

高速公路主線速率動態控制策略之構建與模擬分析

邱裕鈞¹ 艾嘉銘² 林柏辰³ 黃彥斐⁴ 翁佳豪³ 蔡明峰³

摘要

高速公路交通量在尖峰時段已幾呈飽和狀態，一旦發生交通事件，車流更會因此而迅速向上游累積擴散，產生嚴重之交通壅塞問題。因此，本研究研擬一套具體有效之主線速率動態控制模式，並加以驗證，以提供高速公路主管機關參酌。基此，本文首先利用巨觀車流理論—衝擊波 (shock waves)，建構意外事件所造成之延滯時間模式，以總延滯最小化為目標，並據以研擬四種控制策略 (計十二項子策略)：策略一 (S₁) 等區間等速率控制策略、策略二 (S₂) 等區間不等速率控制策略、策略三 (S₃) 不等區間等速率控制策略，以及策略四 (S₄) 不等區間不等速率控制策略，並探討及比較各策略之績效。為精準估計各策略之績效，本文乃進一步利用微觀車流模擬軟體 (PARAMICS)，以國道一號南下 167K+200 處偵測器所測得之交通資料進行個案實證研究。在進行各策略績效之評估前，本文先利用測得之交通資料及卡方檢定，進行PARAMICS相關交通參數之調校與設定，以確認模擬資料符合實際交通行為。另外探討不同交通量、不同事故嚴重度及不同事故延時等情境下，進行各種主線速率控制策略之系統化評估與比較。

關鍵詞：主線速率控制、衝擊波、微觀車流模擬軟體 (PARAMICS)

壹、前言

高速公路交通事故的發生為突發性的狀況，無可避免的需要封閉部分的車道，而車道的縮減會直接影響到後續的車流的速率，嚴重的交通事故甚至會使車流完全停止，無法前進，因此為了避免尚未到達事故發生地點的駕駛人受到延滯影響，路上的速率控制系統必須即時提供駕駛者相關資訊並限制車流的速率，讓駕駛人明瞭該肇事路段目前的延滯時間及車流的排除情形，使駕駛者的延滯時間降至最低。而國內許多學者也針對速率控制此一課題提出相當多的研究。例如，李彥明[1]針對國內高速公路特性，研擬以速率控制的方式，於濃霧及車流不穩定狀況下對車流集體速率進行調控，以降低車輛彼此間之速率差異，維持車流之穩定，進而達到增進用路人行車安全，並提高道路使用效率之目的。本研究主要包括速限可變標誌與車輛偵測器設置間距與顯示方式，而控制準據主要是依據國內車流特性以及車輛動力學予以決定。何煖軒[2]藉由速率控制、資訊公告等交通控

¹ 逢甲大學交通工程與管理學系副教授 (地址：台中市西屯區文華路 100 號，電話：04-24517250 轉 4666，E-mail: ycchiou@fcu.edu.tw)

² 逢甲大學交通工程與管理學系講師

³ 逢甲大學交通工程與管理學系學生

⁴ 逢甲大學交通工程與管理學系博士班研究生

制策略之實施，於高速公路隧道區段配合不同的管制情境進行交通速率與流量調查，經由速率與流量資料求得密度或佔有率，藉以推估車流密度、流量、速率三者關係之基礎圖形，利用基本的統計假說檢定與估計推論，分析比較各情境之速率控制效果，且探討不同的速率控制策略對於增進行車安全及道路使用效率，是否具有顯著的效果；最後並依據分析探討的結果，以北宜高速公路隧道區段為例，進行速率控制策略模式的建構與模擬，作為後續相關路段應用的基礎。張瑞玲[3]在研究中考慮高速公路上一均質、無進出口匝道的二車道路段，其中有一車道的部份路段封閉，觀察未封閉車道的車流行為，以流量守恆律為基礎，構建該瓶頸路段的車流行為模式，再以特徵曲線法求解模式得車波軌跡函數及密度函數，並以數值模擬方法模擬二車道瓶頸路段車流模式，所得結果與預期路況密度相近。接著，探討多車道瓶頸路段的車流行為，並分別以流量守恆律、構建多車道瓶頸路段一階車流模式及高階車流模式。徐道國[4]以交通衝擊波的理論，計算意外事故所造成的車流延滯時間，並以車流延滯時間為標的，分析各種策略的效果；由分析的案例研究得知，流量的減少對車流延滯時間並不敏感，其效果有限；但反觀事故處理時間，對其車流的延滯時間極度敏感，稍微的縮短事故處理時間，即可減低許多的車流延滯。鄭志平[5]利用衝擊波分析法推估高速公路壅塞車流之旅行時間，使高速公路在制定意外事件管理策略時，有參考數據可用。同時鄭志平也對排隊（Queueing）分析法與衝擊波（Shock wave）分析法加以比較，證明在擁塞車流之狀態下，以衝擊波分析法所得之旅行時間與實際較為接近。

由上述有關速率控制之相關研究可知，大多著重於理論上之模式建構與成效推估，較缺少實際之速率控制策略。基此，本研究以國道一號南下 167K+200 處偵測器所測得之交通資料為基礎，利用微觀車流模擬軟體（PARAMICS）進行個案實證研究，探討不同交通量（尖峰、離峰）、不同事故嚴重度（佔用一車道、佔用雙車道）及不同事故延時（30 分鐘、45 分鐘、60 分鐘）等情境下，進行四種主線速率控制之系統化評估與比較，旨在減少事故發生對上游車流之影響，並縮短車流延滯時間，以供高速公路主管機關之參考。本研究首先針對國內車流資料進行調校，使模擬出之資料符合國內高速公路之使用，以平直路段為研究範圍，觀察事故對上游造成之衝擊波[6]、[7]影響，並藉由參考國外速限控制之實際案例[8]，再加以研擬四種速率控制策略。

貳、車流模式調校與驗證

2.1 車流特性資料蒐集

由於 PARAMICS 模擬軟體內建之車流參數為國外之資料，因此本研究首先收集國內各車種資料與內建車種資料加以調校，目的為將此軟體調校成符合台灣地區之模擬車流資料，並且經由調校後之 PARAMICS 先進模擬軟體之模擬，觀察各速率控制策略對於車流的變化，以建構事故路段之速率控制模式。為驗證調校參數之正確性，本研究蒐集國道 1 號苗栗至豐原南下路段（167K+200）之車流資料進行模式驗證。本研究經由 VD 蒐集該路段之車流資料進行資料分析，將當日資料分為上午、中午、下午三時段，分別與 PARAMICS 之模擬資料進行流量與速率之比較，藉此調校軟體以符合實際之車流資料。

2.2 車流模式驗證

由上午、中午及下午等三時段流量與速率之模擬結果與實際值之比較得知，模擬結果雖不及實際狀況隨時間快速、大幅變化，但均能以較緩和之變化掌握到變化趨勢。本文進一步利用 t 檢定來檢測模擬值與實際值之平均數是否有顯著差異。統計假設為：

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

其中， μ_1 =模擬值 μ_2 =實際值。在 $\alpha=0.05$ 之顯著水準下，針對各時段的流量與車流速度進行模擬值與實際值之檢定，檢定結果整理如表一與表二所示。

表一 車流量之 t 檢定結果

時段	實際值平均數	模擬值平均數	t 值 (P)
上午	4313 輛/小時	4262 輛/小時	-0.129 (0.448)
中午	4120 輛/小時	3966 輛/小時	-0.194 (0.561)
下午	4086 輛/小時	4133 輛/小時	0.483 (0.314)

表二 車流速度之 t 檢定結果

時段	實際值平均數	模擬值平均數	t 值 (P)
上午	90.65 公里/小時	89.87 公里/小時	-1.223 (0.117)
中午	91.06 公里/小時	92.33 公里/小時	0.877 (0.191)
下午	83.75 公里/小時	82.96 公里/小時	-0.544 (0.293)

經由 t 檢定後發現，流量與車流速度在此三時段之檢定結果都無法拒絕虛無假設，顯示模式之模擬結果與實際之車流行為相符，亦即表示本研究所採用之車流模式，可用於國內高速公路之模擬分析。

參、動態速率控制模式建構

本文以衝擊波 (shock waves)，建構意外事件所造成之延滯時間模式，首先將事故地點上游區段切割成各不等區段，而各區段之車流參數如圖一所示，並透過總延滯最小化的情況下，研擬各區段長度與速率控制策略。

$q_4 \ k_4 \ u_4 = \beta_4 u_3$	$q_3 \ k_3 \ u_3 = \beta_3 u_2$	$q_2 \ k_2 \ u_2 = \beta_2 u_1$	$q_1 \ k_1 \ u_1 = \beta_1 u_a$	$q_b \ k_b \ u_b$
區域4 d_4	區域3 d_3	區域2 d_2	區域1 d_1	事故區

圖一 控制區段示意圖

3.1 最接近事故地點區間 (區域 1) 延滯模式

將受事故影響的第一區間區域 1 速率控制為 u_1 ，其中 u_1 為原速率 u_a 與參數 β_1

(介於 0~1 間) 之乘積。該區段受事故區產生之衝擊波如圖二所示，首先受到事故地點車流特性之影響產生 W_{lb} 之衝擊波，同時在 T 時間 (事故處理完畢) 後，亦會受到飽和流率 (q_c 、 k_c 、 u_c) 影響產生 W_{bc} 之衝擊波，待通過瓶頸路段後將會與原車流狀況形成 W_{ca} 衝擊波。而區域一受衝擊波所產生如圖三所示：其中，

$$\overline{AC} = T \text{ (處理時間)} \quad \overline{CH} = \overline{CG} + \overline{GH} = \frac{\overline{GE}}{W_{bc}} + \frac{\overline{GE}}{W_{ca}}$$

$$\overline{AG} = T + \overline{CG} \Rightarrow \frac{d_1}{W_{lb}} = T + \frac{d_1}{W_{bc}} \Rightarrow \frac{d_1}{W_{lb}} - \frac{d_1}{W_{bc}} = T \Rightarrow d_1(W_{bc} - W_{lb}) = T(W_{lb}W_{bc})$$

$$\Rightarrow d_1 = \frac{TW_{lb}W_{bc}}{W_{bc} - W_{lb}} = \frac{T\left(\frac{q_b - q_1}{k_b - k_a}\right)W_{bc}}{W_{bc} - \left(\frac{q_b - q_1}{k_b - k_a}\right)} = \frac{T\left(\frac{q_b - k_1u_a\beta_1}{k_b - k_a}\right)W_{bc}}{W_{bc} - \left(\frac{q_b - k_1u_a\beta_1}{k_b - k_a}\right)} = \frac{T(q_b - k_1u_a\beta_1)W_{bc}}{W_{bc}(k_b - k_1) - (q_b - k_1u_a\beta_1)}$$

$$\Delta ACE = \frac{1}{2}\overline{ACGE} = \frac{1}{2}Td_1$$

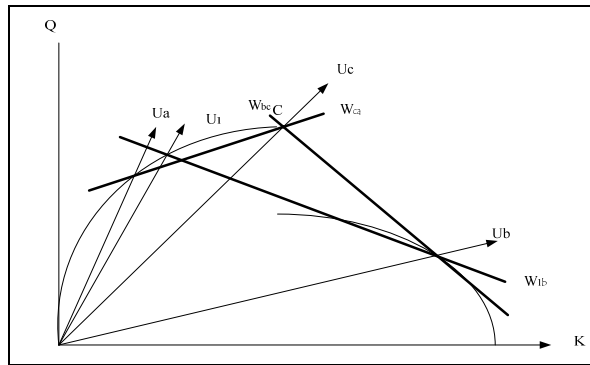
$$\Delta CEH = \frac{1}{2}\overline{CHGE} = \frac{1}{2}\left(\frac{d_1}{W_{bc}} + \frac{d_1}{W_{ca}}\right)d = \frac{1}{2}d_1^2\left(\frac{1}{W_{bc}} + \frac{1}{W_{ca}}\right)$$

$$\text{總延滯 } TD_1 = (K_b - K_a)\Delta ACE + (K_c - K_a)\Delta CEH = (k_b - k_a)\frac{1}{2}Td_1 + (k_c - k_a)\frac{1}{2}d_1^2\left(\frac{1}{W_{bc}} + \frac{1}{W_{ca}}\right)$$

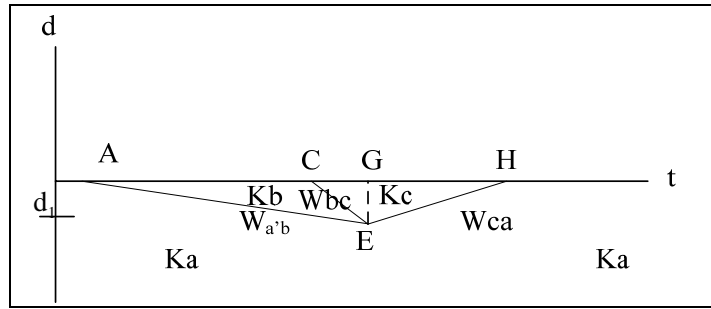
$$\frac{\partial TD_1}{\partial d} = \frac{1}{2}T(k_b - k_a) + d(k_c - k_a)\left(\frac{1}{W_{bc}} + \frac{1}{W_{ca}}\right)$$

$$\text{令 } \frac{\partial TD_1}{\partial d} = \frac{1}{2}T(k_b - k_a) + d_1(k_c - k_a)\left(\frac{1}{W_{bc}} + \frac{1}{W_{ca}}\right) = 0$$

$$\text{則 } d_1^* = \frac{-\frac{1}{2}T(k_b - k_a)(W_{bc}W_{ca})}{(k_c - k_a)(W_{bc} + W_{ca})} = \frac{T(q_b - k_1u_a\beta_1)W_{bc}}{W_{bc}(k_b - k_a) - (q_b - k_1u_a\beta_1)} \quad (1)$$



圖二 區域 1 衝擊波示意圖



圖三 區域 1 延滯時空圖

3.2 區域 2 延滯模式

將區域 2 之速率控制為 u_2 ，其中 u_2 為原速率 u_a 與參數 β_2 （介於 0~1 間）之乘積。該區段受區域 1 速率影響產生 W_{21} 之衝擊波如圖四。而區域二所產生之延滯則有兩部分，分別為 1. 在 u_2 速率情況下，受到 u_1 速率影響所產生之衝擊波 W_{21} 產生之延滯以及 2. 在 u_2 速率情況下，與原速率 u_a 在 d_2 距離所產生之延滯為則如圖五，分述如下：

$$\overline{OI} = T \quad \overline{OK} = TW_{21}$$

在 u_2 速率情況下，受到 u_1 速率影響所產生之衝擊波 W_{21} 產生之延滯為：

$$\Delta OKI(k_2 - k_1) = \frac{1}{2} T d_2 (k_2 - k_1)$$

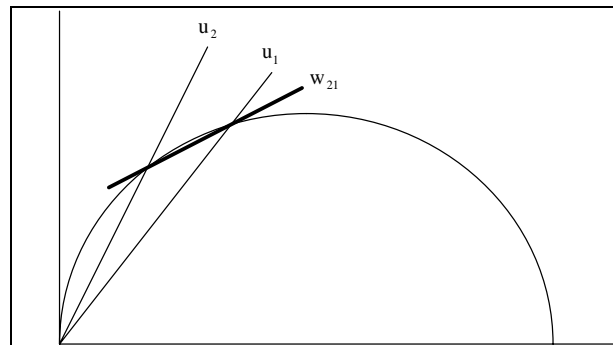
在 u_2 速率情況下，與原速率 u_a 在 d_2 距離所產生之延滯為：

$$D = N \left(\frac{d_2}{u_2} - \frac{d_2}{u_a} \right) = d_2^2 \left(\frac{k_2}{u_2} - \frac{k_a}{u_a} \right)$$

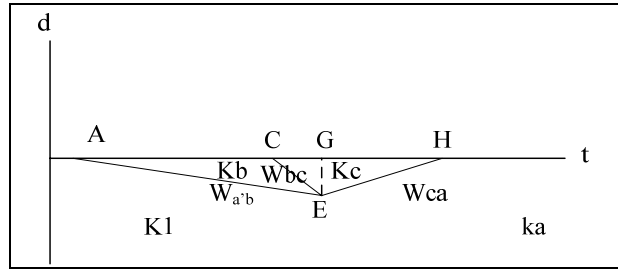
$$\text{故 } TD_2 = \frac{1}{2} T d_2 (k_2 - k_1) + d_2^2 \left(\frac{k_2}{u_2} - \frac{k_a}{u_a} \right)$$

$$\text{令 } \frac{\partial TD_2}{\partial d_2} = \frac{1}{2} T (k_2 - k_1) + 2d_2 \left(\frac{k_2}{u_2} - \frac{k_a}{u_a} \right) = 0$$

$$\text{則 } d_2^* = \frac{1}{4} \frac{T(k_1 - k_2)}{\left(\frac{k_2}{u_2} - \frac{k_a}{u_a} \right)} = \frac{0.25T(k_1 - k_2)u_a u_2}{k_2 u_a - k_a u_2} = \frac{0.25T(k_1 - k_2)u_a u_a \beta_2}{k_2 u_a - k_a u_a \beta_2} \quad (2)$$



圖四 區域 2 衝擊波示意圖



圖五 區域2延滯時空圖

3.3 區域 i (i 不等於 1) 延滯模式

將式(2)化為一般式，則可求得其他欲控制區域 i ($i=1$) 之控制範圍，如下：

$$d_i^* = \frac{0.25T(k_{i-1} - k_i)u_a u_a \beta_i}{k_i u_a - k_a u_a \beta_i} \quad (3)$$

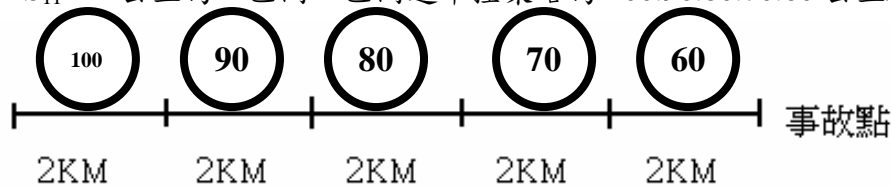
肆、動態速率控制策略研提及情境模擬

根據模擬之車流資料可知事故發生後車流堵塞情形，藉由式(1)、式(2)與式(3)研擬出事故上游各區段所控制之速率與控制距離，使意外事故所造成的影響程度減到最小，讓高速公路上之車輛能在最短時間內通過該事故路段，減少旅行時間的延滯。本研究將速率控制策略分為等區間（以固定距離為控制區間）、不等區間（以不固定距離為控制區間）、等速率（每區間的速率控制為固定速率遞減）與不等速率（每區間的速率控制為不固定速率遞減），另外在每一主策略下提出三個子策略進行速率控制策略研提。

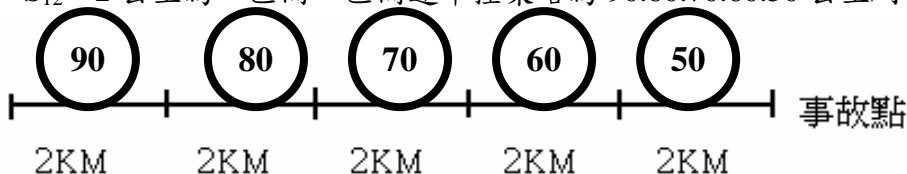
以不等區間等速率遞減控制策略為例，在 u_a 為 100km/h、 u_b 為 40km/h、 u_c 為 80km/h 以及事故處理時間為 0.5 小時的情況下，欲控制第一區間為 50km/h ($\beta_1=0.5$)、第二區間為 70km/h ($\beta_2=0.7$) 以及第三區間為 90 km/h ($\beta_3=0.9$)，則可估算第一區間應控制距離 $d_1=2.02$ km、 $d_2=2.91$ km 以及 $d_3=5.11$ km。以此最佳化結果為基礎，配合實施時之一致性與設備配置之可能性，本研究進一步研擬四類策略，共計十二項策略，據以評估，說明如下：

1. S_1 ：等區間等速率遞減控制策略

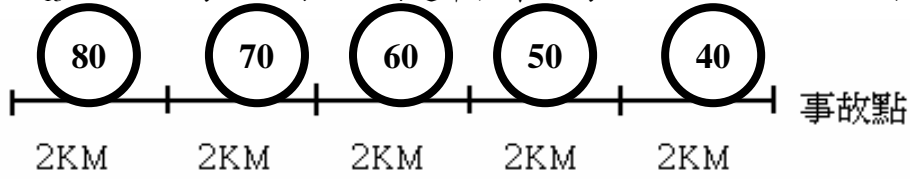
S_{11} ：2 公里為一區間，區間速率控策略為 100.90.80.70.60 公里/小時



S_{12} ：2 公里為一區間，區間速率控策略為 90.80.70.60.50 公里/小時

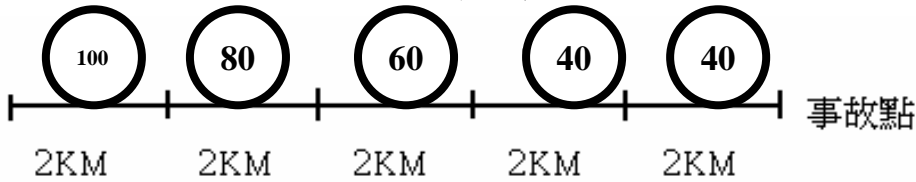


S₁₃: 2 公里為一區間，區間速率控策略為 80.70.60.50.40 公里/小時

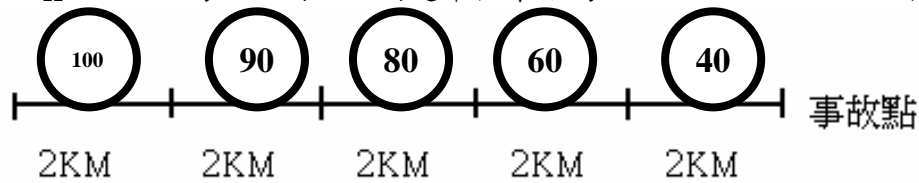


2. S₂: 等區間不等速率遞減控制策略

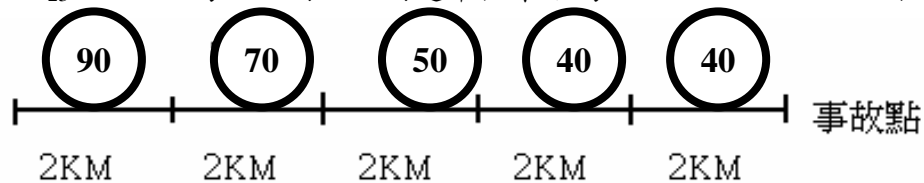
S₂₁: 2 公里為一區間，區間速率控策略為 100.80.60.40.40 公里/小時



S₂₂: 2 公里為一區間，區間速率控策略為 100.90.80.60.40 公里/小時

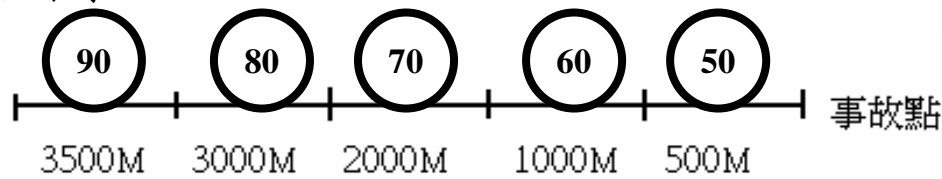


S₂₃: 2 公里為一區間，區間速率控策略為 90.70.50.40.40 公里/小時

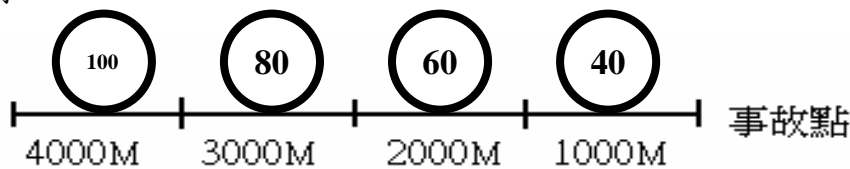


3. S₃: 不等區間等速率遞減控制策略

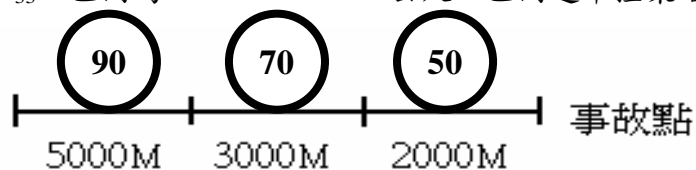
S₃₁: 區間為 3500.3000.2000.1000.500 公尺，區間速率控策略為 90.80.70.60.50 公里/小時



S₃₂: 區間為 4000.3000.2000.1000 公尺，區間速率控策略為 100.80.60.40 公里/小時

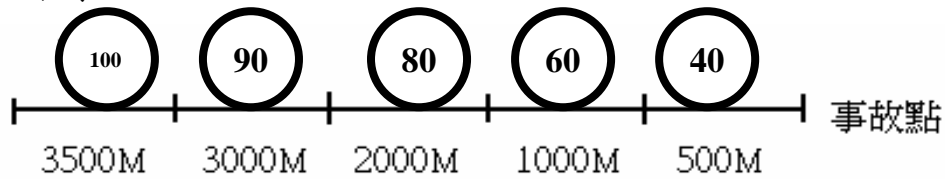


S₃₃: 區間為 5000.3000.2000 公尺，區間速率控策略為 90.70.50 公里/小時

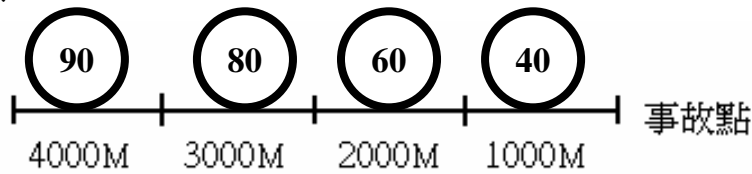


4. S₄：不等區間不等速率遞減控制策略

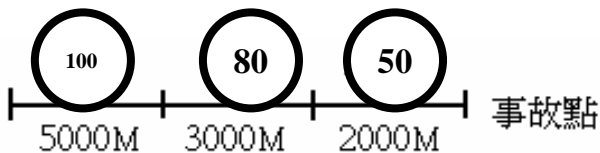
S₄₁：區間為 3500.3000.2000.1000.500 公尺，區間速率控策略為 100.90.80.60.40 公里/小時



S₄₂：區間為 4000.3000.2000.1000 公尺，區間速率控策略為 90.80.60.40 公里/小時



S₄₃：區間為 5000.3000.2000 公尺，區間速率控策略為 100.80.50 公里/小時



伍、績效評估及最佳控制策略

5.1 情境模擬

本研究先分別模擬各車道正常情境下之車流資料，後加入肇事因素並觀察事故發生在高速公路各線道後之速度與流量資料，由比較之資料可知該路段速度與流量變化之程度，用以後續速率控制策略實施後之績效評估。本研究考量研究目的及路段特性，乃選取國道 1 號南下 167K+200（三車道路段）為模擬地點，經由模擬後設定模擬路段為 10 公里，模擬時間為 2 小時，將研究路段分進行分區速率控制。

經由 VD 所得之路段車流資料，將模擬時間訂為假日時段(週六、日)，並將模擬時段再細分為尖、離峰時段兩種，並以事故嚴重性來模擬事故佔用單一車道與雙車道兩種情境，藉此模擬出不同時段不同事故嚴重性之車流資料，模擬事故在 35 分鐘時發生，並加入事故持續時間 30、45、60 分鐘三項因素，加以分析並提出適當之動態速率控制策略。

5.2 事故佔用一車道情境

在事故僅佔用一車道及其持續時間分別為 30、45 及 60 分鐘之情境下，表三及表四分別為尖峰及離峰時段，各速率控制策略之績效。由表三知，尖峰時段下，最佳主線速率控制策略在事故持續時間為 30、45 及 60 分鐘情境下，均以策略 S₃₂ 為最佳，分別可使每輛車平均減少 1.41、1.58 及 1.73 分鐘之旅行時間。而且可發現，當事故持續愈長，其績效愈佳（可減少之旅行時間愈長）。其次為策略 S₃₁，可分別使每輛車平均減少 1.29、1.56 及 1.70 分鐘之旅行時間。但策略 S₁₂ 及策略 S₃₃，在事

故持續 60 分鐘時，反而增加旅行時間。顯示實施主線速率控制時，必須妥為設計，方可達到預期效果。

表三 尖峰時段事故佔用單一車道之績效評估

績效指標		子策略	事故持續 30 分鐘 之改善績效	事故持續 45 分鐘 之改善績效	事故持續 60 分鐘 之改善績效
平均旅行時間(分)	S ₁	S ₁₁	+0.54	+1.12	+0.51
		S ₁₂	+0.62	+0.88	-0.15
		S ₁₃	+0.29	+0.95	+0.33
	S ₂	S ₂₁	+0.94	+1.01	+0.07
		S ₂₂	+0.66	+0.78	+1.21
		S ₂₃	+0.81	+0.93	+0.73
	S ₃	S ₃₁	+1.29	+1.56	+1.70
		S ₃₂	+1.41*	+1.58*	+1.73*
		S ₃₃	+0.60	+0.79	-0.13
	S ₄	S ₄₁	+0.25	+0.06	+0.57
		S ₄₂	+0.52	+0.89	+0.62
		S ₄₃	+0.85	+0.79	+0.70

註：*代表最佳控制績效。

由表四知，離峰時段及事故持續時間為 30、45 及 60 分鐘情境下，最佳主線速率控制策略分別為策略 S₂₃、S₁₁、S₂₂，分別可使每輛車平均減少 0.82、1.73 及 1.03 分鐘之旅行時間。而當事故持續時間長達 60 分鐘時，有四項策略 (S₃₁、S₃₂、S₃₃、S₄₁) 反而增加用路人旅行時間。顯示實施主線速率控制時，不同情境下其實施策略也必須動態加以調整因應。

表四 離峰時段事故佔用單一車道之績效評估

績效指標		子策略	事故持續 30 分鐘 之改善績效	事故持續 45 分鐘 之改善績效	事故持續 60 分鐘 之改善績效
平均旅行時間(分)	S ₁	S ₁₁	+0.66	+1.73*	+0.32
		S ₁₂	+0.21	+1.20	+0.56
		S ₁₃	+0.17	+1.31	+0.05
	S ₂	S ₂₁	+0.72	+0.96	+0.52
		S ₂₂	+0.67	+1.32	+1.03*
		S ₂₃	+0.82*	+1.01	+0.38
	S ₃	S ₃₁	+0.15	+0.62	-0.21
		S ₃₂	+0.18	+1.01	-0.05
		S ₃₃	+0.03	+0.84	-0.32
	S ₄	S ₄₁	+0.51	+0.81	-0.21
		S ₄₂	+0.24	+0.74	+0.44
		S ₄₃	+0.12	+1.29	+0.33

註：*代表最佳控制績效。

5.3 事故佔用兩車道情境

在事故佔用兩車道（僅剩一車道可供行駛）及其持續時間分別為 30、45 及 60 分鐘之情境下，表五及表六分別為尖峰及離峰時段，各速率控制策略之績效。由表五知，最佳主線速率控制策略分別為策略S₂₃、S₃₃、S₃₂，分別可使每輛車平均減少 0.77、0.12 及 0.97 分鐘之旅行時間。而當事故持續時間為 45 分鐘時，策略S₃₃是唯一可使用路人旅行時間縮短之策略，其他策略均反而會增加旅行時間。而當事故持續時間長達 60 分鐘時，亦有 7 項策略反而增加用路人旅行時間。顯較事故佔用一車道之情境，其控制績效更不明顯，且策略選擇也必須更加謹慎。

表五 尖峰時段事故佔用雙車道之績效評估

績效指標		子策略	事故持續 30 分鐘 之改善績效	事故持續 45 分鐘 之改善績效	事故持續 60 分鐘 之改善績效
平均旅行時間 (分)	S ₁	S ₁₁	+0.16	-0.28	-0.05
		S ₁₂	+0.24	-0.19	+0.25
		S ₁₃	+0.23	-0.24	-0.12
	S ₂	S ₂₁	+0.52	-0.34	-0.18
		S ₂₂	+0.31	-0.44	+0.24
		S ₂₃	+0.77*	-0.3	-0.42
	S ₃	S ₃₁	+0.24	-0.48	-0.65
		S ₃₂	+0.54	-0.31	+0.97*
		S ₃₃	+0.02	+0.12*	-0.43
	S ₄	S ₄₁	+0.01	-0.24	-0.31
		S ₄₂	+0.31	-0.4	+0.17
		S ₄₃	+0.26	-0.21	+0.25

註：*代表最佳控制績效。

由表四知，離峰時段及事故持續時間為 30、45 及 60 分鐘情境下，最佳主線速率控制策略分別為策略S₁₁、S₃₃、S₂₃，分別可使每輛車平均減少 0.34、1.02 及 0.35 分鐘之旅行時間。而當事故持續時間為 30 分鐘時，有 6 項策略反而會增加旅行時間、持續時間為 45 分鐘時，有 8 項策略反而會增加旅行時間、持續時間長達 60 分鐘時，則有 10 項策略反而增加用路人旅行時間。顯示事故佔用兩車道相對於事故佔用一車道，以及離峰時段相對於尖峰時段，其控制績效更不明顯，且策略選擇也必須更加謹慎。

表六 離峰時段事故佔用雙車道之績效評估

績效指標		子策略	事故持續 30 分鐘 之改善績效	事故持續 45 分鐘 之改善績效	事故持續 60 分鐘 之改善績效
平均旅行時間 (分)	S ₁	S ₁₁	+0.34*	+0.73	-0.86
		S ₁₂	-0.11	-0.46	+0.22
		S ₁₃	+0.01	-0.15	-0.39
	S ₂	S ₂₁	+0.25	+0.43	-0.09
		S ₂₂	-0.12	-0.03	-0.02
		S ₂₃	+0.26	-0.31	+0.35*
	S ₃	S ₃₁	+0.08	-0.42	-0.51
		S ₃₂	-0.07	-0.02	-0.39
		S ₃₃	+0.17	+1.02*	-0.48
	S ₄	S ₄₁	-0.16	-0.27	-0.77
		S ₄₂	-0.07	+0.26	-0.03
		S ₄₃	-0.11	-0.15	-0.21

註：*代表最佳控制績效。

陸、結論與建議

對於事故發生路段實施主線速率控制策略，可避免壅塞狀況往上游擴散，並使得車流之運行較為平穩，該路段之流量與車流平均速度提高，相對的縮短了平均旅行時間。本研究以國道一號南下 167K+200 豐原路段為研究路段，並設計模擬路段長為十公里，模擬時段為假日時段，再加以區分為尖、離峰時段，進行速率控制策略研究模擬。在速限控制策略上，本文以衝擊波理論為基礎，推導延滯最小化下之最佳速限下降幅度及其間距，並以其結果為基礎，研提十二項策略，並利用PARAMICS模式加以模擬驗證。結果顯示在尖峰時段事故佔用單一車道之最佳控制策略為S₃₂（控制區間為 4000.3000.2000.1000 公尺，區間速率控策略為 100.80.60.40 公里/小時），且具有事故持續時間愈長，控制績效愈佳之趨勢。但在其他情境下，則不同持續時間及尖離峰情況，其最佳控制策略均不相同，甚至發生許多策略反而增加用路人旅行時間之情形。顯示實施主線速率控制時，不同情境下其實施策略不僅需妥為設計，實施時亦必須動態加以調整因應。而且事故佔用兩車道相對於事故佔用一車道，以及離峰時段相對於尖峰時段，其控制績效更不明顯，且策略選擇也必須更加謹慎。

本研究提出之等區間與不等區間速率控制策略，雖然對於增進車流量與減少平均旅行時間都有顯著績效，實際上需透過可變資訊標誌與可變速限標誌來傳達前方事故與速限變化資訊，但目前國內可變資訊標誌與可變速限標誌設置數量無法準確符合本研究之理論，故只能以最接近理論之區間距離來傳達駕駛者速率變化訊息。此外，國內目前並無如本研究提出之區間速率控制策略實例，缺乏其他相關之數據資料，故未來如欲實施速率控制策略時，其控制準則應依實際資料加以調整，如此方能達到預期的效果。在控制策略方面，未來可加入污染排放、油耗等因素做為控制策略之目標，以多目標規劃方法找出最佳控制策略。本研究所建議之速率控制策略乃以平直路段為模擬基礎，實際控制時，應依據道路之實際條件做適當的修正。

參考文獻

- 1.李彥明，高速公路速率控制系統研究，中央大學碩士論文，民國 84 年。
- 2.何煖軒，高速公路隧道區段速率控制策略之研究，中華大學博士論文，民國 91 年。
- 3.張瑞玲，高速公路瓶頸路段車流模式之研究，交通大學碩士論文，民國 86 年。
- 4.徐道國，高速公路意外事故車輛延滯時間之研究，交通大學碩士論文，民國 84 年。
- 5.鄭志平，應用衝擊波理論在高速公路封閉部分車道時旅行時間推算之研究，成功大學碩士論文，民國 82 年。
- 6.Wirasinghe S.C., "Determination of traffic delays from shock wave analysis", *Transportation Research*, Vol.12, pp.343-348, 1978.
- 7.Lighthill, M.J. and Whitham, G.B., "On kinematics waves II. A theory of traffic flow on long crowded road", London, *Proceedings Royal Society*, A229, pp.317-345, 1955.
- 8.Allen, T.P., "ITS benefits: 1999 Update", FHWA, 1999.