九十三年道路交通
安全與執法國際研討會
中華民國 93 年 9 月

公路長隧道事故救援策略之多準則決策模型
—以雪山隧道為例

邱裕鈞[1]　張凱羚[2]　黃彥斐[3]　吳佩珊[4]

摘　要

由於公路隧道為一封閉空間，對於交通事故的偵知與救援，明顯較一般開放路段更為困難。尤其我國高快速公路網即將有幾個長隧道完工通車，未來隧道內之事故救援勢必成為公路管理之一項重要的挑戰。許多學者已針對此一課題提出相當多的研究。然這些研究大多係以使救援單位最快到達救援地點為規劃原則，但對這樣的救援方式所需配合的交管人力與設備需求，以及其所可能衍生成本（用路人延滯、改道成本）則較少加以綜合考量。基此，本文建構一公路長隧道事故救援之多準則評估模型，以到達時間、車輛延滯以及交管人力等三個準則最小化之原則進行救援方案評選。而本文依據事故特性、隧道幾何特性及救援單位分佈處所，針對各種事故之發生狀況，分別研擬單車道事故 14 種救援方案及雙車道事故 7 種救援方案，並以簡單加權法進行最佳救援方案之多準則評選。最後，本文假設一雪山隧道單車道事故為例，利用本模型進行最佳救援方案之評選測試。此外，為了解不同狀況變化下，最佳救援方案之評選差異性，本文亦針對交通量、事故處理時間、事故發生地點等三個重要影響狀況，進行各最佳方案間之臨界條件分析。結果顯示在不同狀況下，最佳救援方案確會隨之改變。因此，當事故發生時，決策者面臨必須同時考量多種狀況之複雜性，以及必須即時下達救援命令之急迫性下，一套能立即規劃最佳救援方案之模型確有必要。

關鍵詞：隧道事故救援、多準則評估、臨界條件

壹、前言

由於公路隧道為一封閉空間，對於交通事故的偵知與救援，明顯較一般開放路段更為困難。一旦發生事故時，往往會造成隧道內外連絡困難、救援人車可及性不易及狀況難以掌握等問題。尤其我國高快速公路網即將有幾個長隧道完工通車，未來隧道內之事故救援勢必成為公路管理之一項重要的挑戰。因此，高速公路主管機關已陸續委託數個研究計畫，研提隧道事故之救援方式與標準作業程序。而國內許多學者也針對此一課題提出相當多的研究。例如，陳俊堯針對隧道發生火災事故提出如何防範、救援災害以及緊急時的應變管理，其應變操作之主要目標是以用路人的生命安全為優先考量，管理人員則應提出安全的疏散環境供用路人使用，使可以快速的離開事故現場，而非專注於預期初始滅火行動。藍武

1 逢甲大學交通工程與管理學系助理教授
2 逢甲大學交通工程與管理學系學生
3 逢甲大學交通工程與管理研究所研究生
4 逢甲大學交通工程與管理學系學生

王和楊幼文[5]探討無導坑、有導坑的部分車道受阻，以及全數車道受阻的不同，並說明導坑之使用目的。無論在有無導坑的情形下，只要是部分車道受阻，皆不需使用到導坑以及車行橫坑，必須行經通過疏散的車輛，使用部分未受阻的車道快速疏散。但若遇到災害重大，或波及至一方向隧道之所有車道，以待疏散的車輛來說，導坑則可用來疏散至反向隧道。簡賢文[4]針對北二高的隧道群進行現況調查分析，先有防災救援的演習分析報告，再針對演習後對於真實災害發生時，可能有的優缺點做探討，並對參與人員做訪談，內容包括了事故發生時隧道的對外聯絡、相關單位的通報流程以及避難方向的誘導等。另作者也提出北二高隧道群公路隧道火災救援系統標準作業程序（SOP）草案，對於公路隧道火災救援系統 SOP 的目標、概述、內容、流程解說、互動及分工，皆有詳細的分析。陳發林[2]建議在發生事故時，可以考慮開放部分車行橫坑，以發揮調撥功能，供一般車輛於隧道內避開事故區間，另在雪山隧道火災事故應變及救援標準作業程序之建置中，提及雪山隧道的救援疏散路線分析，但該研究僅模擬三處事故發生地點、內外車道等的救援疏散路線，並未加以考量所需負擔之成本。蔡輝政[6]提出之隧道事故處理架構，係以事故影響延時及事故處理單位為基礎，分別研擬其作業內容；事故影響延時依據事故之發展分成事故偵測與確認、事故反應，救援單位馳援、事故處理及事故恢復等五階段。事故處理單位則依單位功能分成交控、警察、工務、消防及拖救五個處理單位。

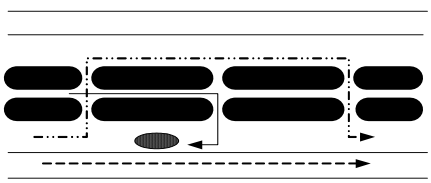
由上述有關隧道救災之相關研究可知，大多著重於規劃最快到達之救援路線以及各救災單位間之標準作業程序，但對救援方式所需配合的交管策略及人力設備需求，以及其所可能衍生成本（用路人延滯、改道成本）則較少加以綜合考量。基此，本研究建構一公路長隧道事故救援之多準則評估模型，旨在依據事故特性（包括：事故所需救援之單位與數量、事故影響範圍、事故預估處理時間）、隧道幾何特性（包括：車道佈設、車行橫坑、人行橫坑以及導坑之佈設方式）及救援單位的分佈處所，針對各種事故之發生狀況研擬並評估最適之救援方案，以作為主管機關進行救援決策之參考。所謂救援方案係包括事故發生後，各救援單位之救援路線，以及隧道內外之車輛疏散路線之組合。每一件交通事故可能因其發生地點及規模，而有不同數量的救援方案可供替選。本模式即針對各個可行的救援方案分別計算其救援疏散時間長短、所需警力資源多寡，以及造成其他用路人之延滯時間長短等三項評估準則，以多準則評估方法（multi-attribute evaluation, MAE）進行方案評選。本模式係為一互動式（interactive）模型，各準則之權重大小，可由決策者於事故發生時再加以設定。至於三項準則之估計，其中，救援疏散時間將依據路線規劃及交通管制結果加以合理估算。所需警力則視救援及疏散路線所需之交管措施，加以估計。至於用路人延滯及改道成本則視當時之雙向交通量狀況及疏散路線規劃，利用流體近似法（fluid approximation）加以推估（Newell[7]）。最後，本研究將以北宜高速公路長達 12.9 公里的雪山隧道為應用實例，利用隨機產生事故發生地點與規模，再利用救援方案產生模組產生可行的救援方案，並分別計算三項準則值，再由決策者所下達的權重指令，據以評選出最佳的救援方案，以供救援參考。本文章節安排如下：第二節探討救援方案評估準則，第三節探討救援及疏散路線之產生方式，第四節為雪山隧道之實例應用，第五節為結論與建議。

貳、救援與疏散路線之產生

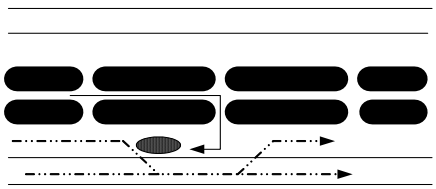
本文定義所謂救援方案為救援路線與疏散路線之組合。因此，發生事故時，決策者將面臨數個救援方案待選擇，本文即提出一個多準則評估模型據以評選這些救援方案。至於救援方案之數量與特性會隨著事故之規模而異，在雙向各配置雙車道之隧道前提假設下，本文將隧道任一地點可能發生的事故，分為單車道事故（事故發生後，僅佔用一車道）及雙車道事故事故（事故發生後，佔用雙車道），分別加以探討。依據順逆向救援、是否使用導坑救援或疏散、是否利用車行橫坑救援或疏散等因素，規劃單車道事故 14 個救援方案（如圖 1，依序編號為 A1~A14），雙車道事故 7 個救援方案（如圖 2，依序編號為 B1~B7）。

由圖 1 知，A1～A7 方案係利用車行橫坑進行疏散，A8～A14 則僅利用剩餘的一車道進行疏散，A1～A 分別與 A8～A14 對應有相同之救援路線，例如，A1 及 A8 均採用救援路線一。其中，A1、A8、A5、A12 等救援方案利用導坑進行順向救援、A2、A9、A7、A14 等救援方案利用導坑進行逆向救援、A3、A10、A6、A13 等救援方案則採取逆向救援、A4 及 A11 採順向救援。不同的方案會有不同的救援績效表現，而此一績效表現也會隨著事故地點、雙向交通量、事故處理時間，以及各準則權重等之不同而異。而決策者即需依據事故當時狀況，再從此 14 個救援方案選擇最佳方案據以執行。

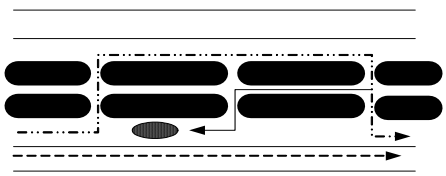
由圖 2 知，雙車道事故之救援方案計有 6 個。其中，B1 及 B4 係利用導坑進行順向救援、B2 及 B5 係利用導坑進行逆向救援、B3 及 B6 則是逆向穿越橫坑進行救援。至於 B7 則是當事故下游交通量清道完成後，救援車輛直接逆向救援。由於救援車輛是逆向長途行駛，故不適合安排車輛疏散，否則會發生對撞危險。



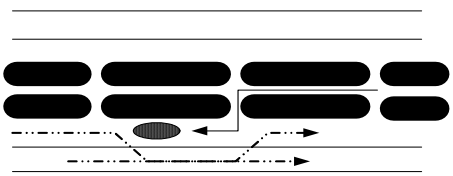
(A1)救援路線一及利用橫坑疏散



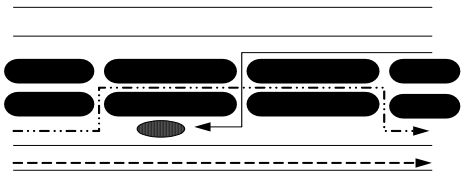
(A8)救援路線一及未利用橫坑疏散



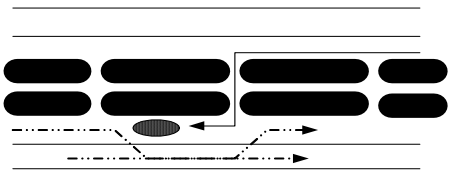
(A2)救援路線二及利用橫坑疏散



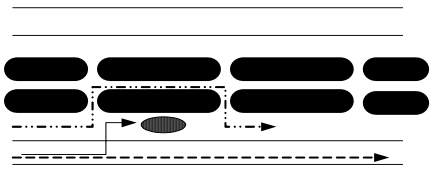
(A9)救援路線二及未利用橫坑疏散



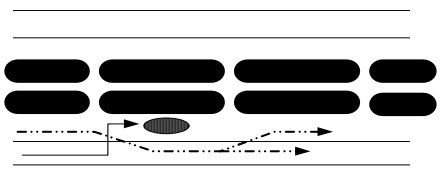
(A3)救援路線三及利用橫坑疏散



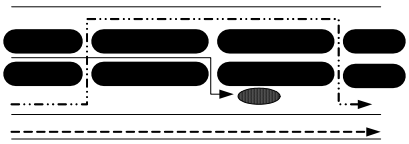
(A10)救援路線三及未利用橫坑疏散



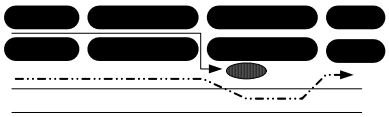
(A4)救援路線四及利用橫坑疏散



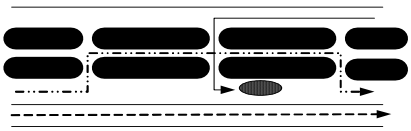
(A11)救援路線四及未利用橫坑疏散



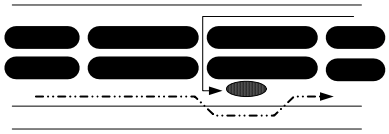
(A5)救援路線五及利用橫坑疏散



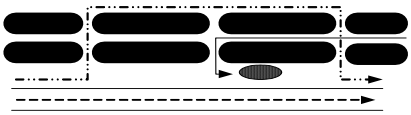
(A12)救援路線五及未利用橫坑疏散



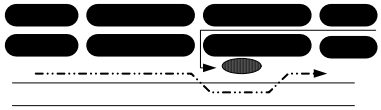
(A6)救援路線六及利用橫坑疏散



(A13)救援路線六及未利用橫坑疏散



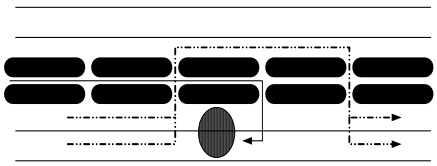
(A7)救援路線七及利用橫坑疏散



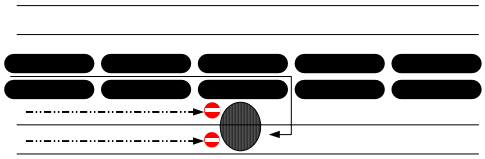
(A14)救援路線七及未利用橫坑疏散

註：實線為救援路線、虛線為疏散路線

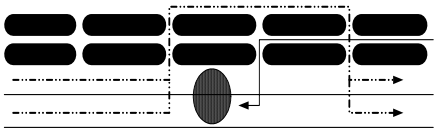
圖 1　單車道事故救援方案



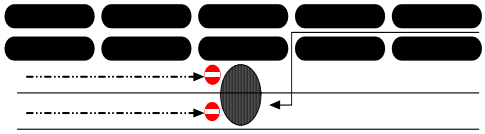
(B1)救援路線一及利用橫坑疏散



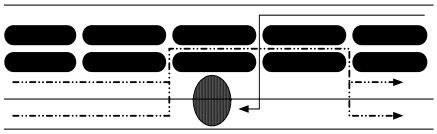
(B4)救援路線一及未利用橫坑疏散



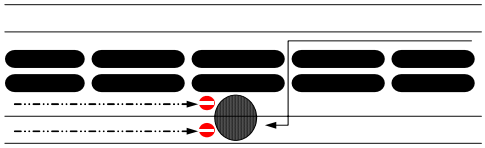
(B2)救援路線二及利用橫坑疏散



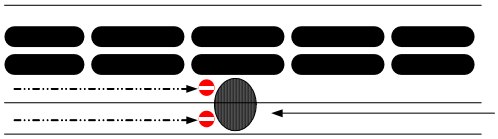
(B5)救援路線二及未利用橫坑疏散



(B3)救援路線三及利用橫坑疏散



(B6)救援路線三及未利用橫坑疏散



(B7)救援路線四及未利用橫坑疏散

註：實線為救援路線、虛線為疏散路線

圖 2　雙車道事故救援方案

參、救援方案之評估準則

進行事故救援救援車輛能否儘速到達現場，當然是救援方案優劣之最重要指標。但救援路線或疏散路線之安排，基於安全起見，也必須進行交通管制，而對其他車輛造成延滯，因此亦有必要列為救援方案之準則之一。另外，進行交通管制時，也需要相當之警力配合，此亦為救援方案必須考量之準則之一。基此，本文 用於評估救援方案優劣之準則有三，即到達時間愈短愈好、車輛延滯愈少愈好、交管人力愈少愈好。各準則之估算方式說明如下：

3.1 到達時間

到達時間的計算需先確定隧道附近的救難單位位置，同時依照道路相關規定之速限，與距離隧道之距離求的到達隧道口之距離。再依據發生地點與行駛路線之距離與速限的不同，求得其由隧道口到達救援點的時間。將救難單位到達隧道口的時間加上隧道口到達救援點的時間，即為救援時間。公式如下：

$$T=T_a+T_b \tag{1}$$

T：救援時間

T_a：救難所在地到隧道口之時間

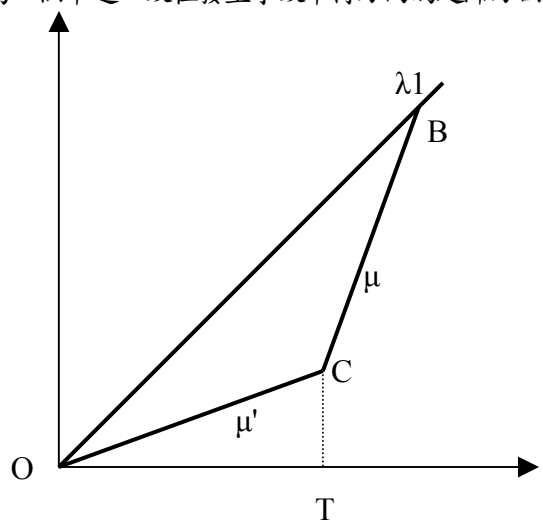
T_b：隧道口到達救援點的時間

3.2 車輛延滯

車輛延滯之估算分為利用橫坑實施疏散與不利用橫坑實施疏散兩類加以探討：

1.利用橫坑實施疏散

疏散的情形下，雖然發生事故，但是上游被影響車輛人可以透過其他道路（橫坑、導坑與併入其他車道）通過事故點到達下游。由於本研究對象的雪山隧道其及導坑寬為4.8 公尺因此可視為一個車道，故在發生事故車行方向的延滯方面可由下列方式求得：



註：T：事故處理時間、λ：到達率、μ'：受影響道路容量、μ：道路容量

圖 3　單車道事故之車輛延滯估計示意圖

而總延滯（TD）就是 ΔOBC 所為成的面積，故：

$$TD=\frac{T^2(\lambda_1-\mu')(\mu-\mu')}{2(\mu-\lambda_1)} \tag{2}$$

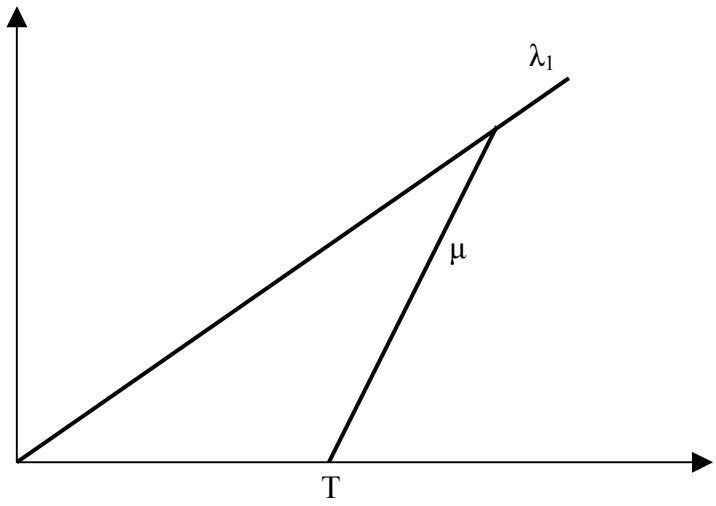
若利用車行橫坑將事故方向車流引導至對向，行駛過事故地點後，再由下一個車行橫坑行駛回原方向車道。因此，也會對向車道也會因車道之調撥而致容量降低，而造成延滯之發生，其計算方式如下：

$$TD = \frac{T^2(\lambda_2 - \mu')(\mu - \mu')}{2(\mu - \lambda_2)} \tag{3}$$

其中，λ_2：對向到達率，μ’：受影響道路容量（μ’=0.5*μ），μ：道路容量。

2.不利用橫坑實施疏散

若不利用橫坑實施疏散，則若發生事故為單車道事故時，則其延滯之估計方式與計算公式如圖 3 及式(2)。但若事故為雙車道事故時，則其延滯之計算方式及公式如下：



註：T：事故處理時間、λ：到達率、μ：道路容量

圖 4　雙車道事故之車輛延滯估計示意圖

總延滯為：$$TD = \frac{\lambda_1 \mu T^2}{2(\mu - \lambda_1)} \tag{4}$$

3.3 交管人力

各救援方案所規劃之救援路線及疏散路線，有時需要交通警察配合執行交通管制、疏散引導，以及區域警戒等任務。因此當救援及疏散路線的距離愈長、愈複雜時，其所需要的交管人力亦愈多，一般為 3 人到 24 人不等。此一準則不包括事故處理之肇事蒐證警力及其他救護人力，因為這些人力與事故規模有關，與救援與疏散路線無關，不會影響救援方案之評選。

肆、救援及疏散多準則評估模型-以雪山隧道為例

4.1 案例分析

由於救援方案之績效係以到達時間、車輛延滯以及交管人力等三項準則加以評估，因此本文乃利用多準則評估方法進行方案評選。多準則之評估方法甚多，本文係採用簡單加權法（weighting method）來進行此三項準則之加權評估，在權重的設定上，本文先以 0.5、0.3、0.2 加以設定。即到達時間之重要性大於車輛延滯，又大於交管人力。

北宜高速公路的雪山隧道設有二十八座的人行橫坑（每隔 350 公尺設置），連接東、西行隧道，提供人員緊急逃生之用，並可通達導坑。另有八座的車行橫坑（每隔 1400 公尺設置），連接東、西行隧道，提供緊急時車流疏散及維修救助之用，並可供人員通達導坑。隧道中間佈設寬 48 公尺的導坑，供緊急車輛及工程車輛通行。以下即針對一假設案例加以分析。假設該事故為單車道事故，發生地點在北宜高速公路東向 32k 處，當時之車輛到達率為 13.7pcu/分鐘（822pcu/小時）。對向車輛到達率為 13pcu/分鐘（780pcu/小時）。事故預估處理及佔用車道時間為 30 分鐘。可計算各方案之準則值如表一所示。

由表知，A4 救援方案（順向救援及利用橫坑疏散）為最佳方案，其綜合得點值為 0.11，其次為 A12 救援方案（順向導坑救援但不利用橫坑疏散），其綜合得點值為 0.17。最差者為 A2 救援方案（逆向導坑救援及利用橫坑疏散），其綜合得點值為 0.92。

表一　案例之救援方案評估結果

救援方案	原始數值			標準化數值			綜合得點
	到達時間（分鐘）	車輛延滯（車-分）	交管人力（人）	到達時間	車輛延滯	交管人力	
A1	10.39	6193.84	24	0.46	0.54	1.00	0.59
A2	15.60	7707.39	24	0.99	0.73	1.00	0.92#
A3	15.65	3109.53	15	1.00	0.14	0.50	0.64
A4	6.71	2102.64	12	0.08	0.01	0.33	0.11*
A5	5.91	2021.87	24	0.00	0.00	1.00	0.20
A6	13.63	2864.36	15	0.79	0.11	0.50	0.53
A7	13.59	7103.81	24	0.79	0.65	1.00	0.79
A8	10.39	7856.21	6	0.46	0.75	0.00	0.46
A9	15.60	9775.99	6	0.99	1.00	0.00	0.80
A10	15.62	9796.83	6	1.00	1.00	0.00	0.80
A11	7.13	6624.56	6	0.13	0.59	0.00	0.24
A12	5.91	6370.07	6	0.00	0.56	0.00	0.17**
A13	13.63	9024.42	6	0.79	0.90	0.00	0.67
A14	13.59	9010.41	6	0.79	0.90	0.00	0.66

註：*代表最佳救援方案，**代表次佳救援方案，#代表最差救援方案

為了解交通量變化對評選最佳救援方案之影響，本文假設上述之同一事故，僅事故方向之交通量降低為 6.66pcu/分鐘（400pcu/小時），結果如表二所示。由表知，交通量變化後之最佳救援方案變成 A12（順向導坑救援但未利用橫坑疏散），其綜合得點值為 0.07；次佳救援方案為 A4（順向救援及利用橫坑疏散），其綜合得點值為 0.11。最差之救援方案則為 A7（逆向導坑救援及利用橫坑疏散），其綜合得點為 1.00。由此可知，事故當時交通量變化確會影響最佳救援方案之選擇。

表二　案例交通量變化後之救援方案評估結果

救援方案	原始數值			標準化數值			綜合得點
	到達時間（分鐘）	車輛延滯（車-分）	交管人力（人）	到達時間	車輛延滯	交管人力	
A1	9.12	8103.92	24	0.22	0.75	1.00	0.53
A2	14.35	10155.29	24	0.89	0.97	1.00	0.94
A3	14.20	1390.06	15	0.87	0.03	0.50	0.55
A4	8.17	1068.18	12	0.09	0.00	0.33	0.11**
A5	7.44	7494.04	24	0.00	0.68	1.00	0.41
A6	15.17	1445.78	15	1.00	0.04	0.50	0.61
A7	15.11	10472.62	24	0.99	1.00	1.00	1.00#
A8	9.12	3370.12	6	0.22	0.24	0.00	0.18
A9	14.35	4223.20	6	0.89	0.34	0.00	0.55
A10	14.20	4197.40	6	0.87	0.33	0.00	0.54
A11	8.67	3301.21	6	0.16	0.24	0.00	0.15
A12	7.44	3116.49	6	0.00	0.22	0.00	0.07*
A13	15.17	4365.67	6	1.00	0.35	0.00	0.61
A14	15.11	4355.17	6	0.99	0.35	0.00	0.60

註：*代表最佳救援方案，**代表次佳救援方案，#代表最差救援方案

4.2 臨界條件分析

依本文之評估模型最佳救援方案會依交通量、事故處理時間、事故地點等狀況之不同而異。本節之目的旨在分別針對探討單車道事故及雙車道事故，分析各方案在各條件下之優劣變化之臨界條件。分析結果分別說明如下：

1.交通量變化

變化交通量由每車道 3.33pcu/分鐘，增加為 5.33、5.66、10.99、11.32 及 25.97pcu/分鐘，分別探討各救援方案之優劣，結果如圖 5 及圖 6 所示。

(1)單車道事故

由圖 5 知，此六種交通量條件下，單車道事故係以救援方案 A5 及 A12 最佳。至於此兩方案之優劣差異，則在交通量為 5.66pcu/分鐘時，亦即若交通量低於 5.66pcu/分鐘時，應採取救援方案 A12，即無需進行疏散，但高於 5.66pcu/分鐘時，則需改採救援方案 A5，即有必要進行疏散。

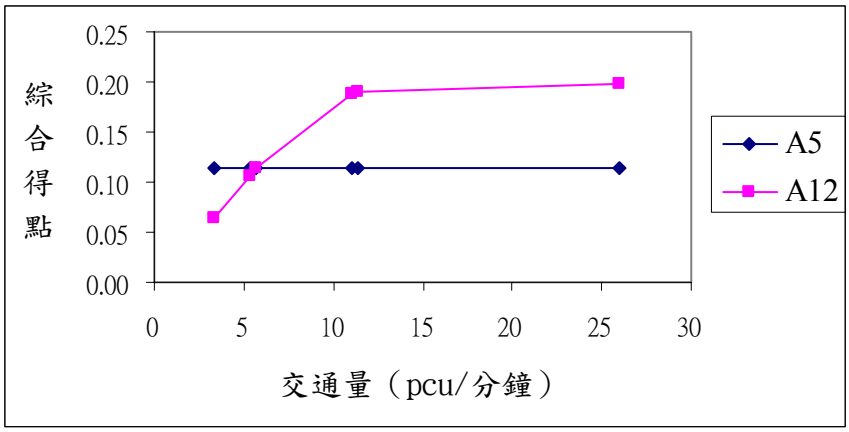


圖 5　單車道事故於不同交通量下之優劣臨界條件分析

(2)雙車道事故

由圖 6 知，此六種交通量條件下，雙車道事故係以救援方案 B1 及 B5 最佳。至於此兩方案之優劣差異，則大約在交通量為 22pcu/分鐘時。即若交通量低於 22pcu/分鐘時，應採取救援方案 B5，即無需進行疏散，但高於 22pcu/分鐘時，則需改採救援方案 B1，即有必要進行疏散。

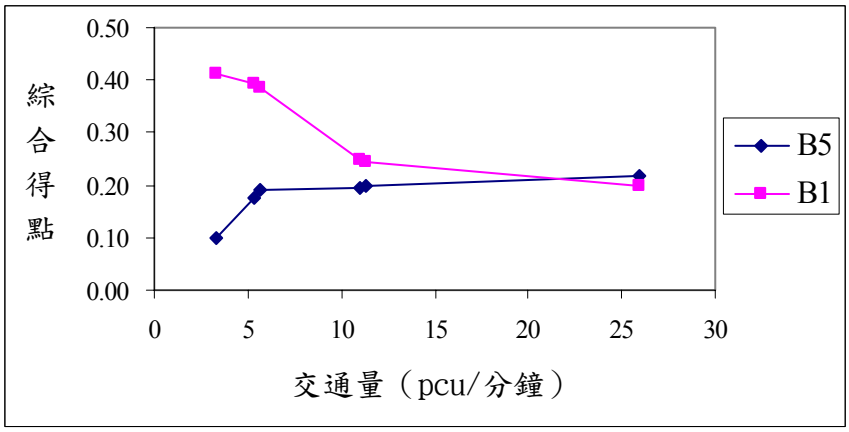


圖 6　雙車道事故於不同交通量下之優劣臨界條件分析

2.事故處理時間

變化事故處理時間由 30、60 分鐘的小型事故，120、180 分鐘的中型事故，到 210、240 分鐘的大型事故等六種條件，分別探討各救援方案之優劣，結果分別如圖 7 及圖 8 所示。

(1)單車道事故

由圖 7 知，此六種事故處理時間條件下，單車道事故無論事故處理時間如何變化均以救援方案 A4 為最佳。此乃因為 A4 係利用橫坑進行疏散，因此，即便事故處理時間很長，車流也能獲得疏解。

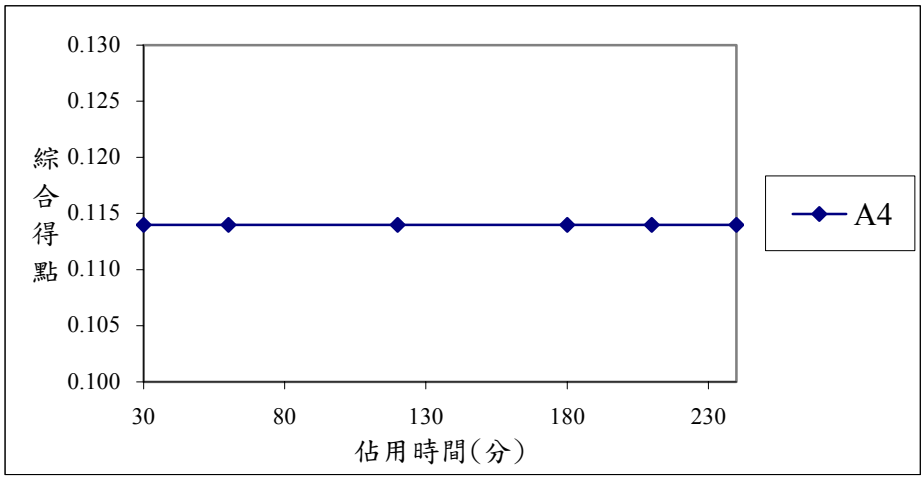


圖 7　單車道事故於不同事故處理時間下之優劣臨界條件分析

(2)雙車道事故

由圖 8 知，此六種事故處理時間條件下，雙車道事故係以救援方案 B1 及 B4 最佳。至於此兩方案之優劣差異，大約在事故處理時間為 121.67 分鐘時。即若事故處理時間低於 121.67 分鐘時，應採取救援方案 B4，即無需進行疏散，但高於 121.67 分鐘時，則需改採救援方案 B1，即有必要進行疏散。

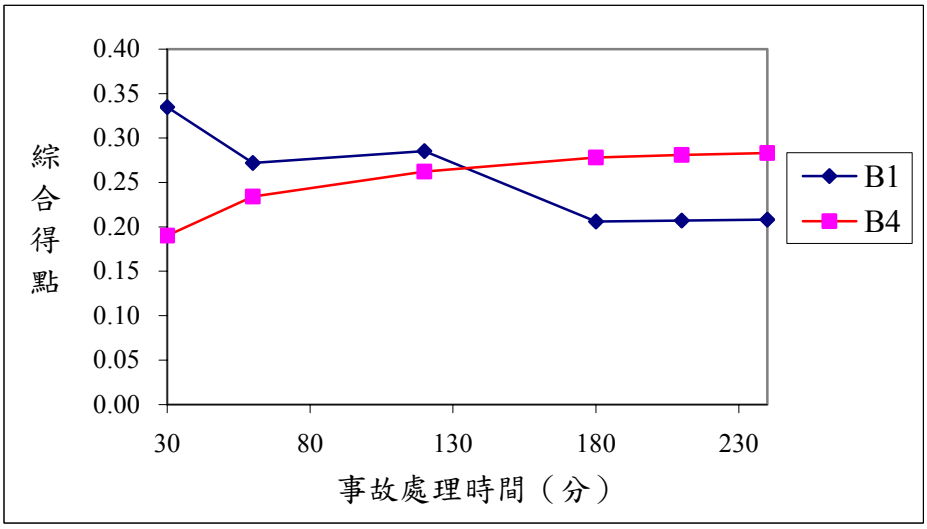


圖 8　雙車道事故於不同事故處理時間下之優劣臨界條件分析

3.事故發生地點

事故的發生地點對救難單位的派遣有密切關係，當事故發生接近隧道東口時，可能由頭城救難隊派遣前往較佳；當事故發生地點接近於西口時，則可能以坪林救難單位派遣為佳。因此，以下分別針對不同事故發生地點進行最佳救援方案評選，結果如圖 9 及圖 10 所示。

(1)單車道事故

由圖 9 知，在不同事故發生地點下，單車道事故係以救援方案 A3、A4、A5 為最優。至於此三方案之優劣差異，則大約在事故發生地點為 35k+57 與 37k+32 等兩處。即若事故發生地點在 35k+57 以前，應採取救援方案 A4，若事故發生地

點在 35k+57 與 37k+32 間時，應採取救援方案 A5，但若事故發生地點在 32k+32 之後，則需改採救援方案 A3。此三方案均不需利用橫坑進行疏散。

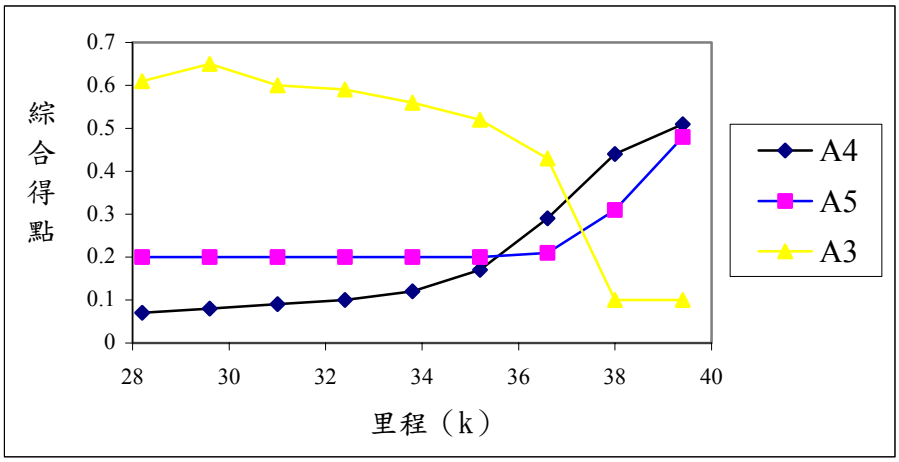


圖 9　單車道事故於不同事故發生地點下之優劣臨界條件分析

(2)雙車道事故

由圖 10 知，在不同事故發生地點下，雙車道事故係以救援方案 B4 及 B3 最佳。至於此兩方案之優劣差異，則大約在事故發生地點為 37k+04 處。即若事故發生地點在 37k+04 以前，應採取救援方案 B4，即無需進行疏散，但若事故發生地點在 37k+04 以後，則需改採救援方案 B3，即有必要進行疏散。

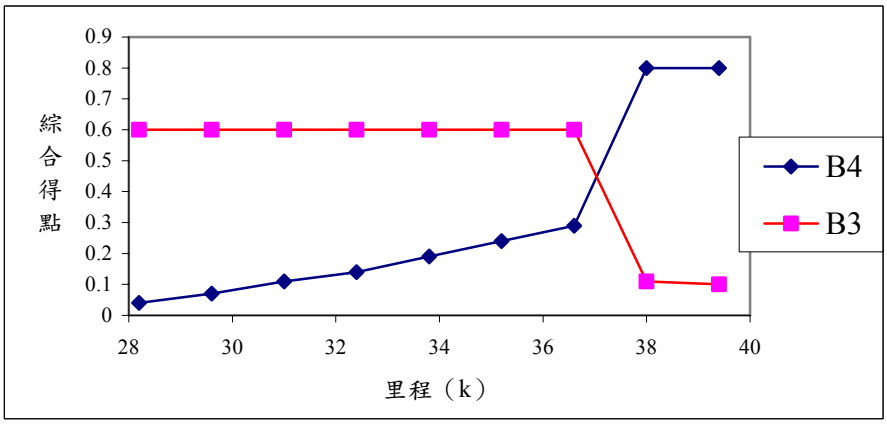


圖 10　雙車道事故於不同事故發生地點下之優劣臨界條件分析

伍、結論與建議

本文建構一公路長隧道事故救援之多準則評估模型，以到達時間、車輛延滯以及交管人力等三個準則最小化之原則進行救援方案評選。而依據事故特性、隧道幾何特性及救援單位的分佈處所，針對各種事故之發生狀況分別研擬單車道事故 14 種救援方案（救援路線及疏散路線之組合，編號為 A1~A14）及雙車道事故 7 種救援方案（編號為 B1~B7），並以簡單加權法進行最佳救援方案之多準則評選。以一單車道事故為例，其發生地點在北宜高速公路東向 32k 處，該向車輛到達率為 13.7pcu/分鐘（822pcu/小時）。對向車輛到達率為 13pcu/分鐘（780pcu/小時）。事故預估處理及佔用車道時間為 30 分鐘。可則經本系統評估結果顯示，以 A4 救

援方案為最佳方案，即以順向進行救援並利用橫坑進行疏散。但如果降低交通量為為 6.66pcu/分鐘（400pcu/小時）時，則以救援方案 A12 最佳，即利用順向導坑進行救援但不利用橫坑進行疏散。顯示在不同交通量條件下，最佳救援方案確會隨之改變。因此，當事故發生時，決策者面臨必須同時考量多種狀況之複雜性，以及必須即時下達救援命令之急迫性下，一套能立即規劃最佳救援方案之模型確有必要。

此外，為了解不同狀況變化下，最佳救援方案之評選結果，本文亦以上述事故為例針對交通量、事故處理時間、事故發生地點等三個重要影響狀況，分析各最佳方案間之臨界條件。結果顯示，在交通量方面，單車道事故以交通量 5.66pcu/分鐘為臨界條件，交通量低於 5.66pcu/分鐘時，應採取救援方案 A12，高於 5.66pcu/分鐘時，則需改採救援方案 A5。雙車道事故則以交通量 22pcu/分鐘為臨界條件，交通量低於 22pcu/分鐘時，應採取救援方案 B5，但高於 22pcu/分鐘時，則需改採救援方案 B1。在事故處理時間方面，單車道事故無論事故處理時間如何變化均以救援方案 A4 為最佳。雙車道事故則以事故處理時間 121.67 分鐘為臨界條件，即事故處理時間低於 121.67 分鐘時，應採取救援方案 B4，高於 121.67 分鐘時，則需改採救援方案 B1。在事故發生地點方面，單車道事故以事故發生地點 35k+57 與 37k+32 等兩處為臨界條件，即若事故發生地點在 35k+57 以前，應採取救援方案 A4，若事故發生地點在 35k+57 與 37k+32 間時，應採取救援方案 A5，但若事故發生地點在 32k+32 之後，則需改採救援方案 A3。雙車道事故則以事故發生地點 37k+04 處為臨界條件，即事故發生地點在 37k+04 以前，應採取救援方案 B4，若事故發生地點在 37k+04 後，則需改採救援方案 B3。

本研究在估算到達時間準則時，未依不同救援單位、車流關係以及導坑限制進行精確估算，而在估計交管人力需求時，也僅依救援及疏散路線之長度與複雜度進行概估，建議後續研究可針對此兩項準則提出更精確之估計方法。例如，在交管人力方面，即可參考曾平毅和楊明畢[3]研究。另外，在多準則評估方面，本文僅採用簡單加權法，權重係主觀設定，未來亦嘗試更適用之方法並透過問卷調查合理權重。最後，可考慮將本模型為核心，構建一套隧道救援決策支援系統，利用電腦科技及方便使用介面，達到輔助救援之目標。

參考文獻

1.陳俊堯，隧道火災事故的防災與緊急應變管理，台灣公路工程，第三十卷第六期，頁 19-29，民國 92 年。

2.陳發林，北宜高速公路雪山隧道災害應變及救援標準作業程序建制，國道新建工程局委託研究計畫，民國 91 年。

3.曾平毅、楊明畢，交通事故處理時間特性及警力數推估之研究，運輸學刊，第十四卷第二期，頁 63-88，民國 91 年。

4.簡賢文，公路隧道防災及救援之探討，國道新建工程局委託研究計畫，民國 88 年。

5.藍武王、楊幼文，高速公路長隧道路段車輛偵測器與迴車道設置間距之研究，中國土木水利工程學刊，第四卷第四期，頁 259-268，民國 80 年。

6.蔡揮政，高速公路隧道事故標準作業程序之研究，交通大學交通運輸研究所，碩士論文，民國 84 年。

7.G.F. Newell, Applications of Queueing Theory, Chapman and Hall, 1982.