. "Ventilation Upgrade for Gotthard Tunnel", *Tunnels and Tunneling International*, Vol. 36, No. 4, 2004, pp. 20-22.
6. Golbery, J. L., "Driving with a Diva: Since the Mont Blanc Tunnel Tragedy in 1999, Driving Safety Has Become the Key Issue in Today's Road Transport Solutions", *Traffic Technology International*, August, 2005, pp. 35-36.
7. Gonzalez, J. and Pease, K., "Escape Adits for Tunnel Safety", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1770, 2001, pp. 204-208.
8. Jones, M., "Investing Against Fire Losses", *Tunnels and Tunneling International*, Vol. 38, No. 9, 2006, pp. 43-45.
9. 何文菊，「高速公路大客車變換車道行為與警示門檻之研究」，中華大學／科技管理學系(所) 碩士論文，民國九十五年。
10. Transportation Research Board, National Research Council, *Highway Capacity Manual*, Washington, D.C., 2000.
11. Gramlich, J., Archived Article, "State DOTs Hope Drivers See Dots", <http://www.stateline.org/>, 2006.
12. Washington State Department of Transportation, News Archives, "State Re-evaluate Safety Campaign", <http://www.wsdot.wa.gov/news>, 2006.
13. American Association of State, Highway and Transportation Officials, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 2004.

