



FREEWAY
BUREAU
M O T C
高公局

國道 5 號雪山隧道

行車安全規定檢討之委託研究案

【定稿報告】

執行單位：鼎漢國際工程顧問股份有限公司

委託機關：交通部臺灣區國道高速公路局

中華民國 106 年 5 月 23 日

目 錄

壹、計畫瞭解	1-1
1.1 研究背景與目的	1-1
1.2 研究內容與工作項目	1-1
1.3 研究流程	1-2
貳、國內外長隧道文獻回顧與課題探討	2-1
2.1 國內外長隧道文獻回顧	2-1
2.1.1 國內長隧道安全規定	2-1
2.1.2 國外長隧道安全規定	2-3
2.1.3 隧道事故分析文獻	2-13
2.2 放寬行車安全規定課題探討	2-17
2.2.1 行車安全影響層面	2-17
2.2.2 道路容量影響層面	2-19
2.2.3 其他風險影響層面	2-20
參、雪山隧道交通特性與事故特性分析	3-1
3.1 交通特性分析	3-1
3.1.1 國道5號日期流量特性	3-1
3.1.2 時空速率分析	3-9
3.1.3 雪山隧道車流特性分析	3-13
3.1.4 交通特性分析小結	3-17
3.2 事故特性分析	3-18
3.2.1 國道5號/雪山隧道整體趨勢分析	3-18
3.2.2 雪山隧道事故特性	3-22
3.2.3 開放變換車道對事故影響之探討	3-24
3.2.4 未保持車間距對隧道事故影響之探討	3-29
3.3 執法分析	3-32
3.3.1 現況執法情形	3-32
3.3.2 三年執法分析	3-33
3.3.3 科技執法	3-34
肆、雪山隧道禁止變換車道規定調整可行性分析	4-1
4.1 可行性分析架構	4-1
4.2 變換車道容量分析	4-4
4.2.1 微觀模擬路網建構	4-6
4.2.2 微觀模擬方案容量分析	4-15

4.3 變換車道安全分析	4-22
4.3.1 駕駛模擬器應用	4-22
4.3.2 變換車道駕駛模擬行為與安全分析	4-41
4.3.3 駕駛模擬心理問卷分析	4-53
4.4 變換車道風險分析	4-55
4.5 初步建議與相關配套措施	4-59
4.6 專家學者問卷分析	4-66
4.7 小結	4-70
伍、雪山隧道行車安全距離規定調整可行性分析	5-1
5.1 可行性分析架構	5-1
5.2 行車安全距離容量分析	5-4
5.2.1 駕駛模擬器應用	5-4
5.2.2 容量分析	5-6
5.3 行車安全距離安全分析	5-13
5.3.1 法規檢討	5-13
5.3.2 煞停距離分析	5-15
5.4 行車安全距離風險分析	5-18
5.5 初步建議與相關配套措施	5-21
5.6 專家學者問卷分析	5-30
5.7 小結	5-35
陸、改採時間間距調整可行性分析.....	6-1
6.1 改採時間間距調整可行性分析架構	6-2
6.2 改採時間間距作法綜整	6-4
6.3 改採時間間距效益分析	6-12
6.3.1 駕駛模擬器應用	6-12
6.3.2 效益分析	6-15
6.4 改採時間間距安全分析	6-20
6.4.1 駕駛模擬軌跡安全分析	6-20
6.4.2 駕駛模擬心理問卷分析	6-25
6.5 初步建議與相關配套措施	6-28
6.6 專家學者問卷分析	6-31
6.7 小結	6-34
柒、調整方案與實施原則建議.....	7-1
7.1 初步方案建議綜整	7-1
7.2 方案優先性原則	7-4

7.3 實際執行階段性建議	7-5
7.4 後續研究建議	7-7

表 目 錄

表 2.1-1 國內長隧道安全規定彙整表	2-2
表 2.1-2 國外長隧道安全規定綜整	2-10
表 3.1-1 雪山隧道南北向月平均流量	3-1
表 3.1-2 雪山隧道北上車流特性分類	3-17
表 3.2-1 雪山隧道近 3 年肇事率統計	3-19
表 3.2-2 國道 5 號/雪山隧道近 3 年事故受傷情形統計	3-19
表 3.2-3 可變換車道之隧道事故分析	3-26
表 3.2-4 相關隧道肇事率分析	3-27
表 3.2-5 雪山隧道內之未保持安全間距之統計分析	3-31
表 3.2-6 全國隧道事故主要原因	3-31
表 3.3-1 雪山隧道執法方式與取締項目彙整表	3-32
表 3.3-2 102~104 年雪山隧道測速照相執法情形	3-33
表 4.2-1 Wiedemann99 跟車行為參數	4-7
表 4.2-2 參數值範圍	4-9
表 4.2-3 參數校估結果	4-10
表 4.2-4 模擬結果確認	4-10
表 4.2-5 雪山隧道北上路段車流特性分類	4-15
表 4.2-6 變換車道容量分析方案組合	4-15
表 4.2-7 變換車道各方案績效指標比較	4-17
表 4.2-8 變換車道各方案雪山隧道內外旅行時間比較	4-18
表 4.2-9 各方案雪山隧道內通過量比較	4-20
表 4.2-10 最佳方案與配套方案績效指標比較	4-22
表 4.3-1 本計畫車輛物理模組模擬參數	4-31
表 4.3-2 駕駛模擬記錄欄位及其定義	4-35
表 4.3-3 變換車道駕駛模擬器研究主題與行為情境說明	4-37
表 4.3-4 駕駛模擬器基礎情境實驗腳本設計說明	4-38
表 4.3-5 變換車道駕駛模擬器實驗腳本設計說明	4-39
表 4.3-6 駕駛模擬器受測者基本資料	4-40
表 4.3-7 變換車道情境時間間距分配比較	4-42
表 4.3-8 變換車道情境接受間距成功次數	4-45
表 4.3-9 變換車道情境安全指標檢定值	4-48
表 4.3-10 40KPH 變換車道情境安全指標	4-49
表 4.3-11 60KPH 變換車道情境安全指標	4-50
表 4.3-12 80KPH 變換車道情境安全指標	4-51
表 4.3-13 變換車道情境之駕駛者緊張感受	4-53
表 4.3-14 變換車道情境之駕駛者困難程度感受	4-54
表 4.3-15 與一般高速公路變換車道差異性	4-54

表 4.4-1 風險評估表	4-56
表 4.4-2 變換車道事故風險	4-57
表 4.4-3 變換車道事故風險	4-58
表 5.2-1 變換車道駕駛模擬器研究主題與行為情境說明	5-5
表 5.2-2 駕駛模擬器基礎情境實驗腳本設計說明	5-6
表 5.2-3 VD 跟車間距與駕駛模擬器比較.....	5-10
表 5.2-4 雪山隧道行車安全距離調整初步建議	5-12
表 5.3-1 高速公路行車安全距離規定	5-13
表 5.3-2 汽車車速與停車距離參考表	5-16
表 5.3-3 車速與煞車距離	5-17
表 5.4-1 風險評估表	5-19
表 5.4-2 變換車道事故風險	5-20
表 5.5-1 雪山隧道行車安全距離調整初步建議	5-22
表 6.2-1 國外相關行車安全距離與時間間距規定彙整	6-5
表 6.3-1 改採時間間距駕駛模擬器研究主題與行為情境說明	6-13
表 6.3-2 改採時間間距駕駛模擬器實驗腳本設計說明	6-15
表 6.3-3 改採時間間距車間距分析	6-18
表 6.3-4 發光導標車速分析	6-19
表 6.4-1 改採時間間距情境安全指標檢定值	6-21
表 6.4-2 40KPH 改採時間間距情境安全指標	6-22
表 6.4-3 60KPH 改採時間間距情境安全指標	6-23
表 6.4-4 80KPH 改採時間間距情境安全指標	6-24
表 6.4-5 車間距調整之駕駛者緊張感受	6-25
表 6.4-6 車間距調整之駕駛者困難感受	6-26
表 6.4-7 車間距調整之駕駛者認知感受	6-26
表 6.4-8 發光導標之駕駛者認知感受	6-27
表 7.3-1 隧道內行車間距規定調整實施方式建議	7-5
表 7.3-2 高速公路改採時間間距實施建議	7-6

圖目錄

圖 1.3-1 研究流程圖	1-3
圖 2.2-1 事故因子組成	2-18
圖 2.2-2 雪山隧道不同路段車流特性圖	2-19
圖 2.2-3 變換車道管制方式不同產生之衝擊波效應示意圖	2-20
圖 3.1-1 雪山隧道南向日流量	3-2
圖 3.1-2 雪山隧道北向日流量	3-3
圖 3.1-3 雪山隧道南北向日流量差	3-4
圖 3.1-4 2014 年雪山隧道南口分時流量速率圖	3-6
圖 3.1-5 2015 年雪山隧道南口分時流量速率圖	3-7
圖 3.1-6 雪山隧道南口分時流量速率圖	3-8
圖 3.1-7 2015 年 10 月平日雪山隧道時空速率圖	3-10
圖 3.1-8 2015 年雙十連假雪山隧道時空速率圖	3-11
圖 3.1-9 北上平日雪山隧道時空速率圖	3-12
圖 3.1-10 北上假日雪山隧道時空速率圖	3-12
圖 3.1-11 雪山隧道北向全段尖峰小時流量、平均速率關係圖	3-13
圖 3.1-12 雪山隧道北向全段日流量、日平均速率關係圖	3-14
圖 3.1-13 雪山隧道北向流量-速率關係圖	3-15
圖 3.1-14 雪隧南口與瓶頸點臨界流量差異	3-16
圖 3.2-1 國道 5 號事故次數統計	3-18
圖 3.2-2 雪山隧道事故次數統計	3-18
圖 3.2-3 國道 5 號事故月份分析	3-20
圖 3.2-4 雪山隧道事故月份分析	3-20
圖 3.2-5 國道 5 號事故時段分析	3-21
圖 3.2-6 雪山隧道事故時段分析	3-21
圖 3.2-7 國道 5 號事故碰撞類型分析	3-22
圖 3.2-8 雪山隧道事故主要肇因分析	3-23
圖 3.2-9 雪山隧道事故地點里程數分析	3-24
圖 3.2-10 雪山隧道事故往北方向之變換車道事故里程數	3-25
圖 3.2-11 雪山隧道事故往南方向之變換車道事故里程數	3-26
圖 3.2-12 福德隧道往南方向主要肇因分析	3-28
圖 3.2-13 雪山隧道事故往北方向之未保持間距事故里程數	3-30
圖 3.2-14 雪山隧道事故往南方向之未保持安全間距事故里程數	3-30
圖 3.3-1 國道 5 號佔有率與速度關係圖(2014/1~2015/6)	3-35
圖 4.1-1 調整變換車道規定可行性分析架構圖	4-1
圖 4.1-2 調整變換車道規定可行性分析流程	4-3
圖 4.2-1 變換車道容量分析流程	4-5
圖 4.2-2 VISSIM 模擬路網建構	4-6

圖 4.2-3 車間距-速率關係圖	4-8
圖 4.2-4 模擬時段各 VD 流量 MAPE	4-12
圖 4.2-5 雪山隧道北上調查資料時空速率圖	4-12
圖 4.2-6 模擬瓶頸點衝擊波產生	4-13
圖 4.2-7 模擬雪山隧道口壅塞	4-13
圖 4.2-8 模擬頭城交流道壅塞	4-14
圖 4.2-9 單側變換車道開放方式	4-16
圖 4.2-10 變換車道方案模擬績效評估架構	4-16
圖 4.3-1 駕駛模擬器系統架構圖	4-23
圖 4.3-2 雪山隧道斷面圖	4-26
圖 4.3-3 本計畫於 Unity3D 引擎中所建構之隧道剖面	4-27
圖 4.3-4 本計畫於 Unity3D 引擎中所建構之實驗路線幾何	4-27
圖 4.3-5 本計畫利用程序化內容生成技術產生之隧道 3D 模型	4-28
圖 4.3-6 本計畫利用 Unity3D 引擎建構之車道與人行道剖面	4-28
圖 4.3-7 利用程序化內容生成技術產生隧道內之車道與人行道	4-29
圖 4.3-8 雪山隧安全設施圖	4-30
圖 4.3-9 隧道模擬場景整合結果一	4-30
圖 4.3-10 隧道模擬場景整合結果二	4-31
圖 4.3-11 車輪參數設定畫面	4-32
圖 4.3-12 車輛操控與車輛動力及煞車參數設定畫面	4-33
圖 4.3-13 車輪碰撞器設定畫面	4-34
圖 4.3-14 單機測試畫面	4-35
圖 4.3-15 利用 EXCEL 開啟記錄檔畫面	4-36
圖 4.3-16 駕駛人變換車道行為示意圖	4-41
圖 4.3-17 時間間距計算示意圖	4-42
圖 4.3-18 變換車道情境時間間距分配圖	4-43
圖 4.3-19 接受間距示意圖	4-44
圖 4.3-20 變換車道情境接受間距分配圖	4-46
圖 4.4-1 變換車道風險情境分析架構圖	4-55
圖 4.5-1 雪山隧道禁止變換車道規定調整初步建議方案	4-59
圖 4.5-2 隧道 LED 燈光照明設備案例	4-60
圖 4.5-3 開發相關 App 應用程式模擬畫面	4-61
圖 4.5-4 單邊可變換車道的直線路段先行測試	4-61
圖 4.5-5 加強進入隧道安全性攔檢項目圖示	4-62
圖 4.5-6 嚴格執行行車安全管理圖示	4-63
圖 4.5-7 盲點偵測系統圖示	4-63
圖 4.5-8 車距 CMS 模擬示意圖	4-64
圖 4.5-9 車道偏移系統模擬示意圖	4-65

圖 4.5-10 加強考照項目示意圖	4-65
圖 4.6-1 專家學者領域分布比例	4-66
圖 4.6-2 禁止變換車道規定調整方案專家學者問卷流程圖	4-67
圖 4.6-3 「禁止變換車道」規定調整方案問卷調查結果	4-69
圖 4.6-4 傾向開放變換車道者意願分析	4-69
圖 4.6-5 傾向維持禁止變換車道者因素分析	4-70
圖 5.1-1 調整安全間距規定可行性分析架構圖	5-1
圖 5.1-2 調整安全間距規定可行性分析流程	5-3
圖 5.2-3 駕駛模擬器 80kph 車流跟車間距分配	5-7
圖 5.2-4 雪山隧道北上車流平均速度與流量關係圖	5-8
圖 5.2-5 雪山隧道北上車流速率與車間距關係圖	5-8
圖 5.2-6 駕駛模擬器 40kph 車流跟車間距分配	5-9
圖 5.2-7 駕駛模擬器 60kph 車流跟車間距分配	5-9
圖 5.2-8 雪山隧道北上受限車流速率與車間距關係圖	5-11
圖 5.3-1 煞車所需距離	5-16
圖 5.4-1 車間距風險情境分析架構圖	5-18
圖 5.5-1 雪山隧道車間距規定調整初步建議方案	5-22
圖 5.5-2 開發相關 App 應用程式模擬畫面	5-23
圖 5.5-3 車距 CMS 模擬示意圖	5-24
圖 5.5-4 加強考照項目示意圖	5-24
圖 5.5-5 相關宣導措施示圖示	5-26
圖 5.5-6 隧道燈光彩繪案例圖示	5-26
圖 5.5-7 紅外線眼球偵測系統示圖示	5-27
圖 5.5-8 駕駛人宣導示意圖	5-28
圖 5.5-9 行車安全管理示意圖	5-28
圖 5.5-10 煞車系統示意圖	5-29
圖 5.5-11 跟車雷達系統示意圖	5-29
圖 5.6-1 專家學者領域分布比例	5-30
圖 5.6-2 行車間距規定調整方案專家學者問卷流程圖	5-31
圖 5.6-3 「行車間距規定」調整方案問卷調查結果	5-33
圖 5.6-4 傾向放寬行車間距規定者意願分析	5-33
圖 5.6-5 傾向維持現行行車間距規定者因素分析	5-34
圖 6.0-1 車間時距與時間間距示意圖	6-1
圖 6.1-1 改採時間間距可行性分析架構圖	6-3
圖 6.1-2 改採時間間距安全與效益分析流程	6-4
圖 6.2-1 基準點視距示意圖	6-7
圖 6.2-2 廣播整秒音響作法示意圖	6-7
圖 6.2-3 白朗峰隧道入口柵欄管制(法國).....	6-8

圖 6.2-4	Gotthard tunnel 分車種管制號誌(瑞士)	6-8
圖 6.2-5	eTag 車輛辨識與安全車距流程圖	6-9
圖 6.2-6	電子路側駕駛導引燈設備示意圖	6-10
圖 6.2-7	ACC 主動車距控制巡航系統示意圖	6-11
圖 6.3-1	改採時間間距規定跟車間距分配圖	6-17
圖 6.3-2	發光導標導引車速分配圖	6-19
圖 6.5-1	採時間間距初步建議方案	6-28
圖 6.5-2	時間間距測距雷達示意圖	6-29
圖 6.5-3	發光導標配套措施示意圖	6-30
圖 6.6-1	專家學者領域分布比例	6-31
圖 6.6-2	採時間間距及發光導標之專家學者問卷	6-32
圖 6.6-3	「採時間間距-自行數數」問卷調查分析結果	6-33
圖 6.6-4	「發光導標導引車間距」問卷調查分析結果	6-34
圖 7.2-1	隧道安全規定調整優先性建議圖	7-4

壹、計畫瞭解

1.1 研究背景與目的

交通管理工作兩大目標為「安全」與「效率」，安全係為減少交通事故發生機率及嚴重度，效率則在促進行車順暢及提昇人與貨之運送量，惟安全與效率若無法同時兼顧時，必須有所取捨。以國道5號雪山隧道為例，係以「交通安全為前提下，儘量提高交通效率」作為交通管理原則。

因長隧道內行車環境不同於一般路段，其行車安全管理在國際上備受各界關注，世界各國對長隧道安全均採高標準，而雪山隧道為國內最長、世界第9長公路隧道，自通車開始，針對各項行車規範如保持行車安全距離、禁止變換車道、依規定車速行駛等，即訂定較嚴格之規定，而相關規定均係以安全為主要考量。

惟近年來因雪山隧道例假日壅塞問題受到各界高度重視，同時行車安全規定之落實執法作為，也可能影響雪山隧道通行量的疑慮等，造成各界屢提出調整行車安全規定之建議，以提升雪山隧道之通行量。

因此，本計畫目的係在「交通安全為前提下，儘量提高交通效率」原則下，研議調整國道5號雪山隧道行車安全規定之可行性，同時調整相關行車規定倘具可行性，將提出未來實施之建議原則，提供作為後續改善國道5號交通之決策參考

1.2 研究內容與工作項目

依據本計畫服務建議書徵求文件，本計畫長隧道係指「4公里以上之公路隧道」，研究內容與工作項目至少將包括下列項目：

一、雪山隧道交通特性與事故特性分析

- (一)針對最近1年雪山隧道交通特性進行分析。
- (二)針對最近3年雪山隧道交通事故特性進行分析。
- (三)針對最近3年雪山隧道執法作為對交通影響進行分析，

包括 104 年 3 月底科技執法新聞報導對交通之影響(至少蒐集 104 年 3 月底前、後之各 3 個月資料)。

二、國內、外公路長隧道行車安全規定現況之蒐集與分析

- (一)國外長隧道行車安全管理現況及相關文獻探討。
- (二)蒐集至少 15 座國外(至少包括歐洲及亞洲)公路長隧道資料及國內所有公路長隧道資料。
- (三)蒐集資料至少包括隧道長度、單孔/雙孔、是否允許變換車道、最高/最低速限、車種通行管制及行車間距等資料，並儘可能蒐集交通量、交通事故特性等相關資料。

三、雪山隧道調整禁止變換車道規定之可行性分析

- (一)分析目前禁止變換車道規定之實施成效
- (二)評估調整禁止變換車道規定之可行性及可能影響(若具有可行性，應提出未來實施之建議原則)。

四、雪山隧道調整行車安全距離規定之可行性分析

- (一)分析目前行車安全距離規定之實施成效。
- (二)評估調整行車安全距離規定之可行性及可能影響(若具有可行性，應提出未來實施之建議原則)。

五、高速公路改採時間間距之可行性分析

- (一)分析車間距採空間間距(space-headway)及時間間距(time-headway)之差異。
- (二)評估高速公路改採時間間距之可行性及可能影響(若具有可行性，應提出未來實施之建議原則)。

1.3 研究流程

本計畫研究流程如圖 1.3-1 所示，首先舉辦專家學者座談會與確定工作計畫書，接著進行相關資料蒐集，並分析雪山隧道交通與事故特性，比較國內外長隧道安全規定，作為調整安全規定問題診斷掃描與課題探討之基礎，之後擬定與確定可行性分析架構，

並進行本計畫所交付之三項可行性分析項目工作，最後配合專家學者問卷調查分析以及方案風險分析結果，提出可行方案之實施原則建議。

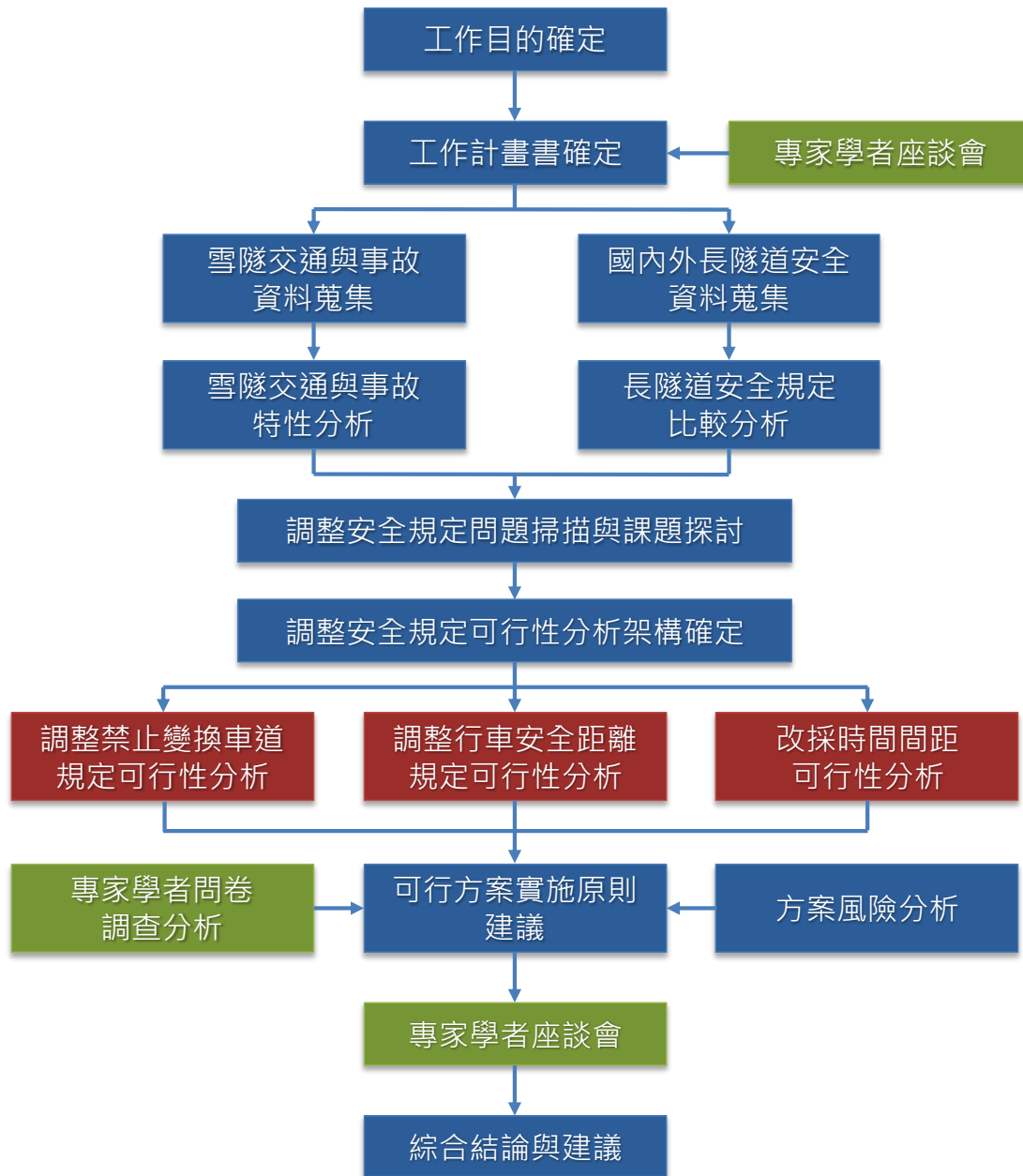


圖 1.3-1 研究流程圖

貳、國內外長隧道文獻回顧與課題探討

2.1 國內外長隧道文獻回顧

為有效瞭解雪山隧道調整行車安全規定之可行性，本節首先蒐集國內外長隧道基本設計資料及相關安全規定，其次彙整隧道事故及相關法規，作為本計畫後續分析基礎，茲彙整如下：

2.1.1 國內長隧道安全規定

一、雪山隧道_Hsuehshan Tunnel

雪山隧道原名坪林隧道，位於國道 5 號蔣渭水高速公路，新北市坪林至宜蘭頭城段之間，為台灣最長之公路隧道，全長共 12.9 公里，係由三座獨立之隧道組成（導坑、東行線及西行線）。為提高行車效率與隧道運輸功能，自 2006 年 6 月 16 日通車至今，曾修訂過最低速限、最高速限與開放通行大客車之法規。

現況雪山隧道之設計速率為 90 公里/小時，在南港系統交流道至雪山隧道北口限速為 80 公里/小時、雪山隧道北口至蘇澳交流道限速為 90 公里/小時，雙孔單向共四車道，隧道內禁止變換車道。另大客車於雪山隧道內僅限行駛外側車道且禁止載運危險物品、超長、超寬、超高、超重車輛。

安全跟車距離方面，當行駛於雪山隧道內小型車應保持 50 公尺以上之行車安全距離，大型車應保持 100 公尺以上之行車安全距離。如因隧道內道路壅塞、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，所有車輛仍應保持 20 公尺以上之安全距離。

二、八卦山隧道_Pakuashan Tunnel

八卦山隧道為國內第二長之公路隧道，位於台 76 線林厝交流道至中興系統交流道間，左線(西行)全長 4,928 公尺、右線(東行)全長 4,935 公尺，可連接彰化

縣員林市與南投縣草屯鎮，自通車後大幅縮短了彰投兩地往返時間。

現況八卦山隧道限速 80 公里/小時，為雙孔單向四車道設計，目前開放小客車、小貨車、大客車及 21 噸以下大貨車通行，惟載運危險物品、超長、超寬、超高與超重車輛(含聯結車)仍禁止行駛。

由於八卦山隧道洞口距離進、出口匝道較近，於進入隧道端之部份路段繪設單邊禁止變換車道線，開放單邊變換車道以利駕駛者變換車道。

表 2.1-1 國內長隧道安全規定彙整表

隧道	長度(km)	斷面型式	安全相關規定		
			限速(km/hr)	跟車間距	可否變換車道
雪山隧道	12.9	雙孔單向 共四車道	90	小型車 50 公尺以上 大型車 100 公尺以上	否[1]
八卦山隧道	4.93	雙孔單向 共四車道	80	小型車 50 公尺以上 大型車 100 公尺以上	否[1]
雪山隧道：大客車於雪山隧道內僅限行駛外側車道且禁止載運危險物品、超長、超寬、超高、超重車輛。 八卦山：超重(逾 21 噸)大貨車禁止行駛。 [1]部份路段以單邊禁止變換車道線繪設(一實線一虛線並列)，其中虛線側可變換車道，實線側則不可變換車道。					

資料來源：本計畫彙整。

2.1.2 國外長隧道安全規定

探究國外行車安全規定發現，多數國家並無特殊針對隧道行車安全進行特別規定，除發生重大隧道事故之長隧道於後續災難檢討後進行特定行車安全規範外，多數仍僅要求駕駛者依循該國通用法令或歐盟準則 Directive 2004/54/EC of the European Parliament。以下將就本計畫蒐集之國外長隧道基本資料及相關安全規定，依「雙孔在前/單孔在後」、「可變換車道在前/不可變換車道在後」之原則排列，逐一說明如后

一、日本_東京灣

東京灣跨海大橋是一條橫跨日本東京灣的高速公路，由海底隧道與跨海大橋結合而成，銜接神奈川縣川崎市與千葉縣木更津市。整條公路啟用於 1997 年，需要付通行費用。

全線靠近川崎端為長 9.6 公里之海底隧道；而靠近木更津端為長 4.4 公里之高架橋。兩者的中央銜接處是一座人工島，稱為「海螢」(日文：海ほたる；正式名稱為「木更津人工島」)，島上設有休息站。另外還有一座較小的人工島(正式名稱為「川崎人工島」)，是隧道的通風口。雙孔單向共四車道(有預留未來拓建的空間，未來將規劃為 3 車道)，車道總寬 10.5 公尺(含左側路肩 2.5 公尺，每一車道寬 3.5 公尺(3.5m×2)及右側路肩 1 公尺，設計速率 80 公里/小時且隧道內可變換車道。

二、日本_關越

關越隧道是日本第二長的公路隧道，位於群馬縣・新潟縣，雙孔單向共四車道，往北方向長 11.055 公里，南下方向長 10.926 公里，於 1991 年 10 月全線通車。設計速率為 80 公里/小時，限速為 70 公里/小時且每日交通量為 16,361 輛，開放自用車與大客車通行，並禁止載運危險物品車輛通行，隧道內可變換車道。

三、日本_山手

山手隧道是日本東京都首都高速道路中央環狀新宿線的一部份，自豐島區的高松出入口至品川區的大井交流道為止，全長 18.2 公里。幾乎全線均位於地底下，深約 30 公尺，其中 70% 的部分使用潛盾施工法建造。隧道分為兩條，分別為北向車道及南向車道，於 2015 年 3 月 7 日全線通車後為亞洲最長公路隧道；限速為 60 公里/小時，隧道內可變換車道。

四、法國_秋密斯_Chomise Tunnel

位於法國境內 Geneve 至 Macon 之 A40 公路上，全長約 3.3 公里，採雙孔單向共四車道設計，最高速限 110 公里/小時，交通量 25,000 輛/天(重車比例 20%)，隧道內可變換車道。

五、荷蘭_Westerschelde Tunnel

Westerschelde Tunnel 在荷蘭境內於 2003 年通車，全長為 6.6 公里。雙孔單向共四車道，限速為 100 公里/小時，為荷蘭最長之公路隧道，隧道內可變換車道，大車僅能行駛外側車道。

六、奧地利_Pfander Tunnel

在奧地利境內於 1980 年單孔完成通車、2012 完成雙孔通車，全長為 6.7 公里。雙孔單向共四車道，限速為 100 公里/小時，每日交通量 33,740 輛，而重車比例為 11%，大車僅能行駛外側車道。

七、奧地利_佩拉布_Plabutsch Tunnel

Plabutsch 隧道為奧地利 A9 公路隧道群之主要隧道，位於奧地利南部格拉茲(Graz)西方，南北走向，海拔高度南端 350 公尺、北端 369 公尺，為連結歐洲中部與東南之高速公路。原先東行線長度約 9.92 公里，為單孔雙向，於 1987 年通車，後來因交通量增加於 1999

年改建及開始施工挖掘西行線(長度 10.08 公里)，於 2004 完工開放雙孔單向共四車道通車，速限為通過隧道平均時速不可超過 100 公里，現況車流量約每日 3 萬輛(重車比例 25%)。人行連絡道路：每 424m/處。車行連絡道路：每 1.6 公里/處。緊急停車彎：每 850 公尺/處，大車僅能行駛外側車道。

八、奧地利_托恩_Tauern Tunnel

Tauern Tunnel 位於奧地利境內，建於 1975 年，是穿越阿爾卑斯山連接南北歐洲的交通幹道，長 6.4 公里，縱坡 1.5%，為全橫向通風，單孔雙向，每一方向均為單車道，每車道 3.75 公尺，兩邊有 1 公尺的路肩，每日交通量 14,000 輛，尖峰日交通量常常達到 4 萬輛，19%為大型載重車。1999 年火災事故發生，施工後改雙孔單向交通，大車僅能行駛外側車道。

九、義大利_格蘭薩索_Gran Sasso Tunnel

Gran Sasso Tunnel 在義大利境內於 1984 年通車，全長為 10.2 公里。雙孔單向車道，限速為 100 公里/小時，隧道內可變換車道，大車僅能行駛外側車道。

十、德國_蕊斯提_Rennsteig Tunnel

為德國最長公路隧道，全長約 7.9 公里，隸屬 Autobahn A71 公路之隧道群，位於法蘭克福東北方約 160 公里 Thuringian 州南部，穿越 Thuringian Forest (圖林根森林)，橫越德國中部的一大山林區。2003 開放通車，採雙孔單向配置，開放大貨車通行。超速取締，隧道兩端設置車牌辨識系統，以進出時間決定是否超速，並不考慮隧道內車速；危險物品運送，進入隧道前先找一 Safety Car(私人公司所有)，車後隨同警戒，再向控制中心通報，控制中心管制封閉車道。隧道內可變換車道，大車僅能行駛外側車道。

十一、中國_終南山_Zhongnanshan Tunnel

穿越秦嶺山脈的終南山，隧道長 18.04 公里，雙孔單向共四車道。最高海拔 1026 公尺、最低海拔 896 公尺，高度 7.6 公尺寬度 10.9 公尺，坡度 1.1%，全線採用四車道設計通過速度 80 公里/小時，隧道內不能變換車道，禁止危險品通行。

十二、挪威_奧斯陸峽灣_Oslofjord Tunnel

Oslofjord Tunnel 位於挪威境，內於 2000 年通車，全長為 7.3 公里，屬於海底公路隧道橫跨奧斯陸峽灣。單孔雙向車道，限速為 70 公里/小時，每日交通量 6,800 輛，隧道內部分路段為雙向兩車道，開放駕駛人可變換車道。

十三、日本_飛驒

飛驒隧道是日本東海北陸自動車道由岐阜縣的飛驒市河合町和大野郡白川村間的高速公路隧道，長達 10,710m，為日本第三長的公路隧道。礙於經費問題，目前以暫定兩車線單孔雙向通車，限速為 80 公里/小時。

十四、法義_弗雷瑞斯_Fréjus Tunnel

Fréjus 位於法國與義大利間，全長為 12.9 公里，於 1980 年通車，採用全橫流式通風。單孔雙向車道，限速為 70 公里/小時，每日交通量 4,507 輛(重車比例為 46%)，隧道內不能變換車道，隧道口有設置管制柵欄，強迫前後車輛保持安全車距。

十五、法義_白朗峰_Mont Blanc

白朗峰隧道位於法國與義大利間，全長 11.6 公里，建於 1965 年，採用全橫流式通風，送排風通道設在隧道底部，實行單孔雙向兩線交通。該隧道由法國和義大利共同管理，隧道兩端出口均設有監控中心。

此隧道曾於 1999 年 3 月 24 日因貨車失火，死亡人數 41 人；為了防止車輛未保持安全車距，造成車輛追撞因而引起火災，於隧道洞口設置管制柵欄，每隔 10 秒放行一部車子進入隧道，強迫前後車輛保持約 150 公尺安全車距，行車速限降為 70 公里/小時。對易燃等危險物品運送之限制。

隧道內側壁每隔 150 公尺設置一藍色 LED 燈，以提醒駕駛人保持安全車距，此車距係考慮車輛之煞車距離及停車後與前方車子之安全距離(約 100 公尺)，以避免前方車子發生火災時產生延燒之現象。(St. Gotthard 隧道亦有此新規定)

十六、瑞士_聖哥達_St. Gotthard Tunnel

聖哥達隧道位於瑞士境內，穿越瑞士蘇黎世東南阿爾卑斯山脈聖哥達峰於 1969 年興建，1980 年通車，全長約 16.9 公里，單孔雙向共兩車道，限速 80 公里/小時。交通量自通車後逐年增加，每年約超過 680 萬輛，其中重車平均比例超過 20%，平常工作日重車比例更高達 20~40%之間，更提高意外事故發生風險，此隧道曾於 2001 年 10 月 24 日因貨車對撞失火，死亡人數 11 人。每日交通量為 20,000 輛，隧道口採用大車夾小車方式並保持車距 50~150 公尺之間，以確保行車安全。

十七、瑞士_碼普-摩瑞提納_Mappo-Moretina

Mappo-Moretina 在瑞士境內於 1996 年通車，全長為 5.5 公里。單孔雙向車道，限速為 80 公里/小時，每日交通量 22,259 輛，而重車比例為 5%，無特殊管制策略。

十八、瑞士_聖貝納_San Bernardino Tunnel

San Bernardino 位於瑞士境內，於 1967 年通車，全長為 6.6 公里。單孔雙向車道，限速為 80 公里/小時，

每日交通量 10,000 輛，隧道狹窄不適合重車通行，隧道內管制行車間距 150 公尺。

十九、挪威_居德旺恩_Gudvangen Tunnel

Gudvangen 位於挪威境內，於 1991 年開通，全長為 11.4 公里。單孔雙向車道，每日交通量 2,000 輛。為挪威第二長公路隧道，隧道內禁止變換車道，隧道口有設置管制柵欄。

二十、挪威_洛達爾_Laerdal Tunnel

Laerdal Tunnel 位於挪威境內，於 1995 年通車，全長為 24.5 公里，屬全世界最長之公路隧道。單孔雙向車道，每日交通量 1,000 輛。是全世界第一個內部配有「空氣處理廠」的隧道，它位在艾於蘭(Aurland)入口 9.5 公里處，負責排出灰塵和二氧化氮，無特殊管制策略。

二十一、挪威_Seljestad Tunnel

Seljestad Tunnel 在挪威境內於 1964 年通車，全長為 1.2 公里。單孔雙向車道，限速為 80 公里/小時，每日交通量 1,350 輛，而重車比例為 20%，無特殊管制策略。

二十二、挪威_弗戈夫納_Folgefonn Tunnel

Folgefonn Tunnel 在挪威境內於 2001 年通車，全長為 11.15 公里。單孔雙向車道，限速為 60 公里/小時，是挪威第三長的公路隧道，無特殊管制策略。

二十三、奧地利_爾貝格_Arlberg Tunnel

Arlberg Tunnel 位在奧地利，於 1978 年完工全長 13.9 公里屬於單孔雙向，限速為 80 公里/小時，每日交通量 8,807 輛，重車比例為 18%，無特殊管制策略。

二十四、奧地利_Gleinalm Tunnel

Gleinalm Tunnel 在奧地利境內於 1978 年通車，全長為 8.3 公里。單孔雙向車道，限速為 80 公里/小時，每日交通量 21,000 輛，整修施工中，預計 2017 年完成新孔建設工程。

二十五、奧地利_卡拉萬克_Karawanken Tunnel

Karawanken Tunnel 在奧地利境內於 1991 年通車，全長為 7.9 公里。單孔雙向共兩車道，限速為 80 公里/小時，每日交通量 7,000 輛，大車行車間距為 150 公尺，預計 2023 年完成雙孔單向通車。

表 2.1-2 國外長隧道安全規定綜整

項次	隧道名稱	長度 (公里)	斷面型式	車流量 (輛/日)	重車 比例	最高/最低速限 (公里/小時)	車間距 (公尺)	變換 車道	備註
1	日本_東京灣	9.6	雙孔單向共四車道	--	--	80/無	-- ^註	可	
2	日本_關越	11.0	雙孔單向共四車道	16,361	--	70/無	-- ^註	可	
3	日本_山手隧道	18.2	雙孔單向共四車道	--	--	60	-- ^註	可	首都環線高速公路地下段
4	法國_秋密斯 Chomise	3.3	雙孔單向共四車道	25,000	0.20	110/無	-- ^註	可	
5	荷蘭_Westerschelde	6.6	雙孔單向共四車道	--	--	100/無	-- ^註	可	大車僅能行駛外側車道,不可變換
6	奧地利_Pfander	6.7	雙孔單向共四車道	33,740	0.11	100/無	-- ^註	可	大車僅能行駛外側車道,不可變換
7	奧地利_佩拉布 Plabutsch	10.0	雙孔單向共四車道	30,000	0.25	80/無	-- ^註	可	大車僅能行駛外側車道,不可變換
8	奧地利_托恩 Tauern	6.4	雙孔單向共四車道	14,000	0.19	100/無	-- ^註	可	大車僅能行駛外側車道,不可變換
9	義大利_格蘭薩索 Gran Sasso	10.2	雙孔單向共四車道	--	--	100/無	-- ^註	可	大車僅能行駛外側車道,不可變換
10	德國_蕊斯提 Rennsteig	8.7	雙孔單向共四車道	--	--	80/無	-- ^註	可	大車僅能行駛外側車道,不可變換
11	中國_終南山	18.0	雙孔單向共四車道	--	--	80/60	-- ^註	無	設置特殊燈光帶,透過不同的燈光和幻燈圖案變化以減輕在長隧道行車之單調

項次	隧道名稱	長度 (公里)	斷面型式	車流量 (輛/日)	重車 比例	最高/最低速限 (公里/小時)	車間距 (公尺)	變換 車道	備註
12	挪威_奧斯陸峽灣 Oslofjord	7.3	單孔雙向共三車道	6,800	--	70/無	-- ^註	可	部分路段為雙向兩車道
13	日本_飛驒	10.7	單孔雙向共兩車道	--	--	70	-- ^註	無	中線以回復式導桿區隔
14	法義_弗雷瑞斯 Fréjus	12.9	單孔雙向共兩車道	4,507	0.46	70/50	150	無	隧道口設置管制柵欄
15	法義_白朗峰 Mont Blanc	11.6	單孔雙向共兩車道	5,500	0.40	70/50	150	無	隧道口設置管制柵欄
16	瑞士_聖哥達 St. Gotthard	16.9	單孔雙向共兩車道	20,000	--	80/60	小車 50 大車 150	無	隧道口採用大車夾小車
17	瑞士_碼普摩瑞提納 Mappo-Morettina	5.5	單孔雙向共兩車道	22,259	0.05	80/無	-- ^註	無	
18	瑞士_聖貝納迪諾 San Bernardino	6.6	單孔雙向共兩車道	10,000	--	80/無	大車 150	無	--
19	挪威_居德旺恩 Gudvangen	11.4	單孔雙向共兩車道	2,000	--	70/無	-- ^註	無	隧道口設置管制柵欄
20	挪威_洛達爾 Laerdal	24.5	單孔雙向共兩車道	1,000	--	80/無	-- ^註	無	設置特殊燈光帶，透過不同的燈光和幻燈圖案變化以減輕在長隧道行車之單調
21	挪威_Seljestad	1.27	單孔雙向共兩車道	1,350	0.20	80/無	-- ^註	無	--

項次	隧道名稱	長度 (公里)	斷面型式	車流量 (輛/日)	重車 比例	最高/最低速限 (公里/小時)	車間距 (公尺)	變換 車道	備註
22	挪威_弗戈夫納 Folgefonn	11.1	單孔雙向共兩車道	--	--	60/無	-- ^註	無	--
23	奧地利_爾貝格 Arlberg	14.0	單孔雙向共兩車道	8,807	0.18	80/無	-- ^註	無	--
24	奧地利_Gleinalm	8.3	單孔雙向共兩車道	21,000	--	80/無	-- ^註	無	整修施工中， 預計 2017 年完成新孔建設工程
25	奧地利_卡拉萬克 Karawanken	7.9	單孔雙向共兩車道	7,000	--	80/無	大車 150	無	預計 2023 年完成新孔建設工程

註 1：表示該隧道無特殊規定，隧道內車間距規定比照上下游路段於該屬國之一般規定

註 2：各國行車安全規定請見表 6.2-1 國外相關行車安全距離與時間間距規定彙整表

綜整以上國外 25 處長隧道安全及相關規定檢討彙整如下：

(一)變換車道規定

- 1.若屬雙孔單向者隧道(除中國終南山隧道外)並
不禁止變換車道
- 2.為了減少多重法令，造成駕駛混淆，比照一般
道路進行管制，即無特殊限制條件下隧道內可
變換車道
- 3.部分隧道大型車輛實施強制行駛外側車道，禁
止變換車道規定

(二)行車間距規定

- 1.多數長隧道於行車間距部份並未訂定特殊標準
- 2.為了減少多重法令，造成駕駛混淆，比照一般
道路，維持上下游一致的路段管制規定
- 3.除了少數曾發生重大事故之長隧道(如白朗峰隧
道)則重新檢討提高安全間距標準
- 4.加強宣導隧道口前或隧道內保持安全距離之重
要性

整體而言，國內長隧道行車安全規定對比國外確實十分嚴謹，安全係數高，本計畫將於後續分析中檢討國道 5 號雪山隧道於行車安全規定調整之可行性，且針對倘具可行性之方案提出未來實施之建議原則。

2.1.3 隧道事故分析文獻

一、高速公路隧道交通安全問題及對策分析(何家祥,馬璐,鄭衛東,「公路交通技術」,2006 年第三期 P130-132)

此研究針對中國西南地區事故資料進行研究分析，歸納高速公路發生隧道交通事故主要發生原因如下：

- (一)隧道入口路段線型為彎道或坡道路段，尤其易發生於多彎道或長下坡路段。
- (二)由於瀝青具有可燃性，不利於隧道消防，隧道內多採用水泥路面，而隧道外多為瀝青路面，使隧道內外道路摩擦係數有所差異較易發生事故。
- (三)隧道內外光線差異，易產生眩光情形而影響行車安全。
- (四)隧道入口處積水問題較難解決，於雨天部分路段在隧道入口處往往積水較多，而易發生事故。
- (五)隧道車輛排放的廢氣和車輛的揚棄廢塵不易排除，廢塵和廢氣在一段時間後容易累積於路面上，降低了路面的摩擦係數。

此外該研究針對中國西南地區之隧道交通事故特徵分析如下：

- (一)冬季山地結冰現象嚴重，春季雨水較多，路面濕滑，致使冬、春季隧道交通事故較多。
- (二)超限運輸是事故發生的主要原因，尤以貨車及微型車之事故數量較多，其原因為貨車及微型車輛的重心高，當車速過快時較難維持行車穩定性。
- (三)隧道交通事故主要以追撞事故居多，且連環追撞事故佔一定比例。

二、The road safety of motorway tunnel(SWOV, Institute for Road Safety Research,2011 年 8 月)

此研究藉由國際相關研究探討隧道的安全問題和事故原因，並比較荷蘭現有隧道設施，建議可由增加緊急車道，改善隧道內照明設備減少光線等方式減少事故發生；茲將相關事故原因條列如下：

- (一)無緊急車道：有車輛故障時停等於車道等待救援時易影響後方車輛。

- (二)幽閉恐懼：在長隧道密閉空間行駛易使駕駛產生焦慮而降低車速，因而影響後方車流或中斷交通。
- (三)坡度：坡度越陡易影響車速，而增加車輛所需之煞車距離，故坡度越陡事故發生率相對提高。
- (四)隧道設計：越複雜的隧道幾何設計易產生視覺混淆，而影響行車安全。
- (五)照明情形：若隧道內照明設備無法適度調節與隧道外光線的差異，易使駕駛產生眩光情形影響車輛駕駛
- (六)其他因素：長隧道視覺單調易使駕駛分神，或於單孔隧道中容易受對向車輛干擾

三、Comparative Analysis of Safety in Tunnels (Nussbaumer Cornelia, Young Researchers Seminar 2007, Brno)

此研究針對奧地利事故發生特性分析如下：

- (一)隧道的長度對事故有相當影響，相較於不到一公里長的隧道，長隧道具有較高的事故率。
- (二)雙孔單向隧道事故發生率為 0.076(事故件數/百萬行駛公里數)，較低於單孔雙向隧道之事故發生率 0.088。
- (三)位於入口前及出口後之路段事故發生率較高於隧道內之路段，其中隧道入口路段事故主要係因大多數為駕駛未留意隧道內交通堵塞情形及隧道所顯示之燈號資訊所致。

另針對事故肇事原因分析如下，其中雙孔單向隧道之主要肇事原因為未與前車保持安全距離所導致的追撞事故，且因超速所致之事故發生率較高於單孔雙向隧道；研究並依據分析結果建議於隧道內安裝距離偵測、雷達及相關管制設施，並針對貨車及大客車疲勞

駕駛情形更頻繁地檢測，以減少事故發生。

- (一)不良駕駛行為：未與前車保持安全距離、不當超車、未行駛於規定之車道。
- (二)駕駛誤解：誤解道路和交通工程之設計、氣象條件、其他駕駛車輛之駕駛行為。
- (三)駕駛注意力不集中：疲勞、分心等。
- (四)超速

四、Analysis of tunnel-accident data and recommendations for data collection and accident investigation (E. Krausmann, F. Mushtaq)

此研究蒐集歐洲地區公路、鐵路及地鐵隧道之事故資料進行趨勢分析，如：事故發生季節、時段、車種、隧道長度、肇事原因等，發展隧道事故調查方法論，並提出未來事故分析之程序和相關建議，茲將肇事之主要因素分列如下：

- (一)車輛故障：剎車失靈、引擎熄火。
- (二)人為失誤：超速、不當變換車道。
- (三)自然或隧道條件：天候、道路線型。
- (四)其他或未知因素

五、Road Safety in Tunnels with Uni-and Bi-directional traffic in Austria (Robatsch K., Nussbaumer C, International Conference „Tunnel Safety and Ventilation “ 2004, Graz)

依據奧地利隧道事故資料針對雙孔及單孔隧道分析其事故特性和原因如下，並建議採用測速雷達、使用儀器監測車距或相關隧道管制設施，並於入口端告示，可提高駕駛警覺減少事故發生。

- (一)同向車輛發生事故比例(含追撞及變換車道)，單孔

雙向隧道較高於雙孔單向隧道，此係因後者發生事故原因僅有未保持安全距離。

- (二)單孔雙向隧道之事故率高於雙孔單向隧道，但兩者傷亡率差異不大。
- (三)隧道肇事率與隧道長度及隧道交通密度成正比。
- (四)單孔雙向隧道發生對撞事故機率較高，而雙孔單向車道則以發生追撞事故機率較高。
- (五)長隧道之事故發生率、傷亡率、影響車輛數等明顯高於 1 公里以下之隧道，且發生於入口端比例較高。
- (六)未依速限行駛及未保持安全距離是隧道發生事故之主要因素。

2.2 放寬行車安全規定課題探討

現況雪山隧道行車管制策略較為嚴謹，除全線禁止變換車道外、行車間距及速限亦有較嚴格之限制，為瞭解適度放寬行車安全規定之可行性，本計畫將針對行車安全與道路容量等層面可能面臨之課題彙整如下，作為後續評估基礎。

2.2.1 行車安全影響層面

- 一、現況雪山隧道規範嚴謹，較難掌握事故因子與行車管制策略之關連性

考量雪山隧道內視線受限且路側無額外空間規劃路肩，倘有事故發生將嚴重影響車流續進。為瞭解放寬行車安全規定是否會影響行車安全，應針對人、車、路及環境等四大項目探討(如圖 2.2-1 所示)，以全面掌握事故肇因。

然現況雪山隧道內禁止變換車道且規定兩車行車安全間距為 50 公尺，大客車行車安全間距 100 公尺，管制策略較為嚴謹，自通車以來鮮少發生事故，因此較難從事故資料歸納其與行車管制策略之關連性。



圖 2.2-1 事故因子組成

二、不同駕駛人對安全認知程度與反應時間不同

交通部運輸研究所相關研究指出，一般駕駛人發現危險情況後，反應時間為 0.4~0.5 秒，右腳由加油踏板移至煞車踏板之時間為約 0.2 秒，踩煞車踏板所需時間約 0.1 秒。因此一般駕駛人在行進中，突然發現危險情況後即刻採取煞車措施，車輛必須空走 0.7~0.8 秒才產生煞車效果。

然實際反應時間將受到駕駛人各種生理、心理及環境等因素影響，故不同駕駛人在不同的身心狀態及交通狀況下，反應時間略有差異。因此，如何瞭解不同駕駛人(年齡、性別、駕駛行為特性)對安全間距及反應時間之差異性，將視為後續擬定隧道內安全間距及速限調整之重要依據。

三、如何有效評估駕駛人對管制策略之適應程度

依據國道高速公路局「103 年國道事故檢討分析報告」，近三年來國道肇事統計約 80%之原因是屬於駕駛人因素，其中以「未保持行車安全距離(約 53%)」、「變換車道或方向不當(約 11%)」及「未注意車前狀態(約

7%)」為主要三大肇因。

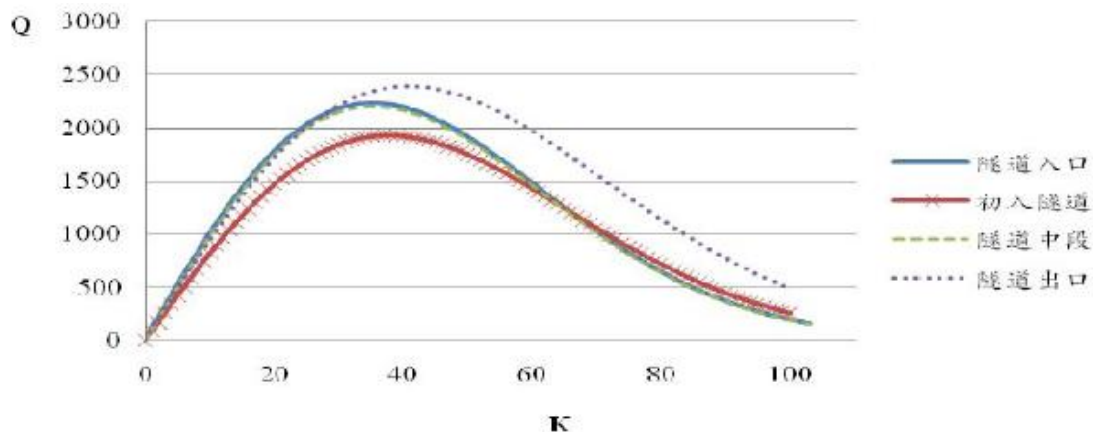
另該分析報告顯示國道 5 號近三年之肇事率分別為 0.2814 件/mvk、0.4065 件/mvk、0.4052 件/mvk，呈現上升趨勢，而調整安全規定將牽動事故發生機率。因此如何有效評估駕駛人對管制策略之適應程度，將視為本計畫重要課題。

2.2.2 道路容量影響層面

一、開放可變換車道是否真能增加雪山隧道容量

雪山隧道現況車流特性因全線採禁止變換車道管制，部分上游車流因下游車流速度較慢，導致車道容量降低之情形。然而，倘若開放隧道內駕駛人可變換車道，原規律之跟車行為將趨於複雜，車道容量亦可能降低，且於不同車流量之基礎下預期將產生不同之影響，如何有效掌握各流量區間開放變換車道與跟車行為變化之關係，應視為本計畫重要課題。

此外，依據許添本/蘇士縝於隧道路段車流模式與跟車模擬(2009)之研究顯示，雪山隧道雖全線單向二車道配置，但在隧道入口、初入隧道、隧道中段及隧道出口之容量及車流特性皆有不同(如圖 2.2-2 所示)，故未來分析亦需有效掌握車流於隧道各路段之變化特性，以掌握變換車道對於道路容量之影響。



資料來源：隧道路段車流模式與跟車模擬之研究(2009)

圖 2.2-2 雪山隧道不同路段車流特性圖

二、不同變換車道管制方式對車道容量之影響

雪山隧道長達 12.9 公里，在視距、坡度等不同環境條件下，開放變換車道需有不同管制方式，例如全線禁止變換車道、單邊開放變換車道及雙向開放變換車道。然此方式將同樣改變雪山隧道全線容量趨於一致之現況，進而產生因上下游流量不同而導致的車流衝擊波效應(如圖 2.2-3 所示)，影響整體隧道容量。故本計畫後續將依據現有交通安全規定，針對雪山隧道全線進行檢討，確認可開放變換車道之路段與相對位置，並妥善瞭解不同管制路段方式對車流特性之影響，以及可能產生之衝擊波效應皆須進行完整分析。

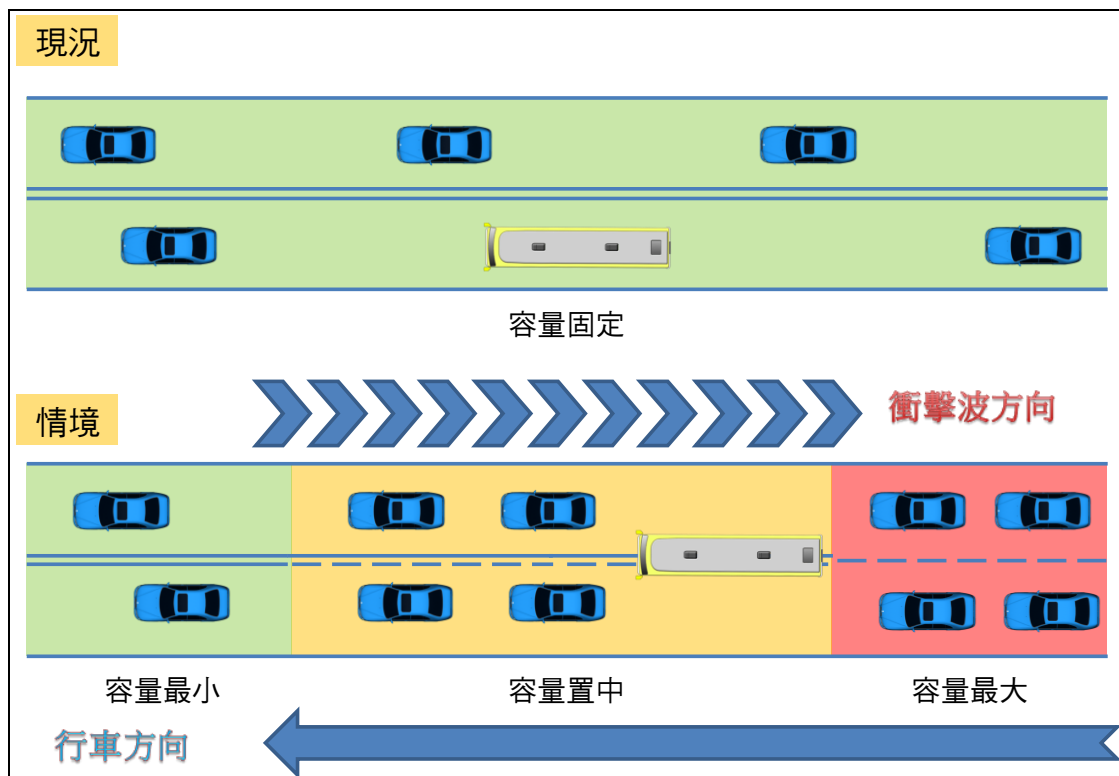


圖 2.2-3 變換車道管制方式不同產生之衝擊波效應示意圖

2.2.3 其他風險影響層面

雪山隧道通車後縮短臺北往返宜蘭之距離，因此假日觀光旅次大幅增加導致現況雪山隧道於假日尖峰時段多呈現交通壅塞之情形。為提高隧道服務流率，需藉由開放速限或調整相關安全規定等管制策略，然此作法存在事故發生

風險，故效率及安全之權衡探討亦為本計畫重要課題。茲彙整調整安全規定後相關隱含風險如下。

一、開放變換車道，駕駛行為複雜化

如前所述，倘若開放駕駛人於隧道內可變換車道，原規律之跟車行為將趨於複雜，依據高公局歷年事故統計資料顯示，「變換車道不當」及「未保持行車安全距離」一直為主要肇事原因，若放寬此安全規定，預期將提高事故發生風險。

二、隧道內總車流量增加，影響事故發生時緊急疏散效率

放寬雪山隧道現有安全規定，初判隧道內總車流量將隨之提升，依據吳建生/俞裕中於台灣公路工程月刊「建立公路隧道安全評估方法」之研究，車流量增加代表隧道內車輛曝光量(exposure)增加，亦即車輛使用隧道時，實際曝露於隧道中之潛在危險能量愈大，導致隧道發生意外之機率愈高。

然而對於長隧道而言，發生事故地點有時距離出口甚遠，故通常防災對策須針對車道數、車輛數、防災設施等設置緊急避難路徑。由於調整安全規定後隧道可提供較高容量，同時意味著可能增加整體隧道內之總車輛數及逃生人數。

以隧道內封閉空間之特性，根據國內外公路隧道事故案例經驗，火災在 3~5 分鐘內，溫度可能上升至 1000 °C 以上，並於事故地點產生大量濃煙恐對人命安全產生危害，故逃生人數及車輛增加是否影響整體紓解時間及消防救災效率將為重要探討課題。

三、應整體考量衍生風險之社會成本

安全規定調整將伴隨一體兩面之效益，如放寬安全規定可能提升道路容量使用效率，車流順暢亦有助於提升整體空氣品質及改善隧道內高溫環境，但亦可能衍生其他潛在危害風險如行車安全。故調整安全規定前

建議應確認各個面向潛在風險，並考慮各潛在風險發生後所可能產生之衍生損失之社會成本，作為最後方案實施之參考。

參、雪山隧道交通特性與事故特性分析

3.1 交通特性分析

3.1.1 國道 5 號日期流量特性

國道 5 號為臺北與宜蘭地區連接的主要廊道，周期特性呈現方式係透過 VD 大數據，以國道 5 號雪山隧道南口 28K 處 2014 年 1 月 1 日至 2015 年 6 月 30 日斷面流量資料分析南北向日流量分布，如下圖 3.1-1~3.1-2，其縱軸代表月份，橫軸代表日期。

將北向日流量減南向日流量，得到每日南北流量差異變化，負值表示南向多於北向流量，流量停留於宜蘭地區未北返；反之，正值表示北向流量多於南向流量，較多流量於當日北返，如圖 3.1-3 所示，其南北向月平均流量彙整於表 3.1-1。

表 3.1-1 雪山隧道南北向月平均流量

年份	月份	月平均流量(輛)	
		北上	南下
2014	1	26,119	27,335
	2	29,629	28,054
	3	27,154	25,905
	4	28,047	27,399
	5	28,422	28,420
	6	30,656	29,731
	7	31,097	30,777
	8	32,774	32,538
	9	28,568	28,998
	10	29,923	29,620
	11	30,208	29,583
	12	28,757	28,422
2015	1	29,779	29,431
	2	30,773	31,511
	3	28,952	28,163
	4	29,289	29,013
	5	29,934	29,234
	6	28,914	27,691

資料來源：本計畫彙整。

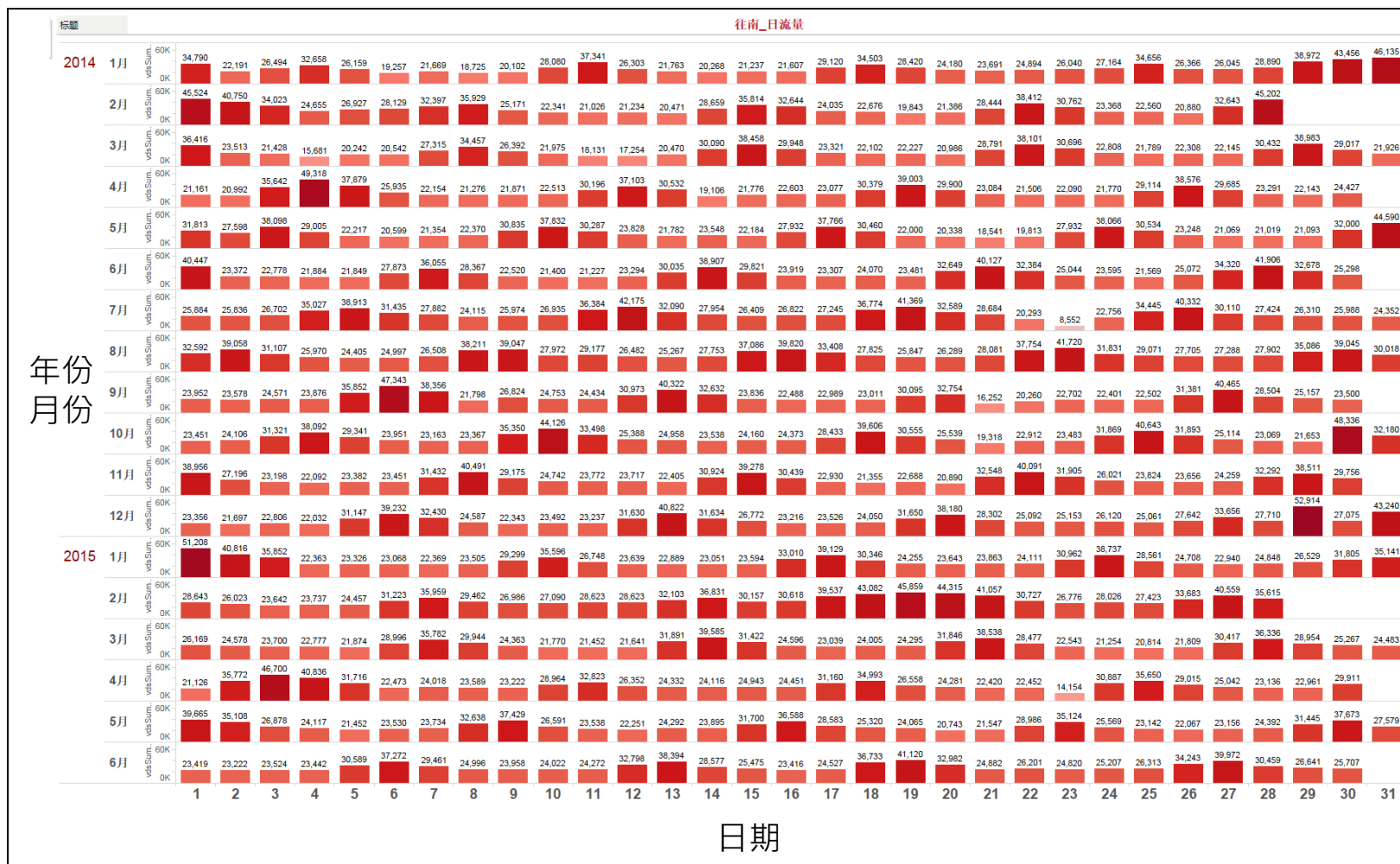


圖 3.1-1 雪山隧道南向日流量

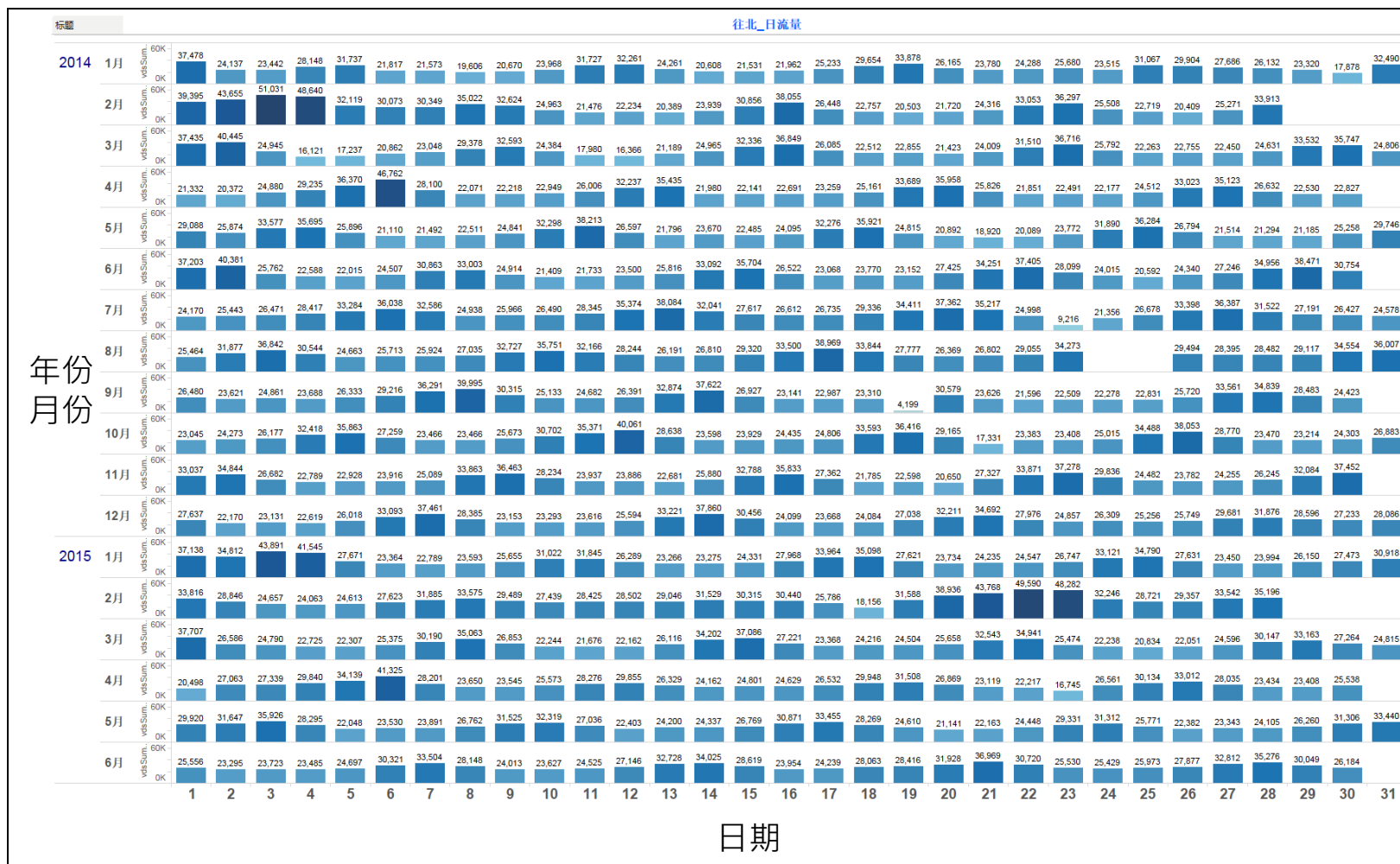


圖 3.1-2 雪山隧道北向日流量

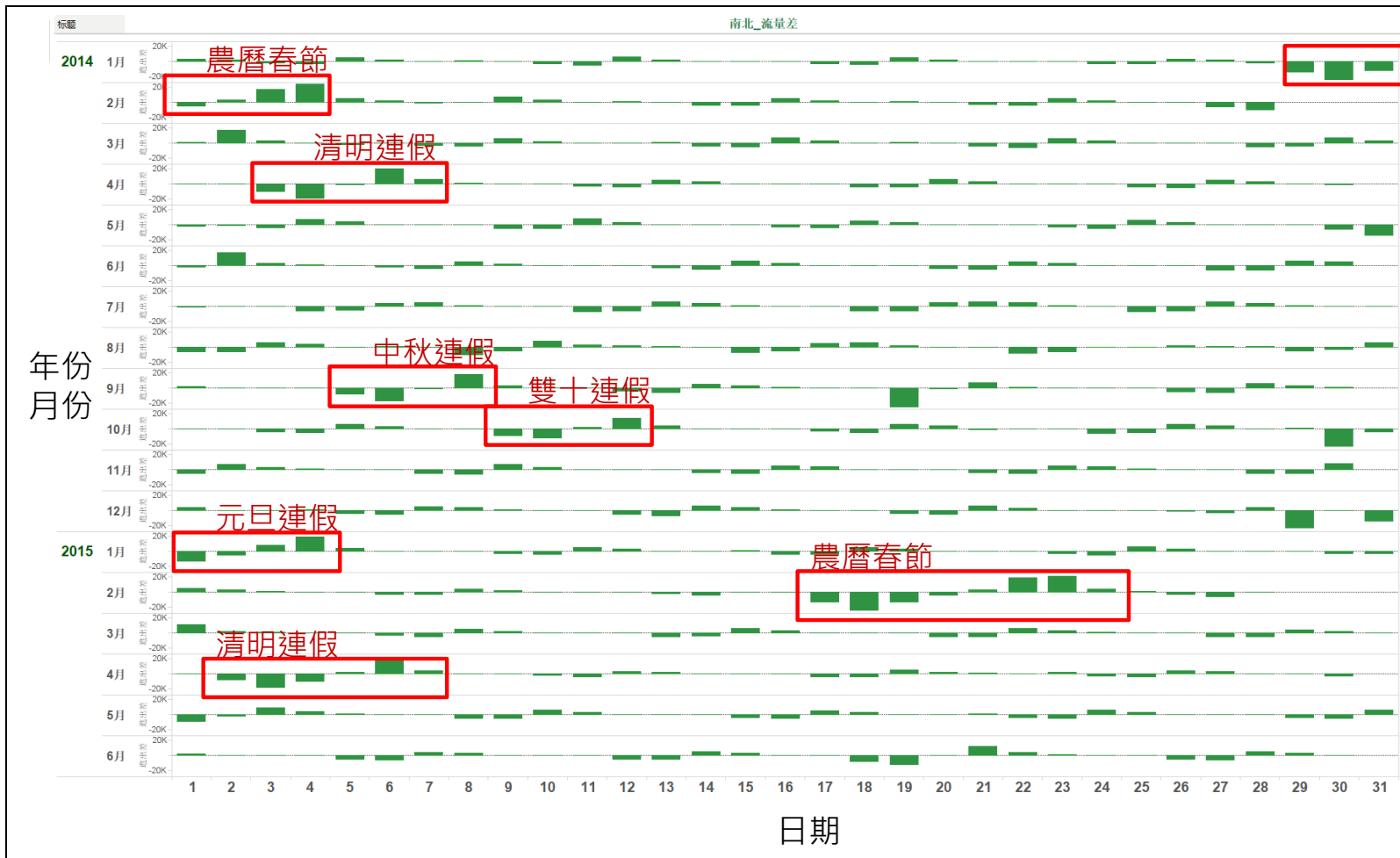


圖 3.1-3 雪山隧道南北向日流量差

於南北流量差異上對應平日、一般假日與連續假日可分析於國道 5 號車流之週期特性：

一、一般週期特性：

週二至週四平日時段南北進出流量差趨於平衡，而自週五開始南下流量漸增，至週六達到尖峰並於週日流量差轉往北向，持續至週一，以七日為周期循環。

二、連續假期特性：

由圖 3.1-3 可明顯發現，連續假期南北流量特性可將假期分為假期前段與假期後段，於假期前段南向流量高於北向，至假期第二天達到高峰，反之於假期後段北向車流量漸增，於假期最後一天為尖峰。

而後分析 2014 年 1 月至 2015 年 6 月資料，將流量以小時區分觀察流量分時變化，並與平均速率繪製關係圖，如圖 3.1-4~3.1-5 所示，橘色長條圖為分時流量、藍線為小時平均速率，當圖中流量上升而速率陡降時則意味著此時車流狀況產生壅塞。

由此分時流量速率圖可看出，南北向流量與速率的變化特性有著明顯差異，南向的速率整年近乎維持著穩定 80 公里，僅少數連續假期流量增加而造成速率產生些微下降；而北向速率流量特性與前述南北流量差特性相似，有著週期性變化，於週日及連續假期收假日易發生壅塞現象，僅於 7、8 月時段，因童玩節及學生暑假期間，壅塞情形發生較為頻繁。至 2015 年 4 月後，北向壅塞特性產生改變，主要原因係 2015 年 3 月底公警局對外宣布科技執法效應，並開始發酵造成用路人跟車行為轉趨保守，至平常日下午易經常壅塞現象。

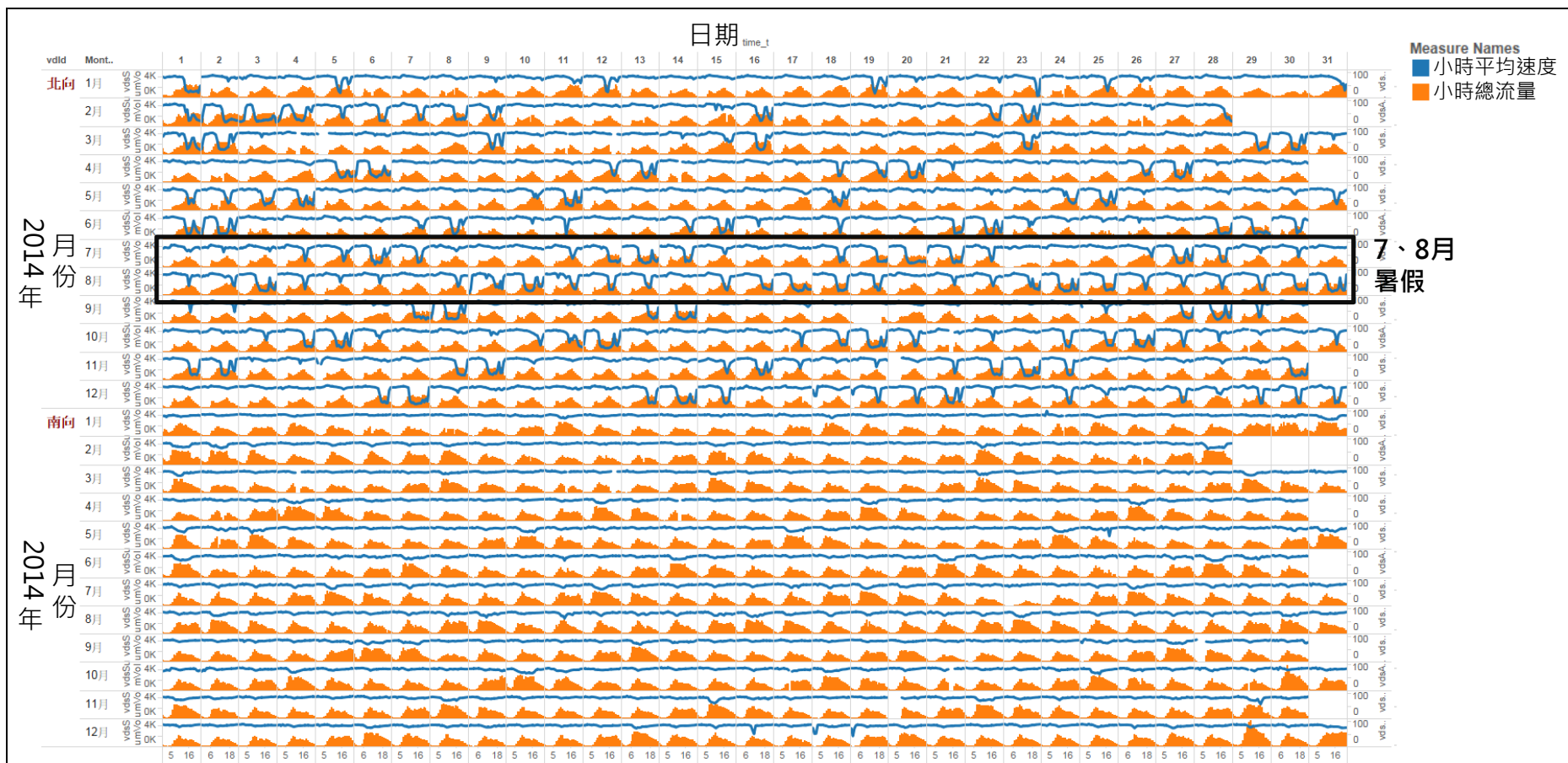


圖 3.1-4 2014 年雪山隧道南口分時流量速率圖

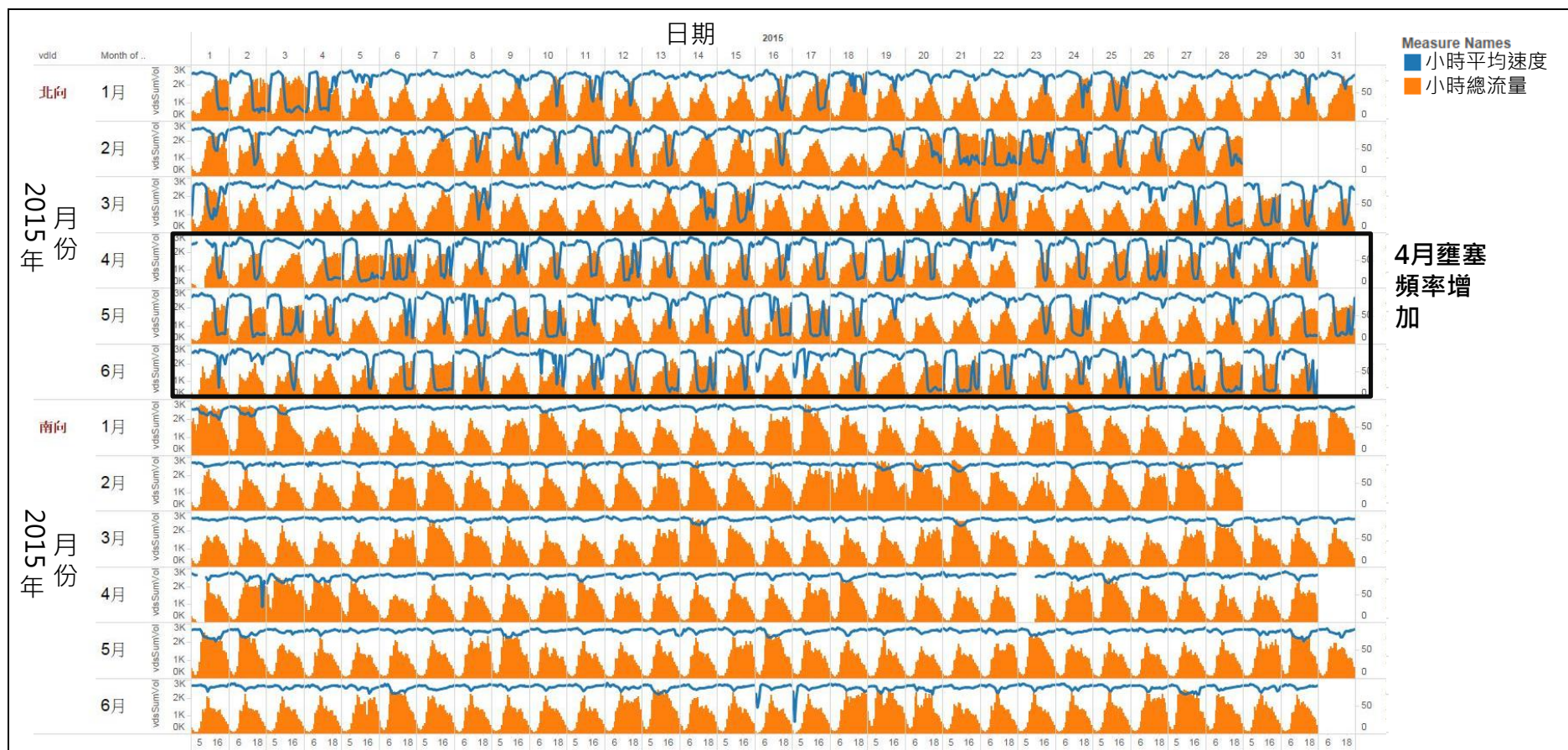
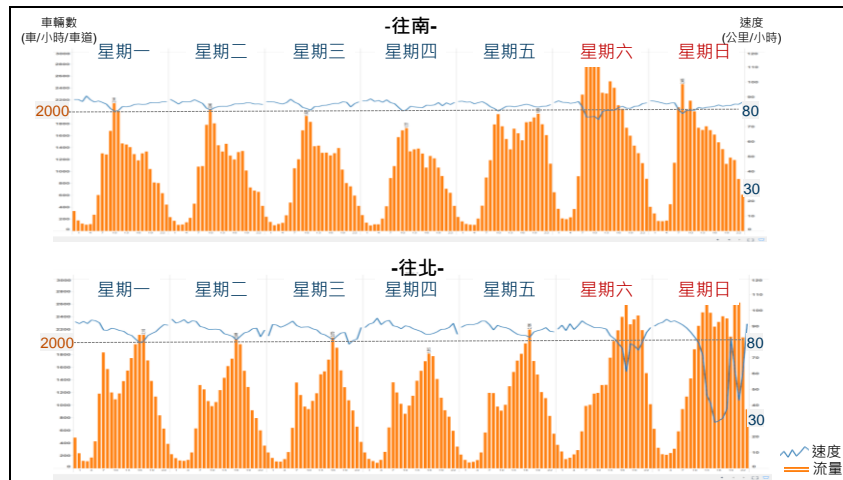


圖 3.1-5 2015 年雪山隧道南口分時流量速率圖

於分時流量速率圖中，擷取一週資料，如圖 3.1-6，發現其流量維持於每小時於 2,000~2,200 輛車以內，南北向速率皆能維持在 80 公里以上，一旦流量大於 2,200 輛車以上，會產生陡降的現象。南向僅於週六上午流量增加而造成速率下降，北向的速率震盪較為明顯，而至週六下午起便開始發生壅塞現象，至週日中午壅塞最為嚴重。



註：整理雪山隧道南口 105/3/10~16 資料。

圖 3.1-6 雪山隧道南口分時流量速率圖

分析雪山隧道南口流量特性，並輔以速率探討其週期變化大致可總結於以下幾點：

- 一、南北流量有著週期性變化，於週二至週四南北向流量平衡，至週五起南向流量增加，以週日至週一北向流量高於南向。
- 二、連續假期流量明顯高於平日，並於假期前至假期中南向流量高於北向，第二天達南向高峰，而收假日當天北向流量最高。
- 三、南向速率維持穩定狀態，而北向速率隨週期特性當北向流量增加便產生壅塞，其壅塞流量臨界值約為 2,200 輛/小時。
- 四、於 2015 年 4 月起北向壅塞特性產生改變，於週間平日亦產生壅塞。

3.1.2 時空速率分析

雪山隧道南北向流量有著一般週期特性與連續假期特性，就其流量特性，擷取 2015 年 10 月份雙十連假及連假前一週平日分析雪山隧道內時空速率圖，以觀察平日、假日雪山隧道內速率的變化過程，如圖 3.1-7 為平日雪山隧道時空速率圖，而圖 3.1-8 為雙十連假過程雪山隧道內速率的變化狀況，圖左為北上方向，圖右為南下方向，縱軸為時間，橫軸為 VD 資料的公里數。

由圖 3.1-7 看出，雪山隧道南下方向於平日時，上午 9 時左右速率些許下降，但速率仍可維持於 70 公里以上；然而北上方向於平日下午 3 時便開始產生壅塞現象，速率降至 40 公里以下，此現象一直維持至下午 7 時才漸漸開始紓解。

圖 3.1-8 中，於連假第一日北上方向與平日特性產生差異，北上方向速率持續維持順暢，反之南下方向車流於上午 7 時至 10 時產生一陣壅塞車潮，並於 10 月 10 日 12 時前斷斷續續出現零星的速率下降的情況，最低速率也僅至 60 公里，並未產生嚴重塞車現象。

至假期中後段，於 10 月 10 日 12 時後，北上開始產生嚴重壅塞，此壅塞時間長達 12 小時，至 11 日凌晨才漸漸疏解，11 日提前至 10 時開始壅塞，持續至下午 6 時，而後因高乘載管制於下午 8 時結束，產生了第二次壅塞。

其雪山隧道平、假日時空速率圖分析大致可看出幾點特性：

- 一、南向僅放假當日才有壅塞現象，而北上於平日下午 4 時至 7 時便會產生壅塞，並於假期中便開始發生大規模塞車。
- 二、於高乘載管制結束後，北上會再產生一次壅塞。

由於南向壅塞問題並不嚴重，問題點皆發生於北上方向，故進一步討論北上方向時空速率圖，分析其壅塞特性。

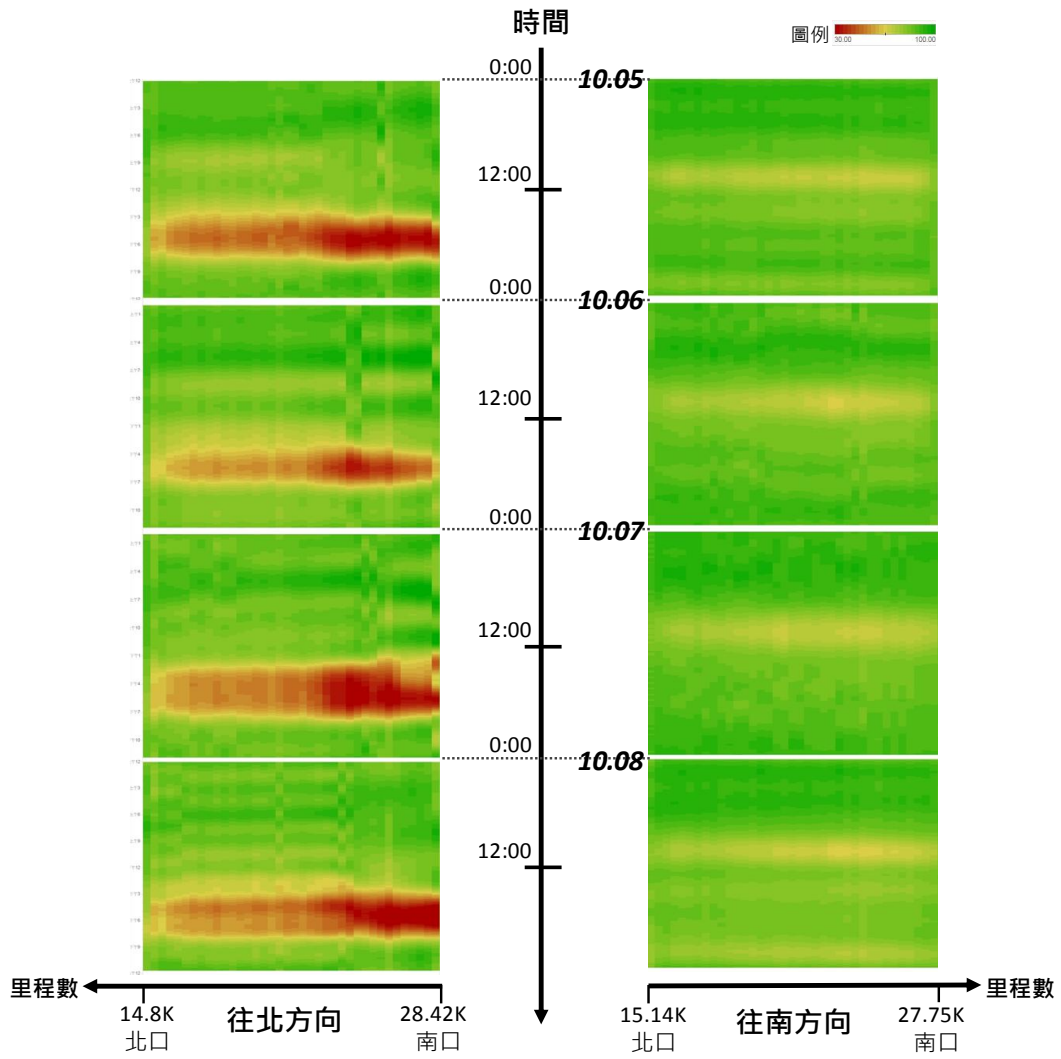


圖 3.1-7 2015 年 10 月平日雪山隧道時空速率圖

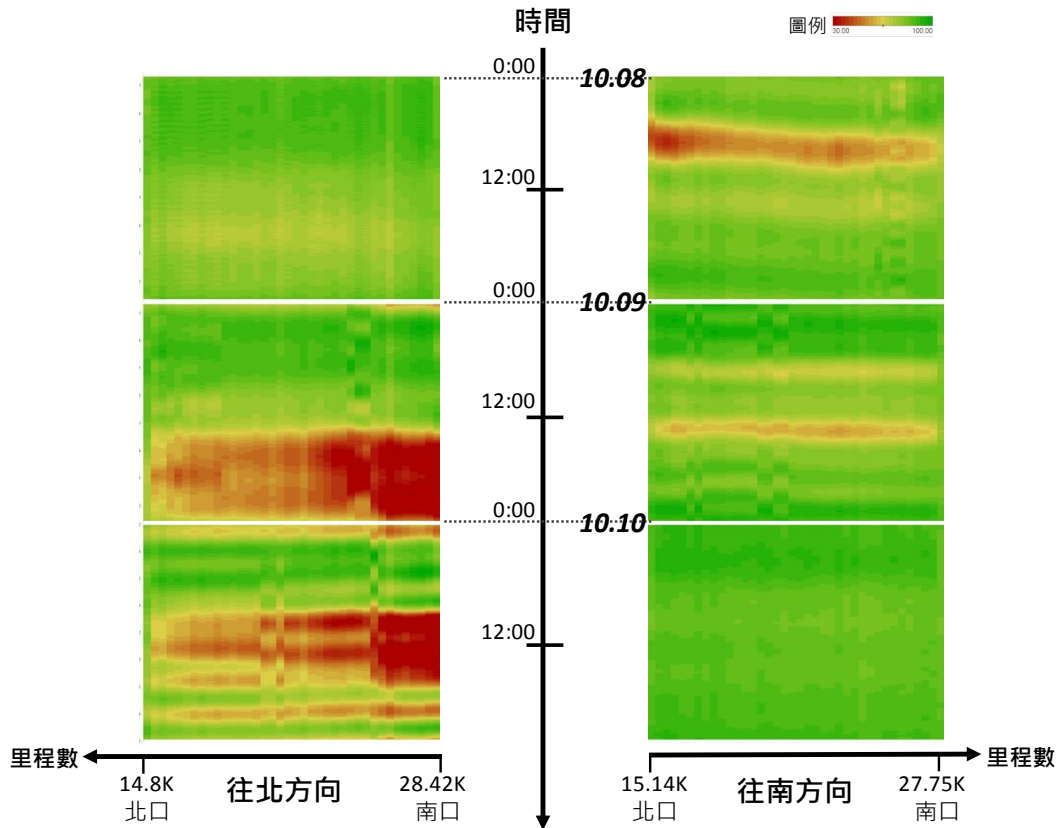


圖 3.1-8 2015 年雙十連假雪山隧道時空速率圖

將北上雪山隧道獨立分析，以平日雪山隧道北上時空速率圖，如圖 3.1-9，其壅塞時間為下午 4 時至 7 時，自 24.5K 處開始產生衝擊波效應，逐步向上游推進，並於此處後車輛開始往下游消散，並於 23K~25K 處壅塞情形最為嚴重，速率皆低於 30 公里。

以假日壅塞特性分析，如圖 3.1-10，假日壅塞時段持續 12 小時，其壅塞起點與平日一致，約於 24.5K 處向上游回堵，並於此處後逐漸向北口消散。

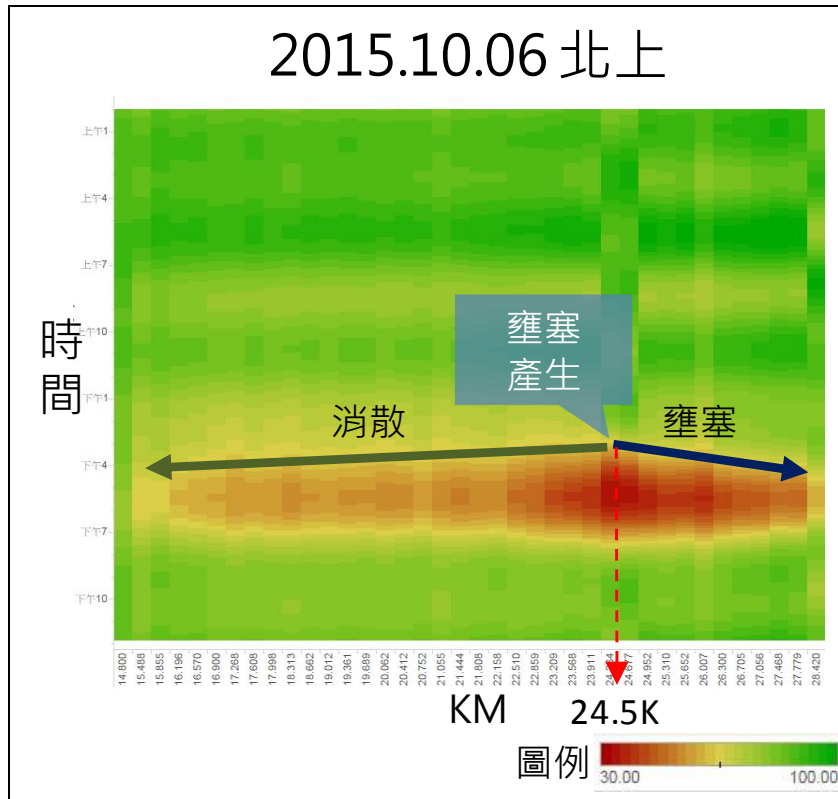


圖 3.1-9 北上平日雪山隧道時空速率圖

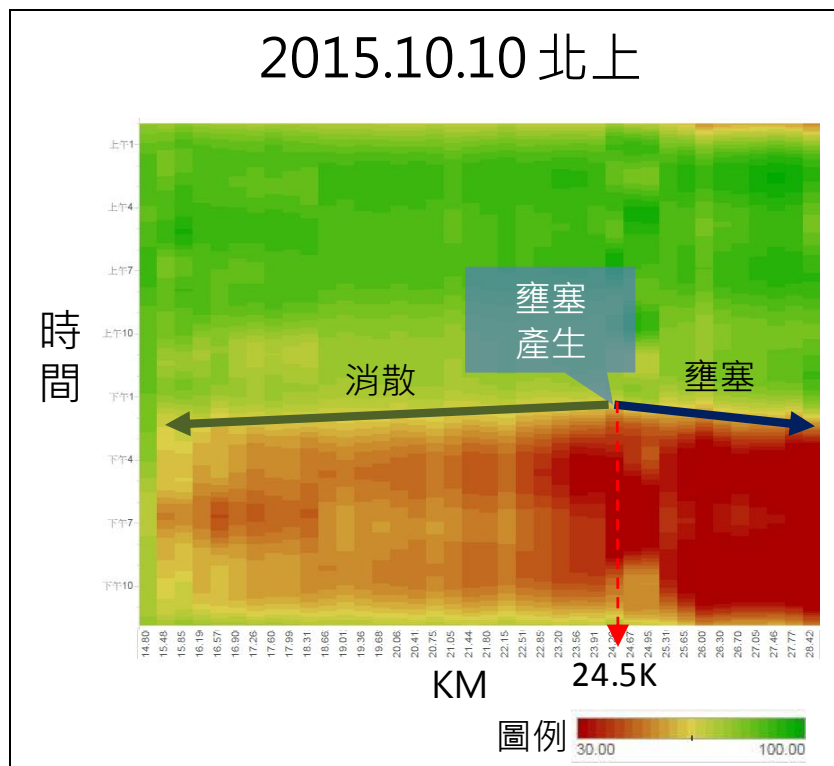


圖 3.1-10 北上假日雪山隧道時空速率圖

3.1.3 雪山隧道車流特性分析

以時空速率圖分析，其雪山隧道北上衝擊波起點多發生於雪山隧道北上 24.5K 附近。為了解雪山隧道中不同位置下流量與速率間的關係，分別擷取 2015 年 2 月 1 日與 2 月 2 日，週日與週一的尖峰小時資料分析平日、假日雪山隧道內流量與速率間關係變化，如圖 3.1-11。

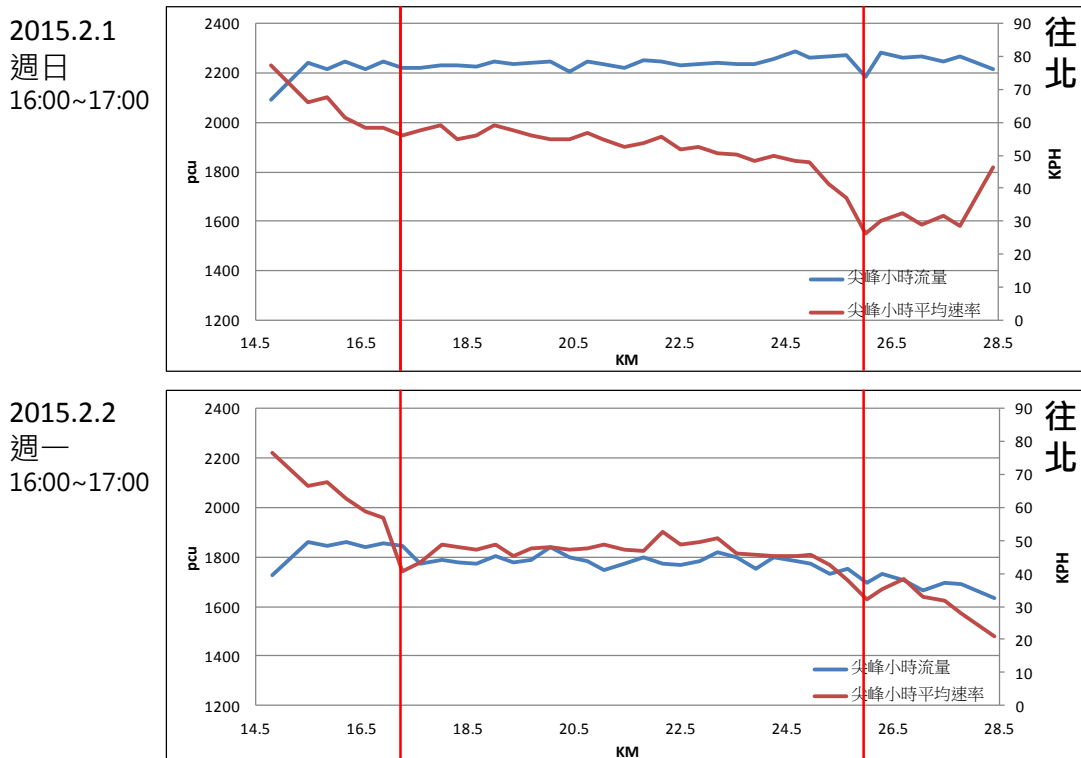


圖 3.1-11 雪山隧道北向全段尖峰小時流量、平均速率關係圖

以尖峰小時流量與平均速率關係可發現，週日流量多穩定維持在 2,200~2,300 pcu，而在 26K 處會有流量下降的現象，而於此處速率達到最低點，於 26K 後速率開始明顯提升至 24K 處後呈穩定現象，直至 17K 接近雪山隧道北上段末端速率開始第二次提升；而 2 月 2 日週一資料，平日車流量較少，為 1,800 pcu 左右，然而速率與前述時空速率圖結果相對應，於平日尖峰小時速率仍處於較低的狀況，而速率的變化特性與 2 月 1 日週日資料相對應。

因小時流量與平均速率資料起伏較大，難以看出整體趨勢，故進一步以雪山隧道北上段日流量與日平均速率觀察雪

山隧道路段的流量、速率平均的變化趨勢，其流量與速率間關係如圖 3.1-12。平均下的結果流量與速率的關係更加明顯，於北上雪山隧道南口處至 26.5K，日流量與日平均速率間呈正相關起伏，而 26.5K 至 25K 處速率、流量同時下降，產生一瓶頸路段，其 25K 後日流量與日平均速率呈現穩定，直至 17.5K 處速率逐漸提升。

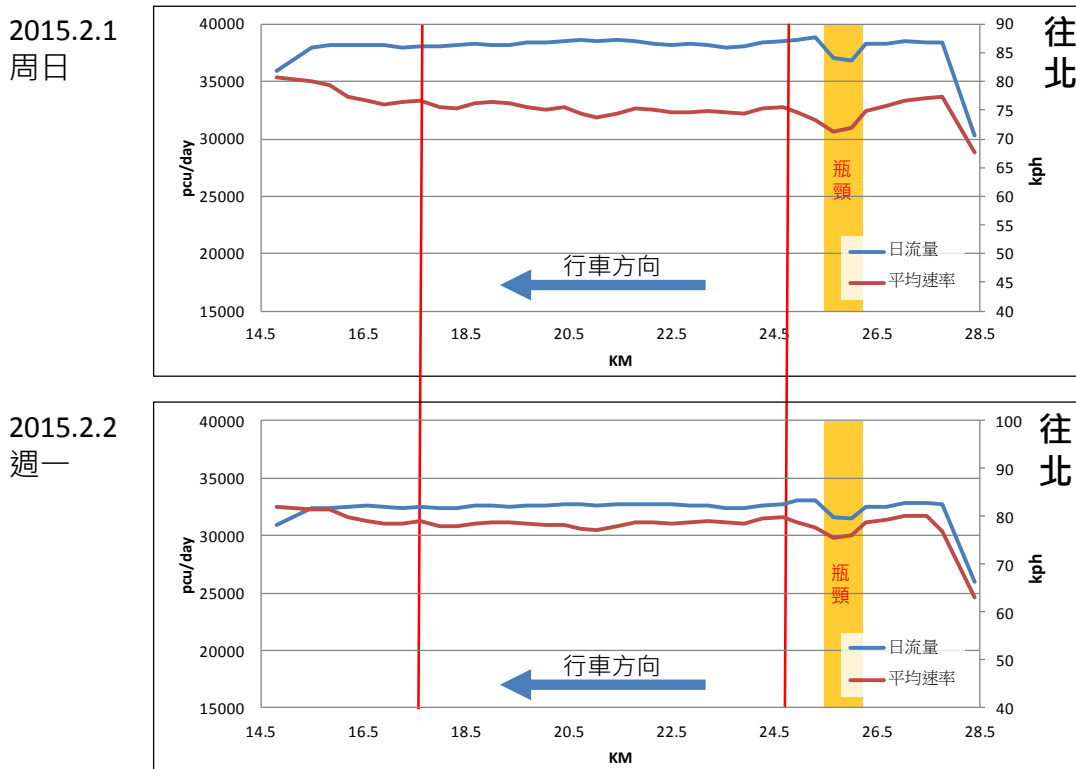


圖 3.1-12 雪山隧道北向全段日流量、日平均速率關係圖

進一步以近一年資料，分別於就國道 5 號北向雪山隧道口、雪山隧道內路段與瓶頸路段之 VD 資料擷取 5 分鐘流量-速率圖，討論不同路段處的臨界流量，如圖 3.1-13。

由流量-速率圖中看出，當車流尚未達到壅塞情形時，流量與速率呈負相關，意即當流量上升時車速會逐漸下降，而流量達到臨界值時，流量與速率間由負相關轉為正相關，流量與速率同時遞減，此流量臨界值可視為雪山隧道路段容量，而此臨界值的改變意味著於雪山隧道內，不同的路段下，駕駛人行為不同而造成不同路段間的臨界流量差異。

由圖 3.1-13，雪山隧道北上南口前 28.420K 處，其臨界流量約為每 5 分鐘 295 輛車，而至南口內 27.779K 處臨界流量下降至每 5 分鐘 270 輛車，瓶頸段 25.310K 臨界流量下降至每 5 分鐘 240 輛車，自瓶頸點後 23.568K、21.055K 及 19.012K 臨界流量維持穩定在 5 分鐘 235~240 輛車，直至雪山隧道尾段至北口處臨界流量些許上升至每 5 分鐘 250 輛車。

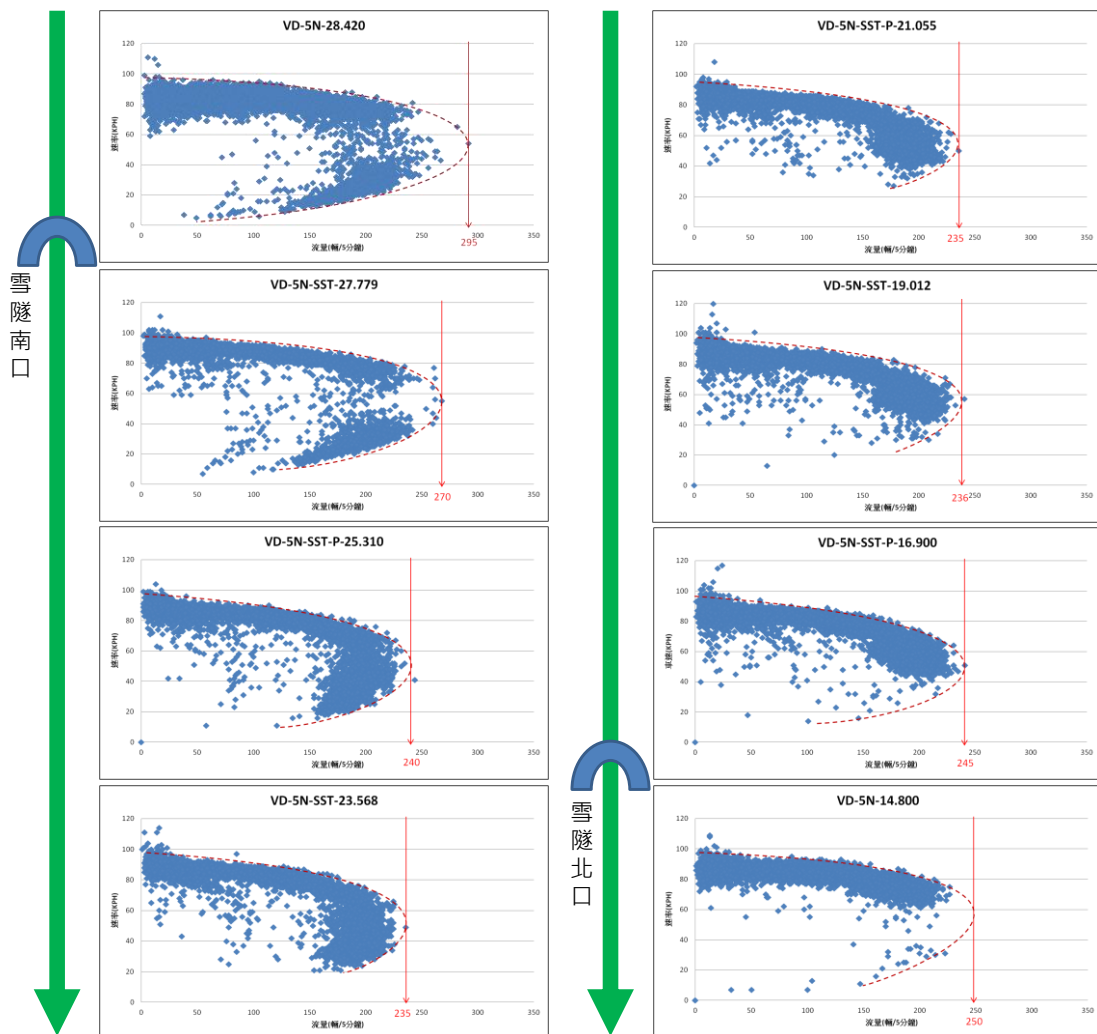


圖 3.1-13 雪山隧道北向流量-速率關係圖

由此發現於國道 5 號非隧道段至隧道南口內，與南口至 25K 處左右兩處，發生車流行為的改變，造成臨界流量的下降，上游湧入車流無法通過而產生壅塞造成北上南口至頭城交流道處回堵現象。

以上分析大致總結為以下幾點：

一、雪山隧道北上路段於 26.5K 至 25K 處日流量與日平均速率產生明顯下降。

二、日流量與日平均速率圖中，大致可將雪山隧道北上分為三種不同車流特性路段：

(一)雪山隧道前段：於雪山隧道南口至 25K 處日流量與日平均速率產生正相關震盪現象，可視為易產生壅塞車流路段。

(二)雪山隧道中段：於 25K 至 17.5K 處日流量與日平均速率維持平衡，其車流行為進入穩定狀態。

(三)雪山隧道後段：自 17.5K 後日流量維持穩定，但平均速率緩緩提升，逐漸提升至自由車流路段。

三、配合前述特性分析，以速率-流量圖分析雪山隧道內臨界流量，以南口前臨界流量最高，進入隧道後逐漸下降至 25K 後，其臨界流量便維持穩定，其南口與 25K 處臨界流量差如圖 3.1-14，由圖可知鄰界流量發生點位於速率 50~60 km/hr，且約於 75km/hr 處流量-速率曲線斜率變大，意味 60~75km/hr 流量產生驟降現象。

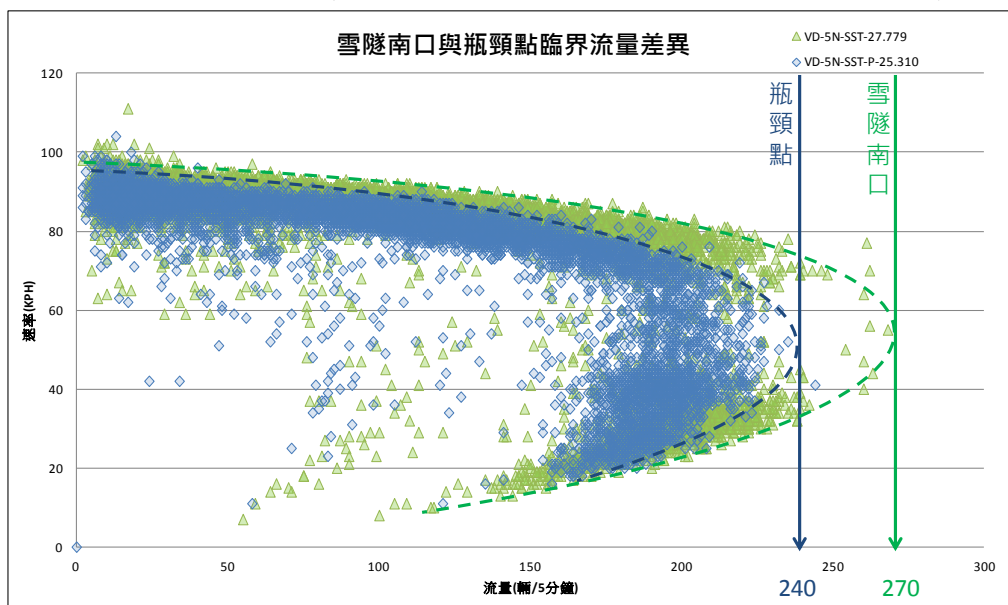


圖 3.1-14 雪隧南口與瓶頸點臨界流量差異

3.1.4 交通特性分析小結

本計畫分別就通過雪山隧道流量、雪山隧道內行車速率的變化以及流量與速率間的關係進行探討，於本小結分析出雪山隧道內交通特性：

- 一、通過雪山隧道南北向車流量有著週期性變化，並於連續假期產生不同流量特性。
- 二、雪山隧道造成車流速率降低之流量門檻值約為 2,200 輛/小時，高於此值速率會產生陡降的現象。
- 三、於 2015 年 4 月起，雪山隧道北向壅塞特性改變，發生頻率增加，可能表示駕駛人駕駛行為的改變。
- 四、時空速率圖分析南向車流除假期第一日流量增加造成車流壅塞外，其餘時間皆維持良好車流環境。
- 五、北上路段於平日下午 4 時至 7 時易發生壅塞現象，並於假期結束時產生大規模壅塞，其壅塞起點約於 24.5K 處。
- 六、雪山隧道流量-速率圖觀察，大致可將雪山隧道北向路段分為三種不同車流特性路段，如下表 3.1-2：

表 3.1-2 雪山隧道北上車流特性分類

路段	公里數	特性
雪山隧道前段	南口~25K	易產生壅塞路段
雪山隧道中段	25K~17K	穩定車流路段
雪山隧道後段	17K~北口	自由車流路段

3.2 事故特性分析

本節蒐集近三年（2012 年～2014 年）國道 5 號與雪山隧道事故資料進行分析，除了一般基本事故統計外，另針對變換車道、未保持安全距離兩課題進行討論，期望藉由相關數據歸納其重點，詳細分析如下。

3.2.1 國道 5 號/雪山隧道整體趨勢分析

一、次數分析

國道 5 號近三年事故逐漸上升，由 2012 年 242 件升至 376 件，事故成長以 A2、A3 為主。雪山隧道事故近三年事故合計為 104 件，以 A2、A3 為主，其中 2014 年 A3 事故是 A2 事故的兩倍，其顯示雪山隧道內事故有略升之趨勢，另由表 3.2-1 肇事率可知雪隧事故有上升之趨勢，詳見表 3.2-1 及圖 3.2-1～3.2-2 所示。

二、受傷情形分析

由表 3.2-2 事故受傷情形可知，2012 年國道 5 號傷亡人數主要皆來自雪山隧道事故，但 2013 年後雪山隧道傷亡情形占國道 5 號事故之比例有逐漸減少趨勢，其顯示近三年雪山隧道的事務由少數的嚴重事故轉為頻率高但傷亡少的事故。

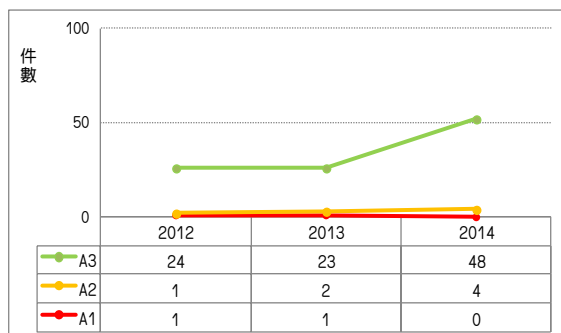
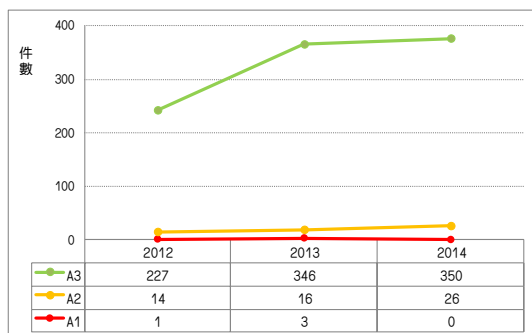


圖 3.2-1 國道 5 號事故次數統計 圖 3.2-2 雪山隧道事故次數統計

資料年期：2012 年～2014 年事故資料，本計畫彙整。

表 3.2-1 雪山隧道近 3 年肇事率統計

年期	方向	肇事件數	延車公里數	隧道肇事率
2012	南下	12	105,589,366	0.11
	北上	14	106,141,623	0.13
2013	南下	8	113,209,248	0.07
	北上	18	111,376,830	0.16
2014	南下	28	119,956,124	0.23
	北上	24	120,760,045	0.20

資料年期：2012 年~2014 年事故資料，本計畫彙整。

表 3.2-2 國道 5 號/雪山隧道近 3 年事故受傷情形統計

年份	地點	死亡人數	受傷人數	總計
2012	雪山隧道	2	20	22
	國道 5 號	2	36	38
	(雪山隧道/國道 5 號)*100%	100%	56%	58%
2013	雪山隧道	1	2	3
	國道 5 號	3	22	25
	(雪山隧道/國道 5 號)*100%	33%	9%	12%
2014	雪山隧道	0	7	7
	國道 5 號	5	108	113
	(雪山隧道/國道 5 號)*100%	0%	6%	6%

資料年期：2012 年~2014 年事故資料，本計畫彙整。

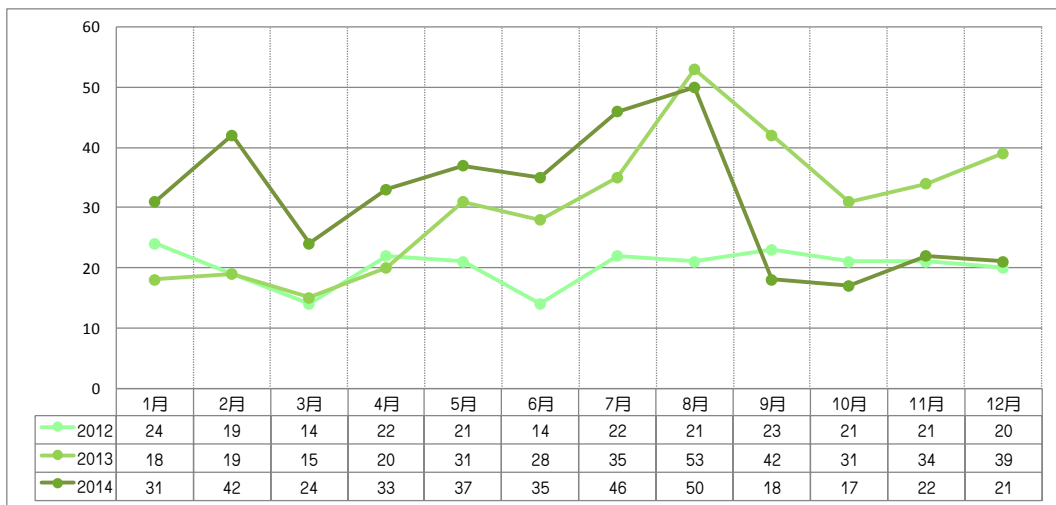
三、時間分析

(一)月份

國道 5 號事故三年趨勢皆集中於 7~8 月，其可能原因為暑假期間交通量大，事故發生頻率高；另 2014 年 10 月至 2015 年 2 月事故有略微上升之趨勢，其顯示連假或寒假出遊人數增加，前往宜蘭的交通量上升，相對而言事故亦提升，如圖 3.2-3 所示。而雪山隧道事故 2012~2013 兩年事故低，各月頻率差異不大，而 2014 年主要事故為 2 月與 6 月，其可能與春節、端午連假之特性有關，如圖 3.2-4 所示。

(二)時段

由國道 5 號事故時段分析可知，主要事故時間為 14 時~19 時，事故集中於午後與昏峰時間，且以星期來看，有三分之二的事務集中於假期(五、六、日)，詳見圖 3.2-5 所示。而單獨從雪山隧道事故時段來看，主要分為兩趨勢，一為 10~12 時，另為 15~17 時，其可能與方向性有關，以星期來看，亦以週末假期為主，詳見圖 3.2-6 所示。



資料年期：2012 年~2014 年事故資料，本計畫彙整。

圖 3.2-3 國道 5 號事故月份分析

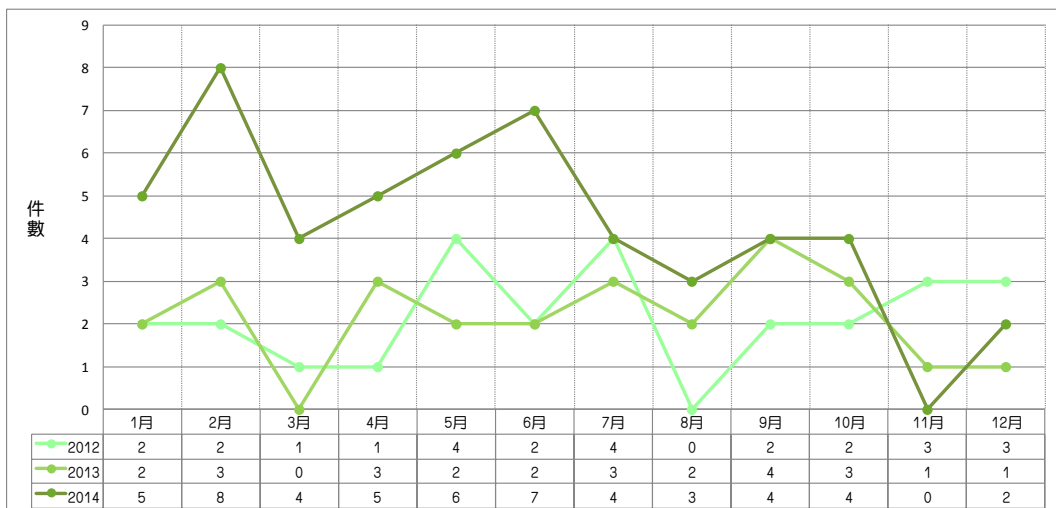
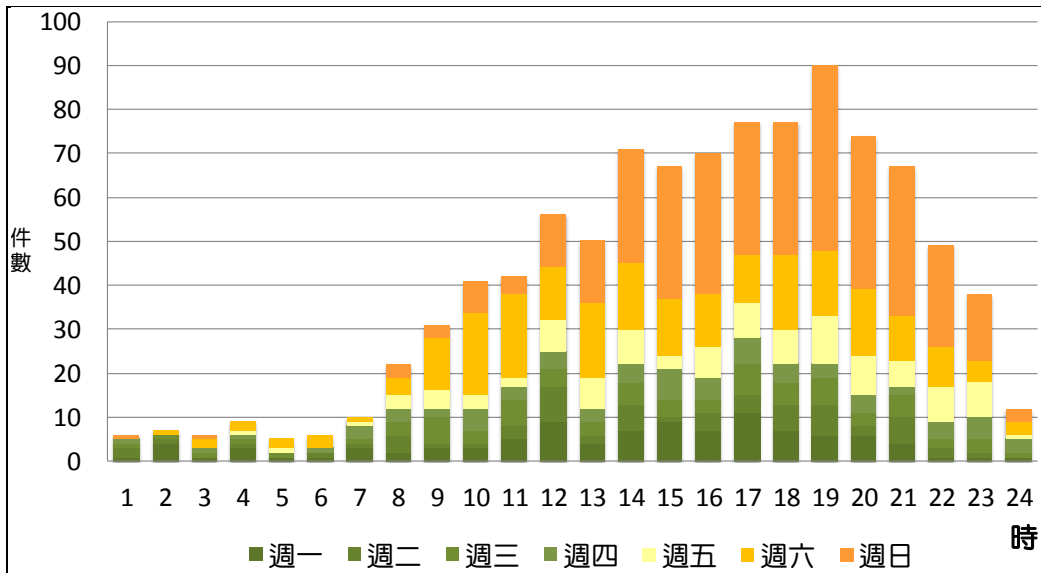


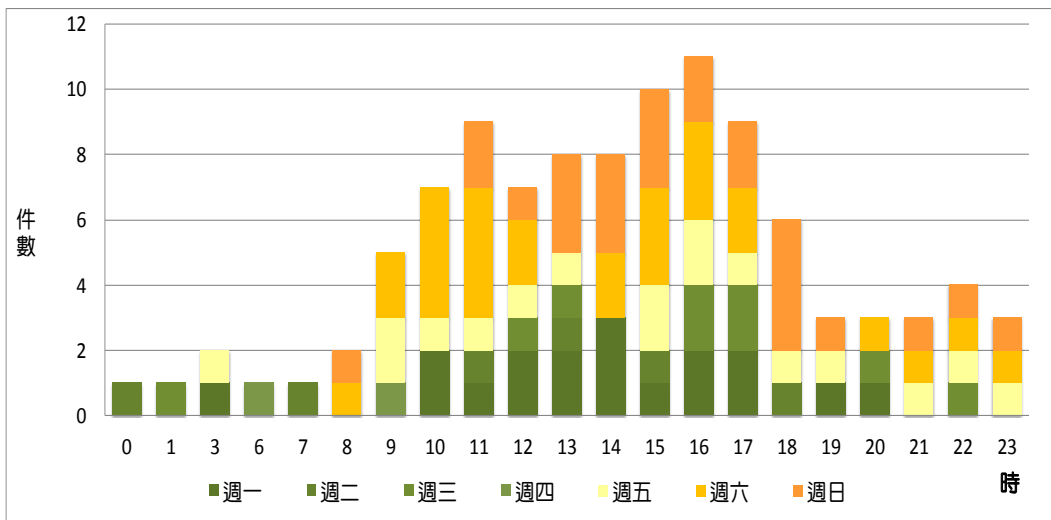
圖 3.2-4 雪山隧道事故月份分析

由上述可知國道 5 號與雪山隧道事故趨勢略微一致，對本計畫而言主要以雪山隧道事故為探究對象，故以下分析僅針對雪山隧道事故進行事故態樣之探討。



資料年期：2012 年~2014 年事故資料，本計畫彙整。

圖 3.2-5 國道 5 號事故時段分析



資料年期：2012 年~2014 年事故資料，本計畫彙整。

圖 3.2-6 雪山隧道事故時段分析

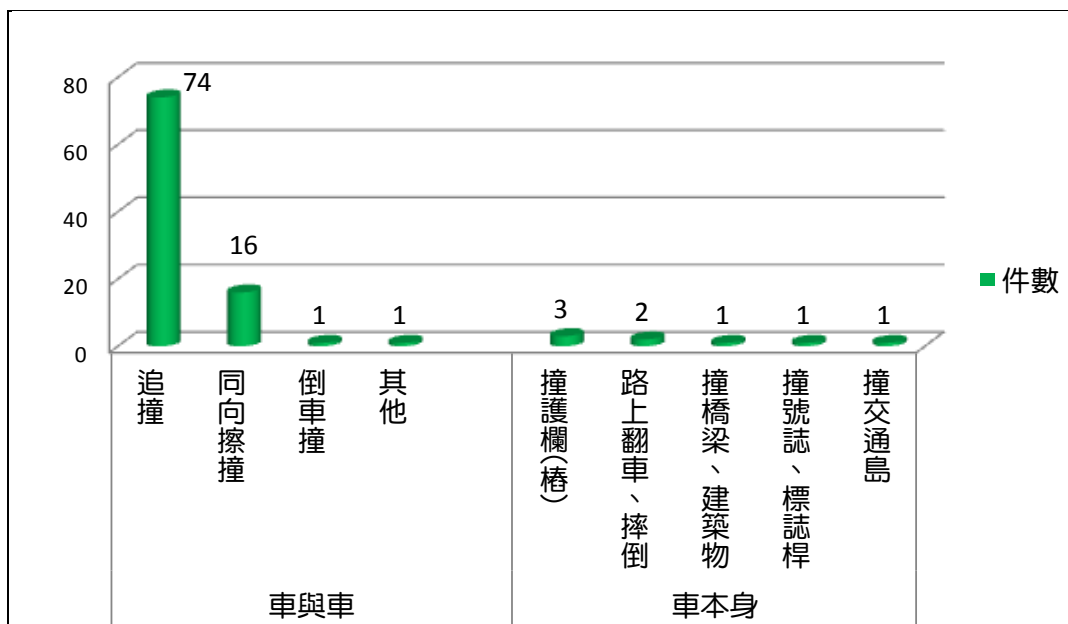
3.2.2 雪山隧道事故特性

一、碰撞類型分析

雪山隧道有 85% 的事故為「車與車」事故類型，15% 為「車本身」發生事故。因隧道雙孔特殊線型，且主要道路為禁止變換車道之設計，故多數事故碰撞類型以追撞 74 件(71.2%)與同向擦撞 16 件(15.4%)兩類型為主，兩者合計達 90 件，佔事故 86%，詳見圖 3.2-7 所示。

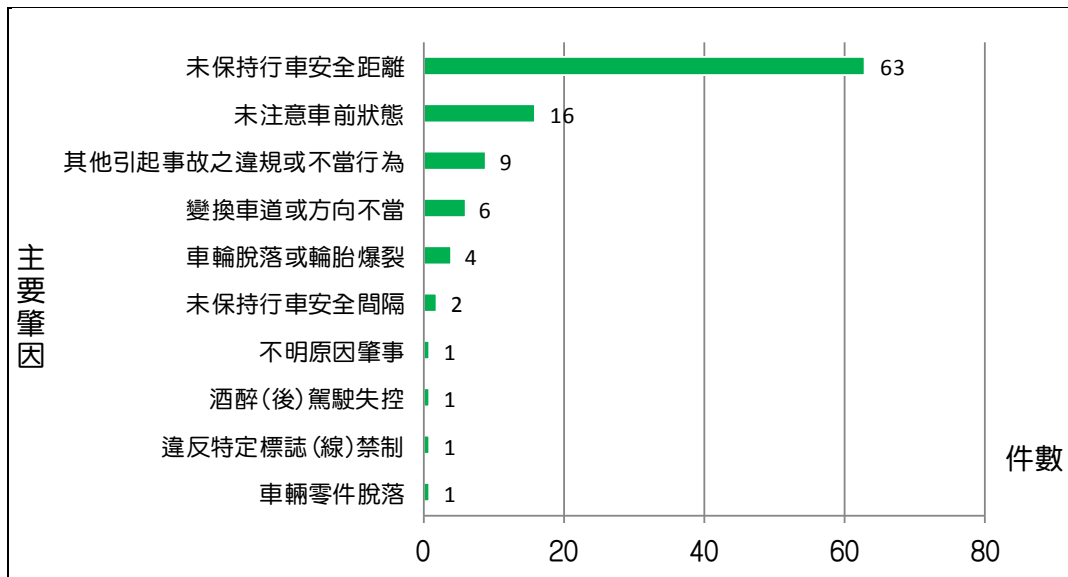
二、主要肇因分析

主要肇因以未保持安全距離 63 件(60.6%)為主，以前車與後車間距的維持最為嚴重，可知與追撞事故最有關係，次為未注意車前狀況 16 件(15.4%)、其他引起事故之違規或不當行為 9 件(8.7%)及變換車道方向不當 6 件(5.8%)等，如圖 3.2-8 所示。



資料年期：2012 年～2014 年事故資料，本計畫彙整。

圖 3.2-7 國道 5 號事故碰撞類型分析



資料年期：2012 年～2014 年事故資料，本計畫彙整。

圖 3.2-8 雪山隧道事故主要肇因分析

三、里程數分析

據圖 3.2-9 雪山隧道事故地點里程數分析可知，隧道內本身事故頻率不高，事故主要集中在隧道前後段與匝道匯流交織處，主要方向為北向，里程數為 29.2 公里～29.7 公里。

四、事故位置與管制牌面探討

隧道內 3 年事故為 104 件，以方向性來看，北向 56 件，南向 48 件，南北向事故差異不大，配合標誌、標線、號誌與測速等告示牌面來看，因雪山隧道為長隧道，安全管理上具有一套準則，如車道管制號誌(LCS)、速限可變標誌(CSLS)係以每 350m 之距離設置一組，隧道內安全設施具有一致性原則，因此可知安全設施對於駕駛人影響不大，反之避車彎、測速照相等執法地點可能較容易使駕駛人影響車速，如圖 3.2-9 所示，但肇事並非單一因素所形成，尚有其他因素彼此相互影響。

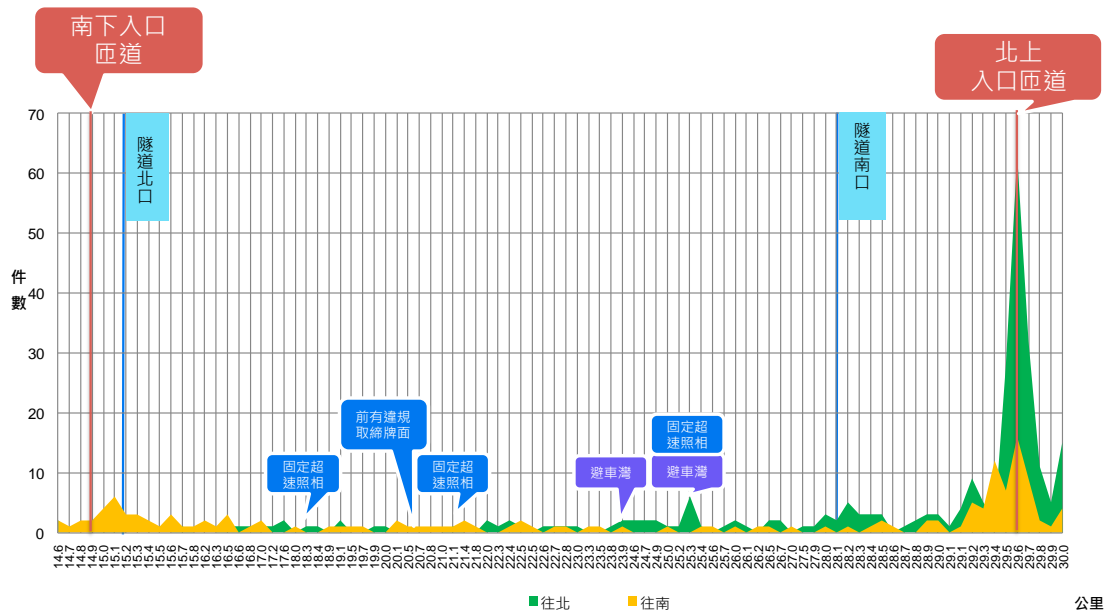


圖 3.2-9 雪山隧道事故地點里程數分析

3.2.3 開放變換車道對事故影響之探討

基於行車安全，目前高速公路隧道路段多數均繪設雙白實線禁止變換車道，且於隧道入口處增設「禁止變換車道」標誌，惟少數隧道因出入口臨近交流道，或在高流量時提供車輛適當距離順利駛出或駛入主線車道，才於隧道接近出入口處繪設單邊白虛線，允許車輛變換車道。

現階段開放變換車道的隧道含福德隧道南下出口、新店隧道南下入口、木柵隧道北上出口、石碇隧道南下出口及雪山隧道北上出口等。

為瞭解開放變換車道是否對於隧道事故是否有影響，以下除了針對雪山隧道進行分析外，另亦針對現階段可變換車道之隧道，如福德隧道南下方向、新店隧道南下方向、石碇隧道南下方向進行分析。

一、雪山隧道變換車道之事故位置探討

雪山隧道因變換車道或方向不當而導致事故發生主要來自匝道匯流處，主要方向為北向，除了本身車輛交織匯流外，其可能原因與交通壅塞、流量高有關。

二、雪山隧道變換車道次數與位置分析

現階段隧道內可變換車道的位置僅在往北方向約 15.30 公里處，故隧道內本身因變換車道或方向不當的事故量低（除非駕駛者違規），三年僅 6 件，4 件北向、2 件南向，如圖 3.2-10~圖 3.2-11。

三、可變換車道之隧道分析

由表 3.2-3 及表 3.2-4 可變換車道之隧道分析可知，四座隧道中有三座可變換車道路段每百公尺的事故率高於不可變換車道，然新店隧道卻呈現不可變換車道路段事故率較高之統計結果。由於台灣可變換車道之隧道樣本有非常有限，現況分析資料並無法證實變換車道與否與事故發生頻率直接相關。

四、福德隧道之變換車道探討

進一步討論肇事率高的福德隧道可知，主要肇因為「未保持安全距離」，如圖 3.2-12 所示。福德隧道肇事率高除了與本身幾何條件、交通量有關，亦可能與變換車道完成後，因插入車陣導致前後車輛之距離過近，而遇突發狀況時，無法有足夠反應空間有關。

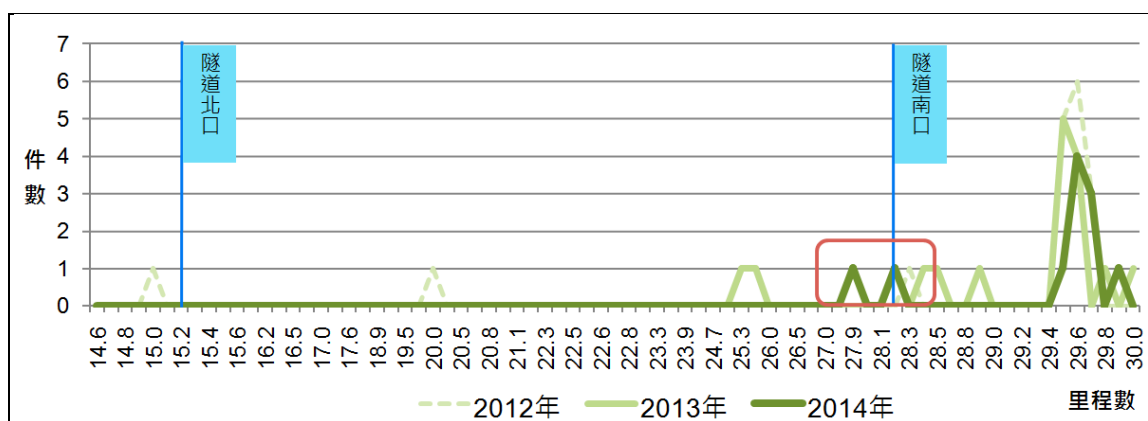


圖 3.2-10 雪山隧道事故往北方向之變換車道事故里程數

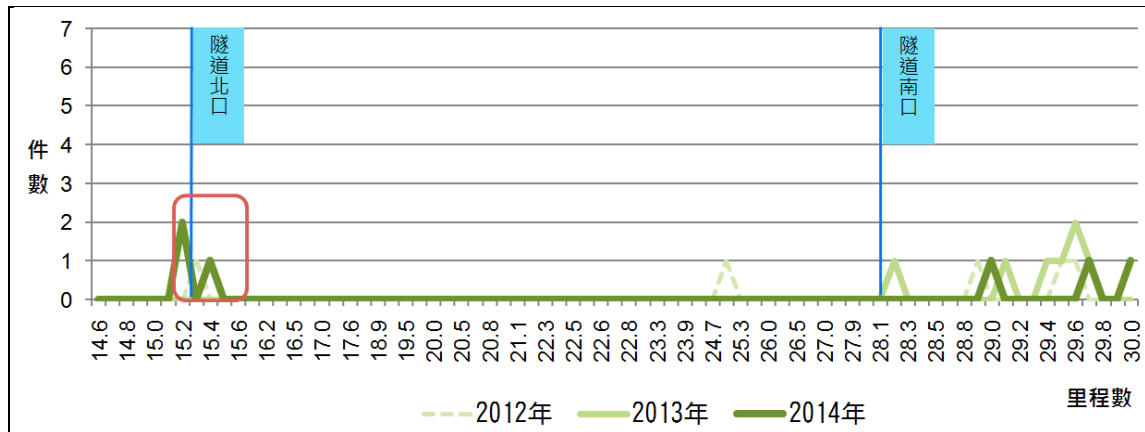


圖 3.2-11 雪山隧道事故往南方向之變換車道事故里程數

表 3.2-3 可變換車道之隧道事故分析

隧道	事故總數	可變換車道路段				不可變換車道路段		
		單/雙側 開放變 換車道	約可變 換長度	事故 件數	事故件數 / 100M	約不可 變換長 度	事故件 數	事故件 數/ 100M
雪山 隧道	56	單側	200M	1	0.50	12,755 M	55	0.43
福德 隧道	217	雙側	200 M	78	39.00	1,526 M	139	9.11
木柵 隧道	45	單側	400 M	12	3.00	1,475 M	33	2.24
新店 隧道	48	單側	300 M	9	3.00	922 M	39	4.23

資料年期：2012 年～2014 年事故資料，本計畫彙整。

表 3.2-4 相關隧道肇事率分析

項目	方向		長度	事故次數	百萬 延車公里	隧道肇事率 (件/百萬延車公里)
雪隧	南下	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	12,925	48	338.75	0.14
	北上	可變換車道	200	1	5.22	0.19
		不可變換車道	12,755	55	333.06	0.17
汐止	南下	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	666	4	14.27	0.28
	北上	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	643	3	12.73	0.24
福德	南下	可變換車道	200	78	13.03	5.99
		不可變換車道	1,526	139	99.42	1.40
	北上	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	1,726	91	103.88	0.88
木柵	南下	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	1,848	137	114.29	1.20
	北上	可變換車道	400	12	24.32	0.49
		不可變換車道	1,475	33	89.69	0.37
景美	南下	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	564	5	34.88	0.14
	北上	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	573	2	34.84	0.06
新店	南下	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	1,185	44	70.90	0.62
	北上	可變換車道	300	9	18.37	0.49
		不可變換車道	922	39	56.46	0.69
碧潭	南下	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	521	7	31.17	0.22
	北上	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	503	17	30.80	0.55
安坑	南下	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	466	90	38.12	2.36
	北上	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	398	27	31.31	0.86
中和	南下	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	872	476	71.33	6.67
	北上	可變換車道	-	-	-	-
		不可變換車道	831	234	65.37	3.58

資料年期：2012 年～2014 年事故資料，本計畫彙整。延車公里資料取自於高公局網站。
 註解：「-」即表示未開放變換車道

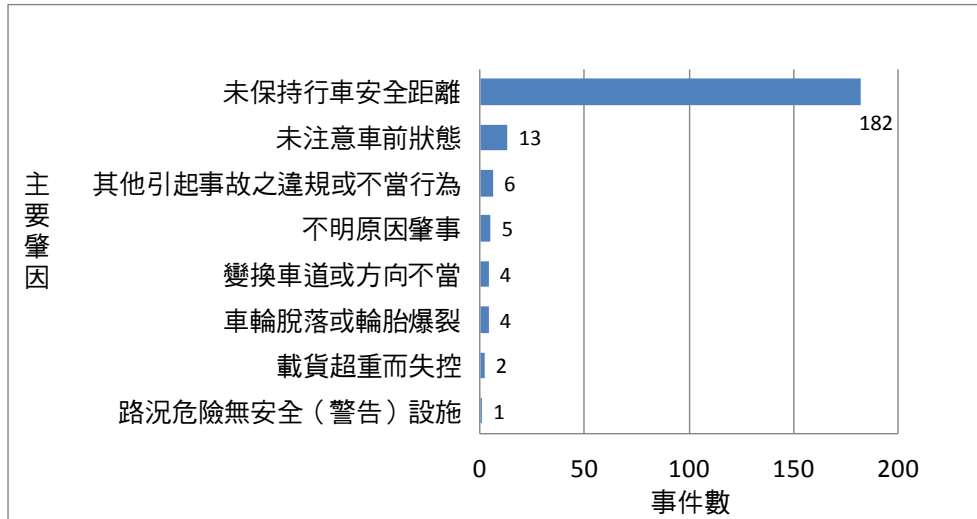


圖 3.2-12 福德隧道往南方向主要肇因分析

3.2.4 未保持車間距對隧道事故影響之探討

車輛行駛途中須保持適當安全距離，以利車輛行駛中遇特殊狀況時有反應空間，雪山隧道為長隧道，其行車環境與一般道路有差異，其規範「小型車應保持 50 公尺以上之行車安全距離，大型車應保持 100 公尺以上之行車安全距離，但車速 20 公里以下，車距可降至 20 公尺」。

然而駕駛人為保持車間距之規範避免受罰，導致車流速率下降，為瞭解車間距與事故之關係，以利後續調整間距之探討，以下針對未保持車間距主要肇因的事故進行討論。

一、雪山隧道未保持車間距之事故位置探討

雪山隧道事故地點以匝道匯流處為主，而雪山隧道內之事故里程數北向入口主要集中於 21.1~28.1 公里，南向為 18.9~23.9 公里，皆有一段震盪期，如圖 3.2-13~圖 3.2-14 所示。

二、雪山隧道未保持車間距次數之方向與環境特性分析

近三年隧道內未保持安全距離共 63 件，其中 2014 年比例最高，其顯示近年問題有嚴重趨勢。雪山隧道內事故位置南向 34 件，北向 29 件，其方向性差異不大，且多數事故係在無障礙物阻擋與視線良好之環境發生，故無視野阻擋之問題，如表 3.2-5 所示。

三、雪山隧道未保持安全間距與管制牌面探討

配合事故里程數與雪山隧道內標誌標線之設置檢討，與間距相關之牌面、標線等，如楔形安全距離辨識標線、車間距間隔牌面、消防栓間隔皆為週期性架設至隧道，故可知現行隧道之牌面、標線設計，並非影響事故之主要因素。

四、全國隧道事故肇因分析

由全國隧道事故之肇因統計可知，隧道內主要事故原

因以「未注意行車安全距離」為主要肇因，其比例占 85%，其表示「未注意行車安全距離」為隧道事故之主要問題，如表 3.2-6 所示。

單從雪山隧道之事故來看，未保持安全距離佔隧道事故之 60.6%，其可發現雪山隧道與其他隧道相較下，此類型事故比例較低。

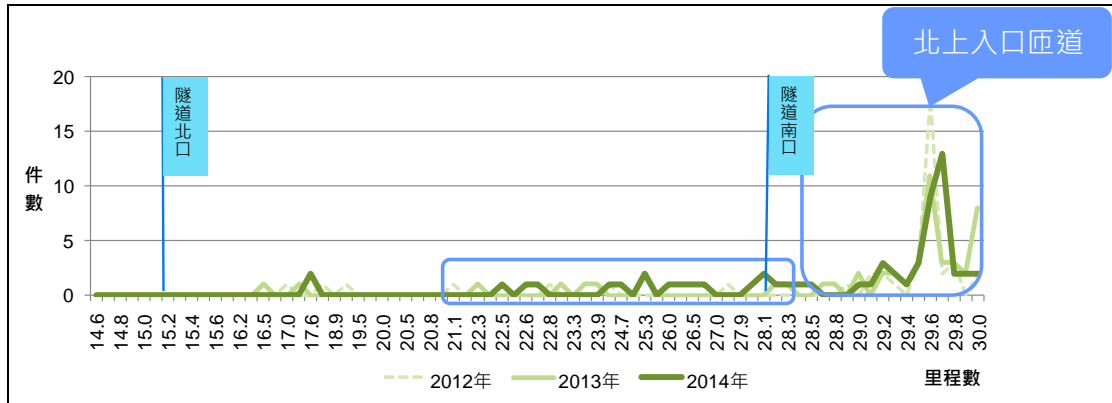


圖 3.2-13 雪山隧道事故往北方向之未保持間距事故里程數

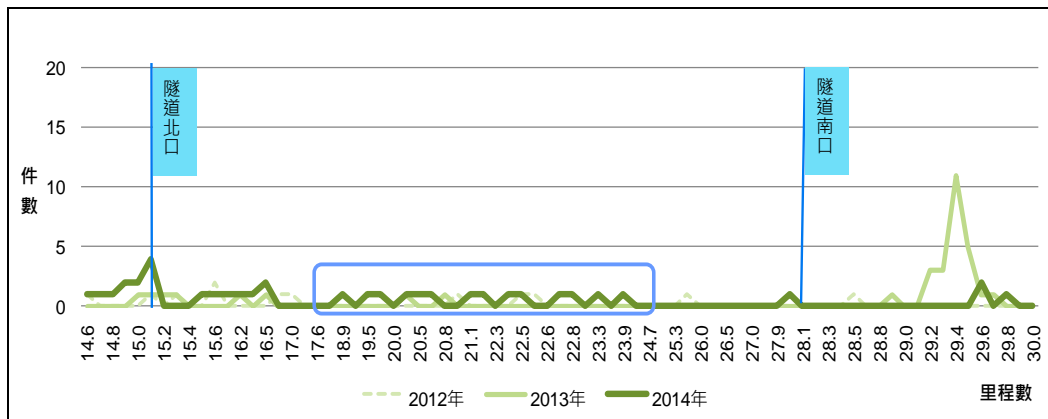


圖 3.2-14 雪山隧道事故往南方向之未保持安全間距事故里程數

表 3.2-5 雪山隧道內之未保持安全間距之統計分析

項目	件數	%	
年期	2012 年	15	24%
	2013 年	12	19%
	2014 年	36	57%
方向	南向	34	46%
	北向	29	54%
視野狀況	良好	63	100%
是否有障礙物	無障礙物	60	95%
	路上有停車	1	2%
	道路工事(程)中	2	3%

資料年期：2012 年～2014 年事故資料，本計畫彙整。

表 3.2-6 全國隧道事故主要原因

項目	人數	百分比
未保持行車安全距離	1,561	85%
未注意車前狀態	90	5%
其他引起事故之違規或不當行為	58	3%
變換車道或方向不當	44	2%
不明原因肇事	24	1%
車輪脫落或輪胎爆裂	17	1%
酒醉(後)駕駛失控	10	1%
車輛零件脫落	5	0%
尚未發現肇事因素	5	0%
未保持行車安全間隔	4	0%
載貨超重而失控	4	0%
疲勞(患病)駕駛失控	3	0%
違反特定標誌(線)禁制	3	0%
交通管制設施失靈或損毀	2	0%
其他裝載不當肇事	2	0%
拋錨未採安全措施	2	0%
倒車未依規定	2	0%
起步未注意其他車(人)安全	2	0%
未依規定減速	1	0%
停車操作時，未注意其他車(人)安全	1	0%
動物竄出	1	0%
貨物超長、寬、高而肇事	1	0%
超速失控	1	0%
煞車失靈	1	0%
裝載貨物不穩妥	1	0%
總計	1,845	100%

資料年期：2012 年～2014 年事故資料，本計畫彙整。

3.3 執法分析

3.3.1 現況執法情形

目前國道 5 號雪山隧道執法方式分為三種，包括「攔停舉發」、「科學儀器偵測」及「民眾檢舉」，但礙於隧道工程設計之緣故，隧道內無路肩設置，除每 1400 公尺設置一處緊急停車彎外，沿途無任何可停駐之執法地點，因此多數取締仍仰賴科學儀器偵測得方式-自動照相進行取締。

隧道內警方主要取締的行為以超(低)速、未保持行車安全距離、變換車道及行車異常車輛(行車偏移、行車不穩等)為，其操作方式與取締彙整如表 3.3-1 所示。

表 3.3-1 雪山隧道執法方式與取締項目彙整表

取締方式	作業	主要取締項目
攔停舉發	礙於隧道內並無執法空間(路肩)，僅無僅能以巡邏員警發現違規/危險行為時，即攔檢於相對安全適當處所處(避車彎、隧道外路肩)製單舉發	<ul style="list-style-type: none"> • 未依標線指示行駛違規(雙白實線變換車道)動態違規 • 危險駕駛、蛇行、惡意逼車 • 未保持行車安全距離 • 未開啟頭燈 • 其他交通違規案件
科學儀器偵測	目前雪山隧道南、北雙向現有各設置 3 處固定測速儀器(各 6 組設備)，針對未遵守速限之規定用路人進行舉發。	<ul style="list-style-type: none"> • 超速
民眾檢舉	接獲民眾以電話檢舉，派遣員警線上攔查，如未能攔停舉發，再依受理舉發案件辦理。	-

資料來源：本計畫彙整。

3.3.2 三年執法分析

據國道第九大隊說明，近三年雪山隧道並無特殊執法做法，對於科技執法系統目前尚未啟用，且囿於隧道內工程設計，目前取締仍以儀器逕行舉發為主，現場攔查為輔，以下針對近三年測速執法情形進行分析說明。

測速主要取締項目以「未保持安全距離」、「變換車道」及「超速」三項為主，由表 3.3-2 可知，違規取締項目最多為「超速」，三年雙向合計 4,158 次，其中又以 104 年度南向 2,405 次最多。另由於 102 年超速因設備維修，故數據較為偏差，其他數據均穩定並無特別異常之狀況，但總體來看，有逐年上升的趨勢；次為「未保持安全距離」，雙向合計 2,883 次，取締方向亦以南向為主，最後為「違規變換車道」，三年雙向合計為 161 次，有逐年下降的趨勢。

表 3.3-2 102~104 年雪山隧道測速照相執法情形

單位：件數

取締項目	位置	102 年	103 年	104 年	合計
超速	國道 5 號北向 28.2~15 公里	76 (29%)	187 (71%)	0 (0%)	161 (100%)
	國道 5 號南向 15~28.2 公里	19 (0%)	1,471 (38%)	2,405 (62%)	236 (100%)
	合計	95 (2%)	1,658 (40%)	2,405 (58%)	4,158 (100%)
未保持安全距離	國道 5 號北向 28.2~15 公里	370 (54%)	30 (4%)	280 (41%)	680 (100%)
	國道 5 號南向 15~28.2 公里	683 (31%)	909 (41%)	611 (28%)	2,203 (100%)
	合計	1,053 (37%)	939 (33%)	891 (31%)	2,883 (100%)
變換車道	國道 5 號北向 28.2~15 公里	44 (49%)	30 (33%)	16 (18%)	90 (100%)
	國道 5 號南向 15~28.2 公里	34 (48%)	27 (38%)	10 (14%)	71 (100%)
	合計	78 (48%)	57 (35%)	26 (16%)	161 (100%)

資料來源：國道第九大隊交通組，102 年~104 年測速照相取締資料。

註：102 年超速因為設備維修，故數據較為偏差。

3.3.3 科技執法

內政部警政署國道公路警察局於隧道內設置自動執法設備「雪山隧道自動化科技執法系統」，請用路人確實遵守行車安全規定。

雪山隧道科技執法系統共有 16 支監視器組成，南北向各 8 支，位置都在隧道內的避車彎處，加上南北隧道內原本就設有各 3 支的固定測速桿，單向隧道內就有 11 個可取締違規的監視設備。

此系統在 2015 年 3 月底進行測試時，偵測蒐集內容包括「超低速 60 公里以下」、「超高速 90 公里以上」、「違規變換車道」及「未保持行車安全距離」等 4 項，高密度的取締方式，再加上相關報導之影響，造成駕駛人心理負擔，拉長車距，嚴重影響雪山隧道流量。

依據圖 3.3-1 雪山隧道南口往北一年半資料，由平均速度與平均佔有率關係圖，當二線交會時，即平均速度下降與平均佔有率上升，為車流量過大之壅塞狀況。出現壅塞狀況通常為假日與連續假日時段，然自 2015 年 3 月底科技執法系統報導後，用路人拉長車距，嚴重影響雪山隧道流量，以至出現不分平假日壅塞頻繁之情形。

雖 2015 年 7 月底已公布科技執法系統未來將以「超低速 60 公里以下」、「超高速 90 公里以上」、「違規變換車道」為優先取締項目，「未保持行車安全距離」不列為執法偵測項目，但由上述分析可知，其科技執法已影響駕駛人之駕駛行為。

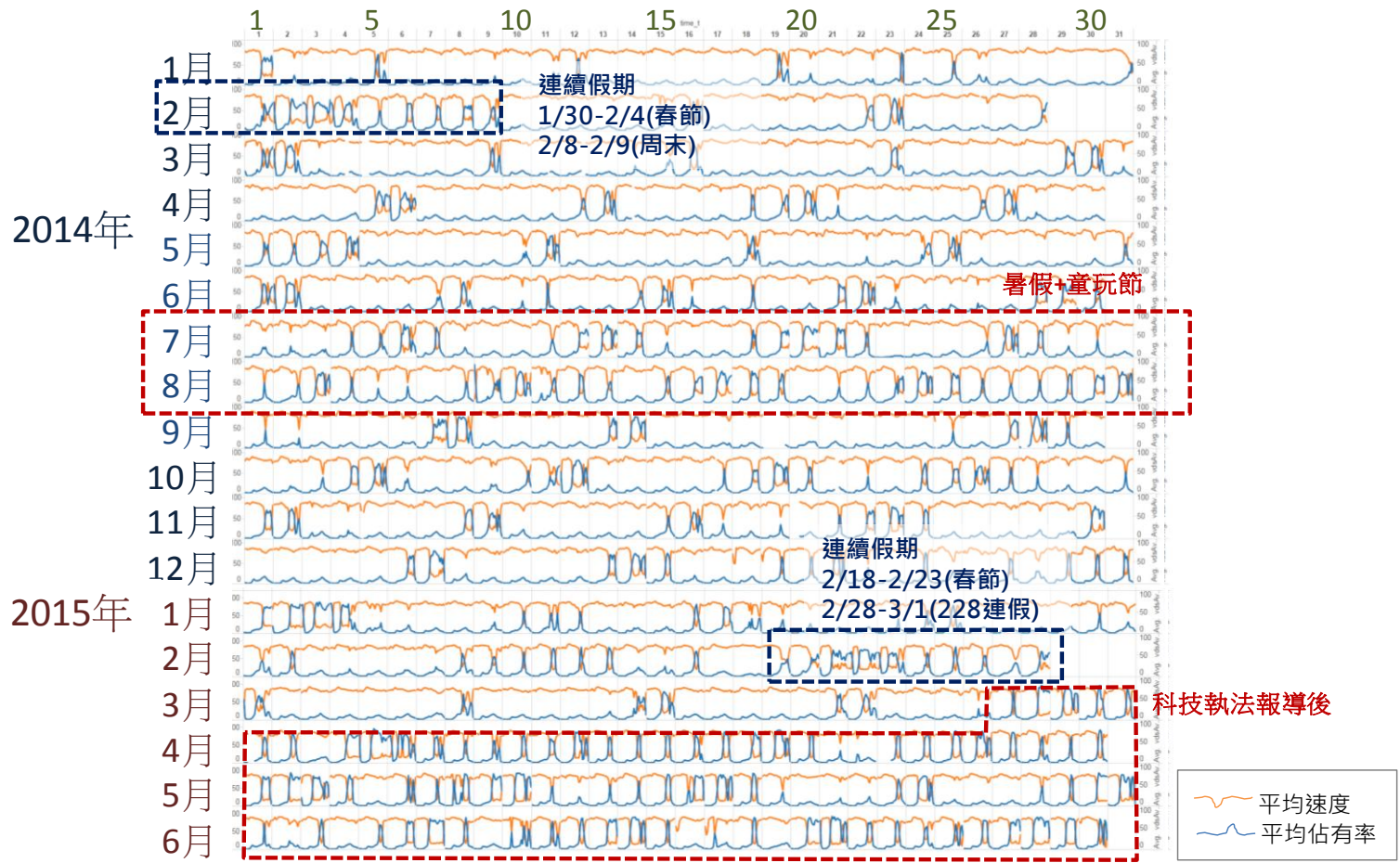


圖 3.3-1 國道 5 號佔有率與速度關係圖(2014/1~2015/6)

肆、雪山隧道禁止變換車道規定調整可行性分析

4.1 可行性分析架構

根據前述章節國內外相關文獻回顧、行車安全規定調整課題探討、雪山隧道交通特性與事故特性分析、以及目前隧道內行車安全規定實施成效，其中包含雪山隧道於 101 年 9 月實施「國道 5 號雪山隧道行車安全注意事項」以來交通及事故影響程度、社會關注議題等，本計畫將以此為參考針對「禁止變換車道」、「保持行車安全距離」進行調整安全規定的可行性評估與分析可能產生之影響。並以科學方法從雪山隧道的幾何特性、交通變化、肇事率、民意接受度等方面探討，提供量化的分析數據供後續決策參考。調整變換車道可行性分析架構如圖 4.1-1 所示，主要內容說明於后。

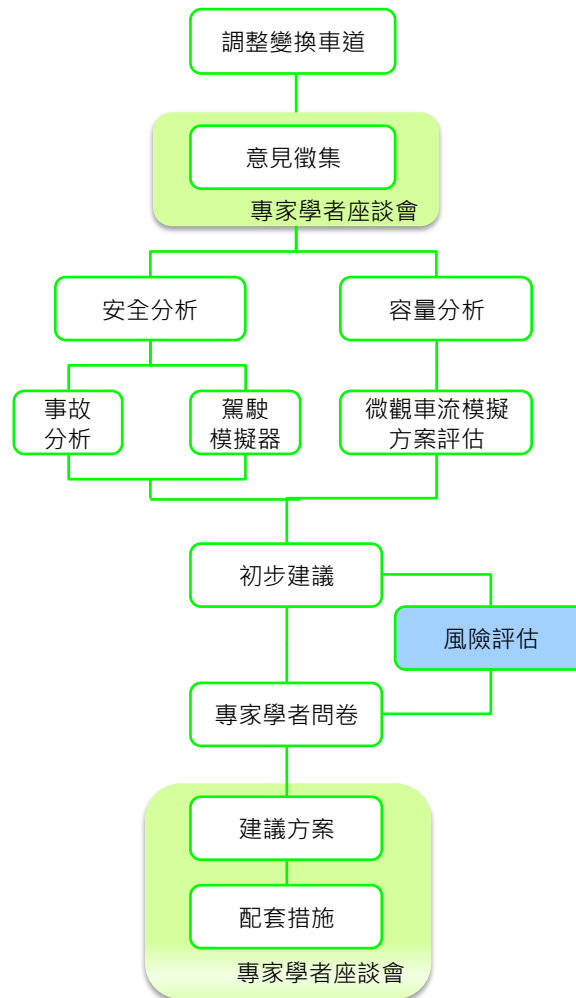


圖 4.1-1 調整變換車道規定可行性分析架構圖

然而現今台灣隧道多屬於禁止變換車道路段，僅部分隧道出入口處因接近匝道匯流段，開放部分路段約 200~300 M 單側邊換車道，使之本計畫之資料蒐集與分析上有其限制存在：

一、無可變換車道之駕駛行為資料

目前台灣隧道內車道線皆設置雙白線，屬禁止變換車道，本計畫欲討論開放變換車道之效益，傳統研究方式應蒐集可變換與不可變換段之資料進行分析，或選定試辦地點開放變換車道進行資料蒐集動作，然而目前台灣隧道內並無可變換車道資料可供分析，若為蒐集資料而貿然試辦隧道內變換車道，其社會成本與風險難以估計。

二、隧道內可變換車道路段肇事資料無法取得

目前台灣隧道多為禁止變換車道路段，僅部分路段開放單側變換車道，使之隧道內事故多以未保持行車安全距離為主要肇因，僅部分車輛產生變換車道事故但多為違規因素，欲分析隧道內開放變換車道後之安全影響以現有肇事資料仍有不足之處。

故本計畫考量可行性分析之目的與條件限制，將分析流程分為容量、安全及風險三層進行，如圖 4.1-2。為解決隧道內變換車道資料無法取得之限制，本計畫利用模擬方法評估隧道內變換車道之容量效益以及安全分析。

容量分析以微觀模擬軟體 VISSIM 進行方案評估，利用模擬軟體建構之隧道環境評估隧道內開放變換車道之效益，然而模擬與現實仍有差異存在，數值化結果並非絕對，其效益評估上以觀察方案間容量之變化趨勢為分析重點；VISSIM 雖可用於分析容量變化，卻無法分析各方案間安全之變化趨勢，且並無駕駛人於雪山隧道內變換車道之資料，故本計畫安全分析方面係以駕駛模擬器為工具，討論駕駛人於變換車道情境之行為分析；而風險分析方面則透過事故資料之情境分析進行討論，將肇事資料分出可變換與不可變換車道路段情境加以分析，其詳細說明如后：

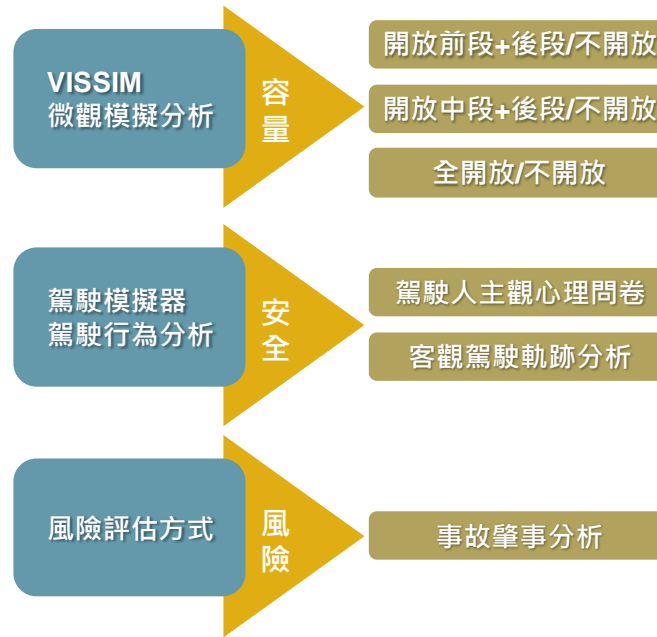


圖 4.1-2 調整變換車道規定可行性分析流程

一、容量分析

(一)微觀車流模擬分析

本計畫將以微觀車流模擬軟體(VISSIM)進行變換車道規定調整之交通影響。模擬車種及車輛操作特性與路段車流特性，分別設定合理的參數值，以符合雪山隧道之交通特性。

(二)各方案容量影響分析

本計畫將依據各個方案模擬輸出之流量、速率等車流資料分析雪山隧道於各方案下與現狀之流量變化，予以評估方案對雪山隧道容量產生之效益。

二、安全分析

(一)駕駛模擬器應用

利用駕駛模擬器，招募受測樣本進行實驗，模擬不同駕駛人在隧道內的駕駛行為特性，如縱向車頭距(Headway selection)、速度(Speed selection)、橫向車間距(Gap acceptance)等，做為交通模擬參數設定之參考。並探討有無禁止變換車道規定對於駕駛人駕駛行為影響變

化。

(二)駕駛模擬心理問卷

本計畫利用駕駛模擬器實驗，於不同情境下予以實驗者填寫問卷，評估實驗者於雪山隧道內駕駛時心理壓力程度，並分析開放變換車道後實驗者主觀認知之困難程度，探討有無禁止變換車道規定對於駕駛者心理影響程度。

三、風險評估

針對可能之方案，探討其安全規定調整後，因交通特性改變可能產生之影響，以風險矩陣(Risk)結構化之風險評估方式將國道事故對故方案變化進行衡量。提供學者專家討論及政策實施參考。

四、專家學者問卷及座談會

針對建議方案及其容量、安全、及風險三方面評估結果，本計畫將辦理專家學者座談會及專家學者問卷調查與分析(問卷調查有效樣本至少 30 份)。由於調整安全規定影響層面較大，本計畫邀請包括工程設計、交通管理及交通安全等領域之學者專家參與調查及討論。

4.2 變換車道容量分析

本計畫以 VISSIM 微觀模擬軟體做為探討雪山隧道開放禁止變換車道規定之容量分析工具，先校估符合雪山隧道現況車流之車流參數，確定此路網能夠於模擬環境中重現實際雪山隧道的交通形態，以此路網視為現況(禁止變換車道)車流環境，作為開放變換車道方案之比較基礎，而後設定雪山隧道開放變換車道模擬情境，加以模擬並與現況績效進行比較，評估開放變換車道對於雪山隧道容量提升的效益，其分析流程如下圖 4.2-1。

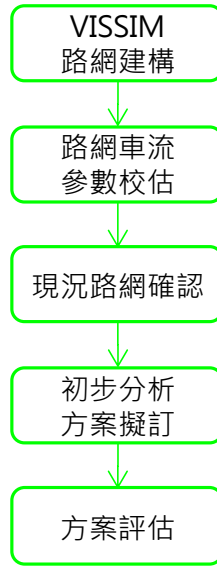


圖 4.2-1 變換車道容量分析流程

4.2.1 微觀模擬路網建構

一、VISSIM 模擬路網建構

本計畫以分析雪山隧道為主，模擬路網建構範圍設定於坪林交流道至頭城交流道，模擬離峰至尖峰時段四小時，分析離峰至尖峰時段的車流變化下，開放變換車道情境下容量的變化，其建構路網範圍如圖 4.2-2。並將雪山隧道切分為前、中、後三段建構，以車流參數控制不同車流行為的路段特性。

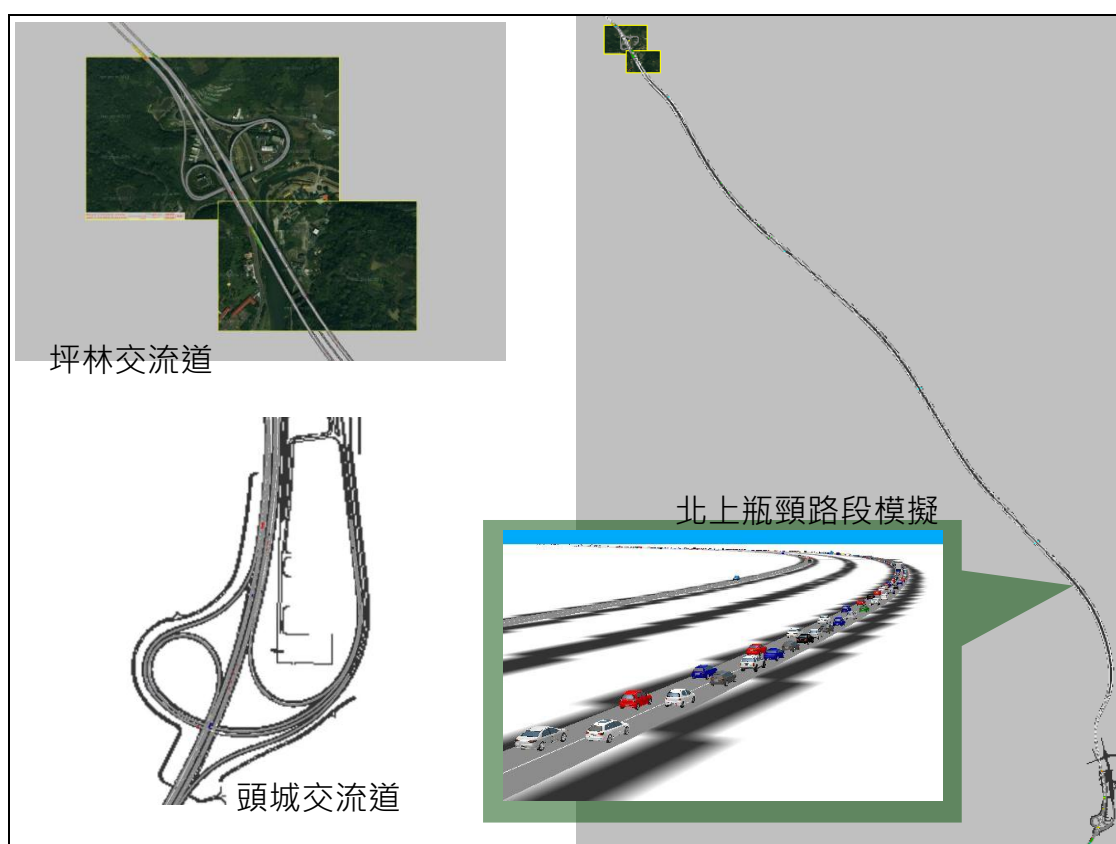


圖 4.2-2 VISSIM 模擬路網建構

二、雪山隧道路網車流參數校估

欲分析雪山隧道容量，車流參數為影響分析結果的重要因素，VISSIM 內以 Wiedemann99 作為高速公路跟車模式，其中影響其高速公路跟車模式參數與其參數意義如下表 4.2-1 所列：

表 4.2-1 Wiedemann99 跟車行為參數

跟車行為參數	單位	預設值
最大前視距離	m	250
觀察鄰近車輛數	輛	2
最大後視距離	m	150
CC0,車輛靜止時平均停等間距(front/rear)	m	1.5
CC1,車輛平均時間車間距(front/rear)	s	0.9
CC2,跟車震盪間距	m	4
CC3,進入跟車行為門檻	s	-8
CC4,控制跟車狀態下，前後車的速度差。速度差為負值時使用	m/s	-0.35
CC5,控制跟車狀態下，前後車的速度差。速度差為正值時使用	m/s	0.35
CC6,跟車過程中，跟車距離對後車速度震動之影響	rad/s	11.44
CC7,後車於跟車過程中之實際加速度	m/s ²	0.25
CC8,車輛由靜止開始啟動之期望加速度	m/s ²	3.5
CC9,車速於 80kph 之期望加速度	m/s ²	1.5

參考江宜穎於 102 年「高速公路壅塞模擬與主線速率漸變控制模式之研究」中，對於 VISSIM 參數進行敏感度分析，得知跟車參數中 CC0、CC1、CC2 與 CC7 顯著影響整體路網容量輸出結果，故本計畫將以此 4 個參數作為參數校估重點。

CC0 參數為車輛靜止時平均停等間距，CC1 參數為保持安全距離所需之時間車間距，行車安全距離係由 CC0 與 CC1 組成，其計算公式如下所示：

$$\text{行車安全距離} = \text{CC0} + \text{CC1} \times \text{車速}(\text{m/s}^2)$$

CC0 僅需調查車輛靜止時兩車間的距離，因此調查方式以雪山隧道內 VD 五分鐘資料推估計算其平均車間距，將於雪山隧道前、中、後三段各取一個 VD 點位分析其車間距與速率關係，如圖 4.2-3。

前段

中段

後段

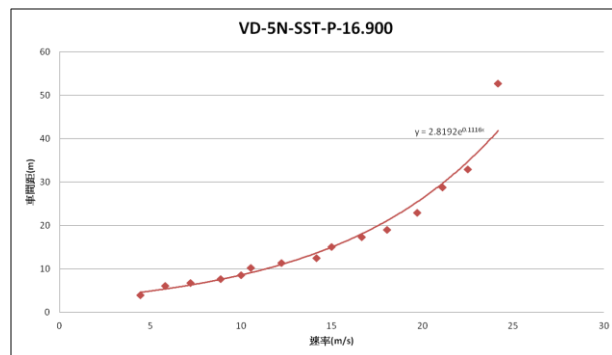
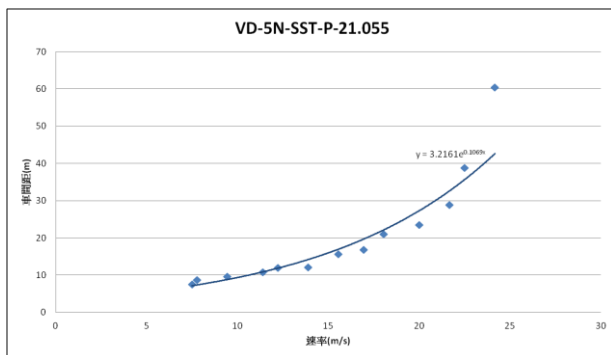
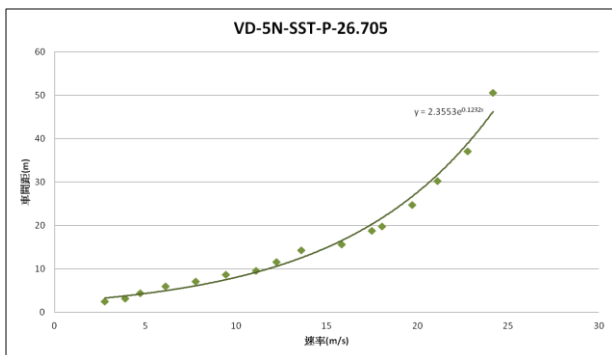
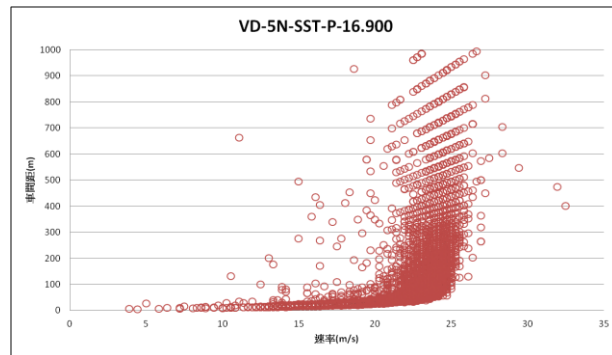
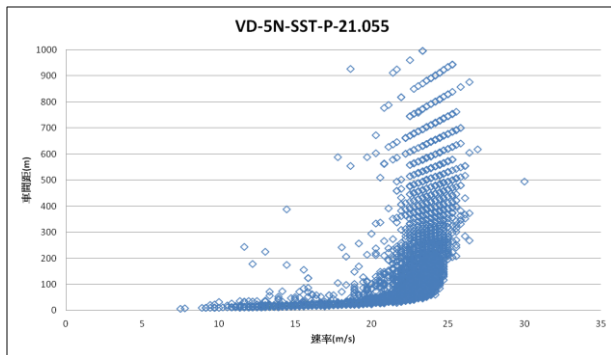
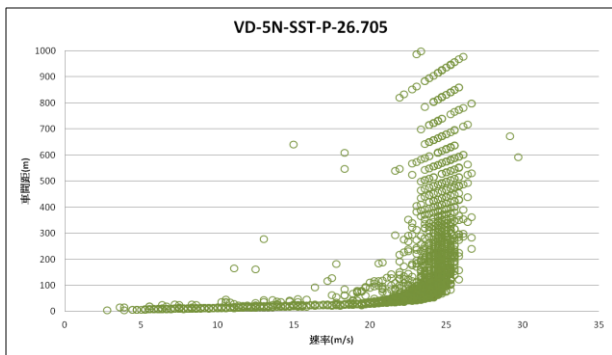


圖 4.2-3 車間距-速率關係圖

取其速率小於 25 m/s^2 ，即時速 90 公里下，最小平均車間距取指數回歸，計算靜止時車間距，即為參數 CC0，回歸結果於雪山隧道前段 CC0 為 2.36 m，中段 CC0 為 3.22 m，後段 CC0 為 2.82 m。

然而 VISSIM 微觀車流參數的取得，需對車輛間相互作用進行分析，雖以車間距與速率關係曲線依其跟車理論可推估 CC1 參數值，然而 CC0 與 CC1 兩參數間理論公式為線性關係，而實際資料分析如圖 4.2-3 顯示應為指數關係，意即 CC0 和 CC1 之線性關係公式間仍有許多參數可影響其安全車間距，而在有限資料內並無法分析車輛間互動關係所需之參數。

故本計畫以基因演算法進行模式參數求解，選用車間距之 MAPE 值作為最佳化指標，以 5 分鐘作為單位時階，計算平均車間距，並與 VD 資料進行比較，於模擬時間內 MAPE 值最小化為目標，進行 CC1、CC2、CC7 參數最佳化求解，其中 MAPE 值(平均絕對誤差百分比)為評估模式預測能力指標，其計算公式如下：

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|}{n}$$

其中， n 為時階數， y_i 為 VD 觀察值， \hat{y}_i 為模式推估值。取得雪山隧道內各路段最佳車流參數，欲校估參數值範圍如表 4.2-2 所列。

表 4.2-2 參數值範圍

VISSIM 跟車行為參數	單位	預設值	最小值	最大值
CC1	s	0.9	0.5	3.5
CC2	m	4	0.0	15.0
CC7	m/s^2	0.25	0.0	1.0

經基因演算法最佳化後所得雪山隧道各路段之車流參數如表 4.2-3 所列。

表 4.2-3 參數校估結果

路段 \ 參數	CC0(m)	CC1(s)	CC2(m)	CC7(m/s ²)
雪山隧道前段	2.36	2.45	3.95	0.61
雪山隧道中段	3.22	2.93	4.38	0.27
雪山隧道後段	2.82	1.76	3.91	0.93

三、雪山隧道路網車流參數確認

模擬係以數學模式反應實際交通現象於虛擬環境中，並利用參數解釋現況環境因子於模擬中調整模式型態，用以配適現況車流行為，然而礙於數學模式之解釋參數有限，但實際車流狀況實為諸多可觀察與不可觀察之因素綜整後之結果，因此模擬與現況車流間仍有部分誤差存在。

為確保其模式可解釋現況車流行為，模式參數需經確認，當模擬輸出與現況資料間之誤差落於接受範圍內，即認定路網具代表性，可表示現況車流。

故本計畫採模擬時段 4 小時，模擬離峰至尖峰時的車流變化，為確認其參數能夠確實模擬此車流變化狀況，故本計畫取雪山隧道北上南口前、隧道內及出隧道北口後共 9 個點位，以前半小時作為暖機時間，進行模擬 3.5 小時之每 5 分鐘為一觀察時階產出之模擬結果與現況 VD 資料的流量和速率確認，如下表 4.2-4，最後整體路網模擬結果，整體流量 MAPE 值為 9%，可視為良好的預測。

表 4.2-4 模擬結果確認

VD 編號	模擬時段	實際流量	模擬流量	模擬流量 MAPE		
VD-5N-14.800	第 1 小時	1440	1533	11.0%	8.8%	8.7%
	第 2 小時	1970	2008	8.2%		
	第 3 小時	2029	1977	7.7%		
	第 4 小時	1923	1923	9.5%		
VD-5N-SST-15.855	第 1 小時	1458	1639	7.4%	8.6%	
	第 2 小時	1968	2128	9.0%		
	第 3 小時	2030	2107	7.9%		
	第 4 小時	1924	2084	10.2%		

VD 編號	模擬時段	實際流量	模擬流量	模擬流量 MAPE	
VD-5N-SST-17.608	第 1 小時	1498	1708	8.7%	7.5%
	第 2 小時	1970	2115	9.0%	
	第 3 小時	2034	2093	5.3%	
	第 4 小時	1923	2109	10.8%	
VD-5N-SST-19.012	第 1 小時	1536	1741	12.7%	9.3%
	第 2 小時	1975	2164	9.6%	
	第 3 小時	2031	2094	6.1%	
	第 4 小時	1906	2107	10.6%	
VD-5N-SST-22.158	第 1 小時	1607	1774	10.6%	8.3%
	第 2 小時	1998	2209	10.2%	
	第 3 小時	2036	2052	4.4%	
	第 4 小時	1905	2099	10.6%	
VD-5N-SST-24.264	第 1 小時	1652	1838	17.2%	8.3%
	第 2 小時	2042	2263	9.6%	
	第 3 小時	2039	2074	4.1%	
	第 4 小時	1926	2060	8.2%	
VD-5N-SST-P-25.310	第 1 小時	1676	1844	14.9%	8.3%
	第 2 小時	2112	2295	10.1%	
	第 3 小時	2041	2050	4.7%	
	第 4 小時	1931	2053	7.5%	
VD-5N-SST-27.468	第 1 小時	1725	1883	16.4%	9.0%
	第 2 小時	2268	2410	9.2%	
	第 3 小時	2046	2060	7.2%	
	第 4 小時	1925	2045	8.2%	
VD-5N-28.420	第 1 小時	1744	1866	14.3%	10.3%
	第 2 小時	2336	2433	9.8%	
	第 3 小時	2039	2044	9.4%	
	第 4 小時	1929	2060	9.8%	

資料來源：本計畫整理。

為確認於流量於不同時間內變化趨勢與實際資料一致，將 5 分鐘流量比較之 MAPE 值繪製曲線圖，如圖 4.2-4，為橫軸為模擬時間，縱軸為各 VD 模擬 5 分鐘流量與實際值間 MAPE 值，其 MAPE 值大部分皆落於 20% 以內，故可認為以目前參數能夠有效模擬出雪山隧道內完整的車流變化。

模擬時段流量MAPE值

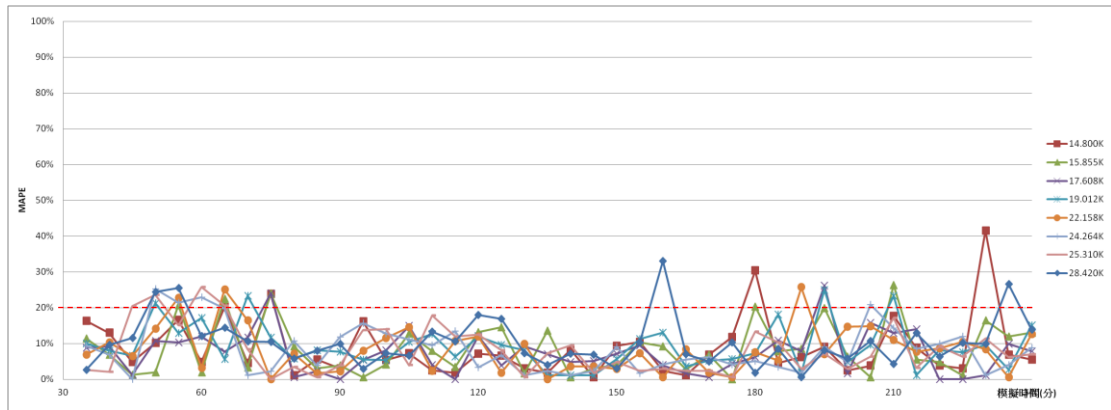


圖 4.2-4 模擬時段各 VD 流量 MAPE

進一步以時空速率圖對應實際車流壅塞發生時間與模擬時間比較，模擬時段為 2015 年 10 月 11 日上午 8 時至 12 時，以時空速率圖表示現況，如圖 4.2-5，其衝擊波起點發生於 25.5K 處，並於 10 點時壅塞蔓延至雪山隧道南口處，對應模擬結果，如圖 4.2-6 於雪山隧道內北上路段 25.5K 處，車間距拉大產生衝擊波，並於圖 4.2-7~4.2-8，模擬至 6,000 秒時，雪山隧道南口處開始壅塞，並於 7,200 秒時壅塞至頭城交流道，與實際調查狀況符合，可認為此路網能夠模擬現況雪山隧道壅塞車流現象。

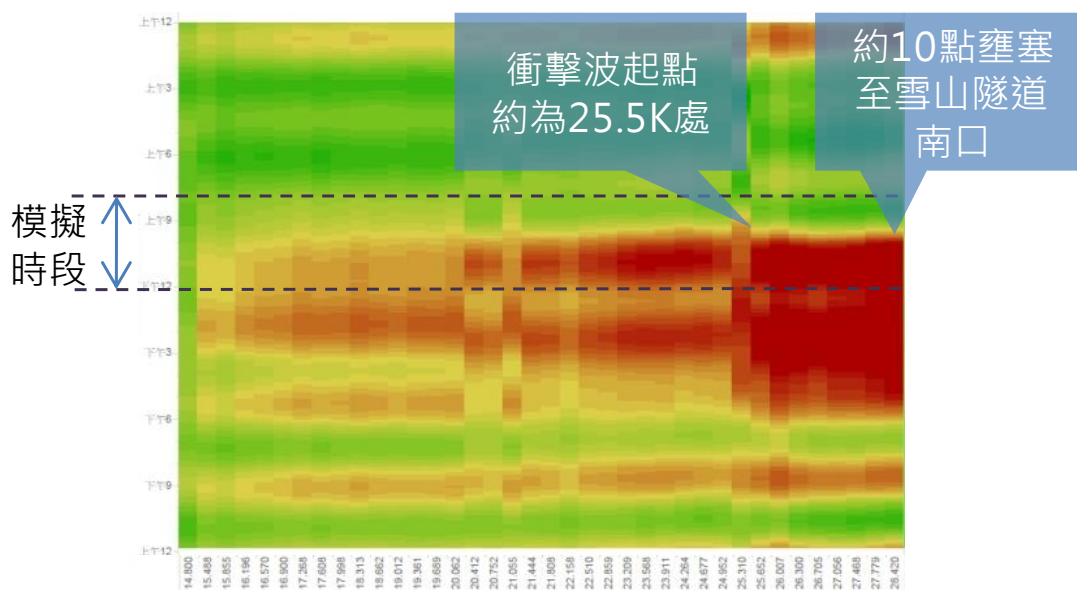


圖 4.2-5 雪山隧道北上調查資料時空速率圖

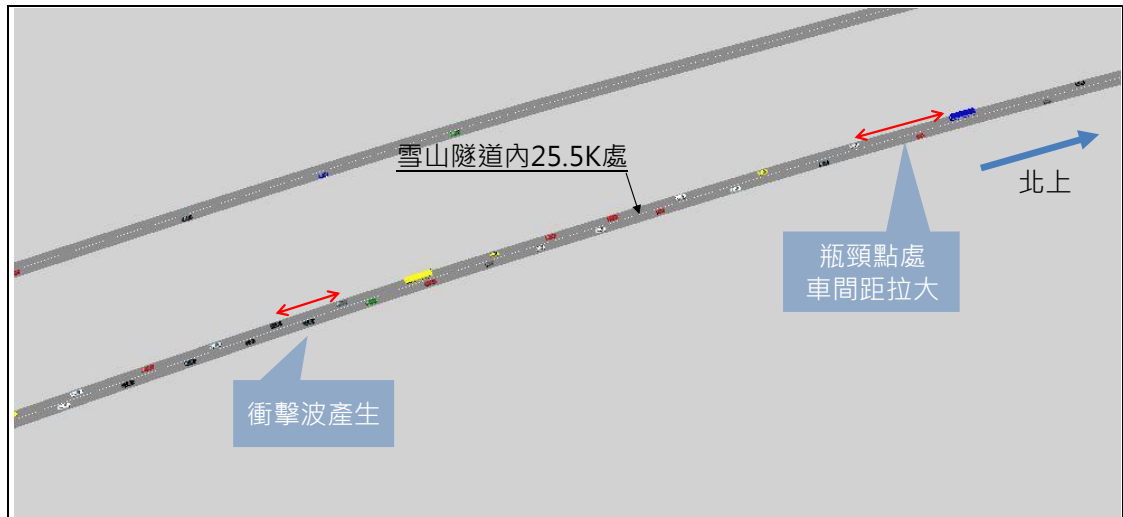


圖 4.2-6 模擬瓶頸點衝擊波產生

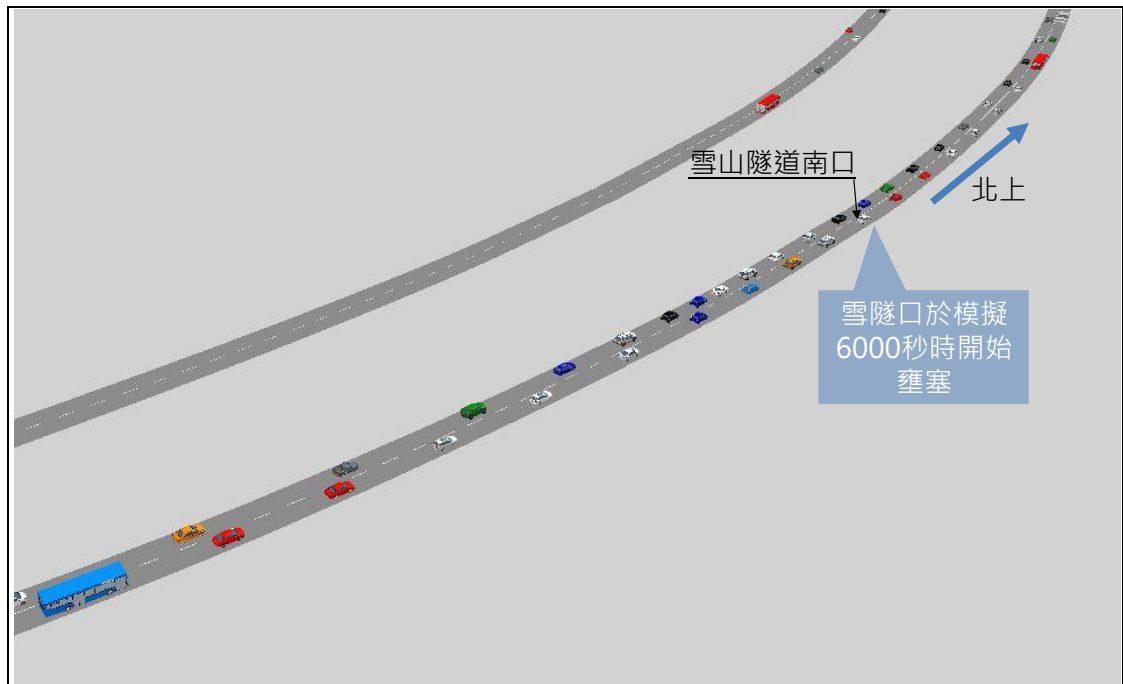


圖 4.2-7 模擬雪山隧道口壅塞



圖 4.2-8 模擬頭城交流道壅塞

4.2.2 微觀模擬方案容量分析

一、分析方案設定

於 3.1 節交通特性分析，雪山隧道壅塞問題主要於北上路段發生，而車流型態依據路段臨界流量變化可分為前、中、後三段，如下表 4.2-5，故開放變換車道評估方案將以北上路段為主，並以各路段特性設定方案組合，評估開放變換車道後帶來的容量效益。

表 4.2-5 雪山隧道北上路段車流特性分類

路段	公里數	特性
雪山隧道前段	南口~25K	臨界流量漸減路段
雪山隧道中段	25K~17K	流量穩定路段
雪山隧道後段	17K~北口	自由車流路段

本計畫將開放變換車道容量分析方式分為兩步驟，第一步將不同車流特性路段進行方案組合設定，如下表 4.2-6，討論開放兩側變換車道之效益評估。

表 4.2-6 變換車道容量分析方案組合

開放路段 評估方案	雪山隧道前段	雪山隧道中段	雪山隧道後段
方案 0 (現況)	-	-	- ^註
方案 1	開放	-	開放
方案 2	-	開放	開放
方案 3	開放	開放	開放

註：現況為內往外單側開放

依據初步方案分析結果，進一步討論於效益最佳方案下，以開放單側變換車道作為放寬禁止變換車道規定之配套措施，分析其對於雪山隧道容量提升的效益。開放單側變換車道參考國道 1 號五楊高架段高乘載車道方式，每隔 0.8~1 公里開放 1 公里路段可單側變換車道，其車道線佈設如圖 4.2-9 所示。

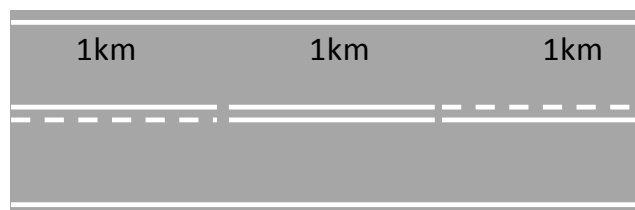


圖 4.2-9 單側變換車道開放方式

二、方案績效評估架構

方案績效評估方式主要選定模擬日期於 VISSIM 中進行當日流量模擬，重現當日車流狀況作為基礎方案(方案 0)與其他方案輸出績效進行比較。方案比較著重於各方案能將基礎方案之績效提升程度，並以單位小時通過量(流率)以及旅行時間作為分析比較之績效指標，其分析架構如下圖 4.2-10 所示。

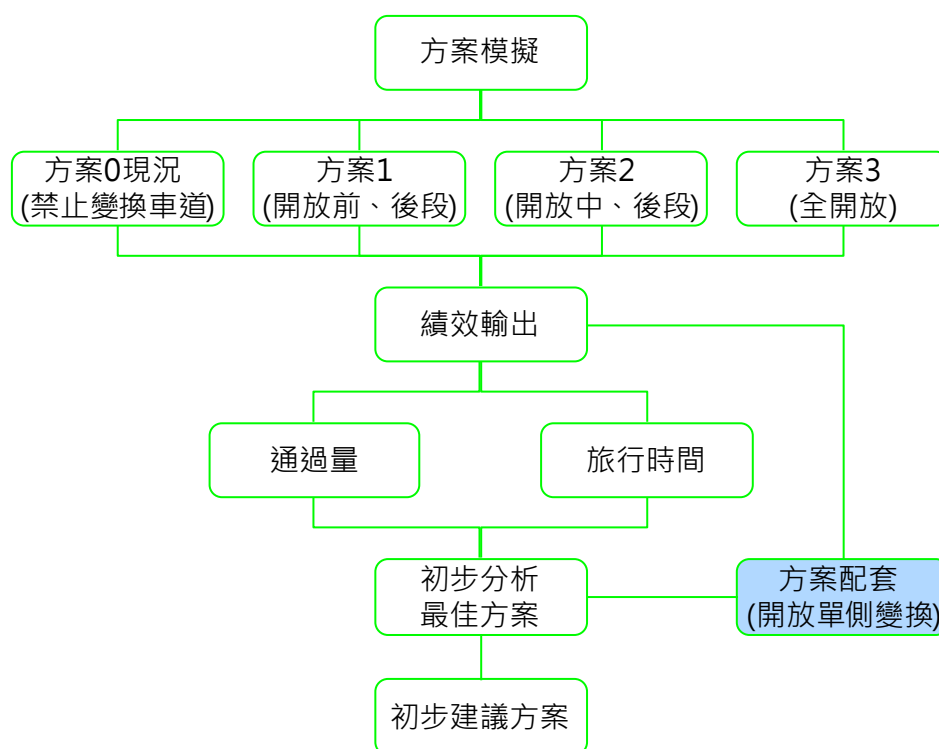


圖 4.2-10 變換車道方案模擬績效評估架構

三、方案績效評估

選定模擬日期與時段為 2015 年 10 月 11 日 8 時至 12 時，涵蓋離峰至尖峰時段進行方案分析，將各方案之

模擬績效與現況禁止變換車道情況比較，評估各時段之績效差異，如表 4.2-7 所示。

表 4.2-7 變換車道各方案績效指標比較

方案	模擬時間 (時段)	通過量			隧道內旅行時間				
		(輛/小時)	平均	差異	(秒)	平均	差異		
方案 0 (現況)	08:00~09:00	1,438	1,844	-	-	614.5	967.0	-	-
	09:00~10:00	1,964		-	-	826.4		-	-
	10:00~11:00	2,031		-	-	1,175.5		-	-
	11:00~12:00	1,944		-	-	1,251.6		-	-
方案 1 (開放前、後段)	08:00~09:00	1,443	1,858	5	0%	592.9	944.1	-22	-4%
	09:00~10:00	1,967		3	0%	816.0		-10	-1%
	10:00~11:00	2,042		11	1%	1,159.0		-17	-1%
	11:00~12:00	1,978		34	2%	1,208.5		-43	-3%
方案 2 (開放中、後段)	08:00~09:00	1,448	1,887	10	1%	594.4	929.0	-20	-3%
	09:00~10:00	1,979		15	1%	810.3		-16	-2%
	10:00~11:00	2,064		33	2%	1,146.7		-29	-2%
	11:00~12:00	2,055		111	6%	1,164.6		-87	-7%
方案 3 (全開放)	08:00~09:00	1,449	1,881	11	1%	587.9	938.8	-27	-4%
	09:00~10:00	1,972		8	0%	802.4		-24	-3%
	10:00~11:00	2,054		23	1%	1,171.3		-4	0%
	11:00~12:00	2,048		104	5%	1,193.7		-58	-5%

資料來源：本計畫整理。

其績效指標以通過雪山隧道全段 (28.402K~14.800K) 之單位小時通過量與旅行時間進行分析，藉由通過量觀察三種方案，於 8:00~10:00 尚未壅塞時段，道路容量尚有餘裕，通過量成長有限，10:00~11:00 通過量開始增加，而至 11:00~12:00 時，各方案通過量開始產生差異，以方案 2 (中、後段開放) 與方案 3 (全開放) 通過量相較於方案 1 增加幅度較高，為 5~6%，而方案 1 (開放前、後段) 通過量並無明顯增加的趨勢。就各方案間流量比較結果，方案 2、3 雖可增加些許流量，整體而言其增加幅度有限。

以旅行時間觀察，方案 1 於離峰時段，車流順暢狀況下可減少較多的旅行時間；而當 10:00~12:00 旅行時間開始增加時，方案 2 所減少之旅行時間幅度較高；方案 3 綜合兩方案特性，壅塞與非壅塞時段旅行時間下降幅度較為平均。

為分析各方案開放變換車道後雪隧外等候時間與通過隧道之旅行時間變化，將旅行時間區分隧道內外進行分析比較，如表 4.2-8 所列。因本計畫模擬範圍界定於坪林至頭城交流道，故以路網最遠處(國 5 30K+551)至雪隧北口處(國 5 14K+800)作為分析範圍，分析結果發現，方案 2 及方案 3 可減少隧道外之旅行時間，提升整體旅行時間效益。

表 4.2-8 變換車道各方案雪山隧道內外旅行時間比較

方案	路段		模擬時間	旅行時間	平均	差異	
			(時段)	(秒)		(秒)	(秒)
方案 0 (現況)	隧道外	北上 30.551K~28.402K	08:00~09:00	182.2	571.2	-	-
			09:00~10:00	288.2		-	-
			10:00~11:00	969.9		-	-
			11:00~12:00	844.3		-	-
	隧道內	北上 28.402K~14.800K	08:00~09:00	614.5	967.0	-	-
			09:00~10:00	826.4		-	-
			10:00~11:00	1175.5		-	-
			11:00~12:00	1251.6		-	-
	路網分析 範圍	北上 30.551K~14.800K	08:00~09:00	796.7	1538.2	-	-
			09:00~10:00	1114.6		-	-
			10:00~11:00	2145.4		-	-
			11:00~12:00	2095.9		-	-
方案 1 (開放前 、後段)	隧道外	北上 30.551K~28.402K	08:00~09:00	182.2	566.6	0.0	0%
			09:00~10:00	283.3		-4.9	-2%
			10:00~11:00	951.7		-18.2	-2%
			11:00~12:00	849.2		5.0	1%
	隧道內	北上 28.402K~14.800K	08:00~09:00	592.9	944.1	-21.6	-4%
			09:00~10:00	816.0		-10.4	-1%
			10:00~11:00	1159.0		-16.5	-1%
			11:00~12:00	1208.5		-43.1	-3%
	路網分析 範圍	北上 30.551K~14.800K	08:00~09:00	775.1	1510.7	-21.6	-3%
			09:00~10:00	1099.3		-15.3	-1%
			10:00~11:00	2110.7		-34.7	-2%
			11:00~12:00	2057.7		-38.1	-2%
方案 2 (開放中 、後段)	隧道外	北上 30.551K~28.402K	08:00~09:00	182.2	498.0	0.0	0%
			09:00~10:00	283.6		-4.6	-2%
			10:00~11:00	893.5		-76.4	-8%
			11:00~12:00	632.6		-211.6	-25%

方案	路段		模擬時間 (時段)	旅行時間 (秒)	平均 (秒)	差異 (秒)	
	隧道內	北上 28.402K~14.800K	08:00~09:00	594.4	929.0	-20.1	-3%
			09:00~10:00	810.3		-16.1	-2%
			10:00~11:00	1146.7		-28.8	-2%
			11:00~12:00	1164.6		-87.0	-7%
	路網分析 範圍	北上 30.551K~14.800K	08:00~09:00	776.6	1427.0	-20.1	-3%
			09:00~10:00	1093.9		-20.7	-2%
			10:00~11:00	2040.2		-105.2	-5%
			11:00~12:00	1797.2		-298.6	-14%
方案 3 (全開放)	隧道外	北上 30.551K~28.402K	08:00~09:00	182.2	478.4	0.0	0%
			09:00~10:00	280.9		-7.3	-3%
			10:00~11:00	862.7		-107.2	-11%
			11:00~12:00	587.6		-256.6	-30%
	隧道內	北上 28.402K~14.800K	08:00~09:00	587.9	938.8	-26.6	-4%
			09:00~10:00	802.4		-24.0	-3%
			10:00~11:00	1171.3		-4.2	0%
			11:00~12:00	1193.7		-57.9	-4%
	路網分析 範圍	北上 30.551K~14.800K	08:00~09:00	770.1	1417.2	-26.6	-3%
			09:00~10:00	1083.3		-31.3	-3%
			10:00~11:00	2034.0		-111.4	-5%
			11:00~12:00	1781.3		-314.5	-15%

資料來源：本計畫整理。

為比較各方案對於雪山隧道內通過量影響，故以 11:00~12:00 通過量差異較大之時段，分析隧道內各 VD 資料通過量，如表 4.2-9。

表 4.2-9 各方案雪山隧道內通過量比較

方案		方案 0 (現況)	方案 1 (開放前、後段)		方案 2 (開放中、後段)		方案 3 (全開放)	
VD		通過量 (輛/小時)	通過量 (輛/小時)	差異	通過量 (輛/小時)	差異	通過量 (輛/小時)	差異
隧道前段	VD-N-28.420	1,998	1,974	-1%	1,930	-3%	1,927	-4%
	VD-N-27.779	1,991	2,020	1%	1,975	-1%	1,968	-1%
	VD-N-27.468	1,992	2,037	2%	1,995	0%	1,994	0%
	VD-N-27.056	1,994	2,042	2%	2,013	1%	2,012	1%
	VD-N-26.705	1,995	2,039	2%	2,034	2%	2,024	1%
	VD-N-26.300	1,993	2,039	2%	2,047	3%	2,026	2%
	VD-N-26.007	1,985	2,035	3%	2,048	3%	2,030	2%
	VD-N-25.652	1,983	2,033	3%	2,045	3%	2,027	2%
	VD-N-25.310	1,986	2,031	2%	2,048	3%	2,023	2%
	VD-N-24.952	1,980	2,031	3%	2,044	3%	2,022	2%
VD-N-24.677	1,961	2,025	3%	2,045	4%	2,024	3%	
隧道中段	VD-N-24.264	1,945	2,012	3%	2,044	5%	2,027	4%
	VD-N-23.911	1,940	2,007	3%	2,044	5%	2,031	5%
	VD-N-23.568	1,937	1,995	3%	2,045	6%	2,034	5%
	VD-N-23.209	1,934	1,993	3%	2,037	5%	2,034	5%
	VD-N-22.859	1,937	1,988	3%	2,036	5%	2,029	5%
	VD-N-22.510	1,935	1,986	3%	2,036	5%	2,031	5%
	VD-N-22.158	1,942	1,980	2%	2,040	5%	2,035	5%
	VD-N-21.808	1,944	1,977	2%	2,041	5%	2,041	5%
	VD-N-21.444	1,944	1,977	2%	2,041	5%	2,045	5%
	VD-N-21.055	1,943	1,979	2%	2,039	5%	2,048	5%
	VD-N-20.752	1,945	1,986	2%	2,034	5%	2,050	5%
	VD-N-20.412	1,946	1,986	2%	2,041	5%	2,051	5%
	VD-N-20.062	1,949	1,986	2%	2,040	5%	2,048	5%
	VD-N-19.689	1,949	1,979	2%	2,042	5%	2,047	5%
	VD-N-19.361	1,947	1,977	2%	2,045	5%	2,044	5%
	VD-N-19.012	1,950	1,972	1%	2,049	5%	2,044	5%
	VD-N-18.662	1,951	1,973	1%	2,048	5%	2,043	5%
	VD-N-18.313	1,953	1,973	1%	2,050	5%	2,039	4%
VD-N-17.998	1,954	1,974	1%	2,051	5%	2,042	5%	
VD-N-17.608	1,961	1,972	1%	2,055	5%	2,044	4%	
VD-N-17.268	1,962	1,974	1%	2,055	5%	2,049	4%	
隧道後段	VD-N-16.900	1,963	1,974	1%	2,055	5%	2,050	4%
	VD-N-16.570	1,966	1,974	0%	2,056	5%	2,049	4%
	VD-N-16.196	1,967	1,973	0%	2,057	5%	2,046	4%
	VD-N-15.855	1,961	1,977	1%	2,062	5%	2,048	4%
	VD-N-15.448	1,952	1,975	1%	2,057	5%	2,049	5%
	VD-N-14.800	1,944	1,978	2%	2,055	6%	2,048	5%

資料來源：本計畫整理。

由表 4.2-9 分析，方案 1 可提高隧道前段通過量，然而過隧道中段，由於車間距拉長，而前段提昇之通過量於中段仍無法有效紓解，使之通過量於隧道後段增加幅度與現況僅提昇 1~2%；方案 2 於 25~17K 處開放變換車道，此段通過量提昇，同時紓解 28~25K 處車流，順勢提高隧道前段車流通過量，於後段可提昇 6%通過量；方案 3 雖隧道中段紓解效果提昇，可拉高前段通過量，然而因隧道前段車流行為較為不穩定，造成隧道前段通過量較方案 2 提升幅度低，使之隧道後段通過量提昇僅 5%。

綜合通過量與旅行時間評比三方案績效表現，雖方案 3 可減少較多整體旅行時間，但以方案 2 提高之通過量為三方案間最大，且於壅塞時段減少之旅行時間與方案 3 差異不大，故方案 2 可視為三方案中之最佳方案。

四、配套方案分析

進一步以方案 2 為基礎，針對其開放變換車道路段調整為單側變換車道進行模擬，並與現況績效比較評估其方案效益，如表 4.2-10 所列。

由於僅開放單側變換車道，車道空間使用的自由度較開放雙側變換車道低，且於特定路段開放單側變換車道亦可能造成不可變換側之車道產生衝擊波影響，故由表 4.2-10，於離峰時段僅開放單側變換車道雖無明顯增加通過量，但旅行時間有些許減少趨勢，然而當車流量增加時，其可變換路段產生衝擊波影響，通過量及旅行時間表現皆呈現變差的趨勢。

其分析結果，開放單側變換車道其自由度不如雙側變換車道，而路段車流相較禁止變換車道變的更加不穩定，使之通過量與現況相比呈現減少的趨勢。

表 4.2-10 最佳方案與配套方案績效指標比較

方案	模擬時間 (時段)	通過量			隧道內旅行時間				
		(輛/小時)	平均	差異	(秒)	平均	差異		
方案 0 (現況)	08:00~09:00	1,438	1,844	-	-	614.5	967.0	-	-
	09:00~10:00	1,964		-	-	826.4		-	-
	10:00~11:00	2,031		-	-	1,175.5		-	-
	11:00~12:00	1,944		-	-	1,251.6		-	-
方案 2 (開放中 、後段)	08:00~09:00	1,448	1,887	10	1%	594.4	929.0	-20	-3%
	09:00~10:00	1,979		15	1%	810.3		-16	-2%
	10:00~11:00	2,064		33	2%	1,146.7		-29	-2%
	11:00~12:00	2,055		111	6%	1,164.6		-87	-7%
方案 2-配套 (開放中 、後段單側)	08:00~09:00	1,443	1,840	5	0%	600.7	990.5	-14	-2%
	09:00~10:00	1,943		-21	-1%	840.9		15	2%
	10:00~11:00	2,000		-31	-2%	1,233.0		58	5%
	11:00~12:00	1,972		28	1%	1,287.5		36	3%

資料來源：本計畫整理。

五、變換車道容量分析小結

依據雪山隧道車流特性，針對放寬變換車道規定初步擬定 3 種方案，經 VISSIM 微觀模擬分析，雪山隧道北上自 25K 後開放變換車道，可增加通過量與旅行時間之效益。

4.3 變換車道安全分析

4.3.1 駕駛模擬器應用

國內目前以交通部運輸研究所所建置之駕駛模擬器，功能最為完整，除具備實車座艙外，並可完整評估駕駛人之駕駛績效與工作負荷。系統架構如圖 4.3-1 所示。

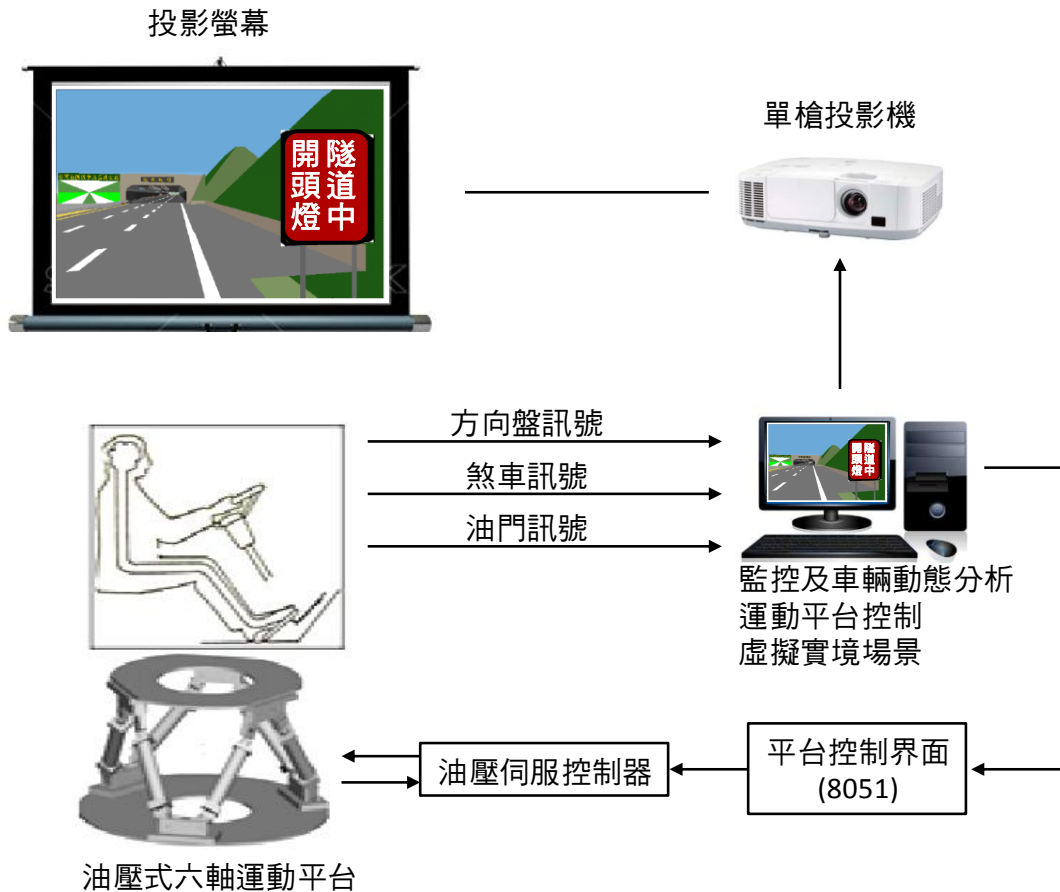


圖 4.3-1 駕駛模擬器系統架構圖

一、系統特性

駕駛人在車輛行駛過程中需依照當時的道路狀況採用不同的車輛操控方式(例如:車道維持、車間距與速度控制等)，使車輛能在道路上正常運行。駕駛人對車輛的控制可藉由衡量感知反應時間、煞車反應時間、事故次數、車速變化量、平均偏移與車道偏差、縱向車頭距(Headway selection)、速度(Speed selection)、路口判斷與決策(Intersection negotiation)、操控時間(Maneuver avoidance)、橫向車間距(Gap acceptance)、車禍迴避的能力(Crash avoidance)與車輛在車道的位置(Lane placement)等變數來評估駕駛績效。駕駛績效優劣是駕駛人行駛過程中的駕駛安全評估重要參考，駕駛人的駕駛績效差表示潛在駕駛危險提升，例如感知反應時間過長，則發生碰撞的可能性增高；若車道偏差量大，則碰撞鄰近車道車輛的機會就會增加。

此外，由於人類處理信息(如從顯示器,報警,記錄和通信)、記憶項目、決策和執行任務的能力都有其限制，過多的工作負荷可能會對人員績效造成影響，如較慢的工作績效和人為錯誤；然而過低的工作負荷亦可能會對人員績效造成影響，如無聊、失去情境知覺能力或降低警覺性等。駕駛者的工作負荷不僅會影響反應靈敏度，亦會影響到駕駛績效。工作負荷是一種複雜的現象，分別有不同的類型，如視覺工作負荷(駕駛者在觀看何種資訊?)、運動(Motor)工作負荷(駕駛者手部及足部在從事何種運動?)、心智工作負荷(駕駛者在過程中接收多少資訊?)，雖然這些工作負荷大都是同時發生的，亦有不同的量測方法。評估工作負荷的方法包括主要任務績效、次要任務績效、視覺工作負荷量測、生理工作負荷量測、主觀評量問卷、周圍偵測任務等。

透過駕駛模擬器，可以避免實車測試產生的碰撞危險和無法預知的情況，藉由模擬真實的駕駛環境，可控制模擬實驗變數並能重複實驗，大幅減少測試費用。

二、應用於隧道之案例借鏡

近年來國外已有相關研究利用駕駛模擬探討隧道內的駕駛行為，Calvi 等人研究指出，駕駛人在隧道內的行駛速度，相對於在開放空間中行駛來得慢，而駕駛人在隧道內車道橫向位置會儘量遠離隧道牆壁。此外隧道環境也會造成駕駛人輕微的病理性不適感(pathologic discomfort)；He 等人研究指出在實際道路實驗中，不同隧道長度會影響駕駛人的視覺注意力以及凝視停留時間(gaze time)與停留期(fixation duration)分佈情形。

Shimojo 等人藉由駕駛模擬研究發現，隧道斷面以及顯示剩餘隧道長度的標誌訊息，對於駕駛人的駕駛績效與工作負荷有顯著影響。Yeung 等人分析比較實際開放道路與隧道的車流影片指出，駕駛人為確保行駛

安全，在隧道環境中所建立之安全空間(Safety margin)較開放道路環境來得大。

Ceci 主要探討駕駛於隧道中駕駛人的心智負荷和測試不同的車內導航系統對駕駛者視覺分心的影響。虛擬實驗場景為斯德哥爾摩的 Sodra Lanken 隧道的實驗路線，實車測試共包含二條測試線，均位在 Linkoping 市。導航方式有三種：(1)影像導航、(2)影像加字幕導航、(3)字幕導航。每種各 8 位受測者。實驗方式為用 PDT(Peripheral Detection Task)量測視覺辨識力的工作負荷，該研究中有關車部份的量測變數為縱向速率、車速變化量和縱向加速度，有關路部份的量測變數為車道偏差。

三、本計畫內容

(一)建構 3D 虛擬場景

雪山隧道採雙孔單向設計，隧道內僅有雙向四線道（單向僅兩車道），爰此在隧道模擬場景建置部分，本計畫先依據雪山隧道斷面幾何建構隧道剖面，然後再依據規劃之實驗路線幾何線形(直線、彎道)，利用程序化內容生成技術(Procedural Content Generation)產生隧道 3D 模型；然後再依據雪山隧道內既有安全設施，如消防栓箱等，逐一建構 3D 模型，最後再將安全設施 3D 模型與隧道 3D 模型整合成靜態隧道 3D 模擬場景，供後續駕駛互動行為腳本測試使用。

1. 隧道 3D 模型建置

圖 4.3-2 為本計畫取得之雪山隧道斷面幾何圖，由圖可知隧道的半徑為 5.85 公尺、路面的寬度為 7.6 公尺(雪山隧道內車道寬度 3.5 公尺，加上車道距路緣 0.3 公尺)、路旁人行道高於車道路面 0.15 公尺，寬度為 2 公尺。爰此，本計畫利用 Unity3D 引擎依據上述斷面尺寸以及實驗路線幾何，建構隧道剖面(如圖 4.3-3 所示)以及實驗路線(如圖 4.3-4 所示)，然後再利用程序化內容生成技術(Procedural Content Generation)產生隧道 3D 模型，如圖 4.3-5 所示。

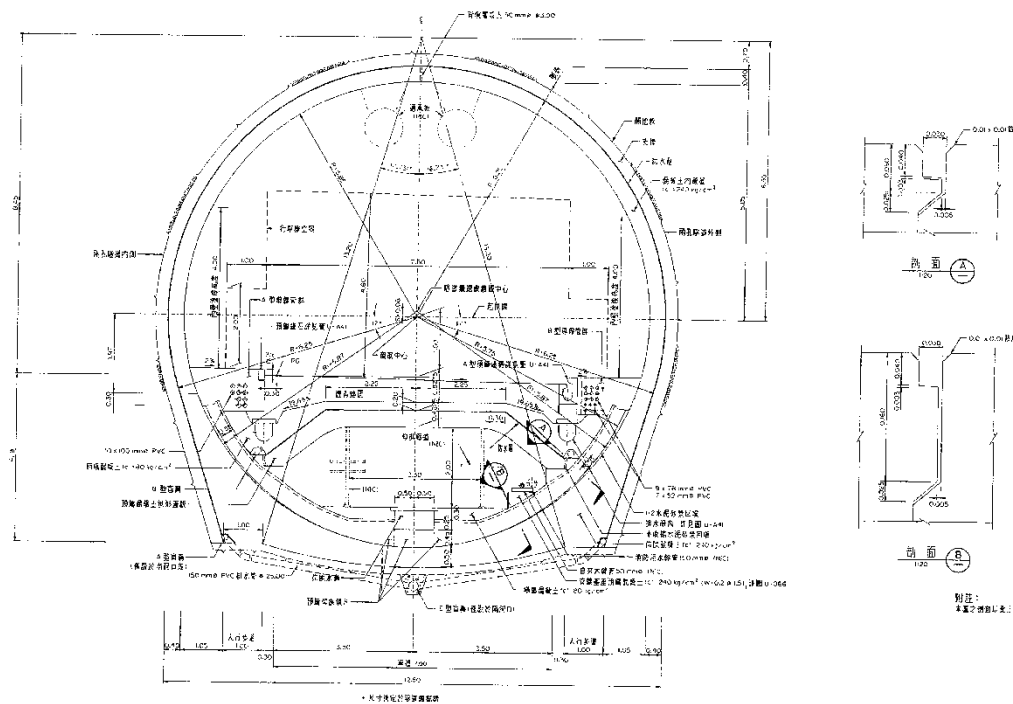


圖 4.3-2 雪山隧道斷面圖

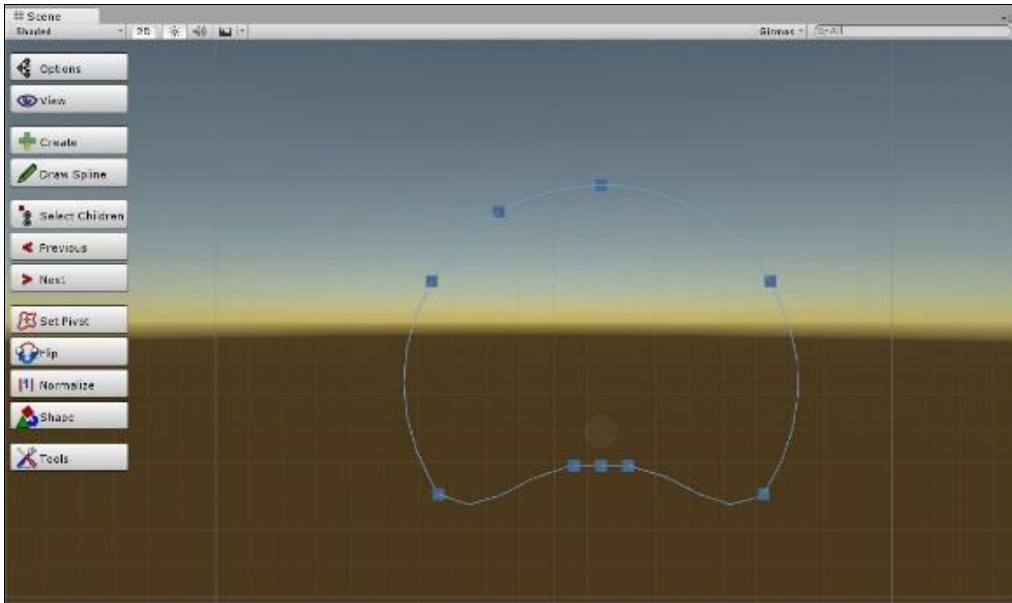


圖 4.3-3 本計畫於 Unity3D 引擎中所建構之隧道剖面

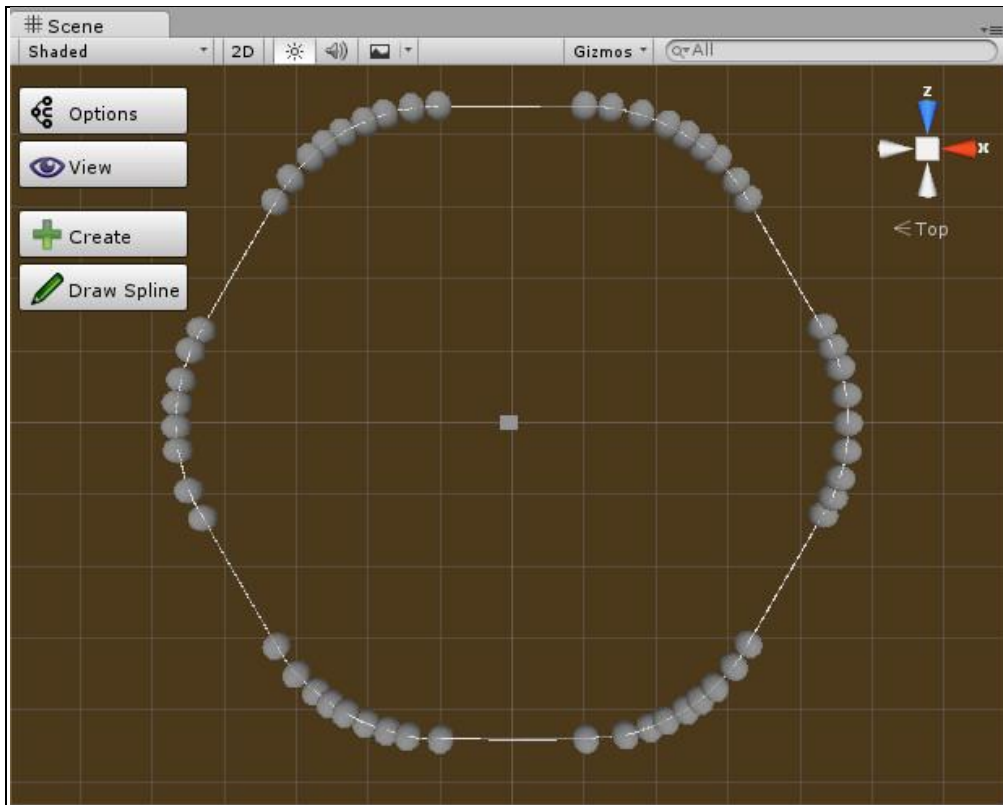


圖 4.3-4 本計畫於 Unity3D 引擎中所建構之實驗路線幾何

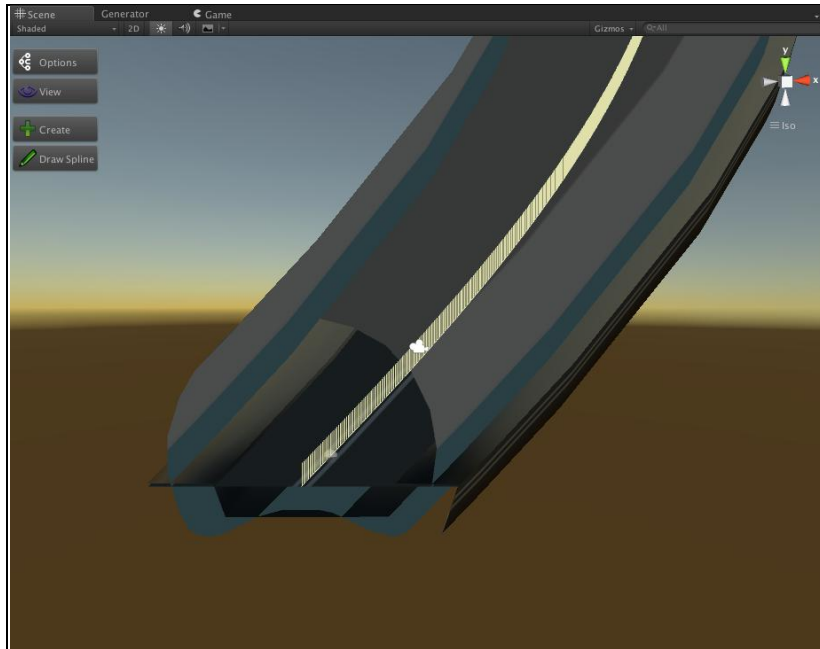


圖 4.3-5 本計畫利用程序化內容生成技術產生之隧道 3D 模型

完成上述隧道 3D 模型建構後，本計畫依據雪山隧道內車道與人行道斷面幾何數據，利用 Unity3D 引擎建構車道與人行道剖面(如圖 4.3-6 所示)，然後再藉由程序化內容生成技術沿實驗路線幾何，產生隧道內之車道與人行道，如圖 4.3-7 所示。

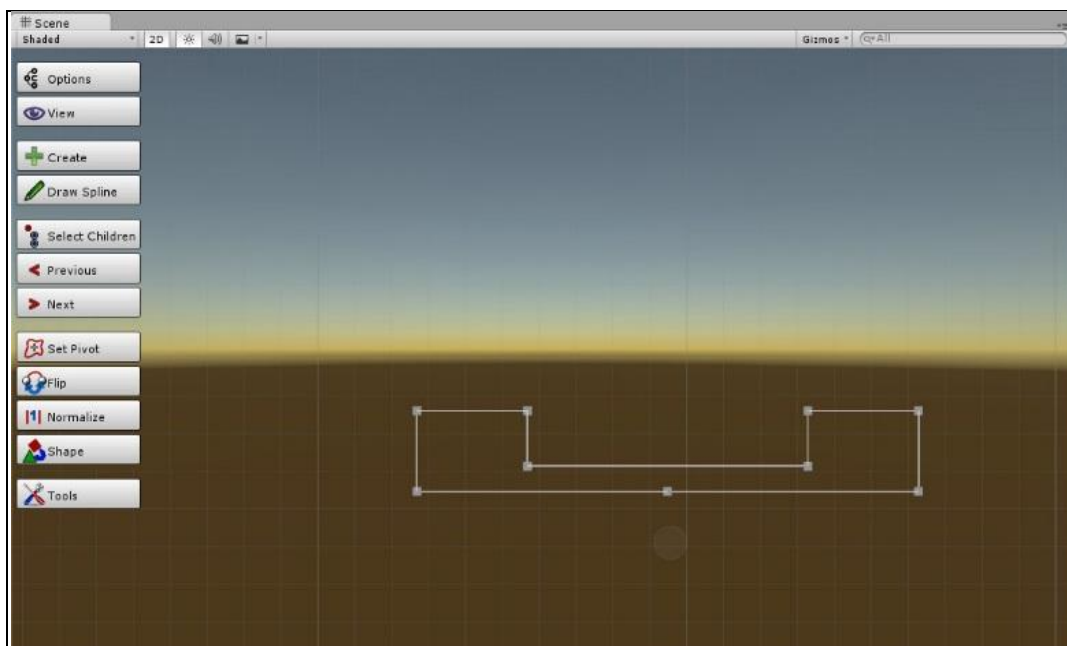


圖 4.3-6 本計畫利用 Unity3D 引擎建構之車道與人行道剖面

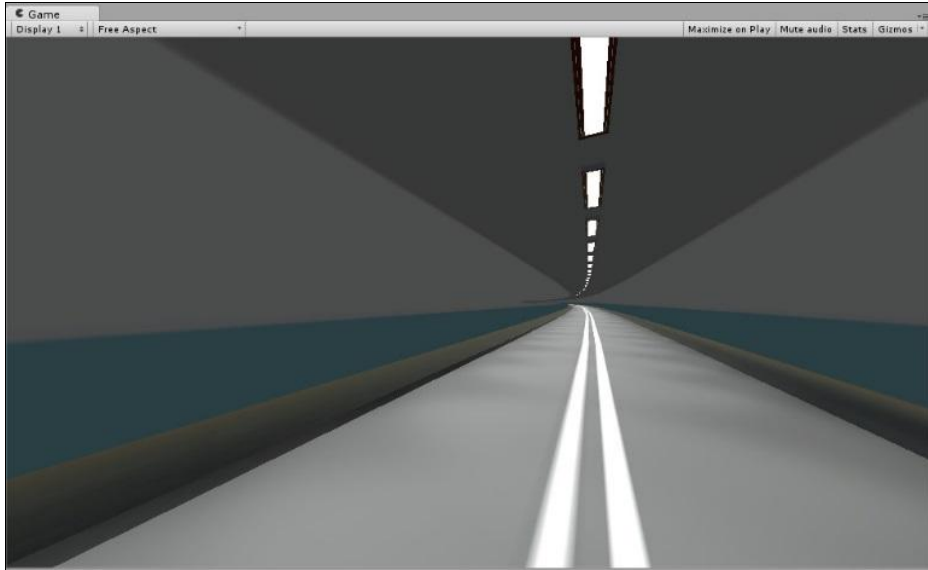


圖 4.3-7 利用程序化內容生成技術產生隧道內之車道與人行道

2.安全設施 3D 模型建置

本計畫依據圖 4.3-8 雪山隧道安全設施圖中所列之設施，分別建構下表所列之 3D 模型，模型來源分為由線上資源商品購買下載及自行建構等 2 類，線上資源商品購買下載之 3D 模型尚需經由人工拆解方式，將所需之組件拆解出來轉成 Unity3D 場景之預製物，供後續場景使用，本計畫利用上述方式建構之 3D 模型包括車道管制號誌(LCS)、通風系統、速限可變標誌(CSLs)以及隧道內燈，相關圖示詳見附錄四。

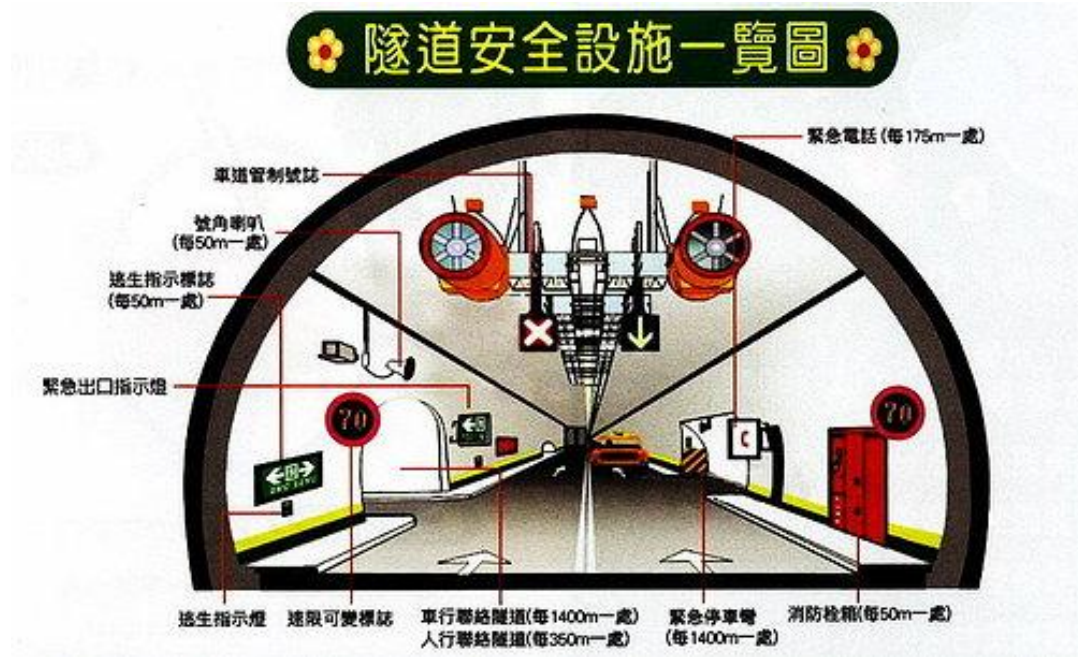


圖 4.3-8 雪山隧安全設施圖

本計畫完成上述 3D 模型建構後，再將安全設施 3D 模型與隧道 3D 模型整合，隧道模擬場景整合結果如下圖所示。

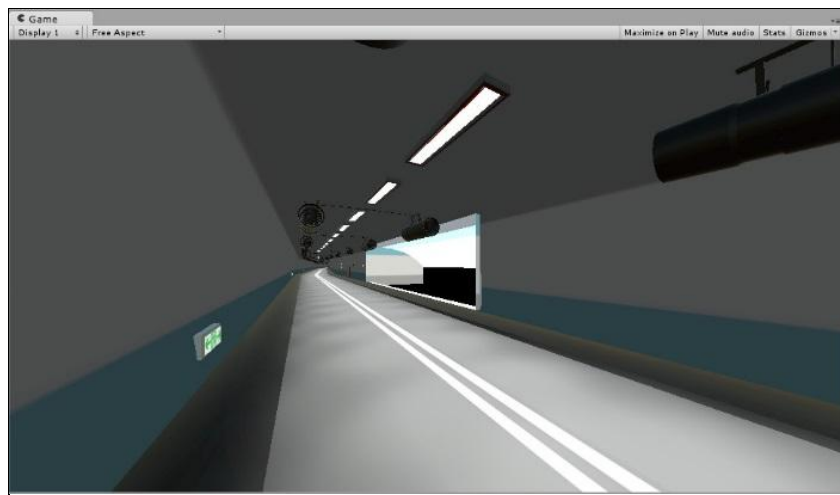


圖 4.3-9 隧道模擬場景整合結果一

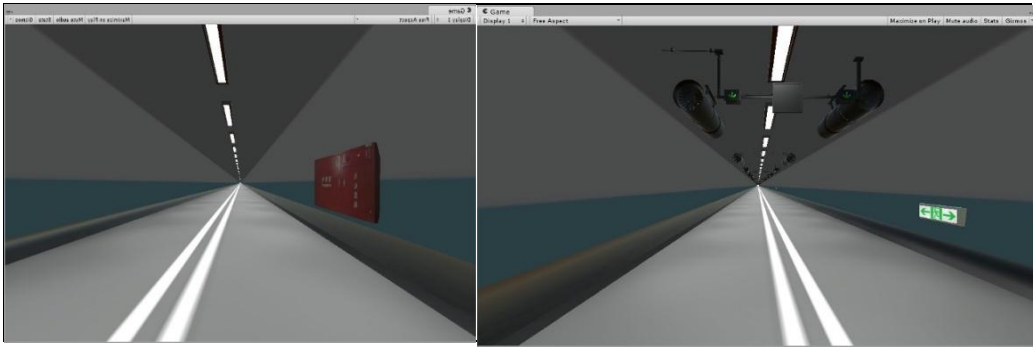


圖 4.3-10 隧道模擬場景整合結果二

(二) 駕駛模擬車輛模組

除了上述靜態場景建置之外，車輛運動物理模擬亦是相當重要之一環，爰此，本計畫評估 Unity3D 線上資源商店與車輛運動物理有關之外掛模組後，選擇 Edy' s Vehicle Physics 5 作為本計畫車輛運動物理模擬使用，茲將該模組之相關重要參數設定整理如表 4.3-1 及圖 4.3-11~13：

表 4.3-1 本計畫車輛物理模組模擬參數

Wheels 車輪參數	可設定前輪驅動或是四輪驅動；煞車作動車輪，手煞車作動車輪；轉向輪設定
Handling & Behavior 車輛操控相關參數	Center of Mass (CoM) 車輛重心位置 Tire Friction 輪胎摩擦係數 Anti-Roll 車輛防傾 Max Steer Angle 最大轉向角 Aero Drag 空氣阻力係數 Aero Downforce 空氣下壓力量 Aero App Point Offset 空氣阻力作用點(相對於車輛重心)
Motor 車輛動力參數	Max Speed Forward 車輛最大前進速度(單位：m/s) Max Speed Reverse 車輛最大倒車速度(單位：m/s) Max Drive Force 車輛輸出動力(油門 100%，單位：牛頓)
Brakes 車輛煞車參數	Max Brake Force 最大煞車力(煞車 100%，單位：牛頓)
Driving Aids 駕駛輔助	TC(車輛循跡防滑控制系統) ABS ESP(車身動態穩定系統)
Wheel Collider 車輪 碰撞器設定	Radius (m) 輪胎半徑 Suspension Distance (m) 懸吊行程 Spring (N/m) 彈簧係數 Damper (Ns/m) 阻尼係數

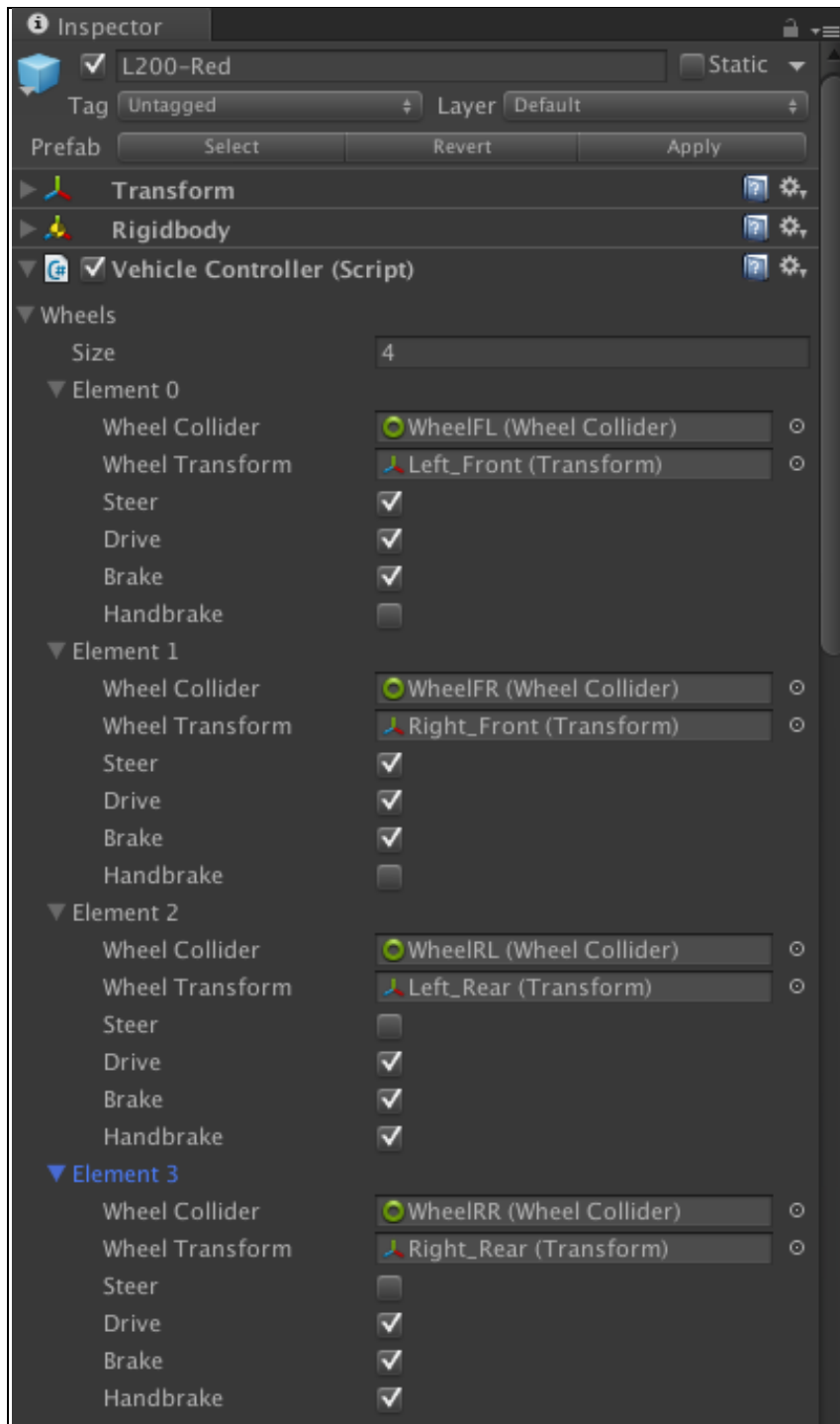


圖 4.3-11 車輪參數設定畫面

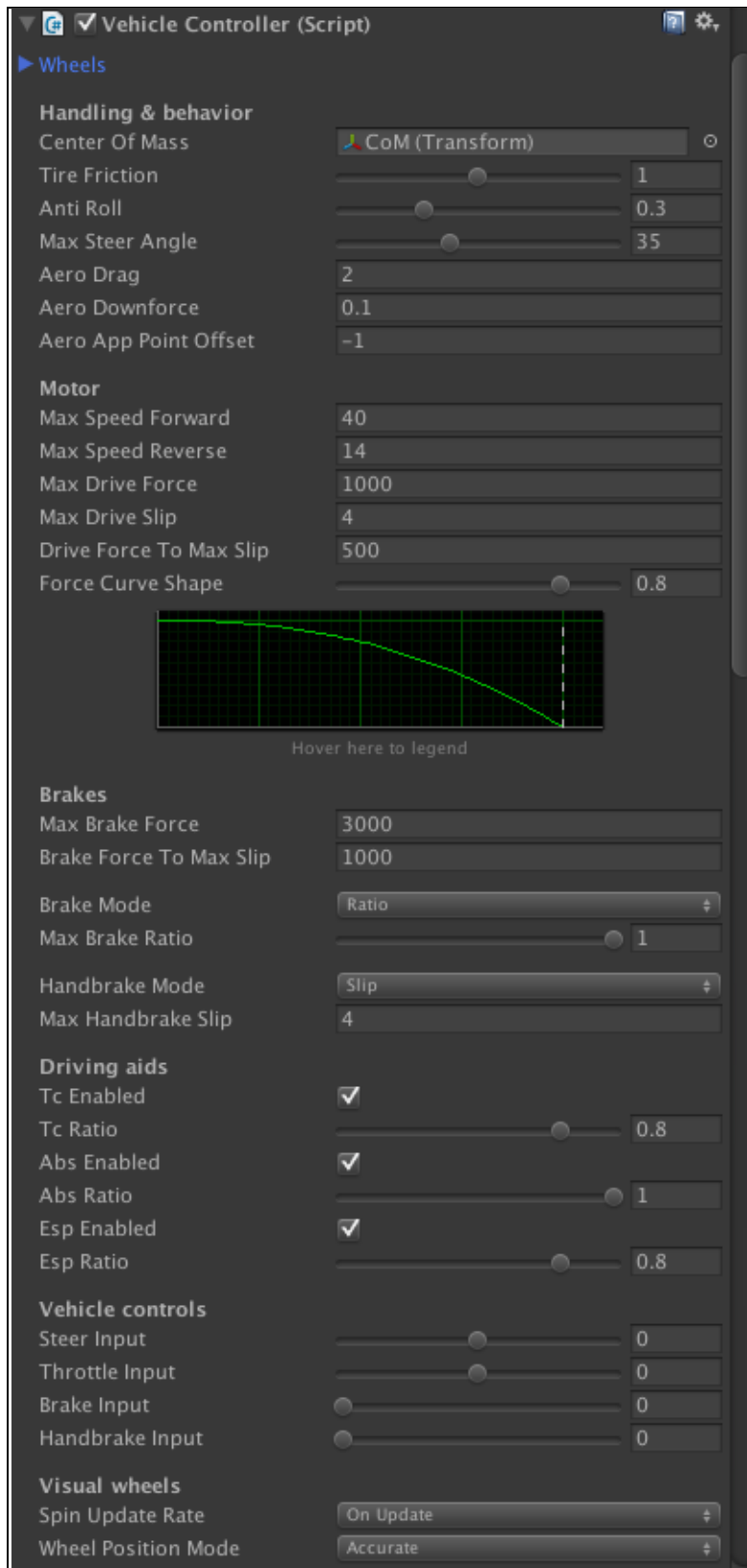


圖 4.3-12 車輛操控與車輛動力及煞車參數設定畫面

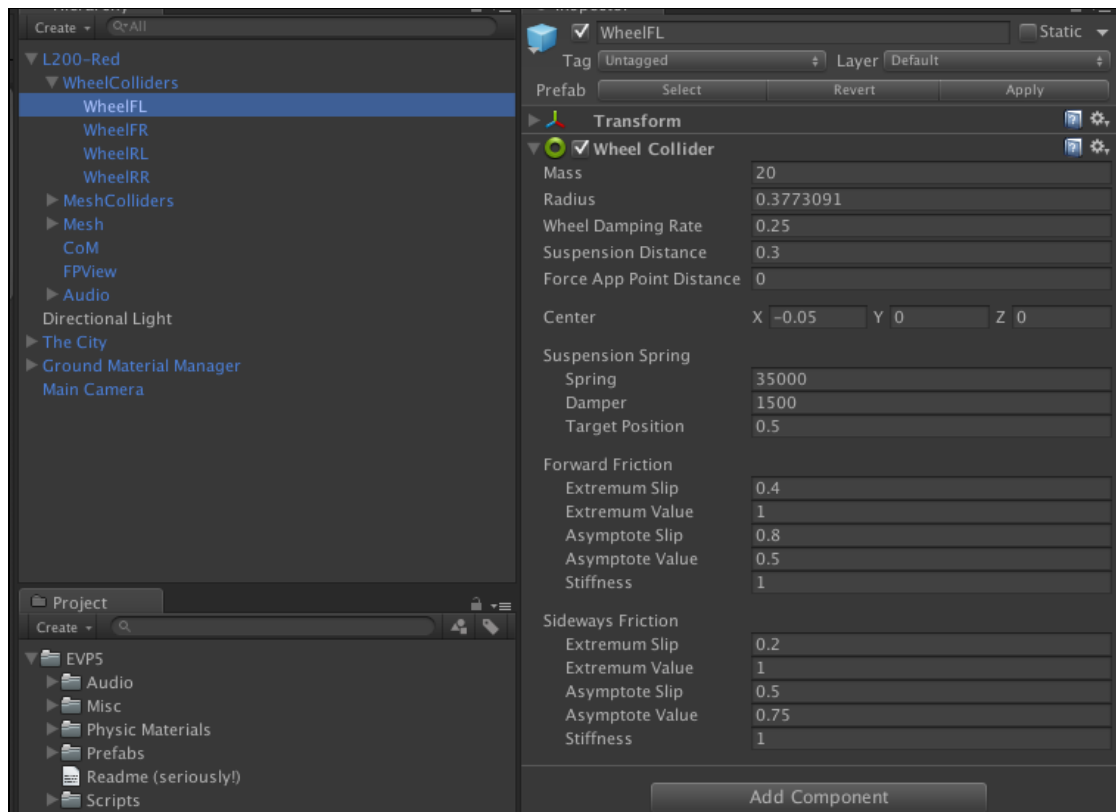


圖 4.3-13 車輪碰撞器設定畫面

(三) 互動行為腳本測試

由於本計畫擬藉由駕駛模擬器探討雪山隧道內允許變換車道以及縮短行車距離對於駕駛安全之影響，爰此，本計畫在完成上述隧道駕駛模擬靜態場景製作後，即依據駕駛車(受測者)與事件車之互動行為腳本進行程式開發與資料檔記錄功能開發。此外，由於本計畫駕駛模擬環境係位於隧道內，因此尚需針對駕駛車(受測者)與事件車增加前車燈與煞車燈之效果(如圖 4.3-14 所示)。目前本計畫已完成駕駛車(受測者)與事件車之互動行為腳本開發，並於單機上進行測試，圖 4.3-14 左上方為模擬左邊後視鏡，圖 4.6-14 右上方為模擬右邊後視鏡，駕駛人(受測者)在進行變換車道時可經由後視鏡所顯示之隔壁車流狀況，決定變換車道時機。本計畫實驗數據現有記錄欄位及其定義整理如表 4.3-2 及圖 4.3-15。

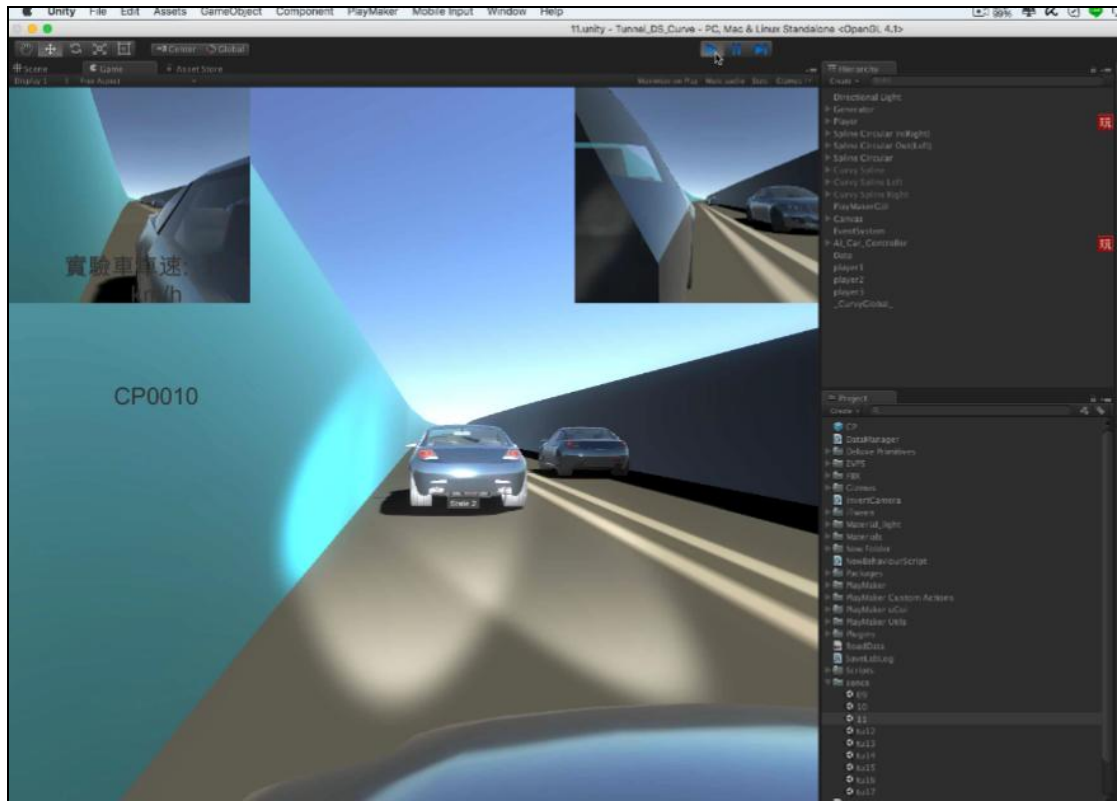


圖 4.3-14 單機測試畫面

表 4.3-2 駕駛模擬記錄欄位及其定義

欄位名稱	定義
LogTime	時間
Speed	駕駛者車輛速度
Car_X	駕駛者車輛位置 X
Car_Y	駕駛者車輛位置 Y
Car_Z	駕駛者車輛位置 Z
Car_Angle	駕駛者車輛方向
Car_Pedal	駕駛者油門踏板深度
Car_Brake	駕駛者煞車踏板深度
Car_Steer	駕駛者方向盤轉角
Car_Light	事件車煞車燈亮
EventCar	駕駛人碰撞車件車
FlowCar00	駕駛人碰撞車流車輛
FlowCar01	駕駛人碰撞車流車輛
FlowCar02	駕駛人碰撞車流車輛
Turn_Light	駕駛人打方向燈

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	LogTime	Speed	Car_X	Car_Y	Car_Z	Car_Angle	Car_Pedal	Car_Brake	Car_Steer	Car_Light	EventCar	FlowCar0	FlowCar1	FlowCar2	Turn_Light
2	0.02	0.00	6.03	0.00	2498.59	90.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0.04	0.00	6.03	0.00	2498.59	90.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.37	0.00	6.37	0.00	2498.59	90.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.57	7.53	6.98	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.63	13.26	7.23	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0.69	14.95	7.48	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0.75	16.64	7.77	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0.80	18.34	8.06	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.84	19.46	8.32	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.90	21.16	8.68	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0.95	22.85	9.02	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1.00	23.98	9.32	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1.05	25.12	9.76	0.00	2498.59	90.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1.11	26.81	10.18	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1.15	28.51	10.55	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1.21	29.65	11.04	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1.26	31.31	11.51	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1.31	32.91	11.91	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1.36	33.95	12.48	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1.42	35.46	13.00	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1.46	36.43	13.47	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1.52	37.38	14.09	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1.57	38.76	14.66	0.00	2498.59	90.02	1	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1.61	40.09	15.16	0.00	2498.59	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1.67	40.95	15.83	0.00	2498.59	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1.72	42.20	16.46	0.00	2498.59	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
28	1.77	43.41	17.04	0.00	2498.59	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	1.83	44.20	17.77	0.00	2498.59	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1.88	45.33	18.42	0.00	2498.58	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
31	1.92	46.07	18.98	0.00	2498.58	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
32	1.98	47.15	19.75	0.00	2498.58	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
33	2.03	48.18	20.48	0.00	2498.58	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
34	2.08	48.86	21.11	0.00	2498.58	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
35	2.15	49.51	22.07	0.00	2498.58	90.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0
36	2.21	50.78	22.90	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
37	2.25	51.70	23.60	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
38	2.33	52.29	24.65	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
39	2.38	53.44	25.51	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
40	2.43	54.26	26.25	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
41	2.49	54.80	27.19	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
42	2.55	55.58	28.06	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
43	2.60	56.34	28.83	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0
44	2.66	56.83	29.81	0.00	2498.58	90.04	1	0	0	0	0	0	0	0	0

圖 4.3-15 利用 EXCEL 開啟記錄檔畫面

(四)事件模擬情境

駕駛模擬器事件模擬作法為招募受測樣本進行駕駛模擬器實驗，實驗情境假設首要條件必須滿足實驗目的，但仍需考量受測樣本實際可接受條件，如實驗時間長短、受測樣本生心理狀態等；因此必然需進行事件取捨，以有效益進行實驗招募，獲得實驗目的所需資訊。以下就針對變換車道事件模擬情境假設進行說明。

1. 速率情境 - 80, 60, 40 km/hr

為完整瞭解駕駛者於車流順暢及車流受限時放寬變換車道規定對行為改變及安全的影響，本計畫將情境設定分為接近自由流速 80 km/hr、最低速限 60 km/hr 以及交通壅塞車流 40 km/hr

等進行模擬分析。

2. 駕駛車所在車道

變換車道模擬將駕駛車設定在左車道及右車道兩種情境。

3. 研究主題與行為情境

本實驗研究主題為測試駕駛人於隧道內行使變換車道行為時所需的間距條件與駕駛人生理反應，並評估放寬禁止變換車道規定之安全風險；因此，如表 4.3-3 所示，駕駛車將設定於場景中直行，主要事件車(前方車輛)將改變車速以測試受測者反應，另事件車(隔壁車道車輛)依不同車速及間距進入場景。本實驗將量測受測者變換車道行為、駕駛車速率曲線、與前車及隔壁車道前後車之間距時間、距離，並包含受測者於實驗階段完整之生理量測資訊以供後續專家學者判讀參考。

表 4.3-3 變換車道駕駛模擬器研究主題與行為情境說明

	行為	測試情境	量測資料
駕駛車	1. 直行 (左車道&右車道)	變換車道 (定義：以車頭跨越車道線)	1. 有無變換車道 (定義：車頭跨越車道線) (紀錄方向燈開始時間與結束時間，配合生理量測) 2. 變換車道時 (1) 與同車道前車間距時間、距離 (2) 與隔壁車道前後車間距時間、距離
事件車	1. 同向車道前方車輛 - 直行	改變車速	
	2. 隔壁車道車輛 - 直行	改變車速、間距	

資料來源：本計畫整理。

4. 實驗腳本設計

本計畫目的為比較開放變換車道前後，駕駛人行為上是否具有差異性存在，故於變換車道實驗開始前將對駕駛人進行基礎情境實驗，提供後續實驗對照，其基礎情境將不給予任何實驗指示，僅限制禁止變換車道規定，令駕駛人依據本身習慣進行跟車，場景設定與實驗方式說明如表 4.3-4。

變換車道實驗將考慮雪山隧道北上前段 28K~25K 處為轉彎半徑 2,500 公尺長彎道段，與直線段視距的差異可能造成車流行不一致，故實驗情境設定駕駛者分別於直線段及轉彎段允許變換車道，並由左車道變換至右車道或由右車道變換至左車道，因此實驗腳本設計為以下四組情境，並組合說明如表 4.3-5。

模擬情境：

- (1) 直線段於左車道變換至右車道
- (2) 直線段於右車道變換至左車道
- (3) 轉彎段於左車道變換至右車道
- (4) 轉彎段於右車道變換至左車道

表 4.3-4 駕駛模擬器基礎情境實驗腳本設計說明

事件車				實驗方式
起始狀況				
同車道		隔壁車道		
車速 (kph)	間距(m)	車速 (kph)	時間間距 (s)	
80	前方一輛車	80	2~5 random	1. 禁止變換車道 2. 依自行習慣跟車 3. 結束前 10 秒，同車道前方車速緊急煞車(下降 20kph)
60	前方一輛車	60	2~5 random	
40	前方一輛車	40	2~5 random	

資料來源：本計畫整理。

表 4.3-5 變換車道駕駛模擬器實驗腳本設計說明

事件車				
起始狀況				改變內容及方式
同車道		隔壁車道		
車速 (kph)	間距 (m)	車速 (kph)	時間間距(s)	
80	前方 一輛車	80	依序產生 2,3,4 各 2 輛	1.當鄰車道間距產生，駕駛車前方車輛速度下降 10kph 2.當前車速度下降 10 秒內未變換車道視為失敗，鄰車道產生下個間距 3.變換車道後，隔壁車道按間距放車 4.同車道前方車輛速度下降 10kph 5.重覆第 2~4 步驟至四種情境發生次數各達 3 次 6.若某情境皆未發生變換車道則切換至下個情境
60	前方 一輛車	60		
40	前方 一輛車	40		

資料來源：本計畫整理。

5. 實驗對象

本實驗召募 36 名具備小客車駕駛執照之受測者進行變換車道實驗，年齡介於 23 歲~64 歲間，平均年齡 36.4 歲，平均一週開車次數約 3.1 次，有 75% 的人有駕駛雪山隧道的經驗，詳如表 4.3-6 所示。

表 4.3-6 駕駛模擬器受測者基本資料

項目	類別	人數	百分比
年齡	20~29 歲	13	36%
	30~49 歲	17	47%
	50~65 歲	6	17%
小計		36	100%
性別	男	30	83%
	女	6	17%
小計		36	100%
駕駛經驗	半年以內	2	6%
	半年~1 年內	2	6%
	1 年~5 年內	7	19%
	5 年~10 年內	6	17%
	10 年以上	19	53%
小計		36	100%
近一個月 一週開車次數	0 次	4	11%
	1 次	11	31%
	2 次	5	14%
	3 次	2	6%
	4 次	2	6%
	5 次	1	3%
	6 次	4	11%
	7 次	7	19%
小計		36	100%
是否有駕駛 雪山隧道經驗	無	9	25%
	有	27	75%
小計		36	100%
近半年是否有 開過雪山隧道 之經驗	0 次	14	39
	1 次	2	6
	2 次	5	14
	3 次	5	14
	4 次	1	3
	5 次以上	9	25
小計		36	100%

資料來源：本計畫彙整。

4.3.2 變換車道駕駛模擬行為與安全分析

本計畫以駕駛模擬器中取得之駕駛軌跡資料分為兩部分討論，首先針對駕駛之駕駛行為分析，觀察開放變換車道後駕駛者跟車間距的改變與其選擇之安全接受間距分析，另以駕駛軌跡討論當開放變換車道後之安全因素影響。

一、變換車道行為分析

變換車道行為連續變化之過程，其中可細分為跟車與變換車道，如圖 4.3-16， $t_1\sim t_3$ 為駕駛人跟隨前車過程，並同時等待變換車道時機， t_3 則為駕駛人選擇接受間距後，開始變換車道動作之決策點， $t_3\sim t_5$ 為駕駛人進行變換車道動作過程。本計畫就變換車道行為，針對跟車過程與決策之接受間距進行分析。

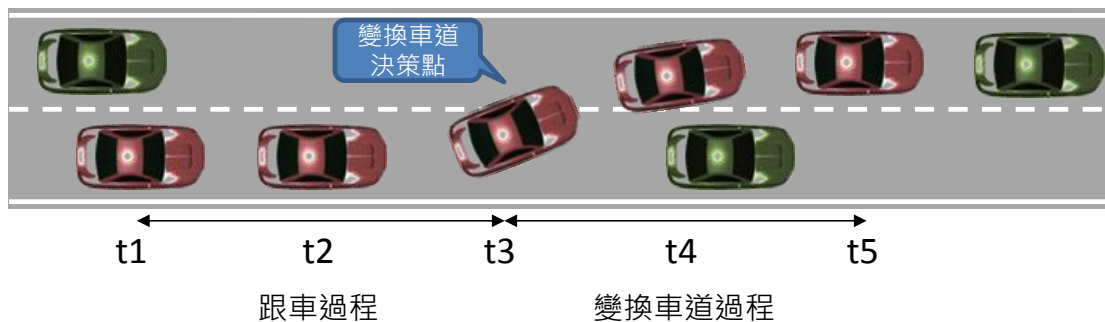


圖 4.3-16 駕駛人變換車道行為示意圖

(一)跟車間距分析

變換車道實驗測得為連續軌跡資料，針對變換車道行為進行資料清理，依據軌跡側向偏移量，將變換車道軌跡區分為變換車道前與變換車道後，同時定義變換車道前為跟車過程，進行跟車間距分析，由於跟車行為主要受到駕駛者速率與前車距離影響，故本計畫以時間間距(Headway)進行跟車間距行為分析，時間間距示意圖如圖 4.3-17，其比較情境如下列：

- 1.基礎情境 - 禁止變換車道且自行跟車
- 2.直線段變換車道
- 3.彎道段變換車道



圖 4.3-17 時間間距計算示意圖

各情境之跟車時間間距分配為對數常態分配，如圖 4.3-18，其分配母數彙整於表 4.3-7。

由表 4.3-7 比較基礎情境與直線段變換車道情境可看出，禁止變換車道狀況下之跟車行為，駕駛者維持之時間間距平均值較低，意即當開放變換車道後，駕駛人與前車維持較大的空間以利安全變換，由標準差分析，當開放變換車道後駕駛人跟上前車後便伺機進行變換車道行為，其跟車震盪情況較基礎情境少，故跟車間距較禁止變換車道情況下集中。

而直線段變換車道與彎道段變換車道比較，彎道段變換車道其跟車間距平均值相近，標準差較直線段變換車道增加，意即於彎道段變換車道可能對於駕駛人造成相當程度影響，使之變換車道前跟車穩定度下降。

表 4.3-7 變換車道情境時間間距分配比較

情境	1.基礎情境		2.直線段變換車道		3.彎道段變換車道	
	平均值 (秒)	標準差 (秒)	平均值 (秒)	標準差 (秒)	平均值 (秒)	標準差 (秒)
速率(kph)						
40	1.56	1.64	1.77	1.55	1.75	1.65
60	1.45	1.73	1.57	1.57	1.54	1.75
80	1.33	1.82	1.84	1.69	1.68	1.75

資料來源：本計畫分析整理。

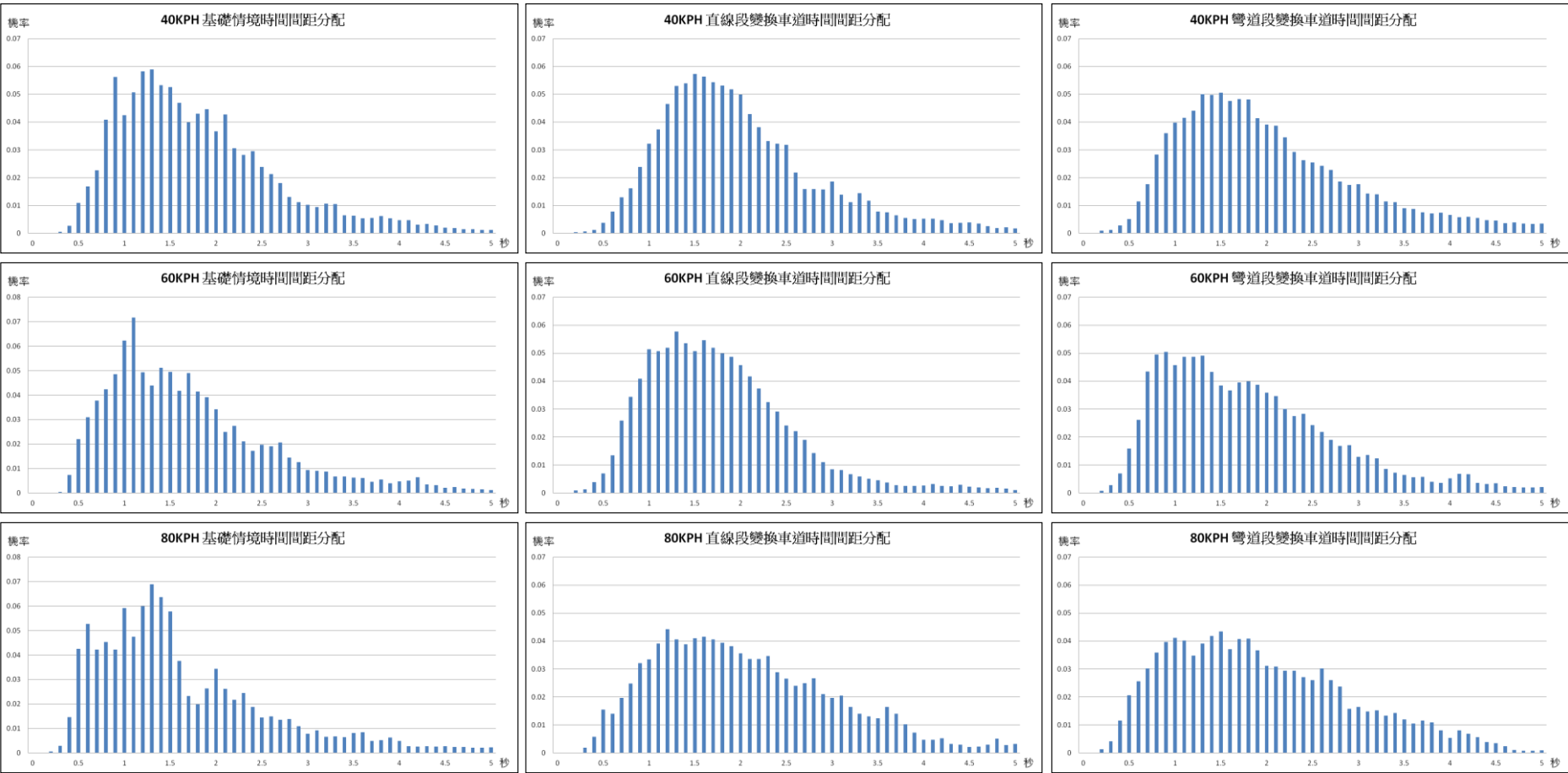


圖 4.3-18 變換車道情境時間間距分配圖

(二)接受間距分析

接受間距於本計畫中分析在不同速率下，駕駛人開始採取變換車道動作時所選擇的鄰車道之前、後兩車之時間間距，其示意圖如下圖 4.3-19 所示。



圖 4.3-19 接受間距示意圖

如 4.3.1 節實驗說明，本計畫於鄰車道中置入 2~4 秒車間距之事件車，供駕駛人選擇可變換之接受間距，進行接受間距行為分析。

將模擬器實驗結果進行資料清理後分析，其變換車道成功次數統計如下表 4.3-8，表中將右車道變換至左車道以及左車道變換至右車道次數分開統計，並將部分不變換車道次數另計於獨立欄位。

由表 4.3-8 中不變換車道次數中，彎道段中選擇不變換之次數明顯高於直線段變換車道情境，顯示出於彎道段變換車道駕駛人行為較直線段保守；且於 80kph 情境下，不變換次數較低速狀況下高，原因可能為駕駛人已滿足高速情況下之車速，不需進行變換車道，也可能因高速行駛駕駛者較不易掌握車輛，使之行為較為保守。

表 4.3-8 變換車道情境接受間距成功次數

情境		直線段變換車道						彎道段變換車道					
速率 (kph)	間距 (秒)	右→左 (次)		左→右 (次)		總和 (次)		右→左 (次)		左→右 (次)		總和 (次)	
		變換	不變	變換	不變	變換	不變	變換	不變	變換	不變	變換	不變
40	<2	0	2	4	3	4	5	2	6	2	8	4	14
	2	60		43		103		61		59		120	
	3	41		63		104		30		38		68	
	4	10		11		21		11		21		32	
60	<2	1	1	1	4	2	5	2	6	8	5	10	11
	2	66		70		136		80		82		162	
	3	38		41		79		17		27		44	
	4	7		8		15		5		6		11	
80	<2	0	5	0	4	0	9	0	17	0	6	0	23
	2	73		83		156		74		88		162	
	3	32		33		65		23		29		52	
	4	5		8		13		2		6		8	

資料來源：本計畫分析整理。

將表 4.3-8 以機率分佈圖呈現如下圖 4.3-20，分析不同速率下選擇之接受間距分布狀況，圖中紅條為自右車道變換，綠條為自左車道變換，藍線則是變換成功總和之接受間距分布。

直線段變換車道其 60kph 以上之車流狀況，自左、右車道接受間距選擇行為相似，大部分皆於 2 秒間距變換，而當 40kph 以下時，自左車道變換其分布集中於 3 秒間距，其變換車道行為較右車道變換保守；彎道段變換車道接受間距行為於任何速率之車流狀態下，自右車道變換分布較集中於 2 秒間距，而自左車道變換之分布較為右傾，故左車道變換所選擇之間距較右車道變換保守。

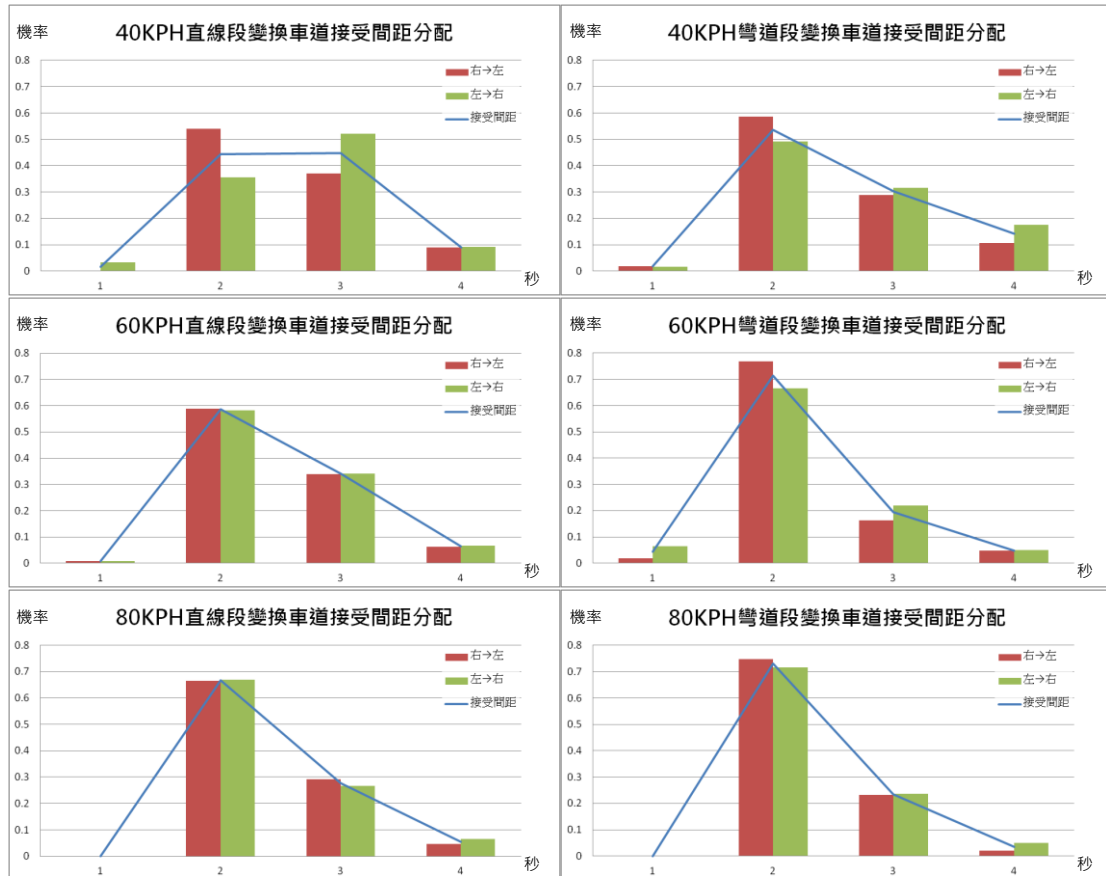


圖 4.3-20 變換車道情境接受間距分配圖

二、變換車道安全分析

以駕駛模擬器評估駕駛者於隧道內開放變換車道之安全分析方式，係以變換車道情境之跟車過程完整軌跡資料計算安全指標，與基礎情境(禁止變換車道)下之安全指標進行開放變換車道前後，駕駛人跟車行為比較，評估開放變換車道對於駕駛人是否存在顯著影響，選定之安全指標如下述：

(一)車道內側向偏移指標

車道內側向偏移指標記錄駕駛人於實驗路段內進行跟車過程中側向偏移狀況，用以定義駕駛人跟車穩定程度，其計算方式如下式：

$$\text{車道內側向偏移指標} = \frac{\sum_{t=0}^n |\Delta y_t|}{L}$$

其中， $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$ 表示與前一時階之側向偏移量

n 為跟車過程之總時階數

L 為行駛距離(m)

(二) 煞車程度指標

煞車程度指標記錄駕駛人跟車過程中踩踏煞車之強度，表示跟車過程中駕駛人對前車反應程度，其計算方式如下式所述：

$$\text{煞車程度指標} = \frac{\sum_{i=0}^m b_i}{m}$$

其中， b_i 表示煞車強度

m 為跟車過程之總煞車次數

(三) 碰撞機率指標

碰撞機率指標記錄跟車過程中，行駛單位距離內駕駛人可能與鄰車碰撞之發生機率，其計算方式如下式：

$$\text{碰撞機率指標} = \frac{\sum_{t=0}^n c_t}{L}$$

其中， c_i 表示與 t 時階中是否碰撞

n 為跟車過程之總時階數

L 為行駛距離(m)

依據前述三項指標計算方式，將駕駛模擬器變換車道情境下軌跡資料清理後，擷取其變換前之跟車過程軌跡資料進行安全指標分析，並與基礎情境(禁止變換車道)計算之安全指標比較，其安全指標計算結果如下表 4.3-10~12。

利用成對 T 檢定進行情境安全指標分析，其檢定方法主要用於判斷兩成對資料是否具有顯著差異，若檢定值顯著性 p -value 大於 0.05 即為兩者並無顯著差異，

經檢定後，其各情境檢定結果如下表 4.3-9。

表 4.3-9 變換車道情境安全指標檢定值

情境比較		速率 (KPH)	p-value		
			車道內 側向偏移指標	煞車程度 指標	碰撞機率 指標
基礎情境	直線段 變換車道	40	0.0156	0.4785	0.2034
		60	0.2327	0.4268	0.0271
		80	0.2777	0.1722	0.0654
	彎道段 變換車道	40	0.0002	0.0254	0.0286
		60	0.0246	0.1614	0.3310
		80	0.0609	0.2485	0.1634
直線段 變換車道	彎道段 變換車道	40	0.0135	0.0550	0.2354
		60	0.0004	0.0227	0.1488
		80	0.00003	0.3120	0.0796

資料來源：本計畫分析整理。

註：粗體字表示 p-value 小於 0.05。

經成對 T 檢定比較，其基礎情境與直線段變換車道情境間，40kph 下直線變換車道情境駕駛者車道內側向偏移具有顯著差異，其指標平均值有增加趨勢，意即低速下直線段變換車道造成駕駛人行車穩定度下降，與 60kph 情境比較，碰撞次數有增加趨勢。

將基礎情境與彎道段變換車道情境比較後發現，40kph 低速情境下三項安全指標皆有顯著差異，平均值皆呈現增加的趨勢，表示當彎道段開放變換車道後，可能對於駕駛人造成行車穩定度下降之影響且對前車煞車反應較為劇烈的狀況，其碰撞機率亦有增加趨勢；於 60kph 下，於彎道變換車道亦有駕駛人軌跡較不穩定現象產生。

進一步將直線段變換車道情境與彎道段變換車道情境相比較，駕駛人之煞車程度指標除 60kph 情境，彎

道段變換車道情境之煞車程度有下降趨勢，其於速率情境與碰撞機率指標並無顯著差異，然而於各速率情境之彎道段變換車道與直線段變換車道間車道內側向偏移程度指標皆具有顯著成長趨勢，表示於彎道段內變換車道相較於直線段換車道，可能對於駕駛人產生行車穩定度下降之影響。

表 4.3-10 40KPH 變換車道情境安全指標

駕駛人 編號	40kph 基礎情境			40kph 直線段變換車道			40kph 彎道段變換車道		
	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)
7111330	0.010	0.523	0	0.011	0.342	0	0.013	0.479	0
7111530	0.010	0.397	0	0.009	0.466	0	0.010	0.345	0
7120830	0.014	0.292	0	0.012	0.254	0	0.017	0.217	0
7121330	0.012	0.464	0	0.011	0.657	0	0.013	0.509	0
7121530	0.008	0.278	0	0.007	0.281	0	0.009	0.488	0
7131330	0.016	0.504	0	0.016	0.499	0	0.015	0.620	0
7131530	0.011	0.428	0	0.011	0.496	0	0.011	0.448	0
7140830	0.009	0.512	0	0.010	0.242	0	0.013	0.309	0
7141030	0.010	1.259	0	0.011	0.797	0	0.016	0.649	0
7141330	0.010	0.228	0	0.011	0.295	0	0.012	0.429	0.000654
7141530	0.014	0.577	0	0.014	1.413	0	0.027	0.665	0
7151030	0.015	0.425	0	0.008	0.258	0	0.014	1.077	0
7151330	0.009	0.284	0	0.018	0.334	0.003553	0.018	0.345	0
7151530	0.009	0.216	0	0.006	0.212	0	0.013	0.173	0
7180830	0.007	0.165	0	0.013	0.492	0	0.012	0.543	0
7181030	0.009	0.640	0.003031	0.014	0.000	0	0.023	2.227	0.005766
7191030	0.010	0.384	0	0.010	0.448	0	0.014	0.485	0.002287
7191330	0.004	0.204	0	0.012	0.377	0	0.017	0.309	0.00638
7191530	0.013	0.121	0	0.009	0.226	0	0.023	0.471	0.002753
7200830	0.008	0.250	0	0.011	0.639	0	0.013	0.553	0
7201030	0.026	1.894	0	0.038	1.204	0	0.018	1.399	0
7201330	0.010	0.933	0	0.021	0.753	0	0.033	0.917	0
7201530	0.008	0.174	0	0.010	0.271	0	0.014	0.431	0
7211030	0.011	0.340	0	0.013	0.000	0	0.017	0.766	0
7271330	0.013	0.149	0	0.010	0.298	0	0.011	0.378	0
7291030	0.002	0.521	0	0.007	0.670	0	0.024	1.229	0
7291530	0.004	0.569	0	0.020	0.722	0.005769	0.011	0.561	0
平均值	0.010	0.472	0.000112	0.013	0.468	0.000345	0.016	0.630	0.000661
標準差	0.005	0.378	0.000583	0.006	0.321	0.001281	0.006	0.432	0.001703

資料來源：本計畫分析整理。

表 4.3-11 60KPH 變換車道情境安全指標

駕駛人 編號	60kph 基礎情境			60kph 直線段變換車道			60kph 彎道段變換車道		
	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)
7111330	0.012	0.612	0	0.010	0.424	0	0.013	0.303	0
7111530	0.016	0.506	0	0.010	0.303	0	0.012	0.201	0
7120830	0.013	0.558	0	0.016	0.278	0	0.017	0.117	0
7121330	0.013	0.565	0	0.015	0.634	0	0.022	0.713	0
7121530	0.012	0.778	0	0.006	0.395	0	0.009	0.305	0
7131330	0.011	0.371	0	0.011	0.967	0	0.014	0.795	0
7131530	0.011	0.420	0	0.008	0.338	0	0.013	0.486	0
7140830	0.007	0.387	0	0.010	0.404	0	0.013	0.228	0
7141030	0.020	1.628	0	0.015	0.554	0.004127	0.015	0.547	0
7141330	0.013	0.378	0	0.013	0.597	0	0.012	0.332	0
7141530	0.014	0.364	0	0.020	1.046	0.000707	0.018	0.564	0
7151030	0.012	0.448	0	0.014	0.289	0	0.015	0.207	0
7151330	0.010	0.259	0	0.015	0.292	0	0.019	0.339	0
7151530	0.016	0.657	0	0.008	0.250	0	0.013	0.198	0
7180830	0.008	0.328	0	0.014	0.828	0.001042	0.016	0.444	0
7181030	0.003	0.338	0.002147	0.016	0.729	0.001511	0.013	0.482	0
7191030	0.016	0.485	0	0.013	0.380	0	0.012	0.255	0
7191330	0.015	0.478	0	0.014	0.326	0.000916	0.009	0.259	0
7191530	0.016	0.265	0	0.012	0.592	0.001095	0.013	0.335	0
7200830	0.005	0.361	0	0.009	0.547	0	0.013	0.567	0
7201030	0.032	0.000	0	0.021	0.897	0.000779	0.036	0.669	0
7201330	0.036	1.100	0	0.015	0.702	0.001111	0.027	1.285	0
7201530	0.002	0.167	0	0.009	0.243	0	0.017	0.516	0.004308
7211030	0.009	0.484	0	0.014	0.000	0	0.021	0.000	0
7271330	0.016	0.499	0	0.011	0.144	0	0.013	0.151	0
7291030	0.020	0.523	0	0.010	0.996	0	0.022	0.667	0
7291530	0.008	0.393	0	0.009	0.609	0	0.013	0.502	0
平均值	0.014	0.494	0.000007	0.013	0.510	0.000418	0.016	0.425	0.00016
標準差	0.007	0.303	0.000413	0.004	0.274	0.000878	0.006	0.263	0.000829

資料來源：本計畫分析整理。

表 4.3-12 80KPH 變換車道情境安全指標

駕駛人 編號	80kph 基礎情境			80kph 直線段變換車道			80kp 彎道段變換車道		
	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞機率 (次數/m)
7111330	0.014	0.263	0	0.008	0.000	0	0.014	0.780	0
7111530	0.016	0.346	0	0.010	0.000	0	0.014	0.000	0
7120830	0.015	0.209	0	0.012	0.000	0	0.015	0.000	0
7121330	0.014	0.000	0	0.023	0.407	0	0.027	0.387	0
7121530	0.013	0.000	0	0.008	0.000	0	0.011	0.000	0
7131330	0.017	0.000	0	0.013	0.521	0	0.022	0.697	0
7131530	0.013	0.000	0	0.011	0.176	0	0.017	0.458	0
7140830	0.017	0.573	0	0.012	0.263	0	0.011	0.000	0
7141030	0.023	0.480	0	0.014	0.376	0	0.017	0.332	0
7141330	0.018	0.499	0	0.016	0.400	0	0.017	0.335	0
7141530	0.012	0.377	0	0.019	0.552	0	0.022	0.000	0.000583
7151030	0.005	0.372	0	0.016	0.283	0	0.015	0.185	0
7151330	0.005	0.160	0	0.012	0.095	0	0.020	0.294	0
7151530	0.019	0.111	0	0.014	0.000	0	0.016	0.381	0
7180830	0.019	0.000	0	0.018	0.237	0	0.016	0.322	0
7181030	0.004	0.401	0	0.006	0.000	0	0.012	0.657	0
7191030	0.016	0.957	0	0.015	0.432	0	0.018	0.326	0
7191330	0.019	0.000	0	0.009	0.000	0	0.010	0.000	0
7191530	0.019	0.498	0	0.014	0.094	0	0.015	0.242	0
7200830	0.011	0.464	0	0.008	0.581	0	0.013	0.535	0
7201030	0.045	0.000	0	0.037	1.611	0.001013	0.037	0.759	0
7201330	0.002	0.095	0	0.014	0.727	0.00064	0.012	0.604	0
7201530	0.012	0.333	0	0.011	0.000	0	0.016	0.393	0
7211030	0.013	0.516	0	0.012	0.530	0	0.013	0.105	0
7271330	0.015	0.465	0	0.020	1.542	0.002081	0.022	0.272	0
7291030	0.016	0.000	0	0.020	0.722	0.005769	0.020	0.410	0
7291530	0.015	0.274	0	0.014	0.367	0.000365	0.017	0.326	0.000022
平均值	0.008	0.249	0	0.006	0.430	0.001193	0.006	0.246	0.000114
標準差	0.014	0.263	0	0.008	0.000	0	0.014	0.780	0

資料來源：本計畫分析整理。

三、變換車道行為與安全分析小結

變換車道情境比較分為直線段與彎道段變換車道情境，與基礎情境(禁止變換車道)進行駕駛模擬器軌跡分析，行為分析分成跟車間距分析及接受間距分析兩部分。

(一)跟車間距分析

由跟車間距進行分析討論發現當開放變換車道後，駕駛人為保持可安全變換車道之跟車距離，其跟車間距皆較禁止變換車道狀態下維持較大車間距，且彎道段變換車道跟車間距標準差亦較直線段變換車道大，意味著直線段變換車道之跟車行為相較彎道段變換穩定。

(二)接受間距分析

以其接受間距分析，低速狀況下彎道情境選擇不變換車道次數明顯較直線段變換車道多，表示駕駛人於彎道段變換車道行為較直線段保守。將駕駛人變換方向進行分類分析，觀察出駕駛人普遍由左車道變換至右車道時，接受間距較自右車道變換大，表示其自左車道切換行為有較為保守的現象。

安全分析部分將軌跡資料整理成三項指標，車道內側向偏移指標、煞車程度指標及碰撞機率指標進行分析比較。

將基礎情境分別與直線段及彎道段變換車道情境進行分析，其分析結果發現於低速下開放變換車道對於駕駛人影響較為顯著，當低速狀態於彎道段進行變換車道，駕駛行車軌跡與煞車反應皆較基礎情境有不穩定現象。進一步比較直線段與彎道段之差異，分析後發現於直線段下變換車道亦較彎道段變換車道穩定。

4.3.3 駕駛模擬心理問卷分析

為了解受測者對於隧道內變換車道之心智負荷程度差異，本計畫要求受測者須於駕駛模擬情景結束後填寫心理評量問卷，該問卷使用李克特量表七尺度衡量駕駛者對於隧道內變換車道不同情境下之感受，其結果說明如下：

一、緊張程度

由表 4.3-13 可知，在變換車道情境過程中，駕駛者無論車道方向之變換方向如何，彎道段緊張程度(3.5~4.4)高於直線段(3.3~3.8)。

表 4.3-13 變換車道情境之駕駛者緊張感受

環境		速率情境 KM/HR	樣本數	最大值	最小值	平均值	中位數	標準差
左車道 變換 右車道	直線段	80	36	7	1	3.7 (+0.3)	3.0	1.6
		60	36	7	1	3.3 (+0.4)	3.0	1.5
		40	36	7	1	3.8 (+0.7)	4.0	1.7
	彎道段	80	36	7	1	4.0	4.0	1.6
		60	36	6	1	3.7	4.0	1.5
		40	36	7	1	4.5	5.0	1.6
右車道 變換 左車道	直線段	80	36	7	1	3.6 (+0.1)	3.5	1.5
		60	36	7	1	3.3 (+0.2)	3.0	1.5
		40	36	7	1	3.8 (+0.6)	4.0	1.7
	彎道段	80	36	7	1	3.7	4.0	1.8
		60	36	7	1	3.5	4.0	1.5
		40	36	7	1	4.4	5.0	1.7

資料來源:本計畫彙整

二、困難程度

由表 4.3-14 可知，在變換車道情境過程中，無論車道方向之變換方向如何，彎道段程度(3.5~4.5)高於直線段(3.3~4.5)，其中又以低速 40 km/hr 情境下變換車道的困難度最高。

表 4.3-14 變換車道情境之駕駛者困難程度感受

環境		速率情境 KM/HR	樣本數	最大值	最小值	平均值	中位數	標準差
左車道 變換 右車道	直線段	80	36	7	1	3.5 (+0.2)	3.0	1.9
		60	36	7	1	3.3 (+0.4)	3.0	1.5
		40	36	7	1	4.1 (+0.1)	5.0	1.8
	彎道段	80	36	7	1	3.7	4.0	1.7
		60	36	7	1	3.7	4.0	1.6
		40	36	7	1	4.5	5.0	1.7
右車道 變換 左車道	直線段	80	36	7	1	3.4 (+0.1)	3.0	1.8
		60	36	7	1	3.3 (+0.3)	3.0	1.5
		40	36	7	1	4.1 (+0.4)	4.5	1.8
	彎道段	80	36	7	1	3.5	3.0	1.8
		60	36	7	1	3.6	4.0	1.6
		40	36	7	1	4.5	5.0	1.7

資料來源:本計畫彙整

三、認知感受

由表 4.3-15 可知，多數人認為隧道內變換車道與一般高速公路變換車道具有差異性，平均值 4.5 分，且一般駕駛者認為隧道開放變換車道危險程度為 5.1 分，具有一定的風險，主要原因可歸類以下 3 點：

(一)變換車道將增加動線複雜性

(二)隧道視線差、缺乏緩衝區與路肩閃避

(三)隧道車道數少，車速快，欲緊急狀況時，反應時間、空間皆不足

表 4.3-15 與一般高速公路變換車道差異性

認知	最大值	最小值	平均值	中位數	標準差
與一般高速公路變換車道差異性	7	2	4.5	5	1.5
隧道開放變換車道危險程度	7	2	5.1	5	1.5

資料來源:本計畫彙整

4.4 變換車道風險分析

為了解變換車道開放是否對於安全有所影響，本計畫以風險矩陣(Risk)結構化之風險評估方式進行衡量。根據國道事故發生位置「是否可變換車道」進行情境分析，架構如圖 4.4-1 所示，故以此分類方式進行風險情境之比較，後續即針對高風險情境提出相關配套，參考 4.5 節。

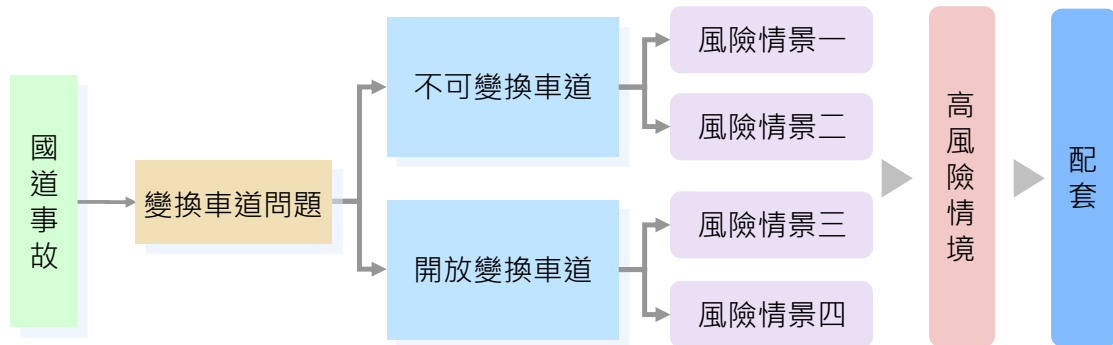


圖 4.4-1 變換車道風險情境分析架構圖

事故風險係依據事故情境發生率(姚佳億，2012)及事故嚴重程度(交通部運研所，2010)，進而利用表 4.4-1 風險評估表判斷行為風險程度，計算所得之結果劃分為三等分，以資料整體分布情形，25%以下稱為低頻率/低嚴重性，75%以上稱為高頻率/高嚴重性，其餘稱為中頻率/中嚴重性。

其計算公式如下所示：

事故情境發生率＝國道事故肇事率×事故位置機率×與變換車道相關之肇因機率×碰撞類型機率

事故嚴重程度(E_{TAN})＝ $9.5F+3.5J+TAN$

其中，F：肇事死亡人數

J：肇事受傷人數

TAN：總肇事次數

表 4.4-1 風險評估表

風險評估		事故情境發生機率		
		高	中	低
嚴重程度	高	最高	高中	中
	中	高	中	中低
	低	中	中低	低

資料來源:本計畫彙整

國道事故 2012 年~2014 年共 55,703 件，平均肇事率為 62.61%，可變換車道事故位置合計 53,511 件，佔 96.1%。另由表 4.4-2 計算各肇因與碰撞類型之風險結果可知，國道內變換車道高風險情境可歸為以下九類：

- 1.未保持行車安全距離-追撞(既有問題)
- 2.未保持行車安全距離-同向擦撞(既有問題)
- 3.變換車道或方向不當-同向擦撞(既有問題)
- 4.變換車道或方向不當-追撞
- 5.變換車道或方向不當-自撞
- 6.未注意車前狀態-追撞(既有問題)
- 7.未注意車前狀態-同向擦撞
- 8.未注意車前狀態-自撞(既有問題)
- 9.未保持行車安全間隔-同向擦撞

與未開放變換車道相較下，可發現既有問題已包含五類，故未來是否開放變換車道，高風險問題皆存在。

綜合上述變換車道主要問題可歸類為三大項，包含變換車道或方向不當、車輛間未保持前後安全距離(與未注意車前狀況類同)及未保持行車安全左右間隔。針對該高風險問題，本計畫於 4.5 節提出相關配套，目的即為改善隧道因變換車道而可能引起之事故。

表 4.4-2 變換車道事故風險

與變換車道有關肇因	件數	%	碰撞類型	件數	%	情境發生率 ¹	頻率	A1	A2	A3	死亡人數	受傷人數	E _{TAN} ²	嚴重性	風險判斷	既有問題
未保持行車安全距離	27,672	49.68%	追撞	26,930	0.483456905	0.144453449	高	10	835	26,085	11	1,406	39,191.0	高	高	*
			自撞	158	0.002836472	0.000847517	中	1	21	136	4	52	617.0	中	中	-
			同向擦撞	474	0.008509416	0.002542552	高	0	31	443	0	44	868.5	高	高	*
			側撞	47	0.000843761	0.000252110	中	0	2	45	0	2	67.0	中	中	-
			對撞	11	0.000197476	5.90044E-05	中	0	1	10	0	1	21.0	中	中	-
			對向擦撞	9	0.000161571	4.82763E-05	中	0	1	8	0	3	32.0	中	中	-
			其他	43	0.000771951	0.000230653	中	0	7	36	0	10	132.5	中	中	-
變換車道或方向不當	6,122	10.99%	同向擦撞	4,761	0.08547116	0.025538168	高	6	209	4,546	8	365	7,998.0	高	高	*
			追撞	778	0.013966932	0.004173219	高	4	65	709	6	123	1,900.0	高	高	-
			自撞	337	0.006049943	0.00180768	高	32	74	231	38	137	2,151.5	高	高	-
			側撞	96	0.001723426	0.000514947	中	0	6	90	0	11	188.5	中	中	-
			其他	150	0.002692853	0.000804605	中	4	25	121	4	40	573.5	高	高中	-
未注意車前狀態	3,887	6.98%	追撞	2,907	0.052187494	0.015593248	高	24	251	2,632	29	456	7,253.0	高	高	*
			同向擦撞	306	0.00549342	0.001641395	高	0	20	286	0	32	584.0	高	高	-
			其他	364	0.006534657	0.001952509	高	2	24	338	4	33	719.5	高	高	-
			自撞	267	0.004793279	0.001432197	高	13	56	198	13	85	1,262.5	高	高	*
			側撞	24	0.000430857	0.000128737	中	0	4	20	0	10	103.0	中	中	-
			對向擦撞	14	0.000251333	7.50965E-05	中	0	1	13	0	3	37.0	中	中	-
			路口交岔撞	4	7.18094E-05	2.14561E-05	中	0	1	3	0	1	14.0	中	中	-
未保持行車安全間隔	392	0.70%	對撞	1	1.79524E-05	5.36403E-06	低	0	1	0	0	1	11.0	中	中低	-
			同向擦撞	368	0.006606466	0.001973965	高	1	8	359	3	40	694.0	高	高	-
			追撞	10	0.000179524	2.68202E-05	中	0	1	9	0	4	39.5	中	中	-
			對向擦撞	5	8.97618E-05	2.14561E-05	中	0	0	5	0	0	5.0	中	中	-
			側撞	4	7.18094E-05	2.14561E-05	中	0	0	4	0	0	4.0	中	中	-
			其他	4	7.18094E-05	5.36403E-06	低	0	1	3	0	1	14.0	中	中低	-
			自撞	1	1.79524E-05	0.000927978	高	0	0	1	0	0	1.0	低	中	-

註 1：姚佳億(2012 年)，「駕駛者安全關鍵資訊之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文。

註 2：交通部運研所(2010 年)，道路交通事故空間定位資訊之應用探討。

資料來源：本計畫彙整

表 4.4-3 變換車道事故風險

與變換車道有關肇因	件數	%	碰撞類型	件數	%	情境發生率 ¹	頻率	A1	A2	A3	死亡人數	受傷人數	E _{TAN}	嚴重性	風險判斷	既有問題
違規超車	198	0.36%	同向擦撞	173	0.003105757	9.11886E-05	中	0	3	170	0	4	209.5	中	中	-
			追撞	17	0.00030519	1.07281E-05	低	0	2	15	0	5	56.5	中	中低	-
			側撞	2	3.59047E-05	1.07281E-05	低	0	0	2	0	0	2.0	中	中低	-
			對向擦撞	2	3.59047E-05	5.36403E-06	低	0	0	2	0	0	2.0	中	中低	-
			對撞	1	1.79524E-05	5.36403E-06	低	0	0	1	0	0	1.0	低	低	-
			自撞	1	1.79524E-05	1.07281E-05	低	0	0	1	0	0	1.0	低	低	-
			其他	2	3.59047E-05	0.000407667	中	0	0	2	0	0	2.0	中	中	-
未依規定讓車	134	0.24%	同向擦撞	76	0.001364379	0.000139465	中	0	4	72	0	5	122.5	中	中	-
			側撞	26	0.000466761	8.04605E-05	中	0	1	25	0	1	36.0	中	中	-
			路口交岔撞	15	0.000269285	2.68202E-05	中	0	0	15	0	0	15.0	中	中	-
			對向擦撞	5	8.97618E-05	6.43684E-05	中	0	0	5	0	0	5.0	中	中	-
			其他	12	0.000215428	0.000413031	中	0	0	12	0	0	12.0	中	中	-
爭(搶)道行駛	84	0.15%	同向擦撞	77	0.001382331	1.07281E-05	低	0	0	77	0	0	77.0	中	中低	-
			追撞	2	3.59047E-05	1.07281E-05	低	0	0	2	0	0	2.0	中	中低	-
			對向擦撞	2	3.59047E-05	5.36403E-06	低	0	0	2	0	0	2.0	中	中低	-
			側撞	1	1.79524E-05	5.36403E-06	低	0	0	1	0	0	1.0	低	低	-
			自撞	1	1.79524E-05	5.36403E-06	低	0	0	1	0	0	1.0	低	低	-
			其他	1	1.79524E-05	0.000000000	低	0	0	1	0	0	1.0	低	低	-
其他	15,022	26.97%	-													

註 1：姚佳億(2012 年)，「駕駛者安全關鍵資訊之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文。

註 2：交通部運研所(2010 年)，道路交通事故空間定位資訊之應用探討。

資料來源：本計畫彙整

4.5 初步建議與相關配套措施

一、初步建議方案

根據 4.2~4.3 節雪山隧道內變換車道規定調整對於容量及安全分析的結果，可知在雪山隧道內北上路段開放中、後段(直線段)變換車道對於安全上的影響相對最小，除了駕駛模擬器車輛行駛軌跡分析在各項安全指標上影響較小外，受測者之心理問卷分析亦顯示在直線段變換車道所產生的心理壓力及困難度皆相對較低。

容量分析方面，因北上隧道中、後段(直線段)車流相對穩定，開放變換車道所提升之通過量亦較為明顯，約較原方案上升 4%~6%。因此，本計畫綜整各項分析結果，以折衷在安全較可接受程度之下與行車效率較高者為初步建議方案(如圖 4.5-1)，並對於可能產生的風險研擬相關配套措施，詳說明如后。

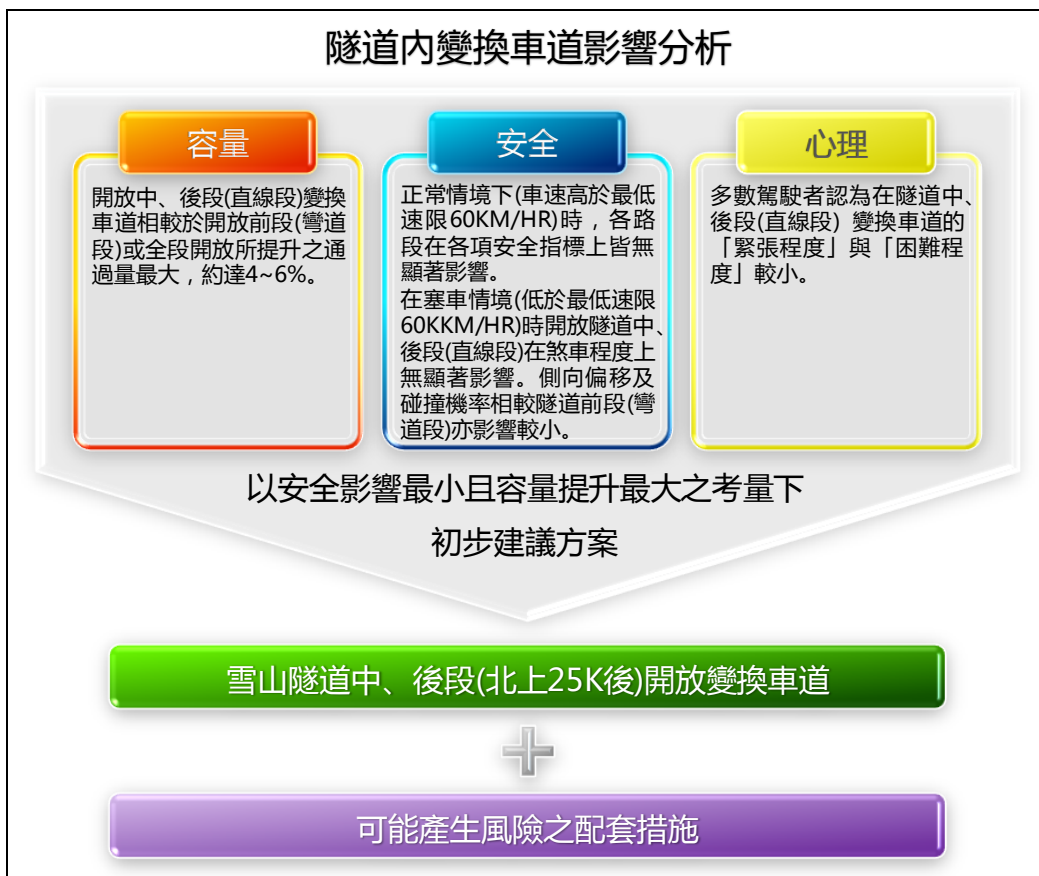


圖 4.5-1 雪山隧道禁止變換車道規定調整初步建議方案

二、建議方案相關配套措施

根據上述初步建議方案以及 4.2~4.4 節在安全指標、心理問卷分析以及事故風險等三層面分析結果，本計畫即針對隧道內開放變換車道可能產生之影響研擬相關配套措施，將可能產生之風險降至最低，維持行車安全，茲就分別說明如下。

(一) 駕駛者心理

根據 4.3 節駕駛模擬器受測者心理問卷分析結果，雖然多數駕駛者認為在直線段變換車道的困難程度及心理壓力較小，然而部分駕駛者仍認為隧道環境有別於一般高速公路，開放變換車道可能因隧道內視線較差，影響駕駛人反應時間，故本計畫研擬相關改善及建議配套措施，降低未來若開放變換車道可能產生的安全影響。

1. 配套措施一：改善光照設備

駕駛者認為隧道開放變換車道的危險因子之一為視線較差，影響反應時間，建議未來應更強化隧道內照明設備，包含亮度、亮度均勻度、眩光、頻閃效應等項目，如圖 4.5-2 所示。

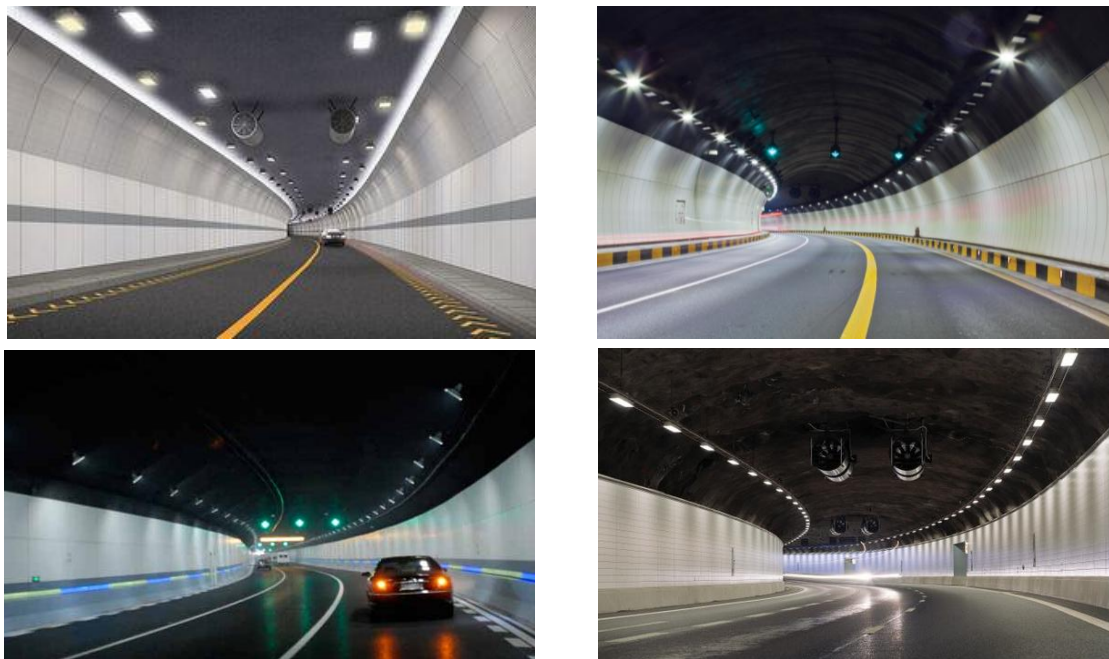


圖 4.5-2 隧道 LED 燈光照明設備案例

2. 配套措施二：開發 App 實境模擬應用程式

開發 App 相關應用程式，提供駕駛者可先從模擬實境的方式進行體驗及訓練，熟悉雪山隧道變換車道駕駛並達到宣導效果，如圖 4.5-3 所示。



圖 4.5-3 開發相關 App 應用程式模擬畫面

3. 配套措施三：針對現況單側邊換車道之直線路段先行試辦

部分駕駛者認為隧道環境有別於一般高速公路，對於開放變換車道仍有疑慮，因此建議可針對目前已單邊可變換車道的路段(直線段)，先行測試雙邊開放，以了解民眾接受程度，如圖 4.5-4 所示。

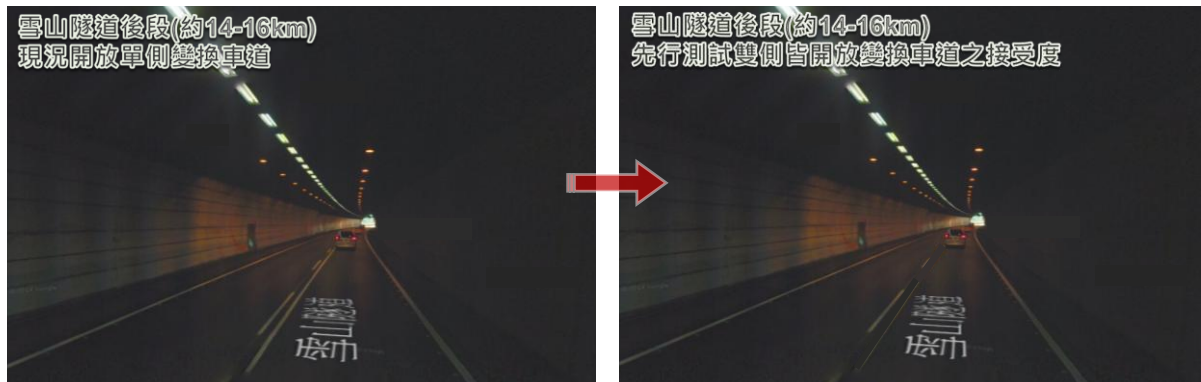


圖 4.5-4 單邊可變換車道的直線路段先行測試

(二) 駕駛行為安全

根據 4.2 節駕駛模擬器實驗行車軌跡分析結果，顯示當開放變換車道後，側向位移、煞車程度並無明顯改變，然而碰撞機率可能有所改變。因此為避免碰撞機率提高影響事故風險本計畫研擬相關改善措施建議。

1. 配套措施一：加強進入隧道安全性攔檢

為能有效減少車輛碰撞機率，在進入隧道前加強路邊安全性臨檢，包括：胎壓、胎紋、煞車等車輛檢測，以維持車輛駕駛性能，避免隧道事故。如圖 4.5-5 所示。

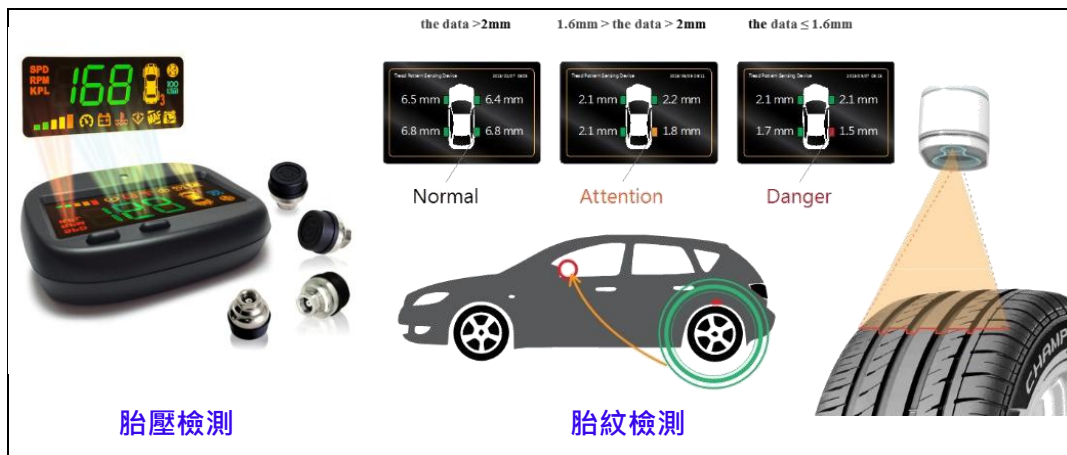


圖 4.5-5 加強進入隧道安全性攔檢項目圖示

2. 配套措施二：必要執行行車安全管理

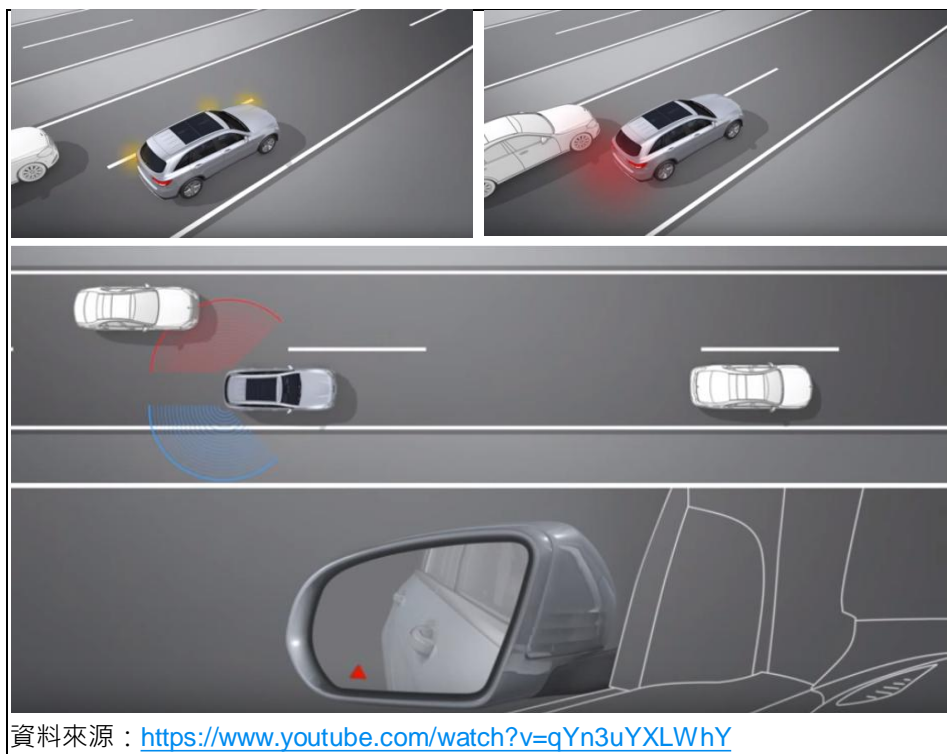
目前雪隧科技執法僅應用速度(龜速車、超速車)及變換車道之取締，未來若開放變換車道之規定，可增加車間距之取締，保持隧道內行車安全距離以提升變換車道安全。如圖 4.5-6 所示。



圖 4.5-6 嚴格執行行車安全管理圖示

3. 配套措施三：法令要求全數車輛加裝盲點偵測

為有效避免車輛碰撞，可參考國外以修訂法令方式要求全數車輛加裝盲點偵測。現今各車廠已研發或裝配車輛盲點偵測系統，透過汽車上安裝感應器偵測車身周遭物體，當駕駛者進入危險情境時透過視覺、聽覺、震動或體感的方式，提醒駕駛者，降低事故風險。如圖 4.5-7 所示。



資料來源：<https://www.youtube.com/watch?v=qYn3uYXLWhY>

圖 4.5-7 盲點偵測系統圖示

(三)事故風險

根據 4.4 節風險分析結果，顯示當隧道內開放變換車道後，較高風險問題除現況在禁止變換車道即有的事故問題外，可能會增加變換車道或方向不當、車輛間未保持前後安全距離(與未注意車前狀況類同)及未保持行車安全左右間隔之追撞與自撞事故。因此本計畫研擬相關配套措施以避免駕駛人不當行為影響事故風險。

1. 配套措施一：隧道內設置車距 CMS

隧道內加裝資訊可變標誌 (Changeable Message Sign, 簡稱 CMS) 提醒駕駛者目前行駛速度及與前車之相對距離，亦提醒駕駛人維持行車安全間距，以避免變換車道時產生追撞或同向擦撞等事故。模擬如圖 4.5-8 所示。

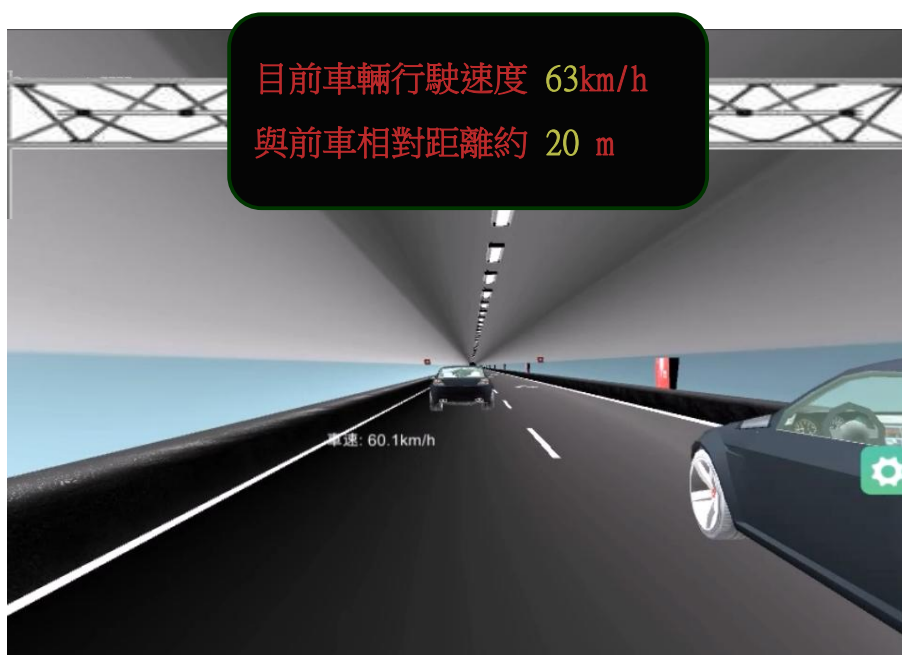


圖 4.5-8 車距 CMS 模擬示意圖

2. 配套措施二：法令要求全數車輛標配車道偏移系統

以修訂法令方式要求全數車輛標配車道偏移系統，當感測元件偵測到車輛偏離車道時，若駕駛者因精神不濟或疏忽而偏移車道，系統會發出警示訊號以提醒駕駛者返回車道，減少偏移行為發生。如圖 4.5-9 所示。

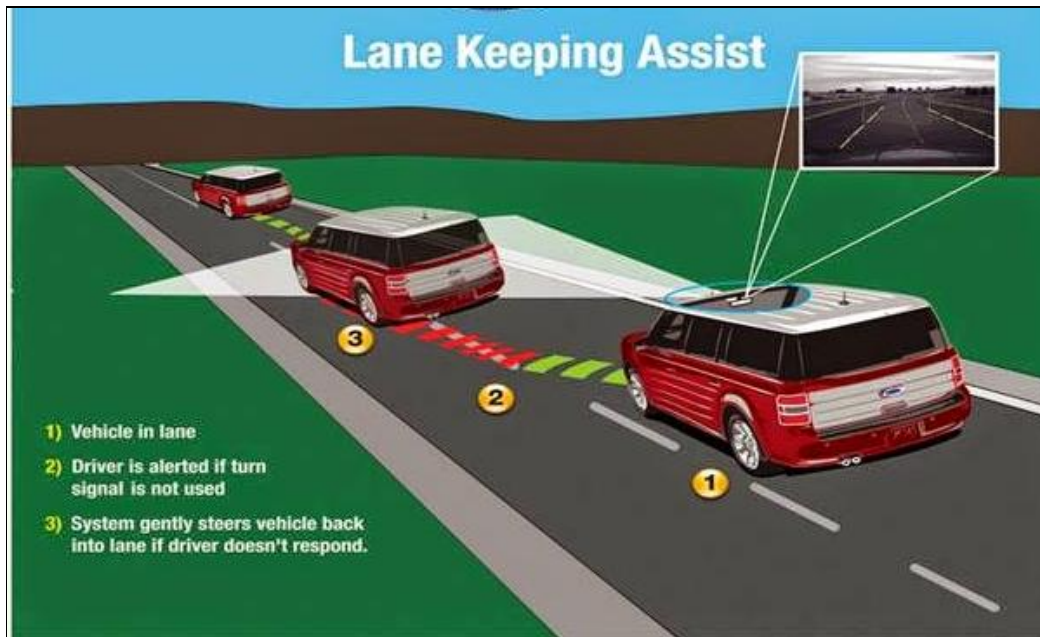


圖 4.5-9 車道偏移系統模擬示意圖

3. 配套措施三：考照納入隧道內變換車道情境項目

未來考照應納入隧道內變換車道情境項目，加強駕駛訓練並納入考照必測內容，減少變換車道行為不當之問題。如圖 4.5-10 所示。

- ✓ 變換車道的情境訓練
- ✓ 隧道情境注意事項
- ✓ 隧道內緊急應變處理方式

考照測驗

- ✓ 進入隧道應開頭燈
- 判斷鄰近車輛距離，確認安全後才可變換車道
- 隧道發生緊急事故時，人行連絡隧道是供用路人逃生用。

圖 4.5-10 加強考照項目示意圖

4.6 專家學者問卷分析

本計畫目的主要為在雪山隧道中盡量不影響交通安全前提下，提高行車效率，而現行的隧道內禁止變換車道規定可能為降低隧道容量的原因之一，故針對雪山隧道內是否開放變換車道進行車流模擬分析、駕駛模擬器實驗在安全及心理的影響、事故風險評估等進行不同方案的分析，並將分析結果提供專家學者參考，本計畫誠邀產、官、學各界共 30 位不同領域專家(各領域分布比例如圖 4.6-1)，其中包含交通相關專業與消防救災領域之長官及學者，透過問卷調查方式，綜整各專家意見與相關專業資訊的回饋。

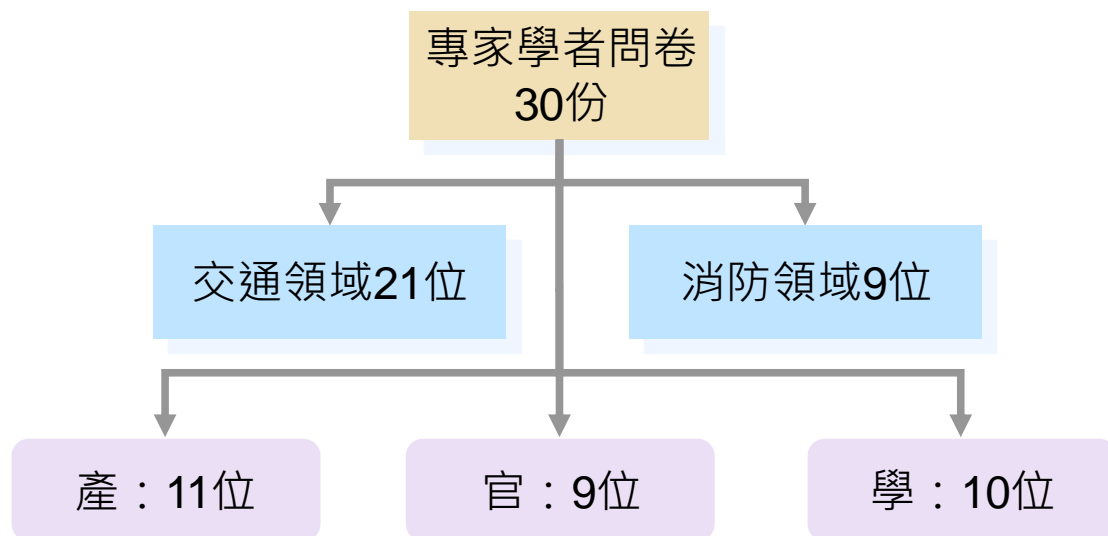
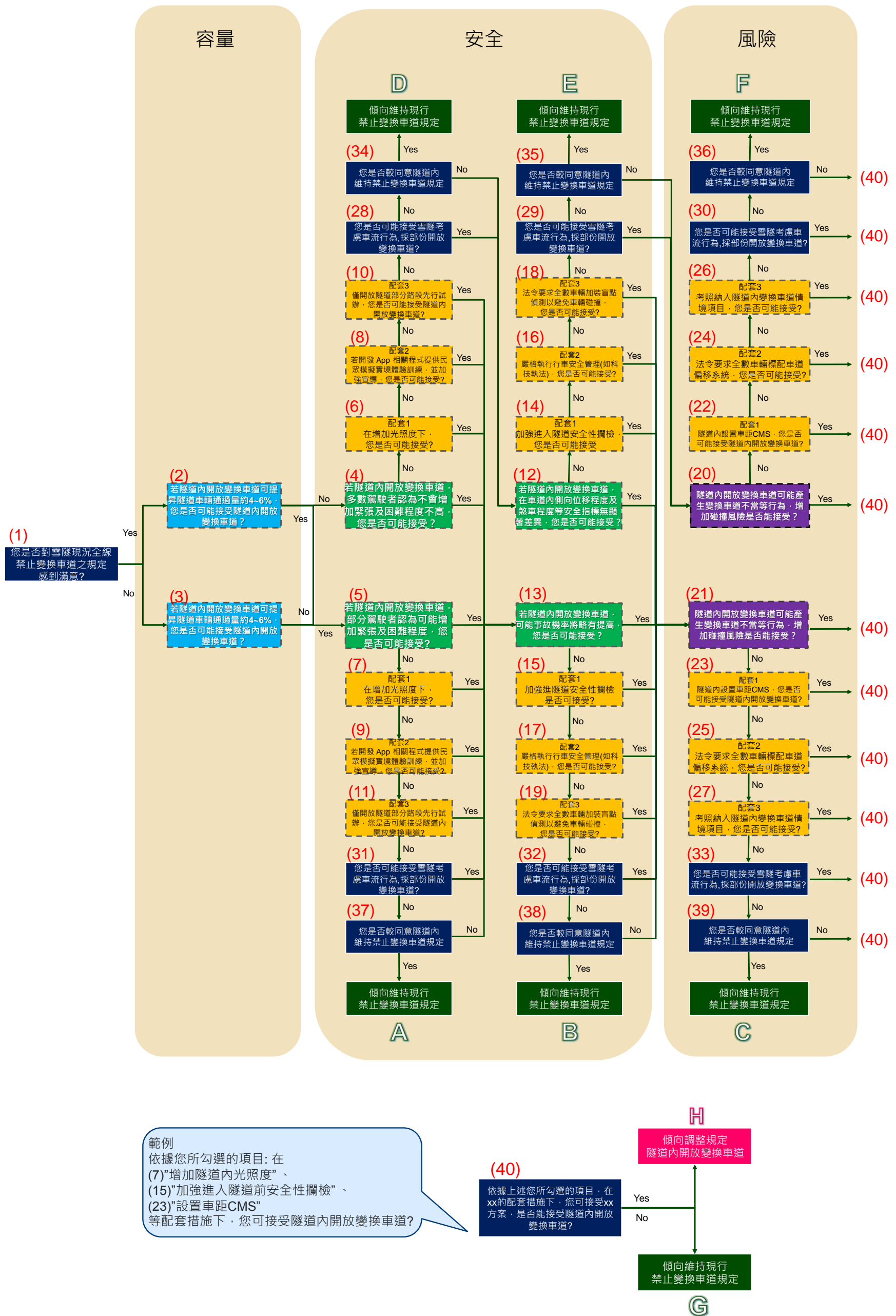


圖 4.6-1 專家學者領域分布比例

專家學者問卷型式主要為客觀呈現各方案在容量、心理、安全、以及風險等各種推力與拉力因素下，折衷出一個較適宜之方案，以供後續實施單位作為決策的參考，問卷流程如圖 4.6-2 所示，並綜整各專家學者問卷調查分析結果詳說明如后。



範例
依據您所勾選的項目：在
(7)“增加隧道內光亮度”、
(15)“加強進入隧道前安全性攔檢”、
(23)“設置車距CMS”
等配套措施下，您可接受隧道內開放變換車道？

(40)
依據上述您所勾選的項目，在
xx的配套措施下，您可接受xx
方案，是否能接受隧道內開放
變換車道？

圖 4.6-2 禁止變換車道規定調整方案專家學者問卷流程圖

一、初始方案傾向

依據問卷調查，在 30 位專家學者當中，對於現況雪山隧道的禁止變換車道規定感到滿意者約占 63% (19 人)，而不滿意者約占 37% (11 人)，可知多數專家認為滿意目前在雪山隧道內禁止變換車道的規定。

其中，交通領域專家滿意現況規定者占 57%、不滿意現況規定者約占 43%；消防領域專家滿意現況規定者占 78%、不滿意現況規定者約占 22%。

產業界滿意現況規定者占 64%、不滿意現況規定 36%；政府機關中滿意約 56%、不滿意現況規定者占 44%；學界滿意現況規定者占 70%、不滿意現況規定 30%。

二、最終方案傾向

依據問卷調查，在 30 位專家學者當中，在容量、安全、風險分析結果以及相關配套研擬後，對於禁止變換車道規定，仍認為較不贊成開放者下降，約占 40% (12 人)，認為有條件下贊成開放者則提升約占 60% (18 人)。

其中，交通領域較不贊成開放者占 43%、較贊成開放者約占 57%；消防領域專家較不贊成開放者占 33%、較贊成開放者占 67%。

產業界較不贊成開放者占 27%、較贊成開放者約占 73%；政府機關中較不贊成開放者占 44%、較贊成開放者約占 56%；學界較不贊成開放者占 50%、較贊成開放者約占 50%。

分析顯示，原滿意現況禁止變換車道規定者(19 人)，透過本計畫分析結果以及配套措施之研擬，最終可接受開放變換車道者有 8 人；而原不滿意現況禁止變換車道規定者(11 人)透過相關分析結果，最終較不能接受隧道內變換車道者有 1 人。方案傾向比例分布如圖 4.6-3 所示。

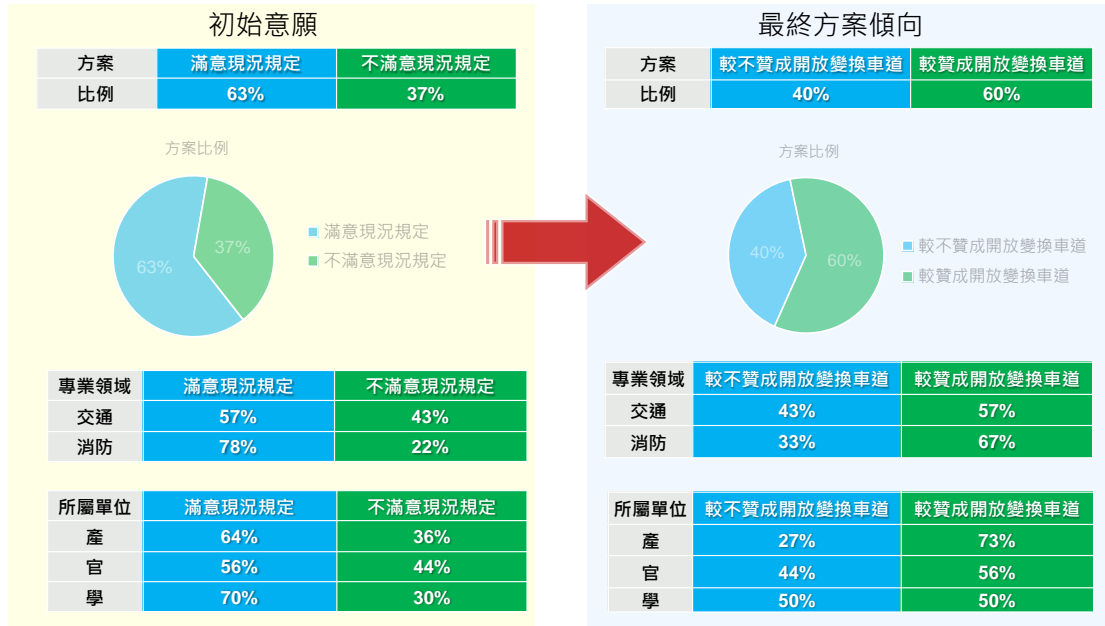


圖 4.6-3 「禁止變換車道」規定調整方案問卷調查結果

三、傾向開放變換車道者意願分析

依據問卷調查，在 30 位專家學者當中，有 18 名專家傾向可能接受隧道內開放變換車道，其中，有 4 人認為在駕駛人心理上應有配套措施，其中 1 人認為需配合在隧道內增加照度方可接受，有 3 人需在開發相關模擬實境程式、以及於目前以單側開放變換車道路段(北上隧道後段)先行試辦等配套措施下可接受；有 7 人認為在安全上應有配套作為，其中有 3 人認為需完整配合加強進入隧道安全性攔檢、嚴格執行行車安全管理、及法令要求全數車輛加裝盲點偵測等配套措施下才可接受；在風險風析上，有 11 人認為需配合風險相關配套措施，8 人在隧道內設置車距 CMS 可接受，3 人需法令要求全數車輛標配車道偏移系統及考照納入隧道內變換車道情境項目等配套措施下才可接受開放變換車道。另外，有 7 人在未選擇任何配套措施下即傾向隧道內開放變換車道。

	心理	安全	風險
配套 1 下即可接受	1	2	8
需配套 1、2 才可接受	0	2	0
需配套 1、2、3 才能接受	3	3	3
合計	4	7	11

圖 4.6-4 傾向開放變換車道者意願分析

四、傾向維持禁止變換車道因素分析

依據問卷調查，在 30 位專家學者當中，有 12 名專家傾向維持隧道內禁止變換車道的規定，其中，在容量提升下仍傾向維持禁止變換車道者占 58%；因安全分析結果認為不能接受開放變換車道者占 8%；因風險分析結果認為不能接受開放變換車道者占 25%；另外在配套措施可接受但仍不贊成開放變換車道者占 8%。

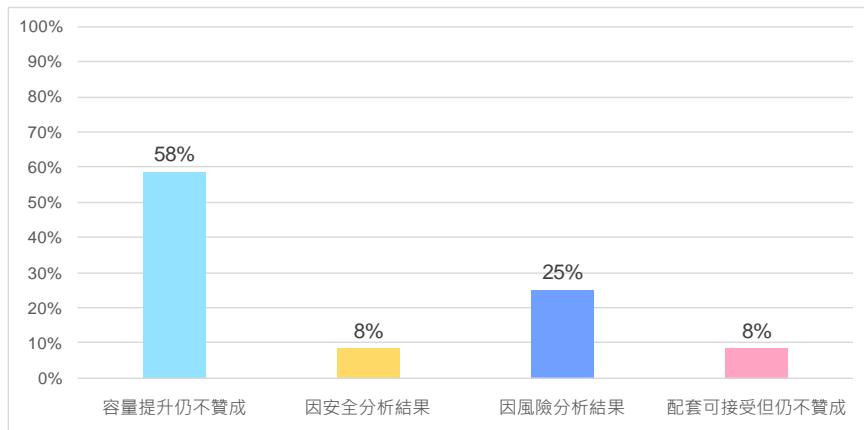


圖 4.6-5 傾向維持禁止變換車道者因素分析

4.7 小結

根據分析在安全影響最小，容量可提升之折衷下，若欲於雪山隧道開放變換車道，開放北上隧道中、後段應為相對安全之方案，並應考量可能產生之風險進行相關配套措施。

彙整專家學者問卷調查意見結果，雖部分專家認為在搭配配套措施下可能接受有條件開放隧道內變換車道，且仍傾向需有強度高或時程長之配套措施，然而專家學者座談會之相關意見蒐集，學者普遍建議維持現狀，其主要因素大多認為雪隧為封閉性道路，無路肩且具彎道路段，開放變換車道對容量增加有限，目前國人駕駛守法性有待加強，開放變換車道易增加事故發生機率。

伍、雪山隧道行車安全距離規定調整可行性分析

5.1 可行性分析架構

前述章節針對調整雪山隧道「禁止變換車道規定」進行容量、安全及風險三方面可行性評估分析，並透過專家學者彙整各領域專家學者意見，本計畫亦針對目前國道5號雪山隧道「保持行車安全距離」規定進行研究，利用雪山隧道內車輛偵側器與駕駛模擬器等儀器分析駕駛人行為特性，並以科學方法從雪山隧道的法令規範、煞停安全、肇事資料等方面進行探討，提供量化的分析數據供後續決策參考。分析架構如圖 5.1-1 所示，主要內容說明於后。

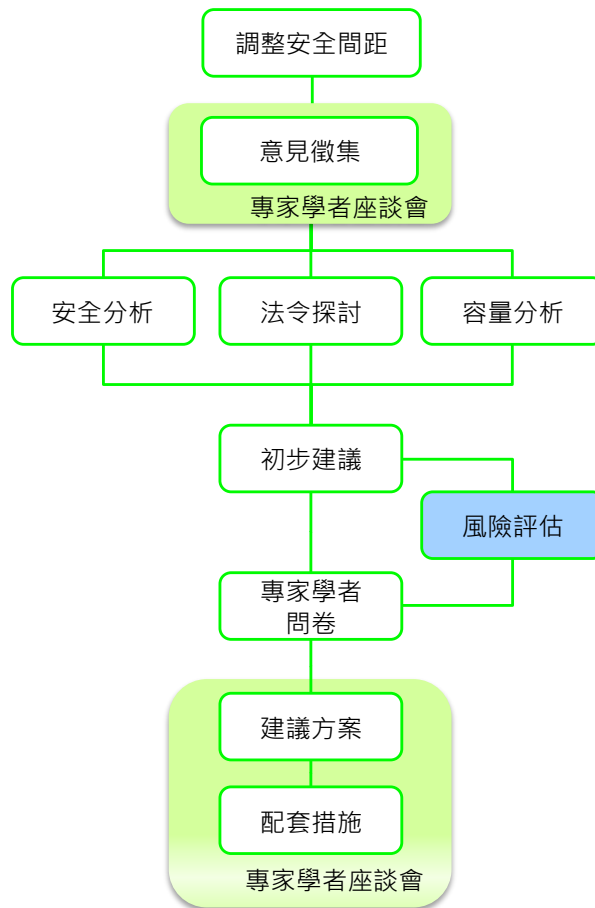


圖 5.1-1 調整安全間距規定可行性分析架構圖

然而目前法規訂定長度超過4公里之長隧道小車需維持50公尺、大車100公尺跟車間距規定，雖可比較一般隧道與長隧道之肇事資料差異，但欲深入分析其長隧道內駕駛行為之差異所造成之安全因素影響仍有以下限制存在：

一、隧道內駕駛心理與行為難以量測

欲放寬目前台灣長隧道行車規定需就駕駛人心理與行為層面上進行討論，然而就目前的路側偵測設備僅可估計總體的車流行為現象，欲細化分析個別駕駛人軌跡行為具有其困難度。

二、不同行車規定試辦需投入較大之社會成本

難以估計長隧道內駕駛跟車行為之差異，若為評估長隧道內放寬行車規定之可行性而於雪隧內試辦，易造成相關安全問題產生使之社會成本增加。

考量上述之本計畫研究目地與限制，將其分析方式細分為容量、安全及風險三個層級依序進行可行性分析，如下圖 5.1-2，容量分析與安全分析考量雪山隧道內安全規定嚴謹並無法直接試辦放寬車距之規定，故本計畫以駕駛模擬器討論駕駛人實際跟車狀況與行車軌跡變化討論其對於容量及安全之影響，而風險則以肇事資料情境進行討論，其詳細說明如后：

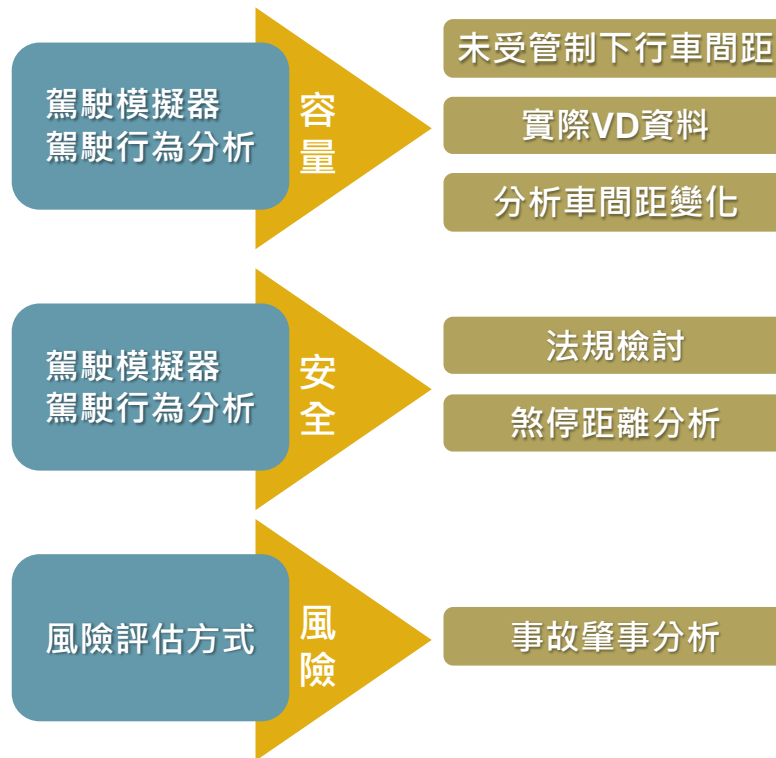


圖 5.1-2 調整安全間距規定可行性分析流程

一、容量分析

依車流特性之不同，分別檢討現行之行車安全間距規定對隧道容量之影響，利用駕駛模擬器分析於無安全行車規定下之跟車間距與現有車輛偵測器資料進行分析比較，討論其車間距變化，評估放寬行車安全規定對於容量帶來之效益。

二、安全分析

(一)法規檢討

針對現行國道高速公路交通管制規則，以及對長隧道相關安全規定執行情形進行檢討，並比較國外長隧道相關安全法令，以作為雪山隧道交通安全執法調整之參考。

(二)煞停距離分析

以安全角度考量，針對車輛在各流速下所需之安全煞停距離進行分析，並以此為參考，重新檢討現行之行車間距規定是否仍有調整之空間。

三、風險評估

針對可能之方案，探討其安全規定調整後，因交通特性改變可能產生之影響，以風險矩陣(Risk)結構化之風險評估方式將國道事故對故方案變化進行衡量。提供學者專家討論及政策實施參考。

四、專家學者問卷及座談會

針對建議方案及其容量、安全、及風險三方面評估結果，本計畫將辦理專家學者座談會及專家學者問卷調查與分析(問卷調查有效樣本至少 30 份)。由於調整安全規定影響層面較大，本計畫擬邀請包括工程設計、交通管理及交通安全等領域之學者專家參與調查及討論。

5.2 行車安全距離容量分析

5.2.1 駕駛模擬器應用

駕駛模擬器系統特性、場景建構設定與駕駛模擬器資料蒐集設定參考 4.3.1 節，於本節中應用於研究駕駛人未受 50 公尺行車安全規定下之隧道內駕駛行為分析，其事件模擬情境將於後續詳細說明。

一、速率情境 - 80, 60, 40 km/hr

為完整瞭解駕駛者於車流順暢及車流受限時無 50 公尺行車距離規定駕駛人駕駛行為差異，本計畫將情境設定分為接近自由流速 80 km/hr、最低速限 60 km/hr 以及交通壅塞車流 40 km/hr 等進行模擬分析。

二、研究主題與行為情境

本實驗研究主題為測試駕駛人於隧道內自主跟隨前車(無 50 公尺安全跟車間距規定)時車間距之分布，並與實際 VD 測得之平均車間距進行比較，評估其兩者之容量變化，同變換車道場景中之基礎情境；因此，如表 5.2-1 所示，駕駛車將設定於場景中直行，主要事件車(前方車輛)將改變車速以測試受測者反應，另事件車(隔壁車道車輛)依不同車速及間距進入場景。本實驗將量測受測者駕駛車速率曲線、與前車及隔壁車道前後車之間距時間、距離，並包含受測者於實驗階段完整之生理量測資訊以供後續專家學者判讀參考。

表 5.2-1 變換車道駕駛模擬器研究主題與行為情境說明

標的	行為	測試情境	量測資料
駕駛車 事件車	直行(左車道)	跟隨前車	與前車間距時間、距離 生理量測資料
	同向車道前方車輛 - 直行	改變車速	-

資料來源：本計畫整理。

三、實驗腳本設計

本實驗作為不同情境分析比較之基礎情境實驗，提供後續實驗對照，將不給予任何實驗指示，依本身習慣自主跟隨前車，僅限制禁止變換車道規定，場景設定與實驗方式說明如表 5.2-2。

表 5.2-2 駕駛模擬器基礎情境實驗腳本設計說明

事件車				
起始狀況				實驗方式
同車道		隔壁車道		
車速 (kph)	間距(m)	車速 (kph)	時間間距 (s)	
80	前方 一輛車	80	2~5 random	1.禁止變換車道 2.依自行習慣跟車 3.結束前 10 秒，同車道前方車速 緊急煞車(下降 20kph)
60	前方 一輛車	60	2~5 random	
40	前方 一輛車	40	2~5 random	

資料來源：本計畫整理。

四、實驗對象

本實驗召募 36 名具備小客車駕駛執照之受測者進行變換車道實驗，以年齡層做實驗者篩選之重點，其實驗對象詳細資料可參考 4.3.1 節表 4.3-6 所示。

5.2.2 容量分析

行車安全間距規定容量分析以不同車速行為進行探討，將駕駛模擬器情境所得之駕駛人未受 50 公尺安全規定之跟車行為與 VD 資料所推估之平均車間距進行比較，以評估放寬規定對於容量帶來之效益。

一、自由流速

駕駛模擬器中 80kph 情境中自主跟車情境為測量駕駛者跟車反應，故實驗情境下駕駛人必處於跟車過程中，可得其自主跟車間距分布結果如下圖 5.3-3 所示，跟車時間間距平均值為 1.34 秒，換算為空間間距為 23.0 公尺。

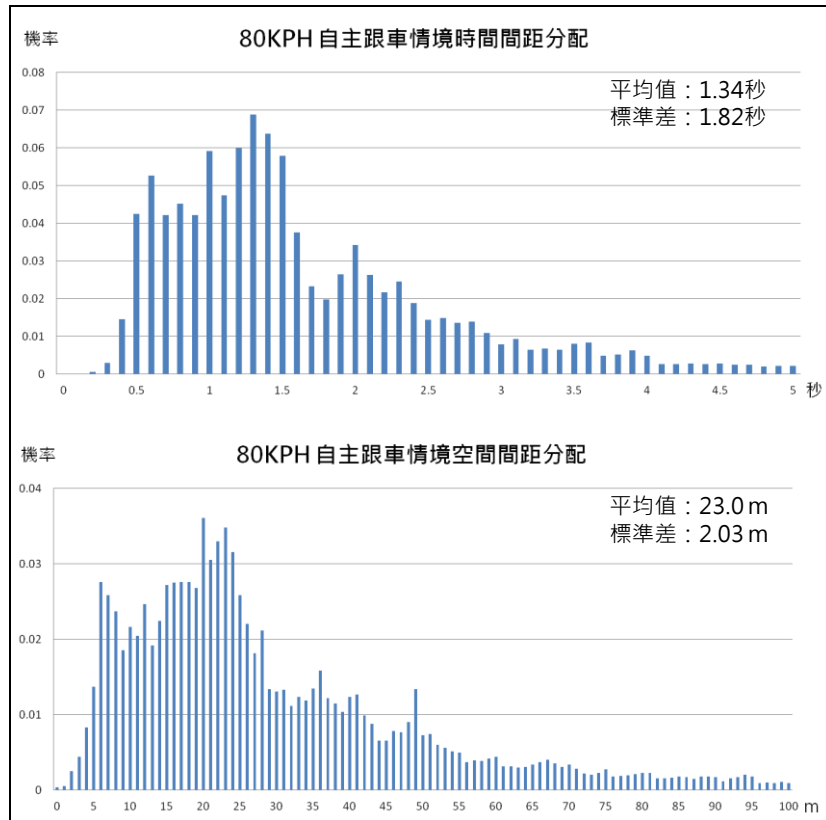


圖 5.2-3 駕駛模擬器 80kph 車流跟車間距分配

然而在隧道中一般正常情況車輛行駛速率達 80~90 kph，為非受限之自由流，如圖 5.2-4，隧道內車輛行車空間間距大多皆遠大於 50 公尺車間距之規定以上，如圖 5.2-5 速率與車間距關係圖所示。

駕駛模擬器與實際 VD 資料所得之平均車間距之差異距意味著於自由車流狀況下，大部分駕駛人並未處於跟車狀態中，其隧道空間仍有餘裕，因此針對非壅塞情形時調整行車安全距離規定對於隧道容量影響意義不大。

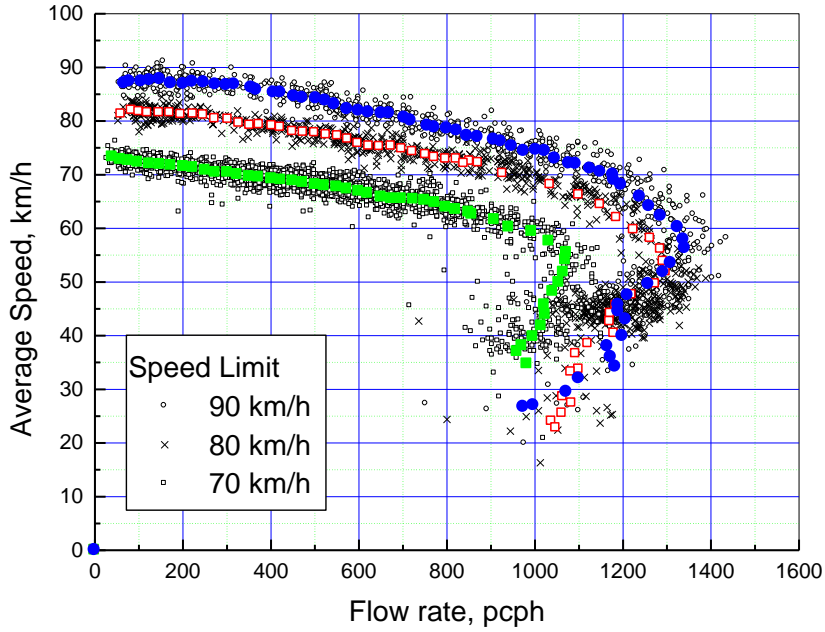


圖 5.2-4 雪山隧道北上車流平均速度與流量關係圖

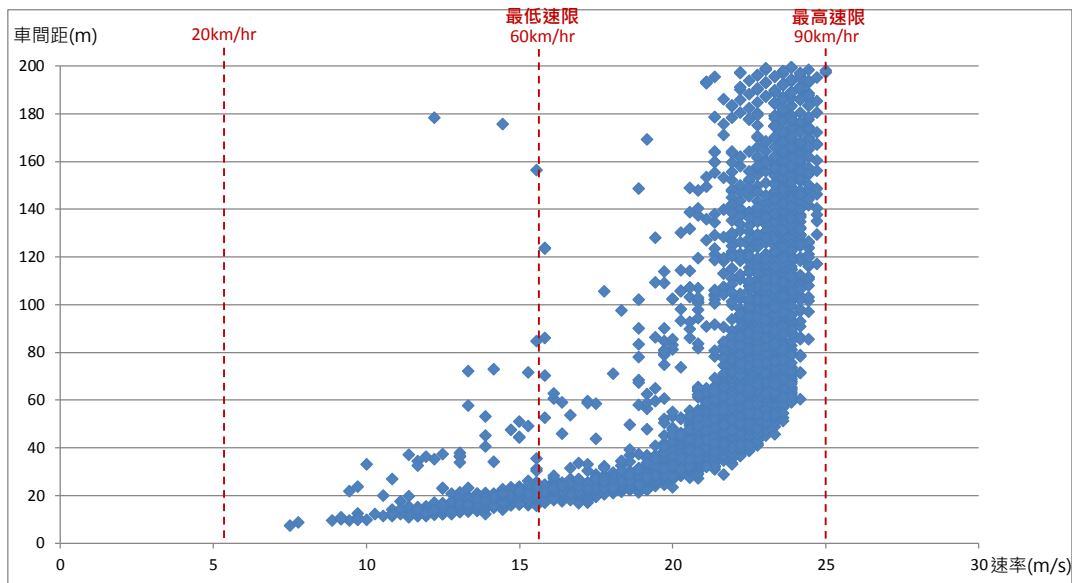


圖 5.2-5 雪山隧道北上車流速率與車間距關係圖

二、受限車流

如圖 5.2-4，當均速落於 60 kph 以下時，車流形態轉為受限車流，將進入壅塞狀況，可將 60 kph 視作臨界車速，而 40 kph 為壅塞狀態之車速。

以駕駛模擬器分析駕駛人於隧道內 60 kph 與 40 kph 車流狀態下跟車間距，如下圖 5.2-6~7。

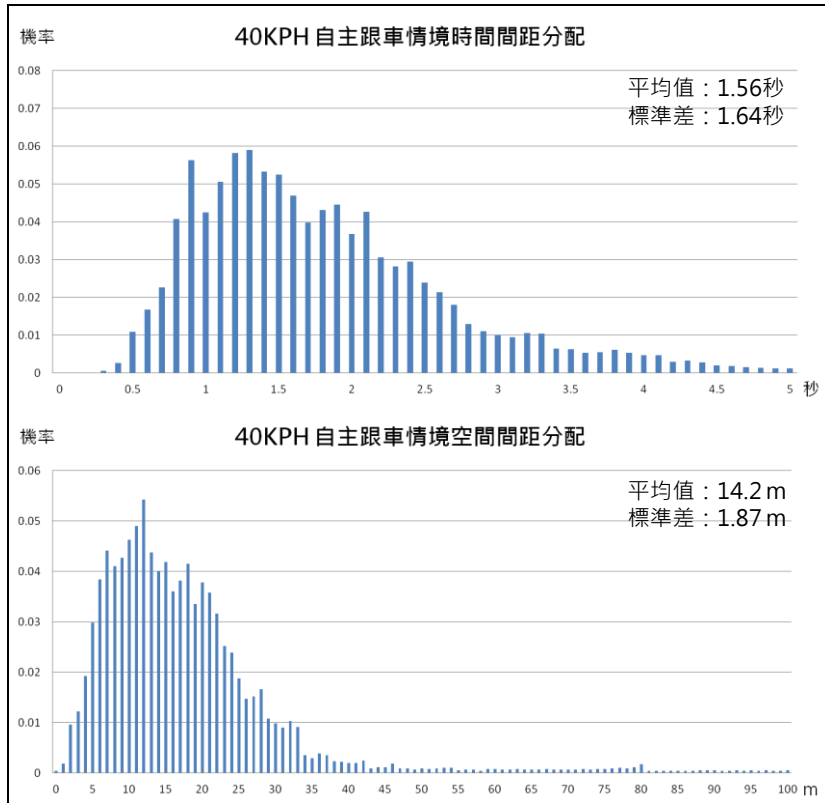


圖 5.2-6 駕駛模擬器 40kph 車流跟車間距分配

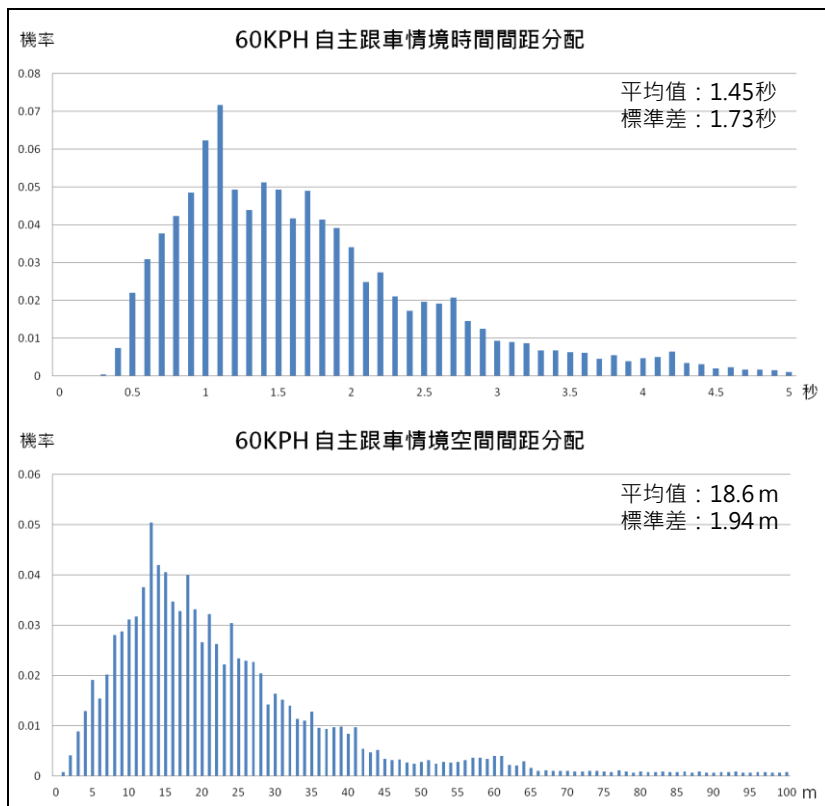


圖 5.2-7 駕駛模擬器 60kph 車流跟車間距分配

駕駛模擬器資料分析結果，當速率為臨界車速 60 kph 情境時，其自主跟車之時間間距之平均值為 1.45 秒，以空間間距計算為 18.6 公尺；當壅塞車流下，即 40 kph 車速情境下，其跟車時間間距之平均值為 1.56 秒，以空間間距計算為 14.2 公尺。

擷取 VD 資料推估平均車間距與駕駛模擬器自主跟車情境之跟車間距平均值比較。當雪山隧道於假日尖峰時段，根據車輛偵測器資料蒐集顯示，於臨界車速狀態下，隧道內跟車時間間距平均值維持在 1.60 秒，以空間間距表示為 19.8 公尺，而當壅塞情境下，隧道內跟車時間間距平均值為 1.56 秒，空間間距為 14.1 公尺，分析結果如表 5.2-3。

表 5.2-3 VD 跟車間距與駕駛模擬器比較

速率 (kph)	VD 資料推估 跟車間距平均值		駕駛模擬器分析 跟車間距平均值	
	時間間距(s)	空間間距(m)	時間間距(s)	空間間距(m)
40	1.56	14.1	1.56	14.2
60	1.60	19.8	1.45	18.6

資料來源：本計畫整理。

於壅塞情況下，VD 結果與駕駛模擬器資料分析之跟車間距平均值近乎相同，表示在壅塞車流下駕駛人已不考慮現行雪山隧道於車速 20 kph 以上須保持 50 公尺跟車間距規定，皆以駕駛人本身之跟車習慣進行跟車動作。

臨界車速狀態下，VD 推估之車間距與駕駛模擬器測得結果相近，然而如圖 5.2-8 所示，但仍有部分車輛因顧忌行車安全規定而拉長車距，保持 50 公尺以上的行車距離，平均行車距離產生離散情形，故其平均值較駕駛模擬器分析之平均值高。

因現況安全行車規定造成整體跟車行為不均勻，間距過大現象，若放寬安全間距之規定，預期可改善車流中保守駕駛人為維持 50 公尺間距而產生慢速車之情

形，維持駕駛行為一致性，保持穩定車間距、均速行駛，應可將圖 5.2-8 中上方離群值集中，提升整體隧道容量。

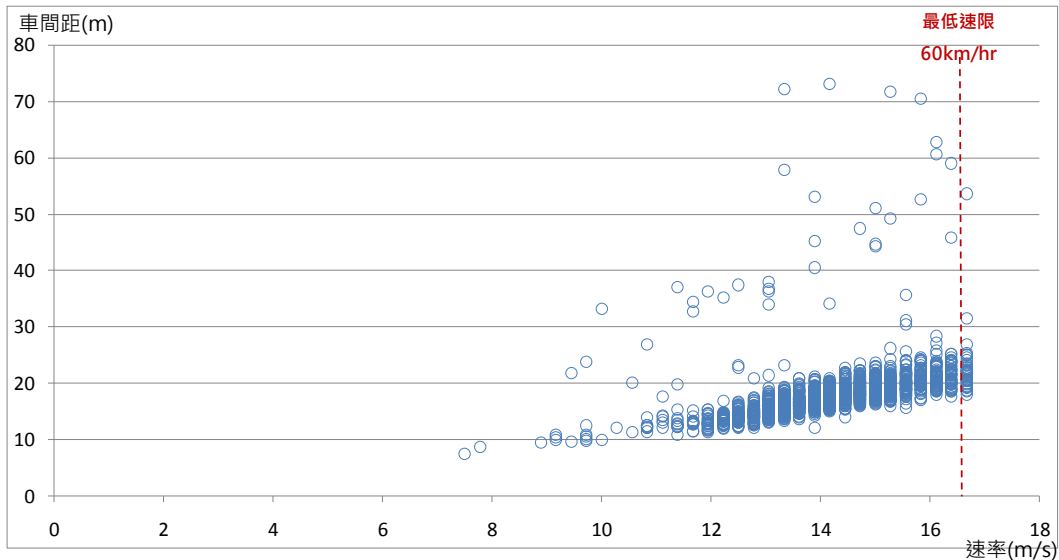


圖 5.2-8 雪山隧道北上受限車流速率與車間距關係圖

三、容量分析小結

行車安全距離之規定主要目的是為避免車輛過近產生追撞事故，然而根據實際的用路人使用情形，目前造成假日車流壅塞主要原因之一即為駕駛者對於行車安全距離規定認知不一致，產生車輛行駛速率不均勻，影響紓解效率。

歸納上述各面向分析，為有效改善雪山隧道尖峰時段車流量紓解效率，當交通壅塞導致車輛未能達到正常速限範圍(最低速限 60KM/HR)，建議可調整縮小行車安全距離，然為避免法令多重規定缺乏一致性，導致民眾認知混淆，建議應比照一般國道高速公路規定，小型車為速率之每小時公里數之一半；大型車為速率之每小時公里數減二十。目的在於維持隧道內車輛平均速率，縮小速差，穩定車流，亦符合一般國外長隧道行車安全規定管理方式。

因此，本計畫初步建議可針對隧道內 60KM/HR 受限

車流情境下，安全行車距離規定放寬調整為比照一般高速公路，如表 5.2-4 所示，並於後續進行相關的風險評估，以確保其可行性。以期在不影響安全情形下，以穩定車流為目標，有效改善行車效率。

表 5.2-4 雪山隧道行車安全距離調整初步建議

車速(km/hr)	目前規定(m)	建議調整(m)	調整說明
20(含以下)	20	10	比照一般國道標準 1.小型車：車輛速率之每小時公里數值除以二，單位為公尺。 2.大型車：車輛速率之每小時公里數值減二十，單位為公尺。
30	50	15	
40	50	20	
50	50	25	
60	50	50	維持現狀
70	50	50	
80	50	50	
90	50	50	

資料來源：本計畫整理。

5.3 行車安全距離安全分析

5.3.1 法規檢討

根據高速公路交通管制規則第十六條第四款，行駛於長度四公里以上或經管理機關公告之隧道，小型車應保持五十公尺以上之行車安全距離，大型車應保持一百公尺以上之行車安全距離。如因隧道內道路壅塞、事故或其他特殊狀況導致車速低於每小時二十公里或停止時，所有車輛應保持二十公尺以上之行車安全距離。

一、一般高速公路安全間距規定未針對非正常速限下車流進行明確定義

依高速公路及快速公路交通管制規則第 16 條：車行駛高速公路及快速公路，前後兩車間之行車安全距離，在正常天候狀況下，依下列規定：

- (一)小型車：車輛速率之每小時公里數值除以二，單位為公尺。
- (二)大型車：車輛速率之每小時公里數值減二十，單位為公尺。

前項規定例示如表 5.3-1：

表 5.3-1 高速公路行車安全距離規定

車速(km/hr)	大型車(m)	小型車(m)
60	40	30
70	50	35
80	60	40
90	70	45
100	80	50
110	90	55

資料來源：高速公路及快速公路交通管制規則。

雪山隧道為長度四公里以上長隧道，其行車安全距離另有第十六條第四款之規定，然而，法令皆未針對無法達到正常速限(60km/hr 以下)的車流情境明確訂定行車安全距離規定。

二、隧道行車安全間距規定適用情境未明確定義，產生法規模糊地帶

依高速公路及快速公路交通管制規則第16條第4款：「行駛於長度四公里以上或經管理機關公告之隧道，小型車應保持五十公尺以上之行車安全距離，大型車應保持一百公尺以上之行車安全距離。如因隧道內道路壅塞、事故或其他特殊狀況導致車速低於每小時二十公里或停止時，所有車輛應保持二十公尺以上之行車安全距離。」，對於非特殊狀況未明確定義，當壅塞情形發生時，隧道內車輛速率未能達最低速限60km/hr，但卻可維持在20km/hr以上之行駛速率，在此情境下易產生駕駛人對於法規認知的不一致，因而造成駕駛行為差異，整體車速不均勻，影響正常車流運行。

三、隧道公路安全規定較嚴謹，易造成慢速車影響車流

依高速公路及快速公路交通管制規則第8條第1款：「在高速公路最高速限每小時90公里以上路段，行駛速率低於每小時80公里之較慢速小型車，應行駛於外側車道，並得暫時利用緊鄰外側車道之車道超越前車。」，另同條第3款規定：「內側車道為超車道，但小型車於不堵塞行車之狀況下，得以該路段容許之最高速限行駛於內車道」。然而隧道內劃設雙白線，禁止變換車道，故要求低於第1款速率之車輛均應行駛於外側車道，實際運行有其困難度。針對第一款情形有未依規定車道行駛情形，應不予取締。

四、相較國外長隧道相關法令，雪山隧道規定相對更加嚴謹

檢討國外長隧道相關法令，目前國外高速公路多未針對長隧道部分另外制定行車安全規定，僅少數曾發生重大事故之隧道有制定較嚴苛之安全規定，如法義白朗峰 Mont Blanc 隧道需維持150公尺以上安全間距、

瑞士聖哥達 St. Gotthard 大型車需維持 150 公尺及小型車 50 公尺的行車安全距離；而在車輛靜止時，根據歐洲跨區域公路路網安全規定，當車輛在隧道內為靜止狀態時，須與前車保持 5 公尺距離，而法義白朗峰隧道則有車輛停止行進時須保持 100 公尺以上車間距之規定。

此外，國外針對長隧道多未禁止大貨車通行，僅少數長隧道針對危險物品之車輛進行管制或於隧道洞口設置車輛偵溫設備，大貨(重)車須經引擎溫度檢測才可進入。相對於雙孔單向設計之雪山隧道採全面禁止大貨車通行，且在車輛靜止仍須維持 20 公尺以上車間距之安全規定，已較歐洲過去曾發生重大火災之隧道如瑞士聖哥達 St. Gotthard、法義白朗峰 Mont Blanc 等屬單孔雙向之隧道，在安全性方面已有較高之可靠度，因此雪山隧道對於現行安全規定上的確有調整放寬之彈性。

5.3.2 煞停距離分析

一、安全分析

(一)正常情形(在正常速限範圍 60~90 km/hr)

在長公路隧道中，由於其特殊密閉構造及環境特性，事故時災害擴大速度快，聯絡與逃生救援不易，因此隧道內執行行車安全距離規定以預防事故發生格外受到重視。一般車輛行駛於高速公路之行車安全距離訂定主要是依據「安全煞停距離」，即「反應距離」加上「煞車距離」，參考圖 5.3-1 及表 5.3-2 所示，因此，一般高速公路的車速上限數值的一半即為安全距離的下限。

然而，雪山隧道總長度達 12.9 公里，屬於長隧道公路，其行車安全距離規定應較一般高速公路更加嚴謹，2006 年雪山隧道通車時，最高車速限制為每小時 70 公里，為提高道路容量，2008 年 3

月將速限提高為至 80 公里，但還是無法解決假日雪山隧道大塞車的窘境，在宜蘭地方要求下，於 2010 年 11 月，速限再放寬至每小時 90 公里，經過兩度的調整，但行車安全距離規定仍維持 50 公尺。

依目前規定隧道內速限為每小時 90 公里，在自由流速約 80~90km/hr 情形下，其所需煞停距離為 48.16~58.61 公尺，故現行之小型車安全車間距 50 公尺，基於安全考量，可調整放寬限制空間不大。

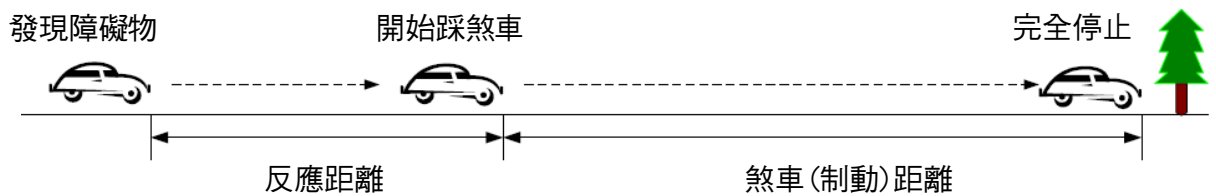


圖 5.3-1 煞車所需距離

表 5.3-2 汽車車速與停車距離參考表

車速 (km/hr)	60	70	80	90	100	110
動能 (焦爾 kg-m/sec)	194.44	264.66	345.68	437.50	540.12	653.55
瞬間撞擊 死亡機率	0.07	0.13	0.23	0.38	0.58	0.85
反應距離 (m)	12.50	14.58	16.67	18.75	20.83	22.92
煞車距離 (m)	17.72	24.11	31.50	38.96	49.21	59.55
停車距離 (m)	30.22	38.70	48.16	58.61	70.05	82.46
備註	一、行車安全距離=反應距離+車輛自開始煞車到完全停止所需煞車距離 二、汽車輪胎與路面摩擦係數: 以 0.8 計算 三、汽車動能:以 1.4 噸小型車計算 四、瞬間死亡機率:依據美國交通安全署公佈 1983 年 Joksch 研究報告換算 五、反應距離:以每人反應時間約 0.75 秒換算 (附註:依據統計人的反應時間約 0.7 至 1.5 秒,因人而異)					

資料來源:國道公路警察局(2012)。

(二)車流壅塞(未能達最低速限，20~60km/hr)

至於在尖峰時段因車流量較大造成交通壅塞時，隧道內車輛未能達到最低速限 60km/hr，參考交通部相關資料如表 5.3-3 所示，在受限車流速度降至 20km/hr~60km/hr 時，所需安全煞停距離約 14m~44m，小於現行規定之 50 公尺安全距離，故此情境下安全間距規定應有調整之空間，然而，「未能保持行車安全距離」一直為雪山隧道內主要肇事原因之一，故後續應對放寬安全距離規定調整進行影響風險評估，以確保實際可行性。

表 5.3-3 車速與煞車距離

車速(km/hr)	反應距離(m)	制動距離(m)	煞車所需距離(m)
20	6	3	9
30	8	6	14
40	11	11	22
50	14	18	32
60	17	27	44

資料來源：調查資料交通部全球資訊網道安宣導。

(三)特殊情形(車輛速率降至 20km/hr 以下)

另外，如因雪山隧道內道路壅塞、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，現行規定所有車輛仍應保持 20 公尺以上之安全距離。實際道路在極度壅塞時，或當車流完全停止時，前後二車之距離可能僅有 1 公尺左右。駕駛人所保持之距離應是考慮安全煞停所需的距離。參考交通部相關資料如表 5.3-3 顯示，20km/hr 以下之速度，所需安全煞停距離僅為 9 公尺。故以車輛安全煞停距離而言，20 公尺車間距規定的確有放寬之彈性。

5.4 行車安全距離風險分析

為了解車間距調整是否對於安全有所影響，本計畫以風險矩陣(Risk)結構化之風險評估方式進行衡量。由於目前只有雪山隧道有明確規範車輛需保持 50 公尺，故以此分類方式進行風險情境之比較，詳如圖 5.4-1 所示。

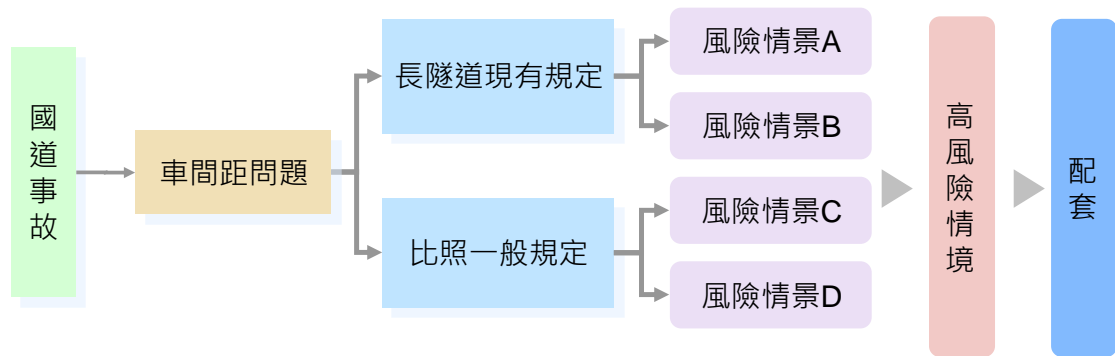


圖 5.4-1 車間距風險情境分析架構圖

事故風險係依據事故情境發生機率(姚佳億，2012)及事故嚴重程度(交通部運研所，2010)，進而利用表 5.4-1 風險評估表判斷行為風險程度，並計算結果劃分為三等分，以資料整體分布情形，25%以下稱為低頻率/低嚴重性，75%以上稱為高頻率/高嚴重性，其餘稱為中頻率/中嚴重性。

其計算公式如下所示：

事故情境發生率 = 國道事故肇事率 × 事故位置機率 × 與車間距相關之肇因機率 × 碰撞類型機率

事故嚴重程度(E_{TAN}) = $9.5 * F + 3.5 * J + TAN$

其中，F：肇事死亡人數

J：肇事受傷人數

TAN：總肇事次數

表 5.4-1 風險評估表

風險評估		事故情境發生機率		
		高	中	低
嚴重程度	高	最高	高中	中
	中	高中	中	中低
	低	中	中低	低

資料來源:本計畫彙整

國道事故 2012 年~2014 年共 55,703 件，平均肇事率為 62.61%，比照一般規定之隧道事故合計 1,741 件，佔 94.4%。另由表 5.4-2 計算各肇因與碰撞類型之風險結果可知，國道內主要車間距之高風險情境可歸為以下兩類：

1. 未保持行車安全距離-追撞
2. 未注意車前狀況-追撞

無論是否為長隧道，現今隧道皆存在車輛未保持前後安全距離(與未注意車前狀況類同)之問題，故未來是否更改行車間距，高風險問題皆存在。針對該高風險問題，本計畫於 5.5 節提出相關配套，目的即為改善隧道因車間距所引起之事故。

表 5.4-2 變換車道事故風險

與變換車道有關肇因	件數	%	碰撞類型	件數	%	情境發生率 ¹	頻率	A1	A2	A3	死亡人數	受傷人數	E _{TAN} ²	嚴重性	風險判斷	既有問題
未保持行車安全距離	1,498	81.19%	追撞	1,486	0.805420	0.386352731	高	0	38	1,448	0	70	1,941.0	高	高	*
			同向擦撞	9	0.004878	0.002339956	中	0	1	8	0	1	15.5	中	中	
			自撞	2	0.001084	0.000519990	低	0	0	2	0	0	2.0	低	低	
			其他	1	0.000542	0.000259995	低	0	0	1	0	0	1.0	低	低	
未注意車前狀況	74	4.01%	追撞	59	0.031978	0.015339711	高	0	3	56	0	6	98.0	高	高	*
			同向擦撞	6	0.003252	0.001559971	中	0	1	5	0	1	12.5	中	中	
			自撞	3	0.001626	0.000779985	中	0	1	2	0	1	9.5	中	中	
			其他	6	0.003252	0.001559971	中	0	1	5	0	2	19.0	中	中	

註 1：姚佳億(2012 年)，「駕駛者安全關鍵資訊之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文。

註 2：交通部運研所(2010 年)，道路交通事故空間定位資訊之應用探討。

資料來源：本計畫彙整

5.5 初步建議與相關配套措施

一、初步建議方案

行車安全距離之規定主要目的是為避免車輛過近產生追撞事故，然而根據實際的用路人使用情形，目前造成假日車流壅塞主要原因之一即為駕駛者對於行車安全距離規定認知不一致，產生車輛行駛速率不均勻，影響紓解效率。

歸納 5.2~5.3 節各面向分析，在能保持安全煞停距離下，為有效改善雪山隧道尖峰時段車流量紓解效率，當交通壅塞導致車輛未能達到正常速限範圍(最低速限 60KM/HR)，建議可調整縮小行車安全距離，然為避免法令多重規定缺乏一致性，導致民眾認知混淆，建議應比照一般國道高速公路規定，小型車為速率之每小時公里數之一半，目的在於維持隧道內車輛平均速率，縮小速差，穩定車流，亦能符合一般國外長隧道行車安全規定管理方式。另外在大型車的部分，則考量事故發生的風險較高(如大客車的火災熱釋放率較高)，因此為維護行車安全，建議在大型車的部分仍維持現行的 100 公尺車距規定。

因此，本計畫初步建議針對隧道內 60KM/HR 受限車流情境下，小型車的安全行車距離規定可放寬調整為比照一般高速公路，如表 5.5-1 所示。

但有鑑於國外長隧道重大災害事故經驗，車輛保持安全距離，有效控管長隧道內車輛總量和密度，是減少災害發生率及降低事故嚴重程度之重要管理措施，由於隧道為封閉性空間，若車輛間距過近，一旦發生火災易產生快速延燒現象，增加消防救災難度進而影響效率，歐盟準則亦有相關規定(隧道停止狀態駕駛應與前方車輛保持至少 5 公尺的距離)，因此初步建議微調車速 20kph 以下至停止狀態之最小車間距自 20 公尺改為 10 公尺，以確保其安全性及可行性。

表 5.5-1 雪山隧道行車安全距離調整初步建議

車速(km/hr)	目前規定(m)	建議調整(m)	調整說明
20(含以下)	20	10	小型車比照一般國道標準： 車輛速率之每小時公里數值除以二，單位為公尺。 (大型車維持原規定)
30	50	15	
40	50	20	
50	50	25	
60	50	50	維持現狀
70	50	50	
80	50	50	
90	50	50	

資料來源：本計畫整理。

因此，本計畫綜整各項分析結果，以折衷在安全可接受程度之下與行車效率達到最高為初步建議方案(如圖 5.5-1)，並對於可能產生的風險研擬相關配套措施，詳細說明如后。

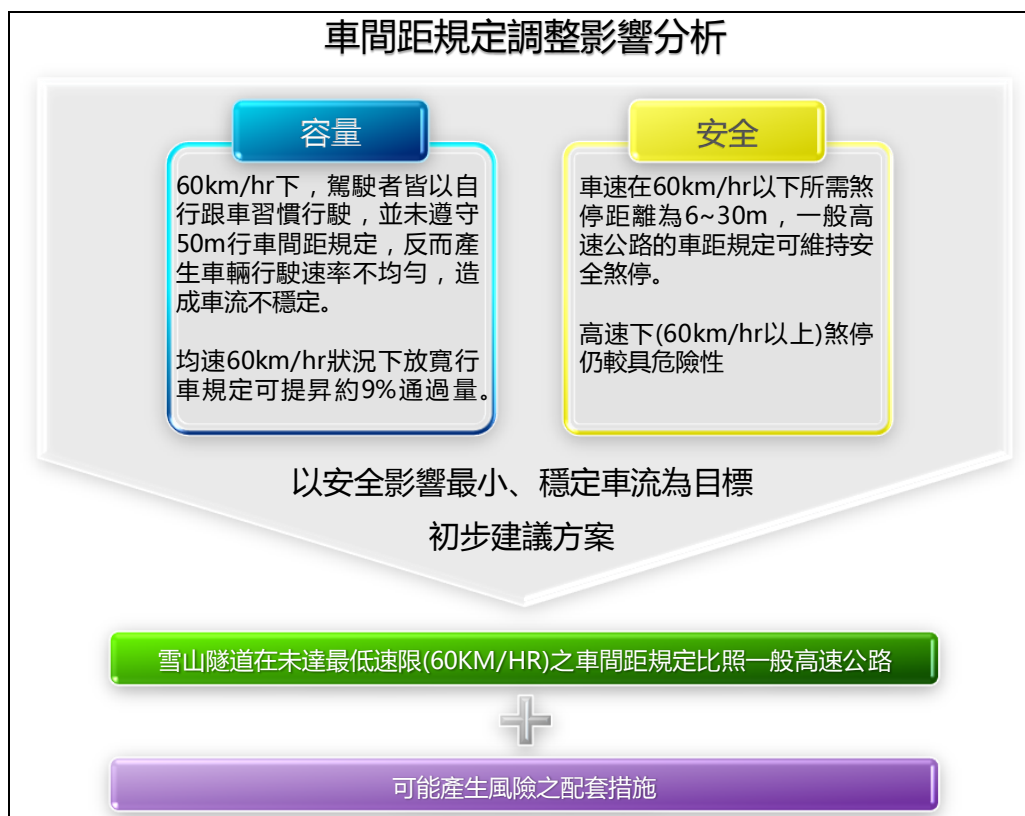


圖 5.5-1 雪山隧道車間距規定調整初步建議方案

二、建議方案相關配套措施

根據上述初步建議方案以及 5.2~5.4 節在容量、安全指標、及風險分析結果，本計畫即針對隧道內車流壅塞時放寬車間距規定可能產生之影響研擬相關配套措施，將可能產生之風險降至最低，維持行車安全，茲就分別說明如下。

(一)駕駛者使用習慣

根據前述車流分析結果，駕駛者對於隧道行車安全間距規定認知不一致，容易產生駕駛行為差異而造成車流不穩定，因此若未來車間距規定調整，應配合相關配套措施，提供駕駛者充分資訊及強化宣導，減少民眾的不確定性。

1. 配套措施一：開發 App 應用程式供民眾模擬實境體驗訓練，並達宣導效果

利用 APP 手機應用程式，讓駕駛者可先從模擬實境的方式進行體驗，亦能藉此熟悉安全規定，達到宣導目的。



圖 5.5-2 開發相關 App 應用程式模擬畫面

2. 配套措施二：隧道內設置行車規定指示

於隧道內固定間距設置 CMS 指示及行車規定牌面，提醒駕駛人目前平均車速與行車規定。

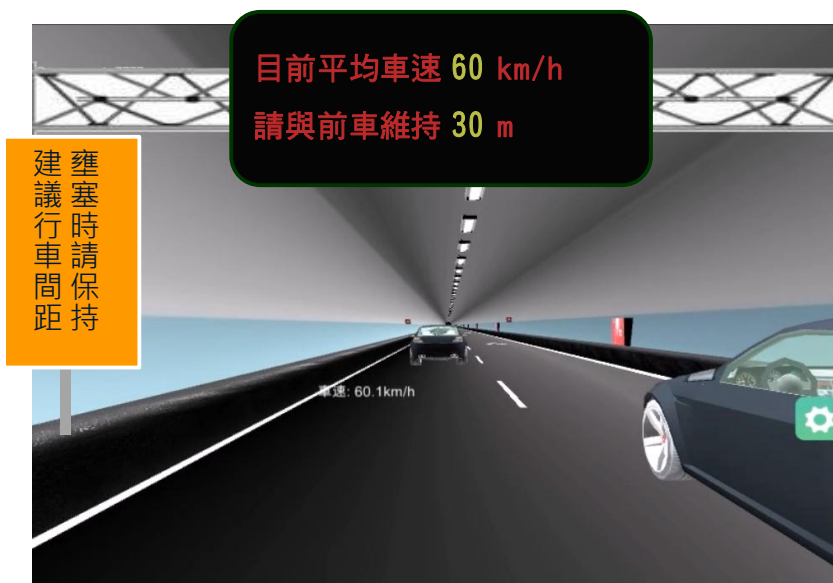


圖 5.5-3 車距 CMS 模擬示意圖

3. 配套措施三：考照加強隧道情境的跟車訓練

未來考照應加強相關情境項目，並將駕駛訓練納入考試必測內容，減少因未保持安全間距引起之駕駛人違規問題。如圖 5.5-3 所示。

- ✓ 車間距計算方式
- ✓ 隧道情境注意事項
- ✓ 隧道內緊急應變處理方式

考照測驗

- 與前車(小車)距離計算公式 = 速度 ÷ 2
- 進入隧道應開頭燈
- 隧道發生緊急事故時，人行連絡隧道是供用路人逃生用。

圖 5.5-4 加強考照項目示意圖

(二)駕駛行為安全

在高速情形(正常速限內 60~90km/hr)，仍需維持較長安全距離以策安全，然若隧道內車流壅塞低於最低速限 60KM/HR 時，車間距規定放寬為比照一般高速公路，雖可維持安全煞車所需距離。

然而 Rogé et.al(2003)¹ 研究中指出，駕駛於較長且單調的環境下行車 30 分鐘後，駕駛對於前方以及視角周圍之反應正確性顯著下降，意即長距離單調駕駛使駕駛人警覺性降低且有效視域惡化，造成感知能力下降；Thiffault and Bergeron(2003)² 研究顯示單調且枯燥的駕駛為駕駛人產生疲勞的原因之一，且無論在何種環境下，當駕駛人行駛超過 40 分鐘行駛之方向盤角度振幅有明顯上升趨勢，意味著駕駛人已產生疲憊狀態；Charles et.al (2003)³ 研究中定義反應時間為駕駛人鬆開油門至踩踏煞車之時間差，一般狀態下為 0.75 秒，當駕駛人產生疲憊時，會延長至 3~5 秒。

當雪隧壅塞時，其自交流道至雪隧南口之行駛時間已超過 30 分鐘，由上述文獻綜整可知，進入雪隧時駕駛人多已進入疲勞狀態，為避免因隧道環境可能影響使駕駛人視域降低且疲勞加劇以至於反應時間增加，故研擬相關配套措施如下。

1. 配套措施一：透過各種通訊系統加強宣導並加重相關罰則，避免疲勞駕駛

依據 5.2 節分析結果，車流壅塞時放寬車間距規定(比照一般高速公路)，仍可提供煞停所需安全距離。然而，考量長隧道封閉性的環境條件，可能導致駕駛疲

¹ Rogé, J., Pebayle, T., Hannachi, S.E., Muzet, A., "Effect of sleep deprivation and driving duration on the useful visual field in younger and older subjects during simulator driving", *Vision Research*, Vol. 43, pp. 1465-1472, 2003.

² Thiffault, P. and Bergeron, J., "Monotony of road environment and driver fatigue a simulator Study", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 35, pp. 381-391, 2003.

³ Philip, P., Tailard, J., Klein, E., Sagaspe, P., Charles, A., Davies, W.L., Guilleminault, C., Bioulac, B., "Effect of fatigue on performance measured by a driving simulator in automobile drivers", *Journal of Psychosomatic Research*, Vol.55, pp. 197-200, 2003.

乏、注意力下降，直接影響煞車反應時間。

建議利用各通訊媒介，如網路、電視、路側牌面、動態顯示器以及隧道內廣播系統等，提高宣導強度並適當修訂法令提高相關罰則。



圖 5.5-5 相關宣導措施示圖示

2. 配套措施二：隧道內增加燈光彩繪，避免駕駛人精神疲乏

長隧道內一成不變景觀，使駕駛人易精神渙散，且長時間在封閉的空間內，駕駛人易產生焦慮及壓迫感，影響行車安全。未來可把公共藝術的概念移至隧道內，除了可減輕駕駛人在封閉空間內的焦慮感，並可維持行車注意力與反應時間。

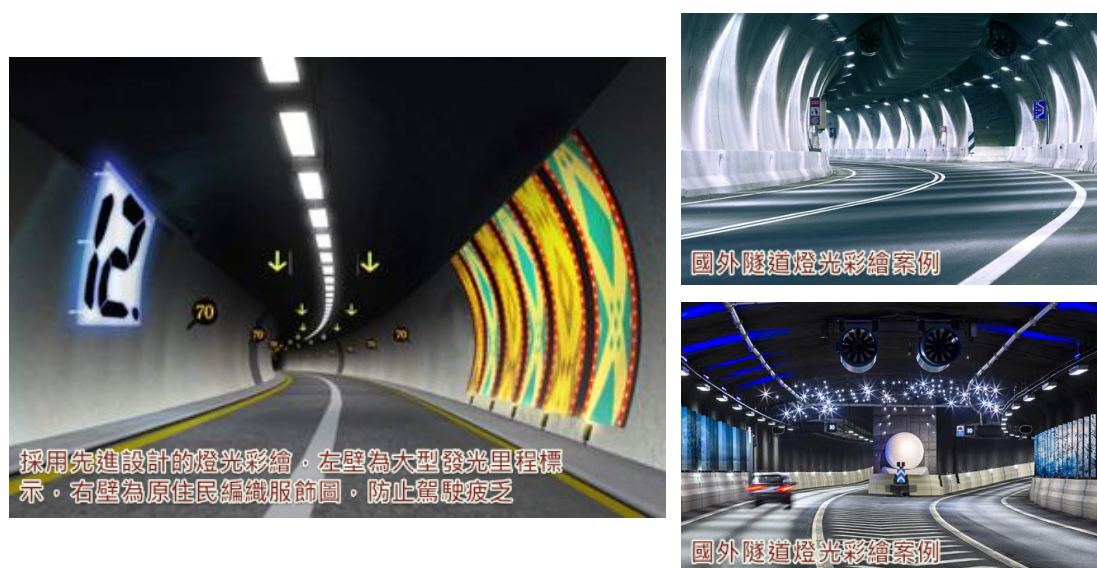


圖 5.5-6 隧道燈光彩繪案例圖示

3. 配套措施三：法令要求全數車輛標配紅外線偵測防疲勞系統

長隧道封閉性的環境條件，可能導致駕駛疲勞、注意力下降，影響煞車反應時間。利用紅外線偵測防疲勞系統，電腦可以自動判斷駕駛人是否正處於疲勞或精神不集中的狀況，並適時給予提醒，以降低行車事故的發生率。



圖 5.5-7 紅外線眼球偵測系統示圖示

(三) 事故風險

根據 5.4 節風險分析結果，國道事故風險分析結果可知，雖然無論是否規定隧道內保持 50m，皆有「未保持車前安全距離」及「未注意車前狀況」的問題。然而為避免隧道內放寬車間距規定可能增加追撞風險，研擬相關配套措施如下。

1. 配套措施一：加強駕駛人宣導，減少違規行為

透過網路、電視、廣播等媒介，將宣導影片、海報、傳單廣泛告知駕駛人，使行車規定成為經驗法則，駕駛人進入雪隧接能維持穩定且安全之車流間距，並減少駕駛人忽略規定之行為。宣導方式示意如圖 5.5-8 所示。



圖 5.5-8 駕駛人宣導示意圖

2. 配套措施二：必要執行行車安全管理

目前雪隧科技執法僅應用速度(龜速車、超速車)及變換車道之取締，未來放寬車間距規定，可增加「未保持行車安全距離」取締，使駕駛者心存畏懼，減少駕駛人惡意逼車等違規行為。



圖 5.5-9 行車安全管理示意圖

3. 配套措施三：法令要求全數車輛加裝主動煞車系統/跟車雷達

為避免駕駛人未能保持安全間距，可參考國外以修訂法令方式要求全數車輛加裝主動煞車系統，偵測前方車輛距離，當車輛靠近時系統會向駕駛人發出警示音，萬一駕駛人沒有減速會執行自動煞車；或以跟車雷達

設定與前車距離、巡弋的定速巡航速度，車輛會隨著前車自動加/減速車，進行跟車行為，如圖 5.5-10 所示。

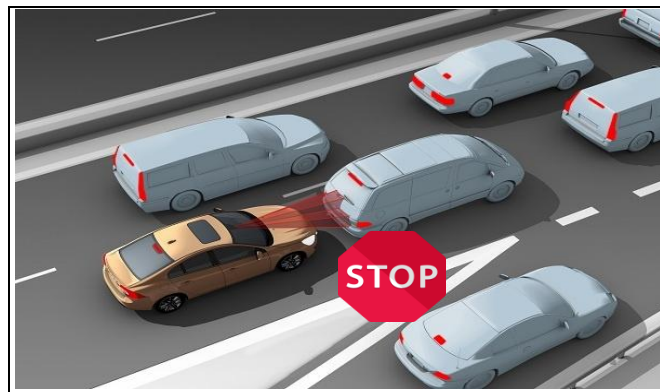
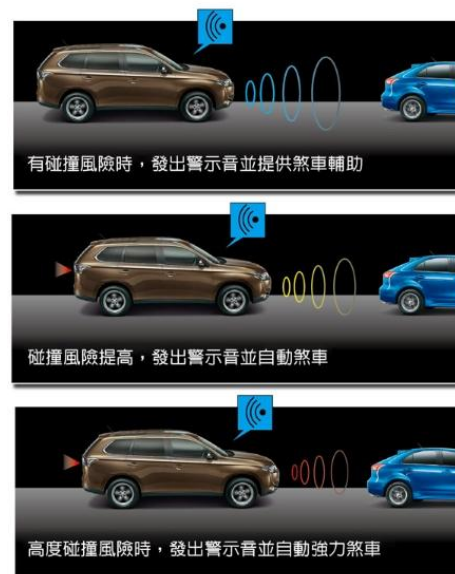


圖 5.5-10 煞車系統示意圖

Adaptive Cruise Control(ACC)
主動車距控制巡航系統



Forward Collision Mitigation(FCM)
主動式智慧煞車輔助系統



資料來源：
<http://www.mobile01.com/campaign/beauty11/a1.html>

圖 5.5-11 跟車雷達系統示意圖

5.6 專家學者問卷分析

本計畫目的主要為在雪山隧道中盡量不影響交通安全前提下，提高行車效率，除了第四章所述隧道內禁止變換車道規定可能為降低隧道容量的原因，行車間距規定亦可能影響單位時間通過流量，故針對雪山隧道內是否放寬車間距規定進行各面向分析(如 5.2~5.4 節)，並將分析結果提供專家學者參考，本計畫誠邀產、官、學各界共 30 位不同領域專家(各領域分布比例如圖 5.6-1)，其中包含交通相關專業與消防救災領域之長官及學者，透過問卷調查方式，綜整各專家意見與相關專業資訊的回饋。

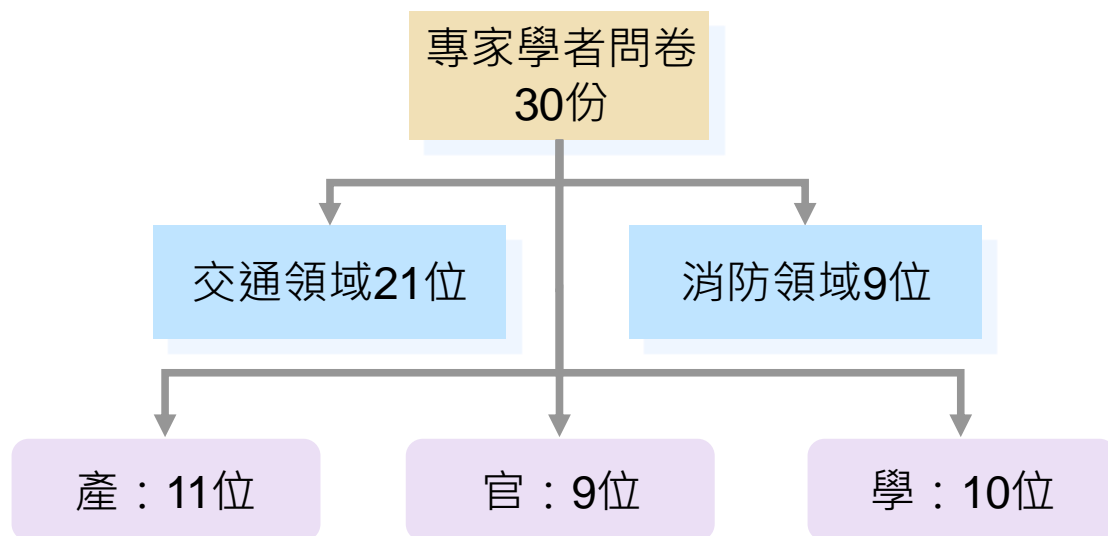


圖 5.6-1 專家學者領域分布比例

專家學者問卷型式主要為客觀呈現各方案在容量、安全、以及風險等各種推力與拉力因素下，折衷出一個較適宜之方案，以供後續實施單位作為決策的參考，問卷流程如圖 5.6-2 所示，並綜整各專家學者問卷調查分析結果詳說明如后。

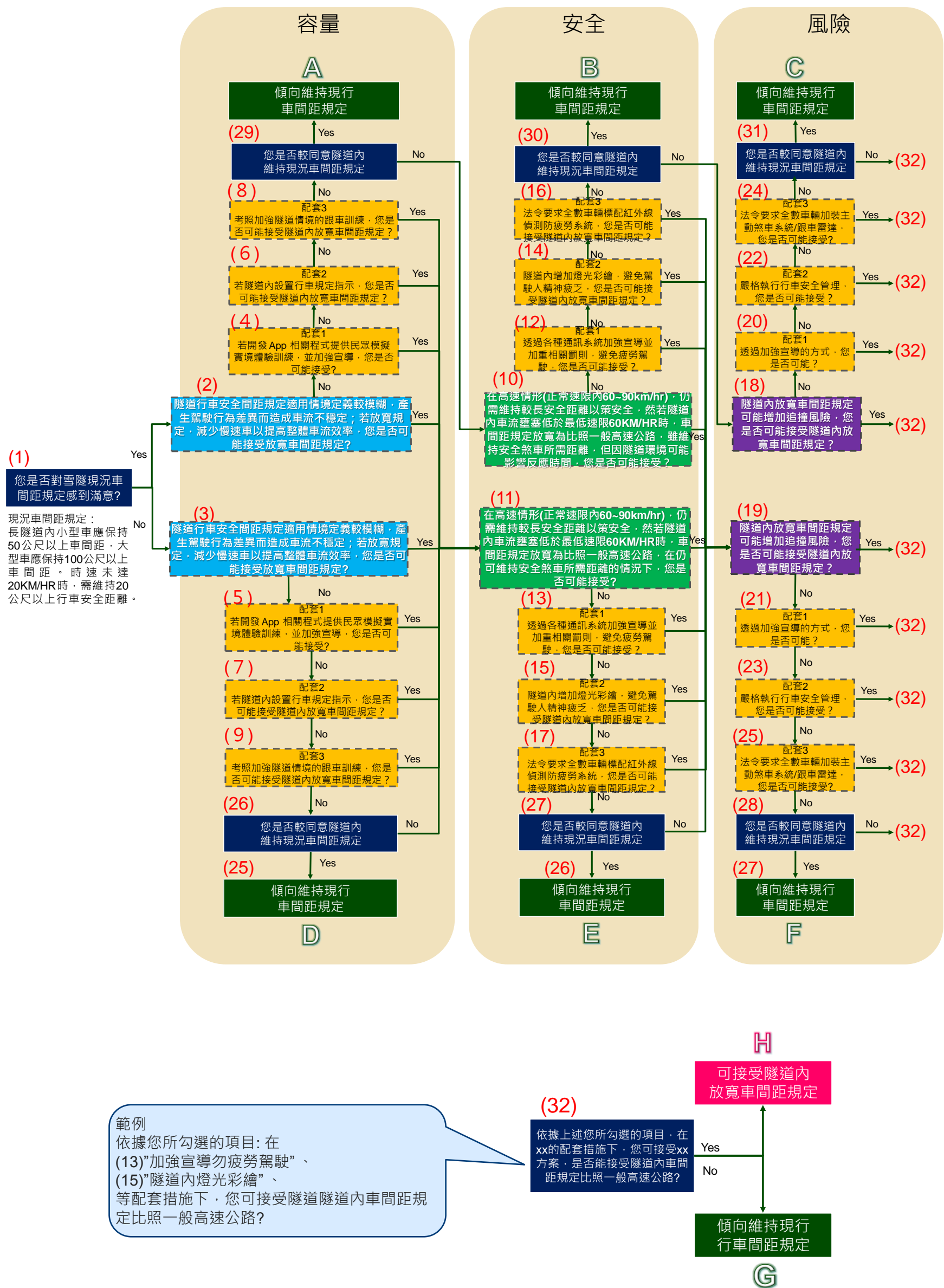


圖 5.6-2 行車間距規定調整方案專家學者問卷流程圖

一、初始方案傾向

依據問卷調查，在 30 位專家學者當中，對於現況雪山隧道的行車間距規定感到滿意者約占 53% (16 人)，而不滿意者約占 47% (14 人)，可知約半數專家認為雪山隧道內行車間距的規定有調整空間。

其中，交通領域專家滿意現況規定者占 52%、不滿意現況規定者約占 48%；消防領域專家滿意現況規定者占 56%、不滿意現況規定者約占 44%。

產業界滿意現況規定者占 64%、不滿意現況規定 36%；政府機關中滿意現況規定者占 33%、不滿意現況規定 67%；學界滿意現況規定者占 60%、不滿意現況規定 40%。

二、最終方案傾向

依據問卷調查，在 30 位專家學者當中，在容量、安全、風險分析結果以及相關配套研擬後，對於隧道內放寬車間距規定贊成應修正者提高，認為較不贊成放寬者下降至約占 37% (11 人)，而較贊成放寬者則提升為 63% (19 人)。

其中，交通領域較不贊成放寬者占 38%、較贊成放寬者約占 62%；消防領域專家較不贊成放寬者占 33%、較贊成放寬者占 67%。

產業界較不贊成放寬者占 27%、較贊成放寬者約占 73%；政府機關中較不贊成放寬者占 33%、較贊成放寬者約占 67%；學界較不贊成放寬者占 50%、較贊成放寬者約占 50%。

分析顯示，原滿意現況行車間距規定者(16 人)中，透過本計畫分析結果以及配套措施之研擬，最終可接受放寬車間距者有 7 人；而原不滿意現況行車間距規定者(14 人)，透過相關分析結果，最終較不能接受隧道放寬行車間距者有 2 人。方案傾向比例分布如圖 5.6-3 所示。

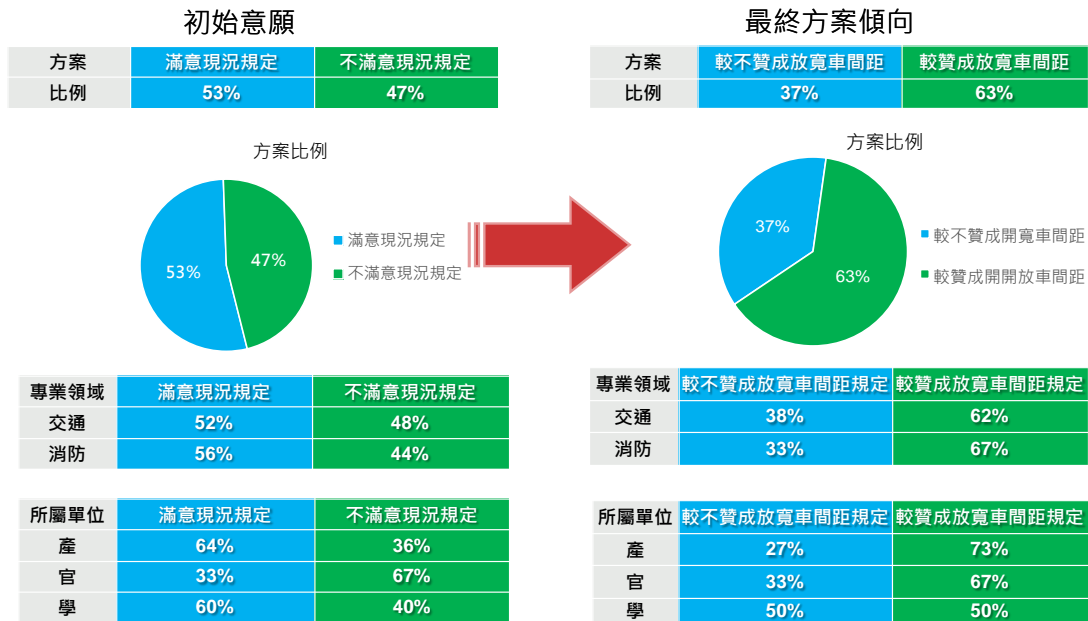


圖 5.6-3 「行車間距規定」調整方案問卷調查結果

三、傾向放寬行車間距規定者意願分析

依據問卷調查，在 30 位專家學者當中，有 19 名專家傾向可能接受隧道內放寬行車間距規定，其中，在駕駛人行為分析上有 3 人認為需配合駕駛行為相關配套才可接受，其中 2 人在開發相關模擬實境程式後認為可接受、1 人認為需搭配隧道內設置行車規定指示才同意；在風險風析上有 7 人認為需有風險面相配套措施，7 人皆同意在配合加強宣導配套措施下即可接受放寬行車間距規定。另外，有 12 人在未選擇任何配套措施下即傾向隧道內放寬行車間距規定。

	駕駛行為	安全	風險
配套 1 下即可接受	2	0	7
需配套 1、2 才可接受	1	0	0
需配套 1、2、3 才能接受	0	0	0
合計	3	0	7

圖 5.6-4 傾向放寬行車間距規定者意願分析

四、傾向維持現行車間距規定者因素分析

依據問卷調查，在 30 位專家學者當中，有 11 名專家傾向維持雪山隧道現行車間距的規定，其中，在容量提升下仍傾向維持現行車間距的規定者占 55%；因風險分析結果認為不能接受放寬車間距的規定者占 18%；另外在配套措施可接受但仍不贊成放寬車間距規定者占 27%。

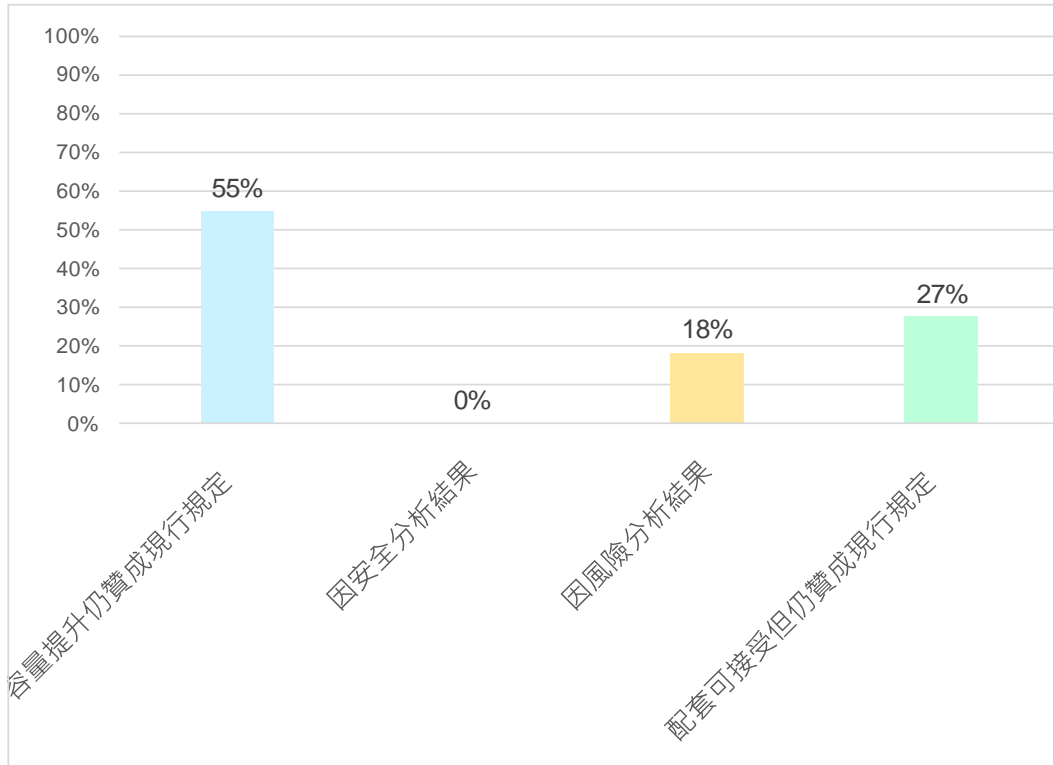


圖 5.6-5 傾向維持現行車間距規定者因素分析

5.7 小結

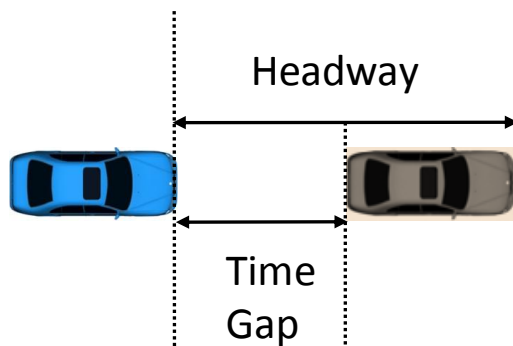
根據上述分析，在安全影響最小，容量提升最高之折衷下，本計畫初步建議雪山隧道在壅塞情境車速未能達最低速限(60km/hr)時，小汽車行車間距規定比照一般高速公路規定，為車輛速率之每小時公里數值除以二(單位為公尺)，車速 20kph 以下至停止狀態之最小車間距自 20 公尺改為 10 公尺，以確保其安全性及可行性。並考量可能產生之風險進行相關配套措施。

彙整專家學者問卷調查意見結果約有 63%之專家認為在搭配配套措施下可有條件接受隧道內放寬車間距規定，另外 37%專家則認為應維持現行車間距規定；對比開放變換車道項目，專家學者對於有條件同意放寬行車安全距離規定無論在統計數字及意願分析上皆顯示出開放趨勢較明確。消防專家則建議間距條件放寬仍應設立限制條件，並對雪隧既有救災系統及消防設備進行完整檢討。

建議方案與對應配套措施等實施原則將與其餘二項可行性分析結果綜整於本計畫第七章。

陸、改採時間間距調整可行性分析

以時間做為定義車流微觀參數之衡量方式可區分為車間時距(Headway)與時間間距(Gap)，而兩者之區別在於考量車身長之有無，如圖 6.0-1 所示，基於同一車道而言，車間時距之丈量方式乃透過設定一參考點、物或是線，衡量第一輛車前保險桿通過參考點時起算至第二輛車前保險桿通過參考點止，其中的時間差即為車間時距；換言之，時間間距即為第一輛車後緣與第二輛車前保險桿通過參考點之時間差，通常以秒數做為衡量，單位為秒/輛。



圖片來源：本計畫整理

圖 6.0-1 車間時距與時間間距示意圖

本章考量改採時間間距做為衡量前後車跟車之安全距離作法，而所謂時間間距之方法即將距離轉換為時間，用「秒」來計算安全跟車距離，而該轉換公式可透過導入速率與車間空距之轉換而得，該式如下：

$$\frac{3600}{t_h} = 10^3 \cdot \frac{V}{l_s}$$

t_h = 時間間距，秒/輛

V = 速率，公里/小時

l_s = 車間空距，公尺。

國內現行法規規定汽車行駛高速公路及快速公路，前後兩車間之行車安全距離，在正常天候狀況下以小型車為例，規定為車輛速率之每小時公里數值除以二，單位為公尺，也就是採用車間空距(Spacing)作為設定標準。

雪山隧道則因認定道路條件特殊，因此就行車安全及事故之防治較為嚴格，較一般路段規定加長行車安全距離，在正常情形下，小型車應保持 50 公尺以上之行車安全距離，大型車應保持 100 公尺以上之行車安全距離。如因隧道內道路壅塞、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，所有車輛仍應保持 20 公尺以上之安全距離，仍同樣僅以車間空距(Spacing)作為設定標準。

然而駕駛員的跟車行為不只是受到跟車距離的影響，車速亦是影響駕駛員安全跟車距離的另一項重要因素，此規定雖因安全考量但違反一般正常應有之跟車行為，故比起使用實體距離做為安全間距考量，以可行性來看，時間間距更可以精確有效地劃定與前車之安全距離。故此，與前車的安全距離若改採依不同運行速率區間來調整，比起硬性規定 50 公尺之安全車距來管制車流，不僅得以增加道路容量與效率，更可穩定車流，於單位時間提升更多車輛通過數。

6.1 改採時間間距調整可行性分析架構

針對本計畫改採時間間距調整可行性分析內容，擬定如圖 6.1-1 之系統分析架構圖，並詳述如后：

一、作法綜整

因國內現行法規規定前後兩車間之行車安全距離是以車間空距(Spacing)為標準，因此本可行性分析架構首先將綜整國外採時間間距之相關規定，並彙整研擬未來國內可做為駕駛人判定時間間距之可行方式，以為後續分析基礎。

二、效益與安全分析

(一)效益分析

藉由作法綜整中結論之可行作法，招募受測樣本進行駕駛模擬器實驗，模擬不同駕駛人在模擬路段內以時間間距作為標準之駕駛行為特性，並探討在相關情境假設條件下對於駕駛人安全及路段車流穩定狀態是否具有效益。

(二)安全分析

藉由駕駛模擬器輸出軌跡資料，探討各式作法對於駕駛人之駕駛行為是否造成改變，評估其對於駕駛人之安全因素影響，並針對各作法提供模擬測試者填寫心理問卷，評估不同作法對於駕駛人帶來的主觀心理感受。其分析流程如圖 6.1-2 所示。

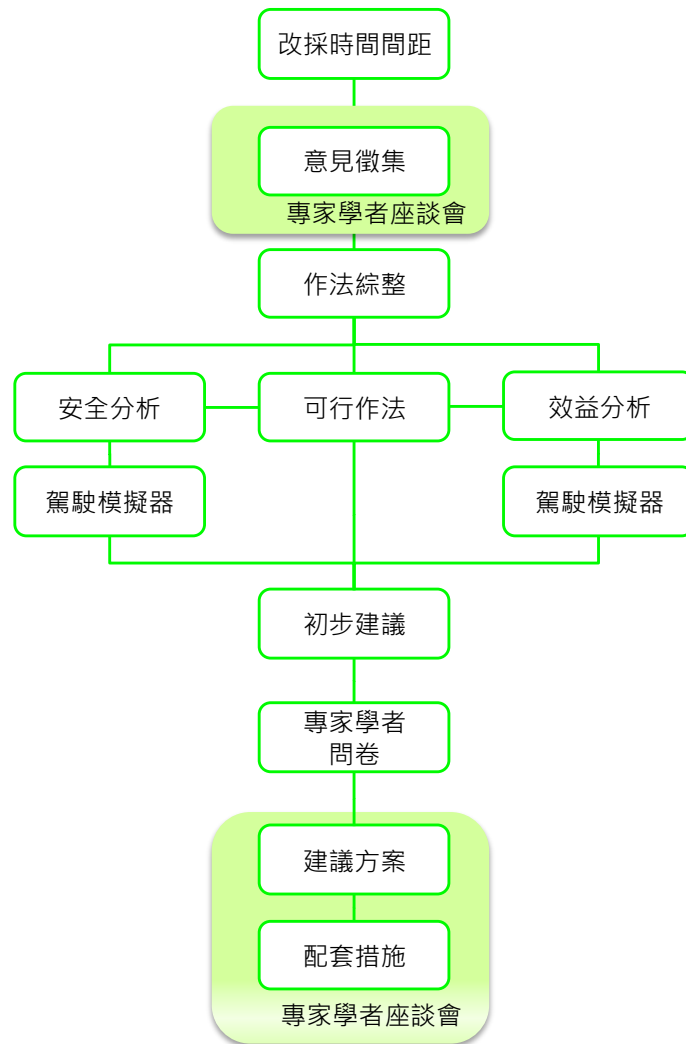


圖 6.1-1 改採時間間距可行性分析架構圖

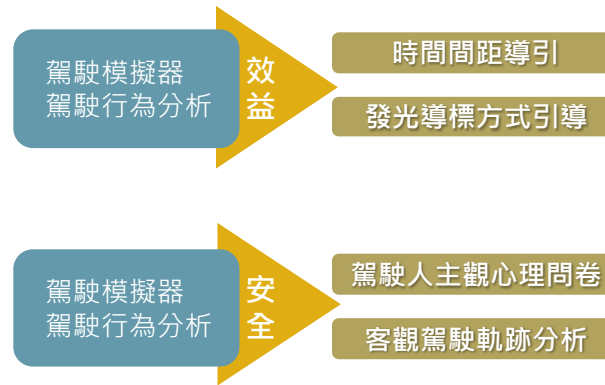


圖 6.1-2 改採時間間距安全與效益分析流程

三、學者專家座談會及問卷調查

針對安全與效益分析選擇之初步建議方案，本計畫辦理專家學者問卷調查與分析進行意見綜整(問卷調查有效樣本至少 30 份)，並藉由專家學者座談會方式進行建議方案及相關配套措施統合。專家學者擬邀請包括工程設計、交通管理以及交通安全等領域之學者專家參與調查及討論。

6.2 改採時間間距作法綜整

國外定義安全車距的作法有二種，第一種即以車間空距(Spacing)作為衡量依據，第二種則為本章欲進行探討之時間間距(Gap)作法，兩者並無必然擇一之現象。綜整如表 6.2-1 國外相關行車安全距離規定可發現，多數國家在安全間距的法規條文中，以“維持必要之安全距離”文字描述為主，執法部分則除日本僅以車間空距(Spacing)定義外，多數國家具備時間間距(Gap)之量化依據；然而與國內不同的是，歐美國家將 2 秒規則(two-second rule)或 3 秒規則(three-second rule)視為經驗法則，或是在駕駛訓練過程即列為必要需求或考照之考題項目，亦即一般駕駛者應具備時間間距之判斷能力。

表 6.2-1 國外相關行車安全距離與時間間距規定彙整

國家	法規/準則	執法依據	備註
奧地利	1. 應維持必要之安全煞停距離 2. 依據最小空間間距或時間間距執法	1. 時間間距< 0.4 秒 2. 空間間距< 50m(貨車)	1. 2 秒規則列為駕駛訓練需求 2. 安全距離辨識標線
芬蘭	1. 應維持必要之安全煞停距離 2. 依據最小空間間距或時間間距執法	1. 時間間距< 1 秒 2. 時間間距< 1.5 秒(貨車) 3. 空間間距依據速度調整	2 秒規則為經驗法則
法國	應維持必要之安全煞停距離	1. 時間間距< 2 秒 2. 空間間距< 50m(3.5 噸或 7m 貨車)	部份情況維持更高的安全距離是為義務
德國	1. 應維持必要之安全煞停距離 2. 貨車 >50km/hr 應維持 50m 安全距離	1/4 速度規則	駕駛應維持 1/2 速度規則或 2 秒規則(經驗法則，但也是法院判例)
義大利	應維持必要之安全煞停距離	無	-
荷蘭	時間間距< 1 秒	時間間距< 1 秒	2 秒規則為經驗法則
瑞典	時間間距< 1 秒	時間間距< 0.5 秒吊銷駕照	-
英國	無	無	2 秒規則僅列於高速公路規定
歐盟	1. 一般情形下駕駛小客車與前車至少保持車輛 2 秒鐘的行駛距離，大車此距離應增加一倍。 2. 當車流於隧道內停止時，駕駛應與前方車輛保持至少 5 公尺的距離，除了因緊急情形而無法保持此距離時。	無	-
美國	應維持必要之安全煞停距離	無	美國國家安全協會建議 3 秒規則，特殊天候加倍
日本	須保持安全距離以避免與前車碰撞	1. 速限 100 km/hr：100 m 2. 速限 80 km/hr：80 m	雨天及特殊車輛因素需維持 2 倍距離

資料來源：1.TG Road Safety CEDR 2.本計畫整理

但由於駕駛人通常較難直接以肉眼方式觀測與前車之時間差為幾秒，本節綜整國外及研擬未來可行方式來做為駕駛人判定時間間距之依據，以落實時間做為安全車距之考量。

一、基準點視距判定法

基準點視距判定法為國外推廣安全距離駕駛的基礎，2 秒規則(two-second rule)或 3 秒規則(three-second rule)皆以此判定法為基準；自駕駛訓練階段即將判定法列為訓練需求，並為考試項目，更利用各級交通管理機關進行長期宣導，使民眾於一般生活駕駛即具備時間間距判定能力。

該方式可供駕駛人在行駛過程中，依目前行駛之速率做簡單之判定來隨時修正與前車之車距，首先於車道行駛方向前尋找一靜止物做為基準點，該基準點可為隧道內之消防箱、噴流式風機、照明燈與標誌標線，並觀察前車車尾通過該基準點時開始進行讀秒，等待駕駛車輛前保險桿駛過該基準點的那刻起停止讀秒，而該秒數即為與前車之時間間距，以本計畫之可行性來說，在 80kph 速率運行下應至少保持 2 秒之距離，當車前保險桿通過基準點時不足 2 秒時，表示與前車距離過近，應放慢速度調整到 2 秒之距離，反之亦然，如圖 6.2-1 所示。

由於該方法讀秒之秒數可能因駕駛人之不同而異，國外多以語言中各別之字句發音長度作為訓練或宣導之依據；舉例來說，美國許多交通安全機構教導民眾讀秒念出“one thousand one, one thousand two, one thousand three”的秒數約莫相等於 3 秒時間，愛爾蘭道路安全機構 RSA 教導民眾念出“only a fool breaks the two-second rule”的秒數約莫 2 秒時間。

此判斷基準雖然存在讀秒秒差問題，但作為經驗法則(Rule of thumb)，宣導民眾認知時間間距，實應為國內欲採時間間距衡量之一必要條件。

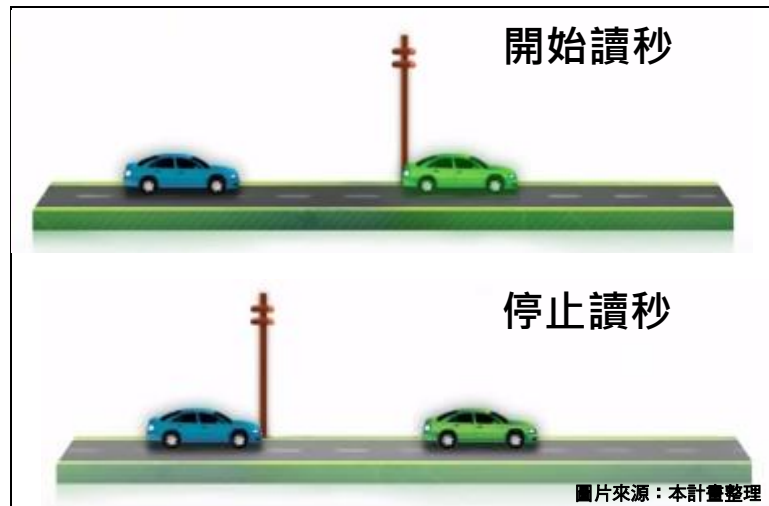


圖 6.2-1 基準點視距示意圖

二、廣播音響系統

考量基準點視距判定法存在因駕駛人而異之讀秒秒差問題，本計畫提出若於 RDS 電台或雪山隧道廣播系統插播整秒音響，再搭配基準點視距判定法，提供民眾一制性的讀秒基準(如圖 5.1-2 所示)。唯間歇性聲響是否會干擾駕駛意識，影響行車安全，實應進行進一步探討。



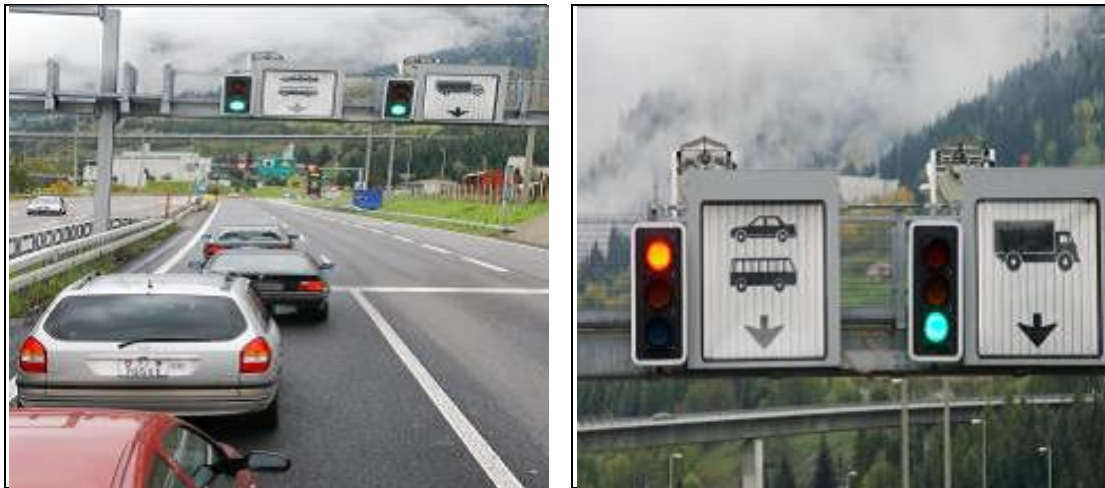
圖 6.2-2 廣播整秒音響作法示意圖

三、管制柵欄/交通號誌放行

於隧道入口處直接設置管制柵欄或交通控制設施控制車輛之通行，為時間間距之控制(Headway Control)策略，該控制策略依隧道內現況車流狀態來決定放實行機制，分車種、車道每隔幾秒進行車輛放行，如此一來便可強力管制後方車輛與前車在進入隧道時保持一定之安全時距，如圖 6.2-3、6.2-4 所示，然此法僅能針對進入隧道之初始時間間距進行控管，欲使民眾能全路段維持初始時間間距，仍需駕駛者以穩定之共同速率前進。



圖 6.2-3 白朗峰隧道入口柵欄管制(法國)



圖片來源：參訪法國至義大利白朗峰和瑞士聖哥達長隧道之交通管理報告。

圖 6.2-4 Gotthard tunnel 分車種管制號誌(瑞士)

四、電子標籤車輛辨識系統

考量基準點視距判定法在精確度上恐仍需車載設備做相關輔助。若能透過現有普及的國道收費電子標籤(eTag)車載技術，並利用增設門架偵測讀取各車輛內之電子標籤，透過辨識電子標籤可得知各車道之車種與速率，故無需再建置一套全新的偵測設備即可使用，如此一來透過快速的辨識速度及資料運算技術，將可充分掌握車輛在當下之行駛速率與前車所需保持的時間間距，並透過車載單元、路側設備將資訊傳送給用駕駛人，隨時修正與前車所需保持的車距，其流程之

邏輯如圖 6.2-5 所示。然現況電子標籤(eTag)的精確度，是否可達穩定偵測車間距之目的，且增設門架之空間與預算限制，皆存在高度不確定性。

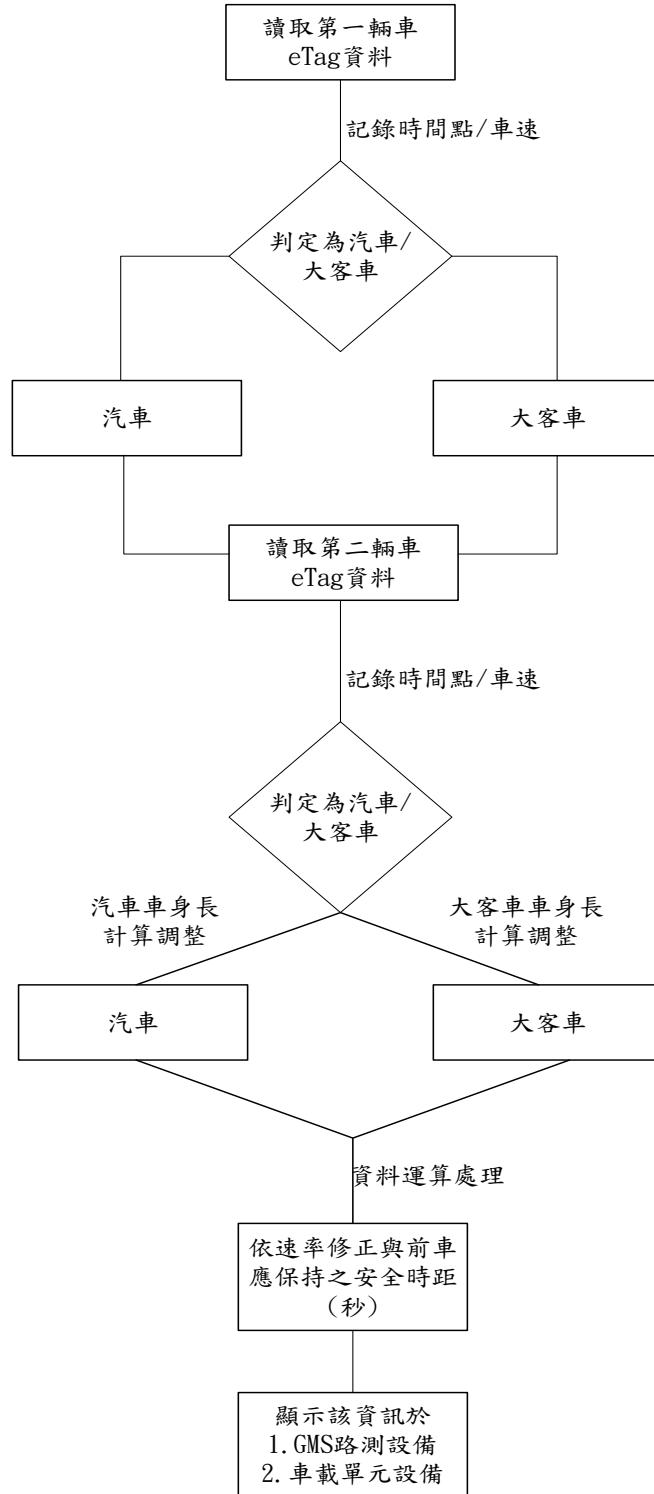


圖 6.2-5 eTag 車輛辨識與安全車距流程圖

五、電子路側設備導引

考量改採時間間距作法主要目的即希望能穩定車間距，不因空間間距硬性規定導致民眾認知不一，於慢速情形維持過大之空間間距導致一般路段或隧道路段容量降低；因此，本計畫研擬利用電子路側設備，於如雪山隧道等欲提升容量之路段設置車速導引燈，並依據車流狀態調整導引燈點亮間距，提醒民眾依據指示速率及間距駕駛，達到穩定車間距並提升容量之效益(如圖 6.2-6 所示)。唯與廣播系統相同，間歇性導引燈是否會干擾駕駛視線，影響行車安全，實應進行進一步探討。

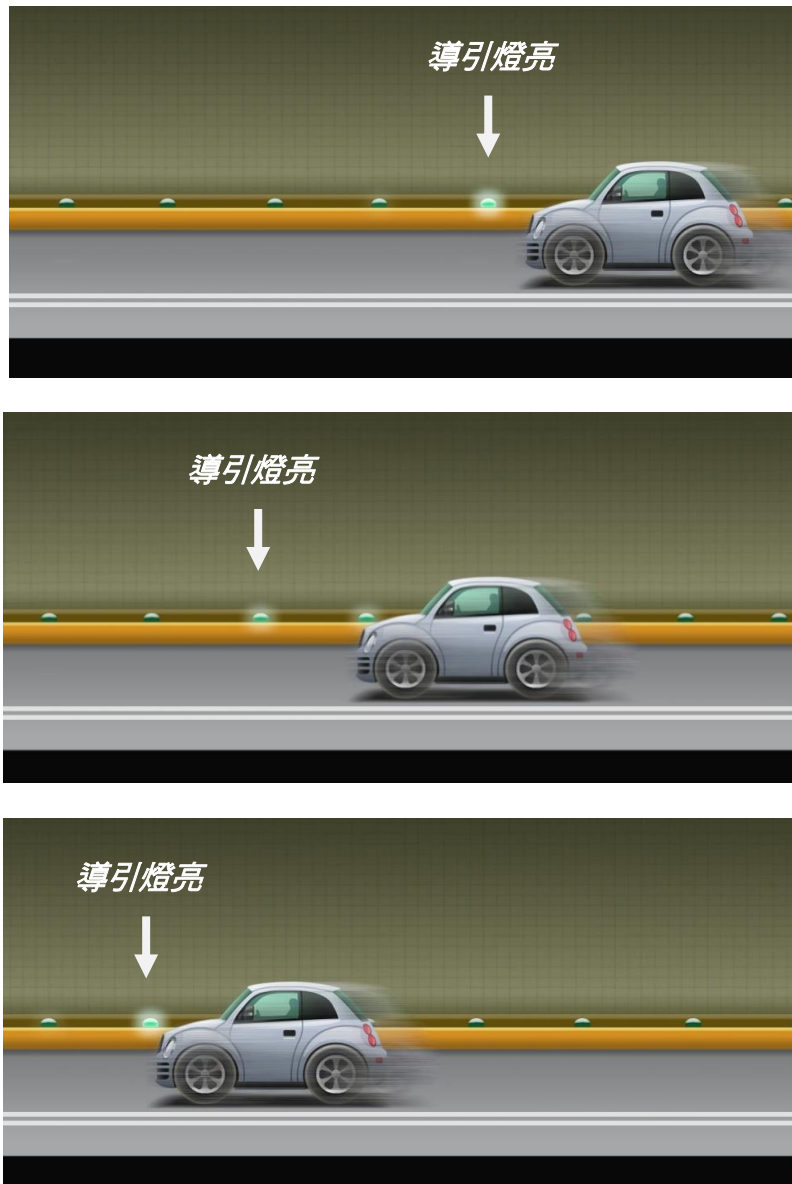


圖 6.2-6 電子路側駕駛導引燈設備示意圖

六、ACC(Adaptive Cruise Control)跟車雷達搭載

現代車輛搭載 ACC 主動車距控制巡航系統的比例已逐漸增高，車輛除可設定巡航速度外，可簡易透過 1~3 秒的秒數間隔，設定與前車之間距，並主動進行剎車與加速，以維持設定巡航速度(如圖 6.2-7)。NHTSA 美國高速公路交通安全局以及 IIHS 高速公路安全保險協會發表共同聲明表示，未來美國市場販售之車輛將會在 2022 全面搭載 AEB 自動緊急煞車輔助系統，其中功能便包含行進間與前方車輛的距離掌控機制。因此，國內長期未來可建議比照先進國家強制車輛安裝相關系統，除可提升行車安全外，亦可於特定需求路段(EX：雪山隧道)進行車行間距管理。



圖 6.2-7 ACC 主動車距控制巡航系統示意圖

七、小結

綜整本節彙整之改採時間間距作法，初步建議國內若欲採時間間距，則引用基準點視距判定法仍為初始基礎，必須於民眾駕駛訓練教育及宣導中逐一落實；民眾對時間間距有認知及瞭解，才能於目標路段中實施相關管理手段並達成穩定車流間距之最終目的。

因此，本計畫建議選擇基準點視距判定法作為後續可行性分析的基礎情境，並搭配確定性較高，可短期實施之廣播音響系統、電子路側設備導引系統等二項作法，以駕駛模擬器進行後續之安全與效益等可行性評估內容。

6.3 改採時間間距效益分析

6.3.1 駕駛模擬器應用

本計畫為瞭解若將國內採用的車間空距(Spacing)法令標準改採時間間距(Gap)，是否可達到提升路段車流穩定狀態，且仍維持駕駛安全，達成兼顧行車安全並提升車流效率之本計畫最終目的，建議以本計畫建立之駕駛模擬器進行安全及效益分析。以下將就改採時間間距駕駛模擬器應用之場景、事件模擬情境及腳本設計詳細說明如后：

一、場景說明

場景設計部份將沿用本計畫 4.3.1 節所述之場景建置結果，以雪山隧道為設計模型，考量完整隧道內各項設施及燈光所造成之駕駛視覺影響，於模擬器中重現雪山隧道。

二、事件模擬情境

駕駛模擬器事件模擬作法為招募受測樣本進行駕駛模擬器實驗，實驗情境假設首要條件必須滿足實驗目的，但仍需考量受測樣本實際可接受條件，如實驗時間長短、受測樣本生心理狀態等；因此必然需進行事件取捨，以有效益進行實驗招募，獲得實驗目的所需資訊。以下將就改採時間間距事件模擬情境假設進行說明。

(一)速率情境 - 80, 60, 40 km/hr

為完整瞭解駕駛者於車流順暢或壅塞區間對改採時間間距及相關導引設施之效益，本計畫將最高速率情境設定為自由車流車速 80 km/hr，臨界車流車速 60 km/hr，及壅塞情境為 40 km/hr。

(二)研究主題與行為情境

本實驗研究主題為測試駕駛車在改變車間空距標準至時間間距標準後，駕駛之行為模式變化；因此，如表 6.3-1 所示，駕駛車將設定於場景中直行並由受測者自主跟隨事件車(前方車輛及隔壁車道車輛)，主要事件車(前方車輛)將改變車速以測試受測者反應，另事件車(隔壁車道車輛)之車速及間距則以隨機方式進入場景。本實驗將量測駕駛車速率曲線、與前車之間距時間、距離及受測者於實驗階段完整之生理量測資訊以供後續專家學者判讀參考。

表 6.3-1 改採時間間距駕駛模擬器研究主題與行為情境說明

標的	行為	測試情境	量測資料
駕駛車	直行(左右車道皆可)	跟隨前車	與前車間距時間、距離 生理量測資料
事件車	1.同向車道前方車輛 - 直行	改變車速	-
	2.隔壁車道車輛 - 直行	改變車速、間距	-

資料來源：本計畫整理。

(三)實驗腳本設計

本實驗配合選定測試之基準點視距判定法、廣播音響系統及電子路側設備導引系統等三項作法，實驗腳本設計以下四組情境，並組合說明如表 6.3-2。

模擬情境：4 種引導方式

1.不給予指示 - 自主跟車 (1 min)

本模擬情境主要作為基礎對照組，維持現況車間距標準且不進行特殊指示，受測者初始於最高設計速度(80 km/hr)下自行跟車(1min)，於結束前 10 秒同車道前方車速緊急煞車(下降 20 km/hr)，以測試駕駛安全反應，並全程進行資料量測。重複進行上列測試於 60 km/hr、40 km/hr 區間。

2. 基準點視距判定探討 - 配合 50m 消防栓 (1 min)

本模擬情境即測試基準點視距判定法，於測試前指導受測者基準點視距判定方式後，告知測試者配合 50m 間距消防栓維持 2 秒間距，同樣以初始最高設計速度(80 km/hr)下自行跟車(1min)，於結束前 10 秒同車道前方車速緊急煞車(下降 20 km/hr)，以測試駕駛安全反應，並全程進行資料量測。重複進行上列測試於 60 km/hr、40 km/hr 區間。

3. 廣播音響系統引導 - 配合 50m 消防栓 (1 min)

本模擬情境即測試基準點視距判定法搭配廣播音響系統引導效果，同樣告知測試者配合 50m 間距消防栓維持 2 秒間距，自初始最高設計速度(80 km/hr)下自行跟車(1min)，於結束前 10 秒同車道前方車速緊急煞車(下降 20 km/hr)，以測試駕駛安全反應，並全程進行資料量測以瞭解駕駛意識是否會遭受廣播音響系統干擾。重複進行上列測試於 60 km/hr、40 km/hr 區間。

4. 電子路側設備引導 - 配合發光導標 (1 min)

本模擬情境即利用設置於路側之發光導標電子設備，依據不同車流狀態進行車速提升引導。事件車啟始車速 80 km/hr，待駕駛車進入跟車間距後加速 10 km/hr，發光導標跟進前加快 10 km/hr 以引導駕駛車提速以避免過長間距產生，全程紀錄跟車間距變化，並同樣於結束前 10 秒同車道前方車速緊急煞車(下降 20 km/hr)，以測試駕駛安全反應，以瞭解駕駛意識是否會遭受不等速於煞車前車之發光導標速度影響。重複進行上列測試於 60 km/hr、40 km/hr 區間。

表 6.3-2 改採時間間距駕駛模擬器實驗腳本設計說明

事件車				
起始狀況				改變內容及方式
同車道		隔壁車道		
車速(kph)	間距(m)	車速(kph)	時間間距(s)	
80	前方一輛車	80	2~5 random	A,B,C 引導方式不改變 D 引導方式事件車啟始車速
60	前方一輛車	60	2~5 random	80kph，待駕駛車進入跟車間距後加速 10kph，發光導標跟進前加快 10kph
40	前方一輛車	30	2~5 random	A,B,C,D 引導方式結束前 10 秒，同車道前方車速緊急煞車(下降 20kph)

資料來源：本計畫整理。

(四)實驗對象

本實驗招募 36 名具備小客車駕駛執照之受測者進行變換車道實驗，年齡介於 23 歲~64 歲間，實驗者資料詳細資料可參考 4.3.1 節表 4.3-6 所示。

6.3.2 效益分析

本節討論改採時間間距方式之效益分析，主要以上述駕駛模擬器實驗情境所得之各別導引方式駕駛人軌跡結果與未指示跟車情境進行比較分析，討論改變行車規定方式是否可達到預期目的。

一、基準點視距判定方式-自行讀秒

基準點視距判定方式主要以行車中可明顯辨識之參考物做基準，當前車通過此參考物後，自行讀秒，當 2 秒數畢，本車應同時通過此參考物，以此方式維持穩定 2 秒時間間距，希望藉由改以時間間距方式穩定車流跟車行為，穩定其車間距使車流達到均質的效益。

其分析結果如圖 6.3-1 與表 6.3-3 所示，跟車時間間距屬於對數常態分配，以自主跟車方式下，駕駛人跟車時間間距平均值普遍低於 1.5 秒，唯在低速情況下其

跟車間距維持於 1.5 秒以上。

當以選定參考物自行讀秒後，其跟車間距平均值明顯提高，低速情境跟車間距平均值為 1.9 秒，於 60 kph 以上跟車間距提高至 1.7 秒，適度將駕駛者跟車間距拉開，維持安全跟車距離，且標準差亦較自主跟車情境下降，於高速情境下其跟車間距標準差較自主跟車情境明顯下降，由 1.82 秒下降至 1.60 秒，確實達到將跟車間距集中之目的。

二、廣播音響系統引導-聲音導引

廣播音響系統導引方式與基準點視距判定方式相同，但以廣播音響播放兩秒間隔音效提供駕駛人兩秒時間間距以利判斷。由圖 6.3-1 與表 6.3-3 所示呈現之分析結果與自行讀秒相似，時間間距平均值與標準差相近，以聲音輔助判斷效果並不明顯。

三、電子路側設備引導-發光導標

發光導標目的在於配合當前平均車流速度給予導標適當間隔與行進速度，引導駕駛人追隨明確目標，藉此達到穩定車速及車間距目的，故此項目以車速作為效益評估重點，討論使用導標後是否達到車速集中目的(駕駛模擬器場景建置如附錄四圖 10 所示)分析結果如圖 6.3-2 及表 6.3-4 所示。

其分析結果可看出各速率情境下車速平均值並無明顯變化，然而發光導標引導後效果呈現在標準差上，當採用發光導標後，各速率情境標準差明顯下降，尤其當 80 KPH 自由車流情境下標準差由 9.04 KPH 下降至 4.99 KPH，其車速穩定效果顯著。藉由發光導標可達穩定車速效果，藉由導標引導降低車速變異性，將車流均質化，提高雪山隧道容量。

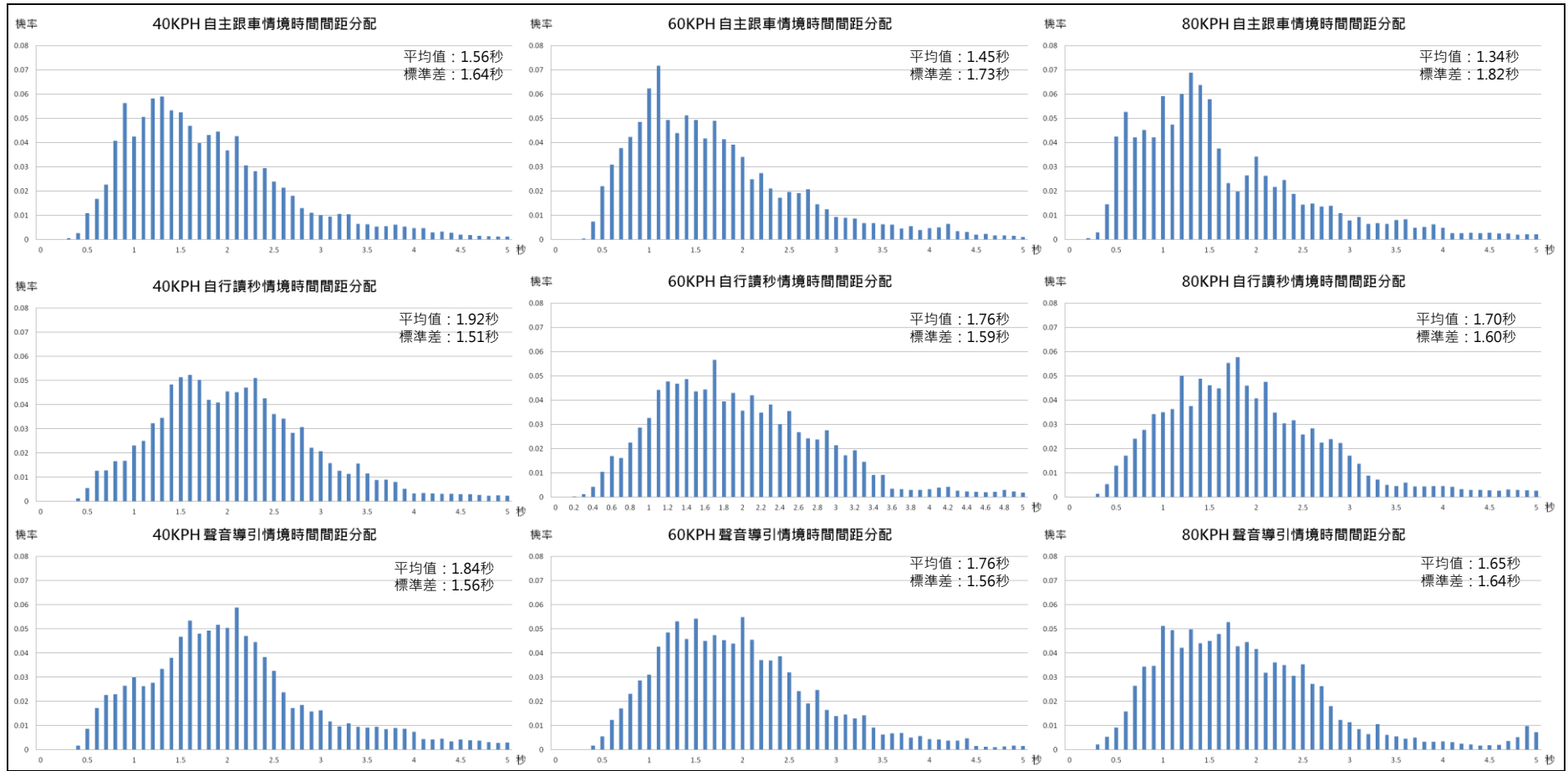


圖 6.3-1 改採時間間距規定跟車間距分配圖

表 6.3-3 改採時間間距車間距分析

時間間距分配						
情境速率 (KPH)	40		60		80	
情境	平均值 (秒)	標準差 (秒)	平均值 (秒)	標準差 (秒)	平均值 (秒)	標準差 (秒)
自主跟車	1.56	1.64	1.45	1.73	1.34	1.82
自行讀秒	1.92	1.51	1.76	1.59	1.70	1.60
聲音引導	1.84	1.56	1.76	1.56	1.65	1.64

資料來源：本計畫整理。

四、小結

改採時間間距以三種不同導引方式進行駕駛模擬器實驗，評估其實施效益，其評估結果發現以自行讀秒與聲音引導方式確實可將車間距變異性縮小，將車間距集中，可穩定雪隧內車流狀態，然而以駕駛人自行跟車行為跟車之時間間距皆小於 1.5 秒，然而採時間間距規定後其平均值提高至 1.7 秒，對於容量影響仍需多方考慮路段與駕駛人變異性等因素，應於後續研究詳加評估。

而將時間間距轉換為發光導標方式給予駕駛人明確追隨目標，配合車流均速引導，可達到將車速集中的目的，減少慢速車的產生，進而提高雪隧容量。

表 6.3-4 發光導標車速分析

車速分配						
情境速率(KPH)	40		60		80	
情境	平均值(KPH)	標準差(KPH)	平均值(KPH)	標準差(KPH)	平均值(KPH)	標準差(KPH)
自主跟車	43.5	5.76	58.6	7.11	73.7	9.04
發光導標	43.6	4.58	58.9	5.23	72.7	4.99

資料來源：本計畫整理。

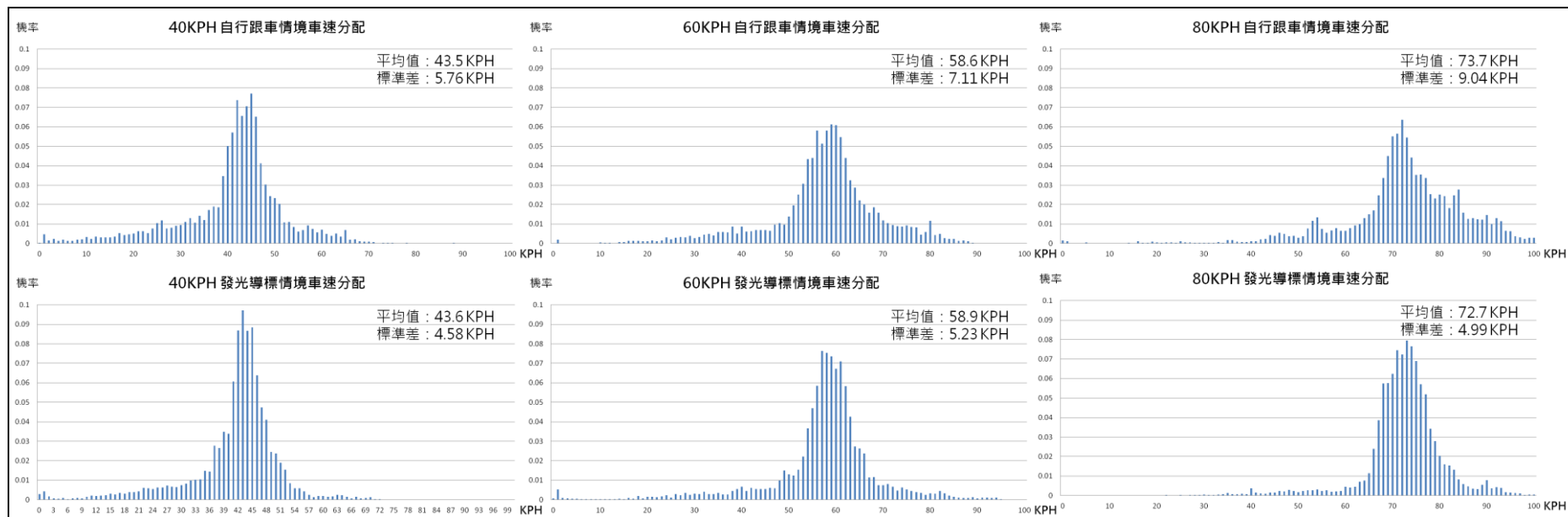


圖 6.3-2 發光導標導引車速分配圖

6.4 改採時間間距安全分析

6.4.1 駕駛模擬軌跡安全分析

改採時間間距規定，採用三種不同導引方式，以駕駛模擬器評估駕駛者於隧道內採此三種導引方式下，對於駕駛人駕駛行為影響差異，分析方式係以各情境之跟車過程完整軌跡資料計算安全指標，與自主跟車情境下之安全指標進行不同導引方式，駕駛人跟車行為比較，評估開放變換車道對於駕駛人是否存在顯著影響，選定之安全指標如下，其詳細計算方式與說明可參考 4.3.2 節：

一、車道內側向偏移指標

記錄駕駛人於實驗路段內進行跟車過程中側向偏移狀況。

二、煞車程度指標

記錄駕駛人跟車過程中踩踏煞車之強度，表示跟車過程中駕駛人對前車反應程度。

三、碰撞機率指標

碰撞機率指標記錄跟車過程中，行駛單位距離內駕駛人可能與鄰車碰撞之發生機率。

安全指標計算結果如表 6.4-2~4，採成對 T 檢定將不同方案與自主跟車情境進行比較，分析不同引導方式對駕駛人安全指標上是否有顯著性差異，意即導引方式的改變對駕駛人的駕駛行為是否造成干擾或是其他影響。成對 T 檢定顯著性指標 p-value 小於 0.05 即表示於此項指標下對於駕駛人有顯著性影響，其檢定結果如表 6.4-1。

經安全指標評估後，三項指標分析除 60 kph 情境下自行讀秒的車道內側向偏移指標與煞車程度指標具有顯著差異，與 60 kph 情境聲音引導的車道內側向偏移指標具有顯著差異外，其於安全指標皆無顯著差異存在。

進一步觀察其具有顯著差異項目之平均值變化，當採時間間距以自行讀秒方式跟車時，其側向偏移指標與煞車程度指標平均值有下降趨勢，分別由 0.014 下降至 0.011 與 0.494 下降至 0.400，表示當採取自行讀秒引導方式可增加其駕駛行為穩定性，減少急遽煞車反應發生，以聲音導引方式亦有同樣效果。

表 6.4-1 改採時間間距情境安全指標檢定值

情境比較		速率 (KPH)	p-value		
			車道內 側向偏移指標	煞車程度 指標	碰撞機率 指標
自主跟車	自行讀秒	40	0.4688	0.4350	0.1633
		60	0.0413	0.0433	1.7011
		80	0.1269	0.3764	-
	聲音導引	40	0.1810	0.2022	0.1632
		60	0.0429	0.0540	0.1633
		80	0.1268	0.1285	0.1634
	彎道段 變換車道	40	0.1438	0.3217	0.1633
		60	0.1705	0.2916	0.1633
		80	0.4430	0.4607	-

資料來源：本計畫分析整理。

註：粗體字表示 p-value 小於 0.05。

改採時間間距以三種不同方式導引，以三項安全指標評估其導引方式對駕駛人行為影響，大部分指標均與自主跟車無顯著差異，然而採自行讀秒方式導引於 60 kph 臨界車速狀態下可增加駕駛人行車穩定性，具有正面作用。

表 6.4-2 40KPH 改採時間間距情境安全指標

駕駛人 編號	40kph 自主跟車			40kph 自行讀秒			40kph 聲音導引			40kph 發光導標		
	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)
7111330	0.010	0.523	0	0.006	1.288	0	0.012	0.545	0	0.012	0.567	0
7111530	0.010	0.397	0	0.009	0.374	0	0.011	0.393	0	0.007	0.220	0
7120830	0.014	0.292	0	0.010	0.267	0	0.011	0.325	0	0.010	0.190	0
7121330	0.012	0.464	0	0.010	0.432	0	0.008	0.482	0	0.007	0.277	0
7121530	0.008	0.278	0	0.007	0.279	0	0.009	0.389	0	0.010	0.310	0
7131330	0.016	0.504	0	0.015	0.593	0	0.008	0.477	0	0.014	0.609	0
7131530	0.011	0.428	0	0.010	0.547	0	0.012	0.426	0	0.010	0.000	0
7140830	0.009	0.512	0	0.008	0.285	0	0.010	0.238	0	0.010	0.245	0
7141030	0.010	1.259	0	0.011	0.544	0	0.003	0.632	0	0.006	1.066	0
7141330	0.010	0.228	0	0.010	0.421	0	0.011	0.235	0	0.009	0.254	0
7141530	0.014	0.577	0	0.004	0.514	0	0.008	1.090	0	0.012	1.571	0
7151030	0.015	0.425	0	0.009	0.312	0	0.008	0.151	0	0.006	0.394	0
7151330	0.009	0.284	0	0.010	0.353	0	0.008	0.152	0	0.008	0.245	0
7151530	0.009	0.216	0	0.008	0.272	0	0.011	0.143	0	0.014	0.000	0
7180830	0.007	0.165	0	0.011	0.422	0	0.014	0.234	0	0.002	0.439	0
7181030	0.009	0.640	0.003031	0.011	0.609	0	0.012	0.290	0.002895	0.007	0.202	0
7191030	0.010	0.384	0	0.014	0.887	0	0.010	0.518	0	0.005	0.478	0
7191330	0.004	0.204	0	0.015	0.356	0	0.011	0.000	0	0.013	0.112	0
7191530	0.013	0.121	0	0.014	0.241	0	0.011	0.146	0	0.013	0.211	0
7200830	0.008	0.250	0	0.009	0.334	0	0.003	0.312	0	0.016	0.423	0
7201030	0.026	1.894	0	0.012	0.261	0	0.016	0.712	0	0.010	0.235	0
7201330	0.010	0.933	0	0.012	1.002	0	0.005	0.696	0	0.009	1.028	0
7201530	0.008	0.174	0	0.006	0.169	0	0.007	0.177	0	0.006	0.327	0
7211030	0.011	0.340	0	0.016	0.319	0	0.011	0.516	0	0.011	0.420	0
7271330	0.013	0.149	0	0.007	0.363	0	0.012	0.318	0	0.005	0.210	0
7291030	0.002	0.521	0	0.019	1.352	0	0.004	1.020	0	0.007	1.010	0
7291530	0.004	0.569	0	0.007	0.318	0	0.012	0.688	0	0.011	0.650	0
平均值	0.010	0.472	0.000112	0.010	0.486	0	0.010	0.419	0.000107	0.009	0.433	0
標準差	0.005	0.378	0.000583	0.003	0.305	0	0.003	0.264	0.000557	0.003	0.362	0

資料來源：本計畫分析整理。

表 6.4-3 60KPH 改採時間間距情境安全指標

駕駛人 編號	60kph 自主跟車			60kph 自行讀秒			60kph 聲音導引			60kph 發光導標		
	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)
7111330	0.012	0.612	0	0.016	0.869	0.002229	0.016	0.995	0	0.010	0.476	0
7111530	0.016	0.506	0	0.014	0.000	0	0.013	0.088	0	0.014	0.122	0
7120830	0.013	0.558	0	0.011	0.149	0	0.007	0.252	0	0.013	0.390	0
7121330	0.013	0.565	0	0.017	0.941	0	0.007	0.445	0	0.004	0.352	0
7121530	0.012	0.778	0	0.010	0.170	0	0.009	0.326	0	0.004	0.375	0
7131330	0.011	0.371	0	0.007	0.551	0	0.009	0.250	0	0.005	0.520	0
7131530	0.011	0.420	0	0.010	0.218	0	0.012	0.371	0	0.008	0.000	0
7140830	0.007	0.387	0	0.010	0.247	0	0.009	0.447	0	0.011	0.237	0
7141030	0.020	1.628	0	0.010	0.525	0	0.009	1.023	0	0.002	0.937	0
7141330	0.013	0.378	0	0.015	0.266	0	0.012	0.583	0	0.013	0.435	0
7141530	0.014	0.364	0	0.012	0.471	0	0.005	0.249	0	0.014	0.955	0
7151030	0.012	0.448	0	0.005	0.268	0	0.014	0.268	0	0.014	0.353	0
7151330	0.010	0.259	0	0.012	0.102	0	0.008	0.169	0	0.012	0.260	0
7151530	0.016	0.657	0	0.019	0.384	0	0.014	0.000	0	0.017	0.000	0
7180830	0.008	0.328	0	0.010	0.508	0	0.010	0.246	0	0.018	0.275	0
7181030	0.003	0.338	0.002147	0.012	0.660	0	0.011	0.288	0	0.013	0.129	0
7191030	0.016	0.485	0	0.017	0.959	0	0.013	0.893	0	0.013	0.362	0
7191330	0.015	0.478	0	0.015	0.516	0	0.014	0.324	0	0.011	0.229	0
7191530	0.016	0.265	0	0.008	0.321	0	0.016	0.204	0	0.003	0.510	0
7200830	0.005	0.361	0	0.010	0.245	0	0.008	0.224	0	0.010	0.277	0
7201030	0.032	0.000	0	0.007	0.000	0	0.022	0.537	0	0.039	0.588	0
7201330	0.036	1.100	0	0.003	1.574	0	0.010	0.621	0	0.015	0.941	0
7201530	0.002	0.167	0	0.007	0.252	0	0.013	0.267	0	0.011	0.098	0
7211030	0.009	0.484	0	0.011	0.358	0	0.010	0.276	0	0.006	0.700	0
7271330	0.016	0.499	0	0.013	0.321	0	0.012	0.316	0	0.015	0.198	0
7291030	0.020	0.523	0	0.002	0.940	0	0.004	0.880	0	0.026	2.214	0
7291530	0.008	0.393	0	0.007	0.000	0	0.011	0.247	0	0.006	0.091	0
平均值	0.014	0.494	0.00008	0.011	0.438	0.000083	0.011	0.400	0	0.012	0.445	0
標準差	0.007	0.303	0.000413	0.004	0.363	0.000429	0.004	0.270	0	0.008	0.443	0

資料來源：本計畫分析整理。

表 6.4-4 80KPH 改採時間間距情境安全指標

駕駛人 編號	80kph 自主跟車			80kph 自行讀秒			80kph 聲音導引			80kph 發光導標		
	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)	側向 偏移 (m)	煞車 程度	碰撞 機率 (次/m)
7111330	0.014	0.263	0	0.016	0.293	0	0.017	1.075	0	0.009	0.000	0
7111530	0.016	0.346	0	0.017	0.000	0	0.015	0.000	0	0.017	0.000	0
7120830	0.015	0.209	0	0.024	0.020	0	0.019	0.120	0	0.012	0.000	0
7121330	0.014	0.000	0	0.013	0.670	0	0.008	0.570	0	0.017	0.520	0
7121530	0.013	0.000	0	0.010	0.000	0	0.007	0.000	0	0.005	0.140	0
7131330	0.017	0.000	0	0.012	0.221	0	0.003	0.688	0	0.012	0.664	0
7131530	0.013	0.000	0	0.017	0.557	0	0.017	0.631	0	0.014	0.000	0
7140830	0.017	0.573	0	0.016	0.290	0	0.015	0.178	0	0.012	0.219	0
7141030	0.023	0.480	0	0.016	0.305	0	0.002	0.587	0	0.036	0.461	0
7141330	0.018	0.499	0	0.009	0.469	0	0.016	0.021	0	0.012	0.322	0
7141530	0.012	0.377	0	0.006	0.532	0	0.013	0.262	0	0.016	1.625	0
7151030	0.005	0.372	0	0.008	0.380	0	0.009	0.192	0	0.008	0.269	0
7151330	0.005	0.160	0	0.011	0.232	0	0.012	0.216	0	0.017	0.000	0
7151530	0.019	0.111	0	0.003	0.132	0	0.013	0.743	0	0.019	0.000	0
7180830	0.019	0.000	0	0.017	0.000	0	0.018	0.000	0	0.015	0.000	0
7181030	0.004	0.401	0	0.010	0.000	0	0.006	0.000	0.001635	0.014	0.000	0
7191030	0.016	0.957	0	0.019	0.303	0	0.015	0.794	0	0.020	0.615	0
7191330	0.019	0.000	0	0.015	0.000	0	0.008	0.074	0	0.007	0.000	0
7191530	0.019	0.498	0	0.018	0.189	0	0.018	0.271	0	0.019	0.234	0
7200830	0.011	0.464	0	0.012	0.409	0	0.016	0.325	0	0.015	0.519	0
7201030	0.045	0.000	0	0.024	0.000	0	0.031	0.000	0	0.038	0.000	0
7201330	0.002	0.095	0	0.010	1.115	0	0.007	0.974	0	0.004	0.000	0
7201530	0.012	0.333	0	0.007	0.280	0	0.010	0.291	0	0.014	0.476	0
7211030	0.013	0.516	0	0.017	0.000	0	0.012	0.000	0	0.017	0.000	0
7271330	0.015	0.465	0	0.015	1.115	0	0.026	2.156	0	0.002	0.865	0
7291030	0.016	0.000	0	0.007	0.223	0	0.013	0.000	0	0.014	0.000	0
7291530	0.015	0.274	0	0.013	0.297	0	0.013	0.391	0.000063	0.015	0.267	0
平均值	0.008	0.249	0	0.005	0.310	0	0.007	0.488	0.000321	0.008	0.381	0
標準差	0.014	0.263	0	0.016	0.293	0	0.017	1.075	0	0.009	0.000	0

資料來源：本計畫分析整理。

6.4.2 駕駛模擬心理問卷分析

為了解受測者對於改採時間間距之心智負荷程度差異，本計畫要求受測者須於駕駛模擬情景結束後填寫心理評量問卷，該問卷分為兩類，一類為「時間指示」，含「自行數數」及「聲音導標」，另一為視覺指示「發光導標」。該問卷同樣以李克特量表七尺度衡量駕駛者不同情境下感受，由於發光導標另考量是否助於穩定車流之效果，故問向略有不同，相關結果說明如下：

一、時間指示

(一)緊張程度

由表 6.4-5 可知車間距調整之不同情境下，駕駛者對於聲音導標(4.3~4.6)緊張感受皆高於自行數數(3.4~3.9)。

表 6.4-5 車間距調整之駕駛者緊張感受

跟車行為	速率情境 KM/HR	樣本數	最大值	最小值	平均值	中位數	標準差
自行數數	80	36	7.0	1.0	3.8(+0.9)	4.0	1.5
	60	36	6.0	1.0	3.4(+0.9)	3.0	1.3
	40	36	7.0	1.0	3.9(+0.1)	3.5	1.9
聲音導標	80	36	7.0	1.0	4.6	5.0	1.7
	60	36	7.0	1.0	4.3	4.5	1.6
	40	36	7.0	1.0	4.0	4.0	1.7

資料來源:本計畫彙整

(二)困難程度

由表 6.4-6 可知車間距調整之不同情境下，駕駛者對於聲音導標(4.3~4.6)困難感受皆高於自行數數(3.6~4.0)。

表 6.4-6 車間距調整之駕駛者困難感受

跟車行為	速率情境 KM/HR	樣本數	最大值	最小值	平均值	中位數	標準差
自行數數	80KM/HR	36	7.	1.0	4.0(+0.6)	4.0	1.6
	60KM/HR	36	6.0	1.0	3.6(+0.8)	4.0	1.4
	40KM/HR	36	6.0	1.0	3.8(+0.5)	3.0	1.7
聲音導標	80KM/HR	36	7.0	1.0	4.6	5.0	1.6
	60KM/HR	36	7.0	1.0	4.4	5.0	1.5
	40KM/HR	36	7.0	1.0	4.3	5.0	1.7

資料來源:本計畫彙整

(三) 認知感受

由表 6.4-7 可知，改採「自行數數」維持車間距佔 50%，次為聲音導引及皆無法接受各佔 19%，其可知民眾較可接受自行數數管理方式。

民眾認為自行數數維持兩秒間距與現行維持 50m 間距之間的差異性，平均值約 4.7 分，差異原因如下：

1. 有些民眾認為 50 公尺為定值，相較於時間距離易受車速影響
2. 自行數數或聲音引導都易導致駕駛者分心

表 6.4-7 車間距調整之駕駛者認知感受

認知感受	都可接受	自行數數	聲音導引	皆無法接受	合計
自行數數與聲音 引導偏好哪一個	4.0	18.0	7.0	7.0	36
	11%	50%	19%	19%	100%
維持兩秒間距與 現行維持 50m 間 距差異性	最大值	最小值	平均值	中位數	標準差
	7.0	1.0	4.7	5.0	1.7

資料來源:本計畫彙整

二、視覺指示

為了解發光導標對於駕駛者而言是否具有穩定車流之效用，本計畫針對不同情境亦給予問卷，紀錄駕駛者不同情境下之感受，其結果分述如下：

- (一)多數人認為發光導標高速情境下維持車速較困難，低速情形較容易；另外注意力亦同，高速情形下較影響注意力，反之低速不受影響
- (二)無論速率情境高低，駕駛者認為發光導標有助於引導車速，其中又以高速情境下最具效益(4.5分)
- (三)然而發光導標亦造成視覺疲勞，主要原因含：
- 1.駕駛者需專注前方車輛時，同時又要注意側方導標有困難，注意力容易被分散
 - 2.發光導標樣式單調容易造成疲累
 - 3.發光導標過亮，且畫面閃爍容易造成眼睛疲勞，導致車輛偏移

表 6.4-8 發光導標之駕駛者認知感受

項目	速率情境 KM/HR	樣本數	最大值	最小值	平均值	中位數	標準差
維持車速 困難程度	80	36.0	7.0	1.0	3.6	3.0	1.9
	60	36.0	6.0	1.0	3.5	3.5	1.6
	40	36.0	7.0	1.0	3.1	3.0	1.8
注意力 是否影響	80	36.0	7.0	1.0	4.1	4.0	1.6
	60	36.0	6.0	1.0	3.9	4.0	1.6
	40	36.0	7.0	1.0	3.7	3.5	1.7
助於 引導車速	80	36.0	7.0	1.0	4.5	5.0	1.8
	60	36.0	7.0	1.0	4.3	4.5	1.8
	40	36.0	7.0	1.0	4.2	4.0	1.9
發光導標是否 造成視覺疲勞		36.0	7.0	1.0	4.3	4.5	1.7

資料來源:本計畫彙整

6.5 初步建議與相關配套措施

一、初步建議方案

歸納 6.2~6.4 節改採時間間距或發光導標導引在安全、駕駛人心理、效益等各層面的分析結果，可得在安全上無明顯影響，且當採時間間距規定行駛後，相對於駕駛人自行跟車，可將車流行為集中，達到穩定車流間距的目的，應可減少龜速車產生，並且以自行數數及發光導標的方式，駕駛人多數認為可接受。

因此，本計畫綜整各項分析結果，以折衷在安全可接受程度之下與行車效率達到最高為初步建議方案(如圖 6.5-1)，並對於可能產生的風險研擬相關配套措施，詳說明如后。



圖 6.5-1 採時間間距初步建議方案

二、建議方案相關配套措施

根據上述初步建議方案以及 6.2~6.4 節在安全指標、駕駛人心裡、及風險分析結果，本計畫即針對隧道內採時間間距及利用發光導標導引車流之方式可能產生之影響研擬相關配套措施，將可能產生之風險降至最低，維持行車安全，茲就分別說明如下。

(一)採時間間距-自行數數

依據駕駛模擬結果與問卷發現，自行數數維持給定時間間距可比空間間距規定有效控管行車距離，且在主觀困難度及干擾程度都在平均值以下；因受測者皆為首次進行時間間距規定之駕駛模擬，若能將時間間距研擬下配套措施，以降低駕駛人時間間距數數困難度。

1. 配套措施一：自駕駛訓練階段即列為訓練需求，並為考試項目
2. 配套措施二：各級交通管理機關進行長期宣導，使民眾於一般生活駕駛即具備時間間距判定能力
3. 配套措施三：法令要求全數車輛搭載時間間距測距雷達

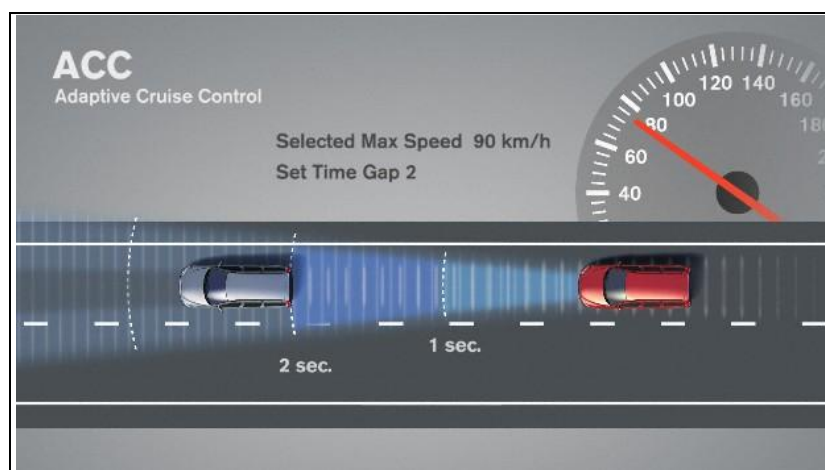


圖 6.5-2 時間間距測距雷達示意圖

(二)發光導標導引

依據駕駛模擬結果發現，發光導標可使駕駛維持穩定車速，同時追隨發光導標對於駕駛者而言並不困難。若於車流狀態將落於臨界車速前實施，可達到延緩壅塞發生之效果。

另駕駛人心理問卷指出，多數人認為發光導標有助於引導車速，但速度情境越高，注意力會受影響，且產生視覺疲勞，綜整以上結論研擬因應配套措施如下。

1. 配套措施一：視覺專家調整發光導標照度，減低視覺疲勞
2. 配套措施二：將落於臨界車流狀態時(約 75km/hr)特定時段開啟
3. 配套措施三：車間距問題壅塞路段優先施作試辦

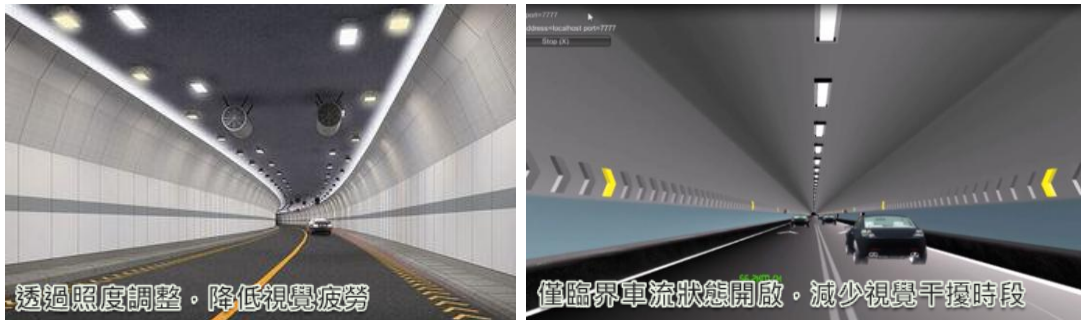


圖 6.5-3 發光導標配套措施示意圖

6.6 專家學者問卷分析

針對雪山隧道容量提升作法，多數專家學者認同減少隧道內車速變異，在安全間距下維持穩定隧道車速，應能有效改善現況駕駛者因隧道內行車安全規定認知差異所導致之龜速車降低整體隧道容量問題。本計畫研擬穩定車流二項作法進行駕駛模擬器實驗，並於問卷中詳列安全與效益分析結果提供專家學者參考。本計畫誠邀產、官、學各界共 30 位不同領域專家(各領域分布比例如圖 6.6-1)，其中包含交通相關專業與消防救災領域之長官及學者，透過問卷調查方式，綜整各專家意見與相關專業資訊的回饋。

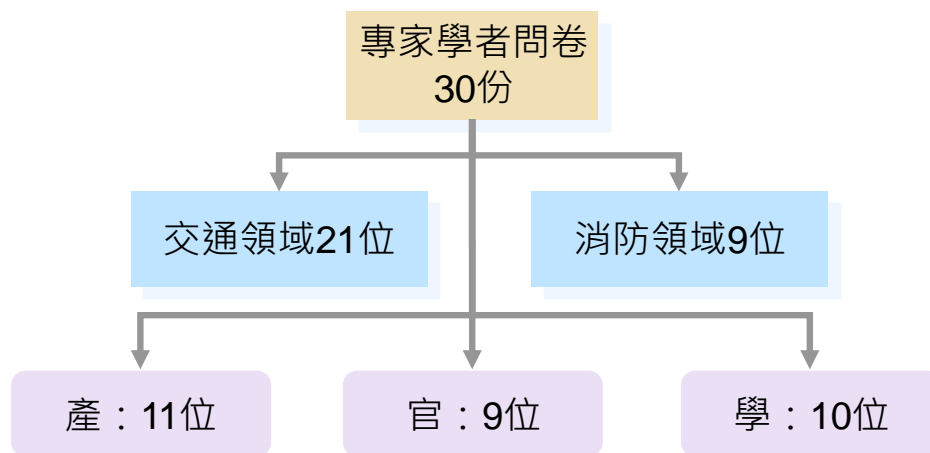


圖 6.6-1 專家學者領域分布比例

專家學者問卷型式主要為客觀呈現各方案在容量、安全、以及風險等各種推力與拉力因素下，折衷出一個較適宜之方案，以供後續實施單位作為決策的參考，問卷流程如圖 6.6-2 所示，並綜整各專家學者問卷調查分析結果詳說明如后。

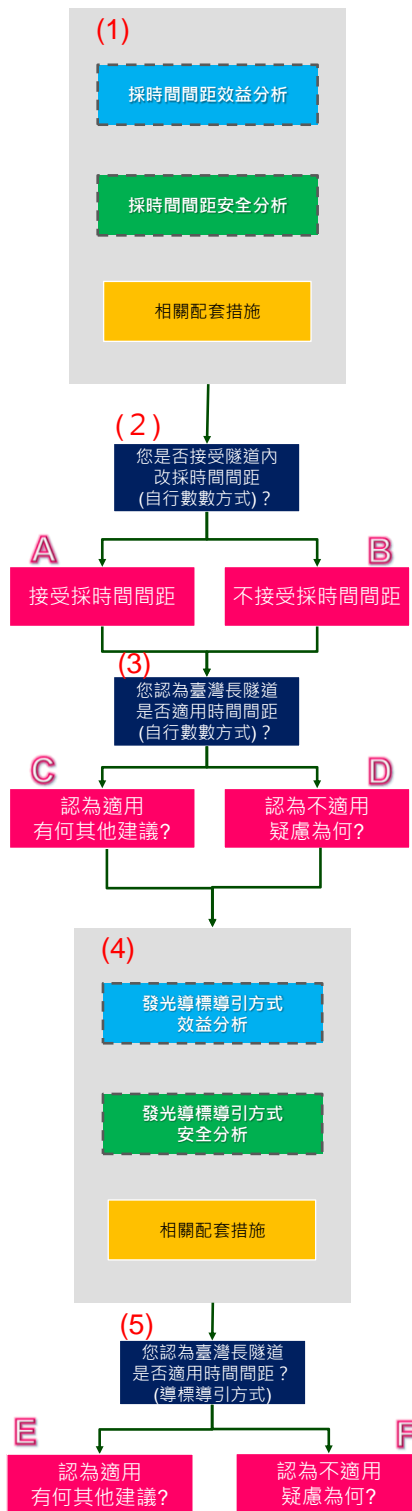


圖 6.6-2 採時間間距及發光導標之專家學者問卷

一、採時間間距自行數數方式的接受度

依據問卷調查結果，在 30 位專家學者當中，可接受採時間間距-自行數數方式者約占 67% (20 人)，而不接受者約占 33% (10 人)，由此可知多數專家認為可接受採用時間間距自行數數的方式。

二、採時間間距自行數數方式在臺灣的適用性

依據問卷調查結果，在 30 位專家學者當中，認為台灣適用時間間距自行數數方式者可約占 50% (15 人)，而認為不適用者約占 50% (15 人)，其中有 5 人可接受時間間距自行數數，但認為台灣不適用此方式。

三、利用發光導標導引車間距在臺灣的適用性

依據問卷調查結果，在 30 位專家學者當中，認為台灣適用發光導標導引方式者可約占 70% (21 人)，而不適用者約占 30% (9 人)，可知多數專家認為台灣可採用發光導標導引車間距。

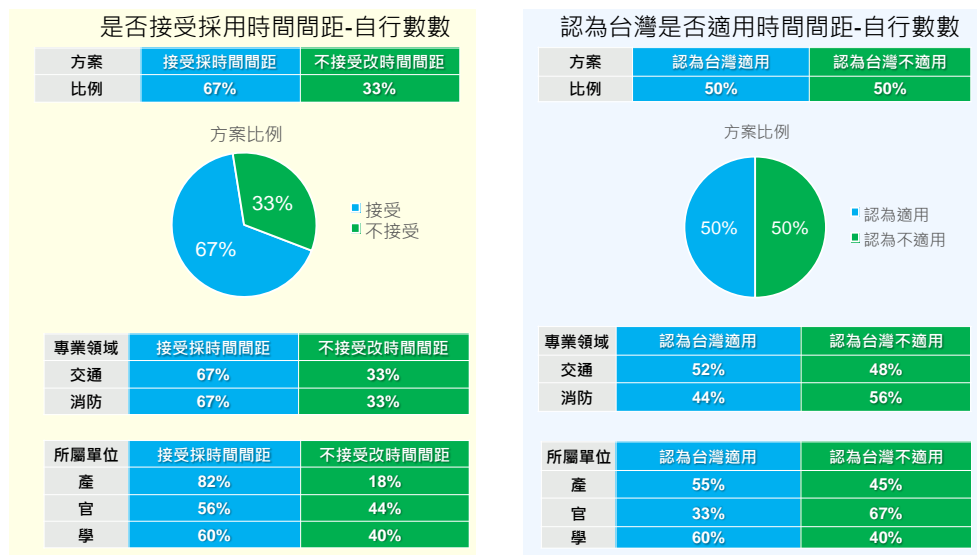


圖 6.6-3 「採時間間距-自行數數」問卷調查分析結果

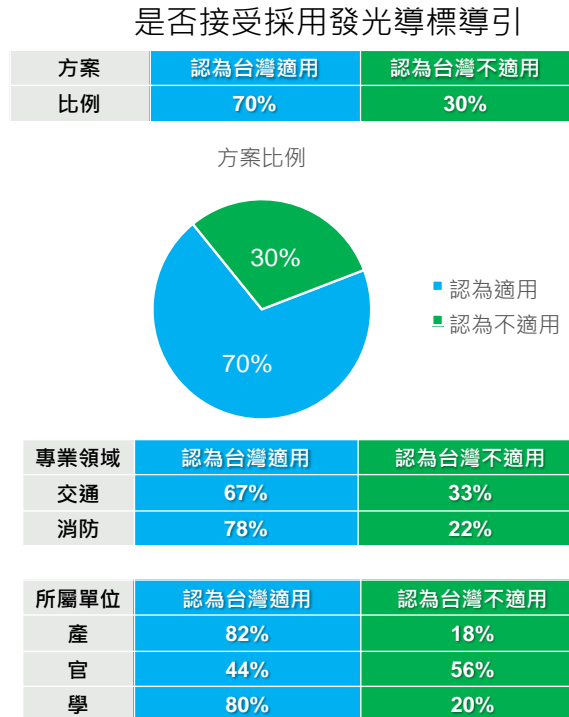


圖 6.6-4 「發光導標導引車間距」問卷調查分析結果

6.7 小結

根據上述分析，以不影響安全且穩定車流為目標，本計畫初步建議採時間間距應為可行方案，在缺乏系統性駕駛訓練之前提下，駕駛模擬結果仍顯示時間間距無論為自行數數、聲音導引及發光導標皆能有效達成將車間距變異性縮小，將車間距集中，穩定車流狀態之目的，安全指標亦顯示與自主跟車無顯著差異，雖然在心理問卷中呈現出駕駛分心的疑慮，但以國外經驗而言，時間間距若以駕訓手段使其成為經驗法則，將可有效降低問題。

彙整專家學者問卷調查意見結果約有 67%之專家認為時間間距-自行數數應為可接受之有效辦法，但僅 50%認為適用於台灣駕駛環境；時間間距-發光導標則有 70%之專家學者認同在台灣的適用性。整體而言，時間間距-自行數數建議應以成為台灣駕駛者經驗法則之方向進行後續實施作業；時間間距-發光導標則在認同度高的情形下，建議可作為短期改善車間距問題之有效實施辦法。

建議方案與對應配套措施等實施原則將與其餘二項可行性分析結果綜整於本計畫第七章。

柒、調整方案與實施原則建議

根據本計畫第四~六章針對雪山隧道「禁止變換車道規定調整」、「行車安全距離規定調整」、以及「改採時間間距調整」之可行性分析結果，綜整初步方案與優先性原則於 7.1 與 7.2 節；各方案實際執行之階段性建議，詳列於 7.3 節。7.4 節則針對交通因子以外之整體性因素，提出後續研究建議。

7.1 初步方案建議綜整

一、雪山隧道禁止變換車道規定調整

在「禁止變換車道規定」調整方面，雖然微觀模擬分析顯示開放北上隧道中、後段應有提升部份容量的趨勢(4%~6%)，但並不顯著；然而依據事故風險資料分析顯示，變換車道之駕駛行為仍然較易產生同向擦撞、追撞、自撞等事故風險，且根據駕駛模擬器軌跡分析結果顯示，當速率於 60KPH 以上時，車流處於較為穩定的狀態，車與車的間距較長，因此變換車道時之安全指標並無顯著影響；但於 60 KPH 以下時，車流壅塞，車間距較小，當開放變換車道後對於駕駛人的車道內偏移、煞車程度以及碰撞機率等指標指出對駕駛人駕駛穩定度產生相當影響；最終問卷調查及專家學者座談會之意見徵集，多數專家對於臺灣駕駛者的守法性仍有疑慮，若開放變換車道易產生不確定的危險機率，且容量未見明確提升。因此，本計畫考量在國人駕駛特性及安全影響下，建議雪山隧道內仍採禁止變換車道之安全規定。

二、雪山隧道行車間距規定調整

在「行車間距規定」調整方面，在容量分析上，依據現況 VD 資料以及駕駛模擬器隧道內平均車間距資料顯示，現行行車間距規定下，車速在 60kph 時，平均間距為 18.6m~19.8m、車速在 40kph 時，平均間距為 14.1m~14.2m，均未達所規定之行車間距（60kph 時的 30 公尺車距、40 kph 時的 20 公尺車距），反而產生車速不一致之情形，而

行車間距調整為比照一般高速公路，較可達到穩定車流的效益，並能符合一般國外長隧道行車安全規定管理方式，且參考專家學者問卷調查結果以及相關意見的蒐集，對隧道內車流壅塞(車速未能達最低速限 60km/hr)時，小型車放寬行車安全間距規定接受度較高，故本計畫建議未來可在相關配套措施下較優先實施調整雪山隧道行車間距規定為：車速未能達最低速限(60km/hr)時，小型車比照一般國道標準：車輛速率之每小時公里數值除以二，單位為公尺，大型車則維持原規定。

三、高速公路採時間間距-自行數數

在「高速公路採時間間距」調整方面，依據分析結果，採用時間間距自行數數方式對於安全無顯著影響；駕駛行為分析上，採時間間距規定之車間距自行讀秒方式，在不同車速下，平均車距標準差皆較自主跟車為低(車速 40kph，自行讀秒平均車距標準差為 1.51 秒、自主跟車平均車距標準差 1.64 秒；車速 60kph，自行讀秒平均車距標準差為 1.59 秒、自主跟車平均車距標準差 1.73 秒；車速 80kph，自行讀秒平均車距標準差為 1.60 秒、自主跟車平均車距標準差 1.82 秒)，顯示駕駛車速較為一致，可達到穩定車流的效果。

雖多數專家學者認為可接受，然而對於臺灣適用性仍存有疑慮，由於臺灣駕駛人現況並無時間間距概念，缺乏駕駛訓練與經驗累積，故短期並無直接轉採用時間間距之可行性，然此準則在歐美等國家應用普遍且深入成為一般駕駛之經驗法則，因此時間間距-自行數數方式仍建議應以成為台灣駕駛者經驗法則之方向進行後續實施作業。

四、發光導標導引車間距

如上述所言，時間間距對於安全較無顯著影響，且可達到穩定車流的效果，然因臺灣短期實施不易，故以發光導標導引車間距方式在同樣於分析上顯示安全無影響且車流穩定度亦有明顯改善的效果下，專家學者亦普遍認同度高，

建議未來可在規劃設計方面進行後續相關研究。

針對上述建議可行之方案包含「雪山隧道行車間距規定調整」及「高速公路採時間間距-自行數數」之實施優先性原則與實際執行之階段性建議，分別彙整說明於 7.2 及 7.3 節。

7.2 方案優先性原則

依隧道內各項安全規定調整可行性評估以及專家學者接受度調查結果，本計畫提供各項調整方案與配套措施實施優先性建議如圖 7.2-1 並說明如下。

一、方案實施優先性

考量安全影響、接受度、以及國人目前駕駛習慣等因素，建議可優先考量實施隧道內放寬車間距規定；而高速公路採時間間距則需經過較長時間進行相關的駕駛訓練及宣導，故建議應可於規範與駕訓先行檢討後於長期實施。

二、配套措施實施優先性

在各安全規定調整方案之配套措施方面，依必要性及實施難易度等因素，建議實施優先順序應優先進行消防設備檢討、規範與駕訓檢討、其次為相關的宣導措施、隧道內輔助設備加強，最後必要時應以相關法令作強制執法管理。

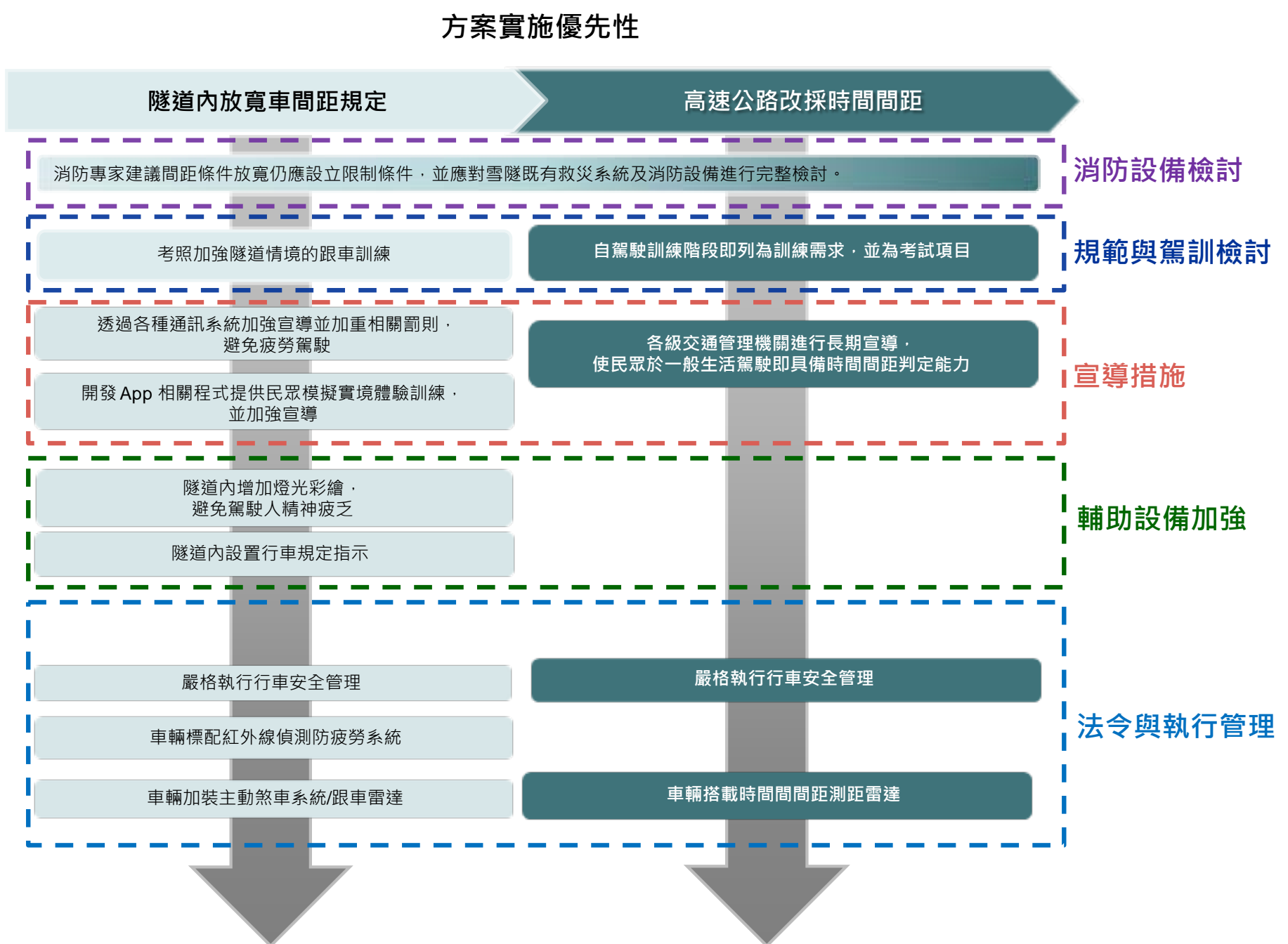


圖 7.2-1 隧道安全規定調整優先性建議圖

7.3 實際執行階段性建議

綜整上述調整方案建議及配套措施實施優先性原則，配合未來執行單位實際需求，以下依據本案結論之實施建議順序，分別針對隧道內行車間距規定調整、高速公路改採時間間距等安全規定項目，依個別項目需求擬定不同階段研擬實施方式之建議，詳表 7.3-1~2 所示並說明如下。

一、隧道內行車間距規定調整實施建議

在「隧道內行車間距規定調整」方面，考量國人目前駕駛習慣與隧道內車流特性，車間距規定調整後預期較能有效達到穩定車流之目的，普遍接受度亦較高，故本計畫建議在相關安全配套措施如消防安全檢討、規範與駕訓檢討、駕駛人守法性檢討、宣導措施、隧道內輔助設備加強等實施後，建議可優先執行。而在調整安全規定後，應持續進行車流效率相關分析，及駕駛違規、肇事率資料蒐集，並在定期檢討中視需求增加配套措施，各階段實施建議詳如表 7.3-1。

表 7.3-1 隧道內行車間距規定調整實施方式建議

項目		第一階段	第二階段
隧道內放寬 車間距規定 • 車流壅塞 (車速未能 達最低速限 60km/hr) 時，小型車比照一般 國道標準：車輛速率 之每小時公里數值除 以二，單位為公尺。 • 大型車維持原規定	消防安全檢討	• 消防相關單位及專家根據救災需求設立限制條件(如:不影響救災前提下，隧道內車輛靜止時最小所需安全距離)	配套加強項目： • 定期檢討本措施對行車安全的影響 • 隧道情境的跟車行為列入考照項目 • 訂定並實施激勵駕駛人守法的相關法令規範 • 隧道內既有顯示設備(如 CMS)增加行車規定指示 • 適度加重相關罰則，減少駕駛違規逼車 • 嚴格執行行車安全管理與違規取締作業 • 逐步朝向駕駛人車輛皆能標配紅外線偵測防疲勞系統 • 逐步朝向駕駛人車輛皆能加裝主動煞車系統/跟車雷達
	規範與駕訓 檢討	• 駕訓項目加強隧道情境的跟車訓練 ^{註1}	
	駕駛人守法性檢討 ^{註2}	• 相關單位加強研究激勵駕駛人守法策略及相關法令規範如以「駕駛記點及獎勵制度」、「駕照分級制度」等方式激勵汽車駕駛人守法性，以期改善用路人不良駕駛行為	
	宣導措施	• 透過各種通訊系統加強宣導，使用路人皆熟悉調整之安全規定	
	隧道輔助 設備加強	• 隧道內檢討燈光照度，避免駕駛人疲乏 • 隧道內改善或增加彩繪，避免駕駛人疲乏	
	法令與 執行管理	• 針對駕駛違規逼車部分，增加取締勤務作業	
	實際執行建議	• 在上述配套實施後，執行安全間距規定調整 • 調整安全規定後，應持續進行車流效率相關分析，及駕駛違規、肇事率資料蒐集，並定期檢討 • 若駕駛違規及肇事率增加，應執行第二階段之配套加強措施	• 在行車安全間距規定調整後，於定期檢討中視需求增加上述配套措施 • 持續進行車流效率分析、駕駛違規與肇事率資料蒐集檢討 • 若駕駛違規及肇事率未有效改善，應考量執行法令與執法管理等較強制性之配套措施

註 1：配合未來隧道情境跟車行為納入考照項目，在駕訓時亦建議應一併納入此駕駛行為之訓練，減少駕駛者因不當跟車行為或變換車道影響行車安全。

註 2：為督促民眾守法，除了處罰，可採取鼓勵的做法，如：(1)新加坡的「駕駛人記點及獎勵制度」，駕駛人二年違規記點累計 24 點以上，政府可暫時吊銷其駕駛執照，期間由 3 個月至 1 年不等，行為人必須通過必要的駕照考試，始能重新領取駕駛執照。對於連續 3 年無記點紀錄者享有保險費降低 5% 以上的獎勵制度 (2) 日本的駕照分級制度，依照違規次數分級，不同等級之駕照分別在駕照有效期限、駕照更新手續費、講習時間有差異，等級越高之駕照享有優惠越多。〈參考資料：101 年道路交通安全與執法研討會，中華民國 101 年 9 月 27~28 日〉

二、高速公路改採時間間距實施建議

在「高速公路採時間間距」方面，考量國人現階段較缺乏時間間距跟車觀念，故本計畫除了研擬之相關安全性配套措施可於第一、二階段先行實施外，亦建議各級交通管理機關進行長期宣導，使民眾於一般生活駕駛及具備時間間距判定能力，然而此準則能夠普遍且深入成為一般駕駛之經驗法則，尚待長時間培養，因此時間間距方式建議列為未來長期之辦理項目。各階段配套措施與執行方式建議詳表 7.3-2。

表 7.3-2 高速公路改採時間間距實施建議

項目		第一階段	第二階段	第三階段
高速公路採 時間間距	消防安全檢討	• 消防相關單位及專家根據救災需求設立限制條件		配套加強項目： • 定期檢討本措施對行車安全的影響 • 逐步朝向國人駕駛車輛皆能搭載時間間距測距雷達
	規範與駕訓 檢討	• 透過駕駛訓練與經驗累積，培養駕駛人時間間距概念，並列為考試項目，使其成為台灣駕駛經驗法則		
	駕駛人守法性 檢討 ^註	• 相關單位加強研究激勵駕駛人守法策略及相關法令規範如以「駕駛記點及獎勵制度」、「駕照分級制度」等方式激勵汽車駕駛人守法性，以期改善用路人不良駕駛行為	• 訂定並實施激勵駕駛人守法的相關法令規範	
	宣導措施	• 各級交通管理機關進行長期宣導，使民眾於一般生活駕駛及具備時間間距判定能力		
	法令與 執行管理	• 增加取締勤務作業，減少駕駛違規逼車	• 適度加重相關罰則，減少駕駛違規逼車 • 於現有空間間距規定外，新增時間間距相關法令	
	實際執行建議	• 短期內不建議高速公路調整為時間間距方式	• 在上述配套措施後，於高速公路實施時間間距規定，並持續進行車流效率、安全性(肇事率)、駕駛守法性(違規率)等相關分析，定期檢討	

註：為督促民眾守法，除了處罰，可採取鼓勵的做法，如：(1)新加坡的「駕駛人記點及獎勵制度」，駕駛人二年違規記點累計 24 點以上，政府可暫時吊銷其駕駛執照，期間由 3 個月至 1 年不等，行為人必須通過必要的駕照考試，始能重新領取駕駛執照。對於連續 3 年無記點紀錄者享有保險費降低 5% 以上的獎勵制度 (2) 日本的駕照分級制度，依照違規次數分級，不同等級之駕照分別在駕照有效期限、駕照更新手續費、講習時間有差異，等級越高之駕照享有優惠越多。<參考資料：101 年道路交通安全與執法研討會，中華民國 101 年 9 月 27~28 日>

7.4 後續研究建議

對於國道 5 號雪山隧道行車安全規定檢討，本計畫建議後續若欲實際施行，仍應進行以下後續研究以深入並確保交通因子以外之整體因素。

一、消防與救災系統檢討

有鑑於未來若放寬隧道內安全規定，雖有配套措施避免影響安全，然而建議應持续提升隧道內各項防災機制，包含結構防火設計的強化、交控系統、通風排煙、控制冷卻系統等，並建議應檢討緊急應變救援程序機制，將現況一般性救援演練加入各種情境設定(如大客車併排佔據車道阻礙救援動線等)以強化未來整體隧道災害救援能力，作為把關安全的最後防線。

二、駕駛人守法性檢討

彙集各領域專家學者意見，對於不傾向放寬安全規定者大多為考量因國人駕駛行為普遍不佳，建議未來應加強研究激勵駕駛人守法策略及相關法令規範，亦可參考國外作法，如以金錢及表揚方式激勵汽車駕駛人守法的策略設計，或新加坡「駕駛記點及獎勵制度」、日本「駕照分級制度」等方式，改善用路人不良駕駛行為。

三、隧道壅塞時採發光導標導引實施建議

在「隧道壅塞時採發光導標導引」方面，經分析結果顯示，以發光導標導引車間距方式在分析上顯示對安全較無顯著影響，且在車流穩定度有改善的效果，專家學者亦普遍認同，建議未來可在規劃設計方面進行相關之研究，以評估在台灣駕駛環境之適用性。

四、駕駛模擬器的深入應用

考量目前本計畫已針對雪山隧道駕駛模擬器有相當程度發展，亦蒐集到許多台灣駕駛者於隧道內之各項駕駛模擬數

據(如受測者包含膚電等駕駛人在生、心理反應之量測資料)，未來亦建議可藉由模擬器進行更多樣性之實驗，並邀請相關領域專家針對生理資料解析部分進行更深入研究，作為各方案分析的考量評估項目之一。