

逢甲大學
交通工程與管理學系碩士班
碩士論文



公路長隧道事故救援策略之多準則決策模型

A Multi-Attribute Evaluation Model of Rescue
and Evacuation Routes for the Accident in
Highway Long Tunnel

指導教授：邱裕鈞

研究生：黃彥斐

中華民國九十四年七月

誌 謝

在兩年的研究所生活中，首先要感謝我的父母及家人，尤其母親噓寒問暖，照顧入微，更是恩情浩蕩，筆墨難容；摯友綦儀三年來真心誠意地相待，使求學的黃金歲月更加美好充實。

恩師 邱裕鈞在本論文之指導上給予相當之自主空間，並於遭遇瓶頸及方向錯誤時，均能適時予以解惑，而論文研究過程中亦不斷予以支持鼓勵，師恩浩蕩，永誌銘心。論文計畫書及進度審查期間，承蒙胡大瀛老師、劉霈老師不吝賜教，提供許多寶貴的意見及建議；交大馮正民老師、成大魏健宏老師與論文口試時之悉心指正，使得本論文得以更加充實及完備，在此均由衷的表示謝意。

研究所各位教授無論在專業知識上之浸淫或待人處事上之應對，均足為學生榜樣。而教授們平易近人及悔人不倦之個性，更使問題之求教能於輕鬆愉快之氣氛中進行。然正由於教授們均傾囊相授，毫無隱藏，惟學生不才，未能學得萬一，故除深致謝忱外，亦有幾分遺憾。

感謝同窗好友曜彰、宇軒與雲慶，經常在重要時刻能夠一起幫忙，一起熬夜，與你們身為同一 Lab 成員真的很幸福；還有小龜、冠樺、炯男以及壘球隊所有隊友們能夠陪我唱歌、小酌、打球舒解壓力，以及其它親愛的同學們，不論任何難題我們都一同度過，不論任何歡樂我們也一起度過，我會好好珍惜這段緣份的。

需要感謝的人太多了，在此雖然無法一一列出，但我仍衷心的感謝我的每一位朋友，因為有你們的存在才會有現在的我，感謝你們所賜與我的。在此，僅將我的論文獻給你們，與你們一起分享。

謹誌

2005 年 仲夏

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。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。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策略及人力設備需求與各救援策略之危險度，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，本研究同時考慮四項準則包含：救援到達時間、救援危險程度、車輛延滯以及所需交管人力為準則，以建構一公路長隧道事故救援之多準則評估模型。並依據事故特性（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單車道事故包含內側及外側（僅一車道受阻另一車道仍可行駛）30種救援方案與雙車道事故（兩車道均受阻）13種救援方案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。至於四項準則之估計，其中，救援到達時間將依事故當時交通狀況加以合理估算。而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。至於所需交管警力與救援方案危險程度部分則利用訪談隧道救援主管單位的方式加以評分。各準則之權重分析，則利用分析階層程序法（AHP）加以估算。

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，為了解不同狀況變化下，最佳救援方案之評選差異性，本文針對交通量、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。此外，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，本文亦建構一套救援決策支援系統（DSS），以提供決策者最佳救援與疏散路線之建議。

關鍵詞：隧道事故救援、多準則決策、流體近似法、分析階層程序法



Abstract

Because the highway long-tunnel is in a closed space, it is more difficult to detect and rescue an accident instantly. Once an accident occurs, the problems of mutual communications between inside and outside tunnel, rescuing accessibility of accident site, and uncontrollable situations might be happened. Especially, these problems are becoming even more important and challenging; since there are several long-tunnels in Taiwan are going to be open to traffic. Therefore, numerous studies regarding tunnel rescue, including installation of rescue equipments, planning of rescue route and establishment of standard operation process, have been conducted. However, most of these studies only focus on minimizing the rescue time. They do not take all rescue costs, such as danger of rescuer, delay of other vehicles, police manpower required, into account.

Basing on that, this study develops a multi-attribute evaluation model to select the rescue and evacuation routes for the highway long-tunnel accidents with simultaneous consideration of four criteria: arrival time, dangerous degree of rescuers, vehicle delay and required police manpower for traffic control. According to the characteristics of accidents, geometric conditions of long tunnels and the locations of rescuers, this paper proposes 30 rescue alternatives for one-lane accident (i.e. only one lane is blocked due to this accident) including outside and inside lanes, and 13 rescue alternatives for two-lane accident (i.e. two lanes are all blocked). These four criteria are computed as follows: The arrival time is estimated by considering the traffic conditions at that time. The vehicle delay is estimated by using fluid approximation method. The dangerous degree of rescuers and required police manpower are estimated by interviewing with the tunnel rescue authorities. The weights of these criteria are determined by employing analytical hierarchical process

(AHP) method.

A case study on Shieu-Shan tunnel is conducted. For investigating the changes in selection of the best alternative under different conditions, the critical conditions of traffic flow-rate, accident processing time and accident location are also analyzed. Thereafter, with the need of instant response to the tunnel accident, this study also develops a decision support system (DSS) to provide the decision maker a suggestion of optimal rescue and evacuation route under concurrent conditions.

Keywords: Long-tunnel accident, multi-attribute evaluation, fluid approximation, analytical hierarchical process



目錄

| | |
|-------------------------|-----|
| 誌謝 | I |
| 中文摘要 | II |
| 英文摘要 | IV |
| 目錄 | VI |
| 圖目錄 | IX |
| 表目錄 | XII |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1.1 研究背景與動機 | 1 |
| 1.2 研究目的 | 3 |
| 1.4 研究範圍 | 4 |
| 1.3 研究方法與流程 | 4 |
| 第二章 文獻回顧 | 7 |
| 2.1 隧道之救援技術與方法 | 7 |
| 2.2 評估準則之計算方法 | 12 |
| 2.2.1 救援到達時間 | 12 |
| 2.2.2 車輛產生延滯 | 14 |
| 2.2.3 所需交管人力 | 16 |
| 2.3 多準則評估方法之分類與應用 | 19 |
| 第三章 救援方案產生與評估模型建立 | 23 |
| 3.1 救援方案產生 | 23 |
| 3.1.1 背景與圖示說明 | 23 |
| 3.1.2 單車道內側事故救援方案 | 25 |
| 3.1.3 單車道外側事故救援方案 | 33 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 3.1.4 雙車道事故救援方案 | 40 |
| 3.2 評估模式建立 | 47 |
| 3.3 評估最佳方案方法 | 49 |
| 3.3.1 階層分析程序法 | 49 |
| 3.3.2 評選最佳方案之方法-TOPSIS | 53 |
| 3.4 互動式救援決策支援系統 | 56 |
| 第四章 準則衡量與權重調查 | 58 |
| 4.1 方案準則衡量 | 58 |
| 4.1.1 救援到達時間 | 58 |
| 4.1.2 車輛產生延滯 | 61 |
| 4.1.3 救援危險程度 | 77 |
| 4.1.4 所需交管人力 | 79 |
| 4.2 專家問卷權重值分析 | 90 |
| 4.2.1 專家問卷設計與調查 | 90 |
| 4.2.2 專家問卷權重分析 | 92 |
| 4.2.3 專家問卷準則分析 | 96 |
| 4.2.4 小結 | 104 |
| 第五章 實例應用以雪山隧道為例 | 106 |
| 5.1 案例分析 | 106 |
| 5.1.1 單車道事故案例 | 108 |
| 5.1.2 雙車道事故案例 | 111 |
| 5.2 臨界條件分析 | 112 |
| 5.2.1 事故發生地點 | 113 |
| 5.2.2 事故處利時間 | 118 |
| 5.2.3 交通量變化 | 122 |
| 5.3 雪山隧道事故救援決策支援系統 | 127 |
| 5.3.1 系統說明與操作 | 127 |
| 5.3.2 救援決策支援系統案例分析 | 128 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 5.3.3 互動式決策支援系統案例分析 | 131 |
| 第六章 結論與建議 | 135 |
| 6.1 結論 | 135 |
| 6.2 建議 | 136 |
| 參考文獻 | 138 |
| 附錄一 隧道事故救援方案之準則權重問卷 | 142 |
| 附錄二 所需交管人力訪談問卷 | 154 |



圖目錄

| | |
|------------------------------|----|
| 圖 1.1 研究流程圖 .. | 6 |
| 圖 3.1 隧道基本配置圖 | 23 |
| 圖 3.2 救援路線示意圖 | 24 |
| 圖 3.3 疏散路線示意圖 | 24 |
| 圖 3.4 導坑救援路線示意圖 | 25 |
| 圖 3.5 最佳救援方案評選模式 | 48 |
| 圖 3.6 評選系統架構圖 | 49 |
| 圖 3.7 層級結構圖 | 50 |
| 圖 3.8 比較單元說明 | 51 |
| 圖 3.9 成對比較矩陣說 | 51 |
| 圖 3.10 理想解與負理想解示意圖 | 54 |
| 圖 3.11 互動式決策支援系統架構圖 | 57 |
| 圖 4.1 由未受阻車道疏散產生延滯圖 | 62 |
| 圖 4.2 迴轉車輛於反向隧道之延滯時間圖 | 63 |
| 圖 4.3 反向隧道車輛延滯時間圖 | 64 |
| 圖 4.4 最短距離替代路線圖 | 65 |
| 圖 4.5 由未受阻車道疏散產生延滯圖 | 66 |
| 圖 4.6 內側迴轉車輛之延滯時間圖 | 67 |
| 圖 4.7 反向隧道車輛延滯時間圖 | 68 |
| 圖 4.8 外側疏散延滯時間圖 | 69 |
| 圖 4.9 最短距離替代路線圖 | 70 |
| 圖 4.10 未採用疏散疏散車輛時間延滯圖 | 71 |
| 圖 4.11 迴轉車輛於反向隧道之延滯時間圖 | 72 |
| 圖 4.12 反向隧道車輛延滯時間圖 | 73 |
| 圖 4.13 無法即時迴轉疏散之車輛延滯表 | 74 |
| 圖 4.14 最短距離替代路線圖 | 76 |
| 圖 4.15 政府機構權重圖 | 93 |
| 圖 4.16 學者代表權重圖 | 94 |

| | |
|---|-----|
| 圖 4.17 兩群體整合權重圖 | 95 |
| 圖 5.1 單車道內側一般事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析 | 114 |
| 圖 5.2 單車道內側火災事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析 | 114 |
| 圖 5.3 單車道外側一般事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析 | 115 |
| 圖 5.4 單車道外側火災事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析 | 116 |
| 圖 5.5 雙車道一般事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析 | 116 |
| 圖 5.6 雙車道火災事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析 | 117 |
| 圖 5.7 單車道內側一般事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析 | 118 |
| 圖 5.8 單車道內側火災事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析 | 119 |
| 圖 5.9 單車道外側一般事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析 | 120 |
| 圖 5.10 單車道外側火災事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析 | 120 |
| 圖 5.11 雙車道一般事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析 | 121 |
| 圖 5.12 雙車道火災事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析 | 121 |
| 圖 5.13 單車道內側一般事故於不同交通量下之臨界條件分析 | 123 |
| 圖 5.14 單車道內側火災事故於不同交通量下之臨界條件分析 | 123 |
| 圖 5.15 單車道外側一般事故於不同交通量下之臨界條件分析 | 124 |
| 圖 5.16 單車道外側一般事故於不同交通量下之臨界條件分析 | 125 |
| 圖 5.17 雙車道一般事故於不同交通量下之臨界條件分析 | 125 |
| 圖 5.18 雙車道火災事故於不同交通量下之臨界條件分析 | 126 |
| 圖 5.19 系統主畫面 | 127 |
| 圖 5.20 系統簡介 | 127 |
| 圖 5.21 操作步驟說明 | 128 |
| 圖 5.22 模式應用分析介面 | 128 |
| 圖 5.23 案例一救援決策結果析 | 129 |
| 圖 5.24 案例一救援決策建議 | 129 |
| 圖 5.25 案例二救援決策結果圖 | 129 |
| 圖 5.26 案例二救援救援決策建議 | 129 |
| 圖 5.27 案例三救援決策結果 | 130 |
| 圖 5.28 案例三救援決策建議 | 130 |
| 圖 5.29 案例四救援決策結果 | 131 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 圖 5.30 案例四救援決策建議 | 131 |
| 圖 5.31 救援決策支援系統評選結果 | 132 |
| 圖 5.32 系統要求重新輸入權重 | 132 |
| 圖 5.33 修改權重後最佳救援方案 | 133 |
| 圖 5.34 修改權重後救援決策建議 | 133 |
| 圖 5.35 救援決策支援系統評選結果 | 134 |
| 圖 5.36 系統要求重新輸入限制 | 134 |
| 圖 5.37 修改限制後最佳救援方案 | 134 |
| 圖 5.38 修改限制後救援決策建議 | 134 |



表目錄

| | |
|--------------------------------------|----|
| 表 1.1 國內外 1999 年以來重大公路隧道事故統計表 | 2 |
| 表 2.1 無導坑情形下部分車道受阻之救援與疏散路線 | 9 |
| 表 2.2 無導坑情形下全數車道受阻之救援與疏散路線 | 9 |
| 表 2.3 有導坑情形下部分車道受阻之救援與疏散路線 | 10 |
| 表 2.4 有導坑情形下全數車道受阻之救援與疏散路線 | 10 |
| 表 2.5 隧道救援技術與方法相關文獻彙析表 | 11 |
| 表 2.6 評估準則之計算相關文獻彙析表 | 18 |
| 表 2.7 多準則評估法分類 | 19 |
| 表 2.8 多準則評估方法相關文獻彙析表 | 21 |
| 表 3.1 單車道事故救援路線種類與圖示 | 25 |
| 表 3.2 單車道事故疏散路線種類與圖示 | 26 |
| 表 3.3 雙車道事故救援路線種類與圖示 | 40 |
| 表 3.4 雙車道事故疏散路線種類與圖示 | 41 |
| 表 3.5 平均隨機指標 | 53 |
| 表 4.1 各道路類別參數值 | 59 |
| 表 4.2 各救援路線由匝道位置到達隧道口所需時間計算通式立 | 60 |
| 表 4.3 各救援路線由隧道口到達事故地點所需時間計算通式 | 60 |
| 表 4.4 隧道通風方法與濃煙流動方向 | 78 |
| 表 4.5 危險度專家問卷訪談對象 | 78 |
| 表 4.6 決策群體與訪談對象表 | 91 |
| 表 4.7 政府機構評估標的決策群體權重差異表 | 92 |
| 表 4.8 政府機構評估準則決策群體權重差異表 | 92 |
| 表 4.9 學者代表評估標的決策群體權重差異表 | 93 |
| 表 4.10 學者代表評估準則決策群體權重差異表 | 94 |
| 表 4.11 兩群體整合方案評估標的決策群體權重差異表 | 94 |
| 表 4.12 兩群體整合方案評估準則決策群體權重差異表 | 95 |
| 表 4.13 單車道內側一般事故各救援方案危險程度值 | 97 |
| 表 4.14 單車道內側火災事故各救援方案危險程度值 | 98 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 表 4.15 單車道外側一般事故各救援方案危險程度值 | 100 |
| 表 4.16 單車道外側火災事故各救援方案危險程度值 | 101 |
| 表 4.17 雙車道一般事故各救援方案危險程度值 | 102 |
| 表 4.18 雙車道火災事故各救援方案危險程度值 | 104 |
| 表 5.1 各準則計算參數說明表 | 106 |
| 表 5.2 北宜高速公路與雪山隧道基本設施里程 | 107 |
| 表 5.3 單車道事故案例之救援方案評估結果 | 108 |
| 表 5.4 單車道案例事故位置變化後之救援方案評估結果 | 110 |
| 表 5.5 雙車道事故案例之救援方案評估結果 | 111 |
| 表 5.6 雙車道事故案例交通量變化後之救援方案評估結果 | 112 |



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

鑑於台灣地區位居菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的聚合性板塊界上，恰好處於琉球島弧與呂宋島弧的銜接帶，使得全島的地質與地形不但多變而且複雜，全台面積約為 36,176 平方公里，約 74% 屬山地地形，超過三千公尺的山峰，總計有 130 餘座。然而為了建構便捷的公路路網，翻越高山峻嶺的長隧道公路建設的確難以避免，而其興築的規模也朝向長度越長、斷面越大、覆土越深的趨勢發展，預定 94 年底通車之北宜高速公路雪山隧道及漢寶-草屯快速道路的八卦山隧道即是很明顯的例子。

一般而言，公路長隧道因受基地條件及構造之限制，給用路人的感覺有別於一般道路，包括密閉空間的壓迫感、景物相似的迷惑感以及採光受限的昏暗感，所以發生事故的可能性要比一般道路要高的多，同時由於隧道密覆式構造，導致事故後的救援也較一般道路要困難，尤其當長度超出 1000 公尺以上之長大隧道，其緊急的消防、避難輔助設施設置更不可少。其中的避難聯絡通道（包含車行橫坑及人行橫坑）更是隧道中唯一能夠疏散、遠離災害發生點，及進行災害急難救助的途徑。基此，公路長隧道內事故救援方式之研擬與探討，未來勢必成為公路管理之一項重要的挑戰。

由於公路事故的發生是無法避免的，特別當公路長隧道發生交通事故後所引起的火災等二次災害，其黃金救援時間更只有短短六分鐘，所以適當的救援方案能幫助救難單位有效率的抵達事故現場，並盡快處理現場，讓用路人達到應有的道路服務水準。然而，使事故救援單位儘速且安全到達現場固然重要，但救援時所造成之其他車輛延滯、交通管制人力的需求等，也有必要一併

加以考量。尤其，隧道交通事故種類甚多，從故障車、掉落物乃至於連環車禍等，各事故嚴重程度不一，所需考量因素間之相對重要程度，也不盡相同。因此，最適救援方案之規劃必須考量事故當時之所有狀況（如事故位置、事故類型、事故處理時間、雙向交通流量、救援單位位置與救援方案危險度等），並同時兼顧多項目標，方能達到有效救援之目的。

目前國內最長的公路長隧道—雪山隧道即將通車，其長度約有 12.9 km，世界排名第五，也是全東南亞最長的隧道，在近年來國內外長隧道事故不斷發生的情形下（表 1.1），它的安全性自然也份外引起注意。本研究也就是基於這個原因引發研究的動機，而開始進行相關課題的討論—尤其是在研擬一公路長隧道事故之決策支援系統，以期對於日後長隧道發生事故之際，能以最佳救援方法作有效率的排除，以提升用路人的行車品質，同時可提供作為公路主管機關作一參考。

表 1.1 國內外 1999 年以來重大公路隧道事故統計表

| 年度 | 隧道 | 長度(公尺) | 孔 | 原因 | 傷亡 | 損害 | 備註 |
|------------|------------------|--------|---|-------------|--------------|----------------|-------------|
| 1999.05.29 | 奧地利 Tauern 隧道 | 6,401 | 1 | 一貨車四輛轎車碰撞 | 13 死 49 傷 | 16 貨車 24 轎車 | |
| 2000.07.14 | 挪威 Seljestad 隧道 | 1,272 | - | 連結拖車追撞引擎起火 | 6 傷 | 2 貨車 6 轎車 | |
| 2001.05.28 | 義大利 Prapontin 隧道 | 4,409 | 2 | 一貨車機械故障起火 | 19 嗆傷 | - | |
| 2001.06.01 | 台灣北二高大西埔頂隧道 | 555 | 2 | 滿載果糖大型油罐車翻覆 | - | 1 油罐車 1 轎車 | 油罐車翻覆後佔據雙車道 |
| 2001.08.06 | 奧地利 Gleinalm 隧道 | 8,320 | - | 一貨車、一轎車正面對撞 | 5 死 4 傷 | - | |

表 1.1 國內外 1999 年以來重大公路隧道事故統計表（續）

| 年度 | 隧道 | 長度(公尺) | 孔 | 原因 | 傷亡 | 損害 | 備註 |
|------------|---------------------|--------|----|-----------------|------------|----------------|----------------------|
| 2001.10.16 | 台灣高雄過港隧道 | 1,550 | 2 | 兩拖板車追撞後兩混凝土車輛撞及 | 1 傷 | | 事故發生於隧道口因施工採單線雙向交通管制 |
| 2001.10.17 | 丹麥 Guldborg Sund 隧道 | 460 | 1 | 一貨車和數輛轎車 | 5 死 6 傷 | 9 轎車 | |
| 2001.10.24 | 瑞士 St.Gotthard 隧道 | 16,918 | 1 | 兩貨車對撞 | 大於 10 人死亡 | 4 小巴 13 貨車 | 隧道頂部坍塌約三百公尺長 |
| 2002.1.19 | 台灣北二高木柵隧道 | 1,862 | 21 | 一工程車漏油造成後方兩轎車對撞 | 2 傷 | 1 工程車 2 輛轎車 | 事故發生於隧道口 |
| 2002.09.05 | 台灣北二高福德隧道 | 1,744 | 2 | 兩輛車追撞 | - | 2 輛車 | 其中一車起火燃燒 |
| 2003.07.13 | 台灣北二高中和隧道 | 827 | 2 | 一聯結車追撞九輛小汽車 | 3 死 | 1 聯結車 9 輛轎車 | 交通管制近兩小時且近回堵十公里 |

1.2 研究目的

基此，本研究之研究目的為：

1. 因應不同隧道救難設施，產生所有可行之救援方案（包括救援路線及疏散路線），以作為評選基礎。
2. 建立隧道救援的評估準則，包括救援到達時間、用路人延滯時間、救援方案危險程度及交管人力等。
3. 透過問卷調查，了解公路隧道救援機關對於不同事故之救援考量準則及其準則權重。
4. 透過訪談方式，了解公路隧道主管機關對於各救援方案中，交管人力所佈設位置與人數。

5. 利用多準則評估方法 (multi-attribute evaluation, MAE) 進行方案評選，並據以建構互動式 (interactive) 救援方案評估模型。
6. 以互動式救援方案評估模型為核心，建構隧道救援決策支援系統 (decision support system, DSS)，以協助隧道事故救援之規劃派遣。

1.3 研究範圍

目前國內公路的長隧道大多分佈於北二高段、二高後續計畫段與北宜高速公路部分，然而隧道總長度大於 3 km 的隧道計有福德隧道、木柵隧道、中寮隧道、南港二號隧道、彭山隧道、雪山隧道以及漢草快速道路的八卦山隧道等。其中，雪山隧道兩主坑總長更達 26 km，為救援難度最高之隧道。本研究即以此隧道為研究對象。

1.4 研究內容與流程

1. 國內隧道救援發展與現況

本研究鑒於未來我國高、快速公路網即將有幾個長隧道完工通車，而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，但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，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則較少加以綜合考量，此為本研究之主要研究動機與目的。

2. 相關文獻回顧

回顧國內外有關隧道救援技術與方法之相關文獻，以及有關隧道救援準則計算方法、專家問卷權重分析之學問，並

藉由多準則評估之理論相關應用方法，探討最佳隧道救援方案。

3. 救援方案之產生

以隧道幾何條件蒐集為基礎，將事故規模作一劃分，並規劃各種事故規模之所有可行救援方案。

4. 評估準則之建立

以文獻回顧為基礎，將隧道事故救援時可能衍生之成本與衝突之績效作為評估準則，分別加以定義、探討及計算。

5. 多準則評估模型建立

由目標方案的產生、標的與準則的建立，建立一量化的多準則評估模型，並加以分析各方案之評估值。

6. 事故模擬分析

藉由事故特性或交通特性的不同，分析最佳救援方案改變時，事故特性或交通特性的臨界值。

7. 互動式隧道救援決策支援系統

當事故救援單位之決策者，對於多準則評估模型所產生之最佳方案，有窒礙難行或無法接受時，可以藉由模型參數之改變如：權重的調整或準則的限制等方式，進而評選出決策者認為更佳之救援方案，以達有效救援的目的。

8. 結論與建議

依分析結果予以結論並對隧道救援在未來長隧道事故發生時提出建議。

本研究之研究流程如圖 1.1 所示。

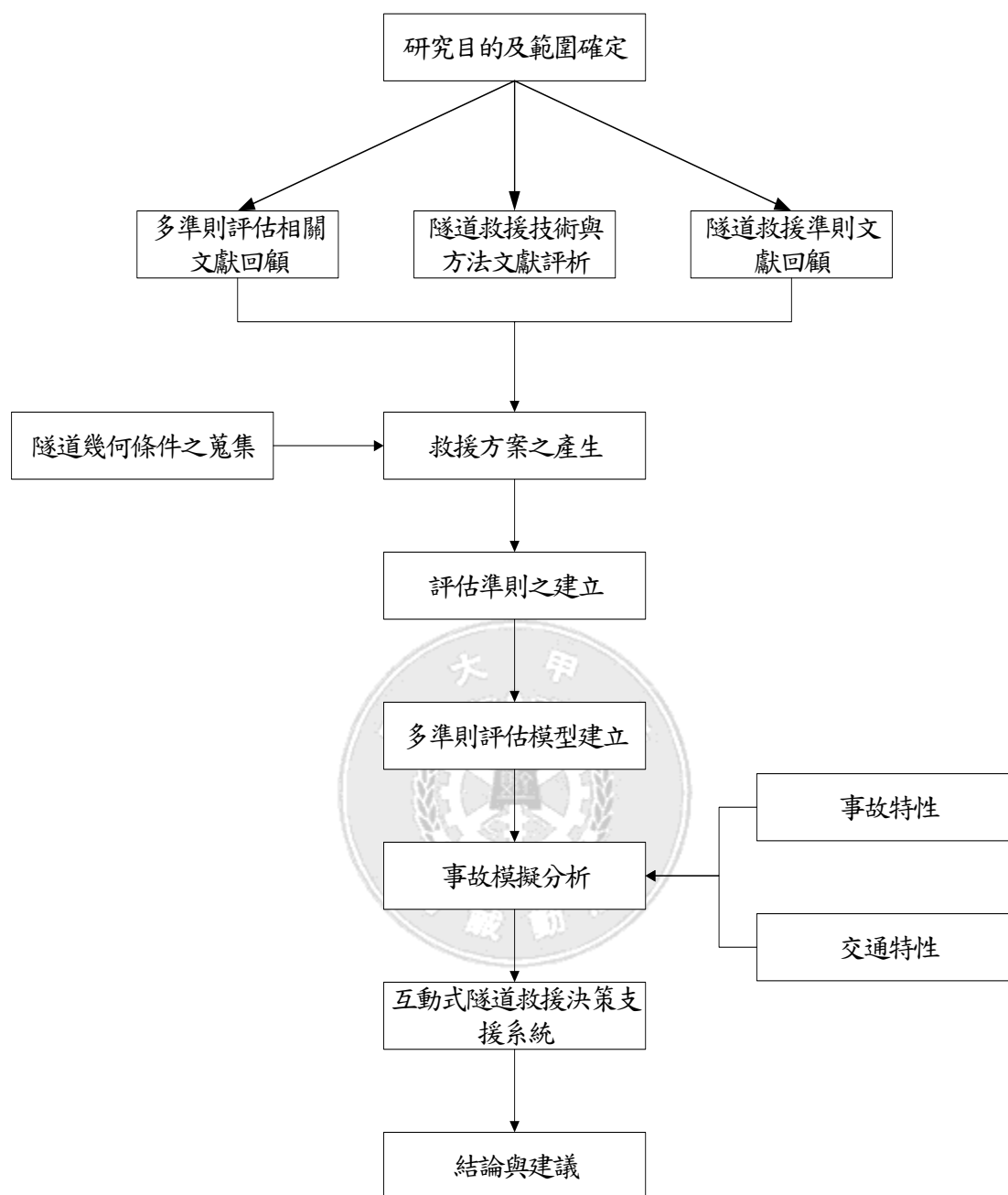


圖 1.1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究旨在研擬並評選隧道事故之最佳救援方案，分別從救援方案之產生面、救援方案之準則面以及準則之權重產生利用多準則評估方式（MAE）進行方案評選，以供公路隧道救援及主管機關參考。過去國內外有不少的研究探討事故救援之方法與標準作業程序（SOP），而有關於隧道救援的最佳方案評估大致可分為隧道救援技術與方法、隧道救援準則的產生、計算以及多準則評估方法與實用等三大類，本研究將針對隧道救援績效分析之相關文獻進行回顧，分述如下：

2.1 隧道之救援技術與方法

陳俊堯（民 92）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。

簡賢文（民 88）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引導等。另作者也提出北二高隧道群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（民 91）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（民 84）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。

周胤德等（民 93）回顧近幾年來國內外重大隧道事故的成因，以及事故發生後對隧道本身軟、硬體方面的改善計畫。首先依照每日交通量及隧道長度，訂定隧道防災等級。在我國即將完成的雪山隧道長度為 12.9 km，每日雙向交通量總合為 45000 輛/日，故在等級的劃分上屬於 AA 的最高級，而依據隧道防災等級所設置的防災設施，也應是要具備最完善的。

吳健生（民 87）將隧道安全設施準則劃分為機電設施（通風設施、照明設施與供電設施）、交通監控設施（交通監視設施與交通控制設施）、緊急及安全逃生設施（工程設施、通信設施、火警警報設施、消防設施與避難指引設施）以及營運管理措施（行車安全維護、清潔與養護）四大類。並根據此四大類，參酌世界各國相關設計準則，加上各專業領域之知識，整合研訂出適合國內高速公路隧道使用之公路隧道安全設施準則。

張文城（民 85）介紹隧道之設計與施工方法，包含地質調查、輔助坑道需要性之評估、導坑配置、種類、施工方法與支撐及通風系統。而關於輔助坑道與導坑的配置是於緊急救難時必須注意的問題。

1. 針對坪林隧道之特性，設置導坑主要有下列優點：

- (1) 事先了解地質狀況，以降低主坑施工風險
- (2) 了解實際岩體行為，回饋主坑設計與施工
- (3) 先排除地下水，以利後續主坑之施工
- (4) 作為通風之輔助廊道
- (5) 做為預先處理主坑不良地質路段之通道

(6) 做為完工後之主坑維修與緊急逃生通道

2. 坪林隧道救難坑道配置方面，主要分為車行橫坑與人行橫坑，以供兩主坑間人行及車行連絡之用，其設置距離主要係由行車安全之需求而定，原則上車行橫坑間距為 1400m，人行連絡道間距為 350m，為考量局部地質影響因素後，可將車行連絡橫坑移動 100m，而人行橫坑得移動 50m。

楊幼文（民國 80）將救援方案分為有導坑與無導坑兩大部分，並根據其受阻情形與事故位置建立交通疏導與救援路徑：

1. 無導坑情形：（以表 2.1 與 2.2 說明）

表 2.1 無導坑情形下部分車道受阻之救援與疏散路線

| 受阻情形 | 部分車道受阻 | | |
|------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 發生位置 | 入口附近 | 隧道段 | 出口附近 |
| 救援路線 | 由肇事隧道入口進入或由對向車道經橫坑逆向救援 | 由肇事隧道入口進入或由對向車道經橫坑逆向救援 | 由肇事隧道出口進入或由對向車道經橫坑順向救援 |
| 疏散路線 | 保持原行車方向 | 保持原行車方向 | 保持原行車方向 |

表 2.2 無導坑情形下全數車道受阻之救援與疏散路線

| 受阻情形 | 全數車道受阻 | | |
|------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 發生位置 | 入口附近 | 隧道段 | 出口附近 |
| 救援路線 | 由肇事隧道入口進入或由對向車道經橫坑救援 | 由肇事隧道入口進入或由對向車道經橫坑救援 | 由肇事隧道出口進入或由肇事地點上游進入 |
| 疏散路線 | 車流流至反向隧道，逆向行駛後再返回肇事隧道 | 車流流至反向隧道，逆向行駛後再返回肇事隧道 | 車輛經車行橫坑疏散至反向隧道 |

2. 有導坑情形：(以表 2.3 與 2.4 說明)

表 2.3 有導坑情形下部分車道受阻之救援與疏散路線

| 受阻情形 | 部分車道受阻 | | |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 發生位置 | 入口附近 | 隧道段 | 出口附近 |
| 救援路線 | 同無導坑路線，或由導坑經車行橫坑進入主隧道 | 同無導坑路線，或由導坑經車行橫坑進入主隧道 | 同無導坑路線，或由導坑經車行橫坑進入主隧道 |
| 疏散路線 | 保持原行車方向 | 保持原行車方向 | 保持原行車方向 |

表 2.4 有導坑情形下全數車道受阻之救援與疏散路線

| 受阻情形 | 全數車道受阻 | | |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 發生位置 | 入口附近 | 隧道段 | 出口附近 |
| 救援路線 | 同無導坑路線，或由導坑經車行橫坑進入主隧道 | 同無導坑路線，或由導坑經車行橫坑進入主隧道 | 同無導坑路線，或由導坑經車行橫坑進入主隧道 |
| 疏散路線 | 車流流至反向隧道，逆向行駛後再返回肇事隧道 | 車流流至反向隧道，逆向行駛後再返回肇事隧道 | 車輛經車行橫坑疏散至反向隧道 |

高公局（民國 88）認為當高速公路發生意外事件時，救援路線常因當地交通狀況影響而造成部分路段擁塞，以致延誤救援時間，必須採取策略以舒緩路段擁塞並減少影響範圍繼續擴大。

1. 最短救援路線為原則：利用救援單位所在位置，找出一路線距離事故地點最近的路線作為路線選擇。
2. 最短旅行時間為原則：利用救援單位至事故地點的速限為基礎，最短的旅行時間為選擇準則。
3. 平均行駛時間為原則：此路線之建立是依據各級道路之平均行駛速率找出最快到達之救援路線。

茲將上述有關隧道救援技術與方法之相關研究彙整如表 2.5

表 2.5 隧道救援技術與方法相關文獻彙析表

| 作者 | 年代 | 評析 |
|-----|------|--|
| 陳俊堯 | 2003 | 建議隧道發生火災事故時，應先規劃疏散路線，而非救援之滅火。 |
| 簡賢文 | 1999 | 說明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。 |
| 陳發林 | 2002 | 瞭解鄰近雪山隧道之救難單位正確佈設位置，以及該單位到達隧道口之時間估算法。 |
| 吳健生 | 1998 | 提出將隧道安全設施規劃分為四部分，並整合研訂出適合國內高速公路隧道使用之公路隧道安全設施準則。 |
| 蔡輝政 | 1995 | 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，欲達成救援之效率須逐步探討。 |
| 周胤德 | 2004 | 提出避免公路長隧道發生大規模災難，有下列幾種方法： 1. 限制通過隧道的大貨車數量。 2. 減少車行橫坑的距離。 3. 將雙孔雙向分離。 |
| 張文城 | 1996 | 為提供緊急時車流疏散及維修救助之用，特設車行橫坑與人行橫坑，以供兩主坑間人行及車行連絡之用，其設置距離主要係由行車安全之需求而定，原則上車行橫坑間距為 1400m，人行連絡道間距為 350m。 |
| 楊幼文 | 1991 | 1. 無導坑情形下：部分車道受阻與全數車道受阻各有 6 個救援方案。 2. 有導坑情形下：部分車道受阻與全數車道受阻各有 9 個救援方案。 |

表 2.5 隧道救援技術與方法相關文獻彙析表（續）

| 作者 | 年代 | 評析 |
|-----|------|--|
| 高公局 | 1999 | 提出三種救援路線產生的原則，分別為最短距離、最短旅行時間與平均行駛時間，然為符合各級道路實際情形故以最短旅行時間依據者為佳。 |

2.2 評估準則之計算方法

2.2.1 救援到達時間

Randolph (2001) 研究高速公路派遣策略的不同對反應時間的影響，在先驗條件中可知：事故發生時所產生的延滯長短，是根據事故從發生到清除時間多寡而定。因此有效控制反應時間，進而減少清除事故時間，便可以減少事故產生的延滯。反應時間是指：救難單位從接獲通報到事故現場的旅行時間，因此當高速公路中事件發生時，派遣策略便成為減少反應時間的重要因素，警車的派遣分成三種（策略）模式：

1. 固定區域巡邏模式：一車負責區域內所有事件處理。
2. 最靠近事故地點的派遣模式：警車的巡邏模式作均勻分配。
3. 最靠近事故地點的派遣模式：警車的巡邏模式作卜瓦松分配。

根據上述三個派遣策略，自行設定參數作穩定性評估。結果以策略一反應時間最長，但是整體系統最為穩定；策略二擁有最小的反應時間，但是本質上卻顯得不可靠；策略三與策略二相似，可得最小的反應時間，且較策略二為可靠，但是卻不一定能求得最佳解。

John (1993) 認為以荷蘭高密度地區發展，使得交通建設、

交通規劃有異於一般增量，因此，該地區就難單位資源不敷使用，必須配合以區外甚是國外救援等特別的救援方式作一溝通協調，故為了不使救難資源產生浪費與不足的情形下，訂定區內、區外與國外救援的臨界值是必須研究之課題。

凌瑞賢（民國 90）交通流量與旅行時間之函數有以下三種方法：

1. 指數函數

$$t = t_f e^{bX}, \text{ 式中}$$

t ：路段的平均旅行時間

t_f ：零流量之旅行時間

X ：路段交通量對服務容量的比值

b ：參數

2. 多項式函數

$$t = t_f (\alpha + \beta X^n)$$

t ：路段的平均旅行時間

t_f ：零流量之旅行時間

X ：路段交通量對服務容量的比值

α 、 β 、 n 為參數

3. 雙曲線函數

$$t = t_f \frac{1 - (1 - J)X}{1 - X}$$

t ：路段的平均旅行時間

t_f ：零流量之旅行時間

X ：路段交通量對服務容量的比值

J ：延滯參數，與道路型態及幾何設計、行人穿越數有關

伍靜宜（民 91）認為路段旅行時間包括車行時間(Running Time)及因路口停等而增加之時間延滯(Intersection Delay)。在路網交通量指派的實務上，常用簡化的數學公式計算，其中最被廣泛使用的是美國公路局(U.S Bureau of Public Roads ; BPR)建立的

公式，稱為 BPR 公式。

$$T = T_0 [1 + \alpha(Q/C)^\beta]$$

其中，T：在流量為 Q 時之路段平均旅行時間

T_0 ：自由車流速率之路段旅行時間

Q：路段流量

C：實際容量 (Practical Capacity)

α 、 β ：參數值

2.2.2 車流產生延滯

楊幼文（民國 81）探討無導坑、有導坑時，部分車道受阻，以及全數車道受阻所產生車輛產生延滯之不同，並說明導坑之使用目的，同時針對使用車行橫坑疏散所產生的延滯部分有以下定義：

1. 肇事隧道車流延滯：

事故發生地點與最近上游處之車行橫坑 a 點為 x 公尺，此為無法即時迴轉，留在肇事隧道內待疏散之平均累計車輛數 q 為：

$$q = nxk + (Q + T_r)\lambda$$

k：車輛密度；nxk：事故發生時通過 a 點無法迴轉之車輛；

$(W + T_r)\lambda$ ：因偵測器及反應時間而延滯之車輛數

由車流恆等式 $\lambda = kvn$ （v 為平均空間行車速率），則 $k = \lambda / vn$ ，得

$$q = \lambda \left(\frac{x}{v} + W + T_r \right) = \lambda T_0$$

其中， $\left(\frac{x}{v} + W + T_r \right) = T_0$

再由於後到者先離開（LIFO）之現象。因此，當事故發生後，於某時刻 t 到達事故地點而無法迴轉疏散車輛之等候時間為：

$$\Delta t = t' - t = \left(\frac{\lambda}{\mu} + 1 \right) (T_0 - t)$$

由此式可知，越早到達事故地點者，等候時間越長。再者，隧道所能容忍之時間，較一般路段為短，因此等候成本為等候時間的遞增函數 $\beta (\Delta t)^r$ ，故無法迴轉疏散車輛之平均等候成本為：

$$E(C) = \int_0^{S_1} \frac{1}{S_1} \int_0^{T_0} \beta \left[\left(\frac{\lambda}{\mu} + 1 \right) (T_0 - t) \right]^r dt dx = \frac{\beta v \left(\frac{\lambda}{\mu} + 1 \right)^r}{S_1(r+1)(r+2)} \left[\left(\frac{S_1}{v} + \frac{nS_2}{2h\lambda} + T_r \right)^{r+2} - \left(\frac{nS_2}{2h\lambda} + T_r \right)^{r+2} \right]$$

2. 反向隧道車流延滯

因為反向車道調撥一車道給迴轉車輛，造成原行駛於該方向之車流會產生延滯，其車流延滯可以分為迴轉車輛延滯及外側車道延滯兩種情形。反向隧道之車流延滯隨救援車輛到達時間 T_a 及事故處理時間 T_d 之長短而改變，其中 T_d 為一常數； T_a 隨發生地點而異，令救援車輛進入導坑的行駛速率為 v' ，事故地點距肇事隧道入口 δ 公尺，則 T_a 可由下列兩式決定

a. $\delta \leq L/2$ ，救援車輛由入口進入，則 $T_a = \delta / v'$

b. $\delta > L/2$ ，救援車輛由出口進入，則 $T_a = L - \delta / v'$

以救援車輛由入口進入 ($T_a = L - \delta / v'$) 為例，迴轉車輛及外側車道之延滯成本如下：

(a) 迴轉車輛之延滯：

因車道容量減少，易於車行橫坑口形成等候車隊，到達率為原肇事車道知道達率 λ_1 ，離開率縮減為一車道容量 $\mu_0/2$ ，則迴轉道等候時間為： $(2\lambda_1/\mu_0 - 1)t$ ，平均等候成本：

$$E_1(C) = \int_0^{L/2} \frac{2}{L} \int_0^{T_a+T_d} \beta \left[\left(\frac{2\lambda_1}{\mu_0} - 1 \right) t \right]^r dt d\delta = \frac{2\beta v' \left(\frac{2\lambda_1}{\mu_0} - 1 \right)^r}{L(\gamma+1)(\gamma+2)} \left[\left(\frac{L}{2v'} + T_d \right)^{r+2} - T_d^{r+2} \right]$$

(b) 反向隧道車輛之延滯

反向隧道之車輛於 T_0 時間後，用一車道供迴轉車輛行駛，故僅能行駛一車道。假設反向車道之到達率 λ_2 ，於 T_0 時間後離開率減為 $\mu_0/2$ ，事故排除後才回復成 μ_0 。等候時間 $\Delta t_1 = \left(\frac{2\lambda_2}{\mu_0} - 1 \right) t$ ，

$$\Delta t_2 = \frac{\lambda_1}{\mu_0} t - \left(\frac{\mu_0 - \lambda_2}{\mu_0} \right) t$$

平均等候成本：

$$E_2(C) = \int_0^{L/2} \frac{2}{L} \left[\int_0^{T'} \beta(\Delta t_1)^r dt + \int_{T'}^{T''} \beta(\Delta t_2) dt \right] d\delta = \frac{2\beta v'(\phi + \tau)}{L(\gamma + 1)(\gamma + 2)} \left[\left(\frac{L}{2V'} + T_d \right) - T_d^{r+2} \right]$$

式中

$$\phi = \left(\frac{2\lambda_2}{\mu_0} - 1 \right) \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{r+1}$$

$$\tau = \left(\frac{\mu_0}{\mu_0 - \lambda_2} \right) \left(\frac{2\lambda_2}{\mu_0} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{r+1}$$

總合上述分析結果提出：反向隧道車輛與事故發生地點有關。

2.2.3 所需交管人力

曾平毅、楊明畢（民國 91）利用過去桃園縣的事故資料，加以分類統計，分析警察對於事故之通報反應時間、處理時間等特性，包含了不同事故類型（ A_1 、 A_2 、 A_3 ），不同道路（省道、縣道、鄉道..），不同時段（深夜、早上、下午、晚上）。最後建構一套反應處理交通事故之警察人力需求推估程序，作為警察單位配置專責交通事故處理人員之參考依據。其程序如下：

步驟一：蒐集基本資料及參數設定，包含平均各類交通事故數、平均每日處理交通事故警力時數、每位警員每年平均執勤時數、人力調整因素..等。

步驟二：計算平均每日處理交通事故警力基礎需求數 P_1

$$T = \sum N_a^t \times P_a \times T_a^t$$

T 為每日處理交通事故警力時間數

N_a^t 為事故發生事故數（ t =深夜、早上、下午、晚上）（ $a = A_1$ 、 A_2 、 A_3 ）

P_a 為處理警員數

T_a^t 處理時間（ t =深夜、早上、下午、晚上）（ $a = A_1$ 、 A_2 、 A_3 ）

$P_1 = T / T_p$ T_p 為每日服勤時間 8hr

步驟三：計算平均每日處理交通事故警力需求數 P_2

$$P_2 = P_1 \times \text{SRF}$$

$\text{SRF} = \text{每位員警每日服勤時間數} \times 365 / \text{每位員警每日服勤時間數}$

*法定工作日數。

步驟四：平均每日督導警力需求數 P_3

$P_3 = (P_1/k) \times \text{SRF}$ 也就是每位督導員平均督導 k 位警員

步驟五：計算所需警力 P

$$P = P_2 + P_3$$

曾平毅、楊明畢（民國 90）對於警力的推估數做一研究，首先先將研究範圍分群（都市群、鄉鎮群），而後針對分群結果做一檢定，以確定分群的正確性。接續利用以下之模糊分析方法做一推估，最後在將模糊轉為明確值。

步驟一：蒐集基本資料及參數設定，包含平均各類交通事故數、平均每日處理交通事故警力時數、每位警員每年平均執勤時數、人力調整因素..等。

步驟二：計算平均每日處理交通事故警力基礎需求數 \tilde{P}_1

$$\tilde{T}_1 = \sum_a \tilde{N}_a^t \otimes \tilde{P}_a \otimes \tilde{T}_a$$

\tilde{T}_1 為每日處理交通事故警力時間數

\tilde{N}_a^t 為事故發生事故數（ t =都市群、鄉鎮群）（ $a = A_1、A_2、A_3$ ）

\tilde{P}_a 為處理警員數

\tilde{T}_a^t 處理時間（ t =都市群、鄉鎮群）（ $a = A_1、A_2、A_3$ ）

$\tilde{P}_1 = \tilde{T}_1 \oslash \tilde{T}_p$ \tilde{T}_p 為每日服勤時間=(8,10,12)

步驟三：計算平均每日處理交通事故警力需求數 \tilde{P}_2

$$\tilde{P}_2 = \tilde{P}_1 \otimes \tilde{S}$$

$$\tilde{S} = \tilde{H}_1 \oslash \tilde{H}_p \quad \tilde{H}_1 = \tilde{T}_p \otimes (365, 365, 365) \quad \tilde{H}_p = \tilde{T}_p \otimes (216, 232,$$

239)

\tilde{S} 為人力調整因子

步驟四：平均每日督導警力需求數 \tilde{P}_3

$\tilde{P}_3 = (\tilde{P}_1 \oslash \tilde{k}) \otimes \tilde{S}$ 也就是每位督導員平均督導 k 位警員

$$\tilde{k} = (6, 6, 6)$$

步驟五：計算所需警力 \tilde{P}

$$\tilde{P} = \tilde{P}_2 \oplus \tilde{P}_3$$

步驟六：解模糊化

將 \tilde{P} 以重心法轉為 P 而解模糊化並獲得結果。

茲將上述有關評估準則計算方法之相關研究彙整如表 2.6

表 2.6 評估準則之計算相關文獻彙析表

| 作者 | 年代 | 評析 |
|----------|------|---|
| Randolph | 2001 | 本研究中，將高速公路中事件發生時，警力派遣分成三種策略模式：（1）固定區域巡邏（2）最近事件距離派遣模式，派遣後未派遣巡邏車作均勻分佈，（3）最近事件距離派遣模式，巡邏車作波氏分配。及四種派遣情形（a）事件發生地點在巡邏車前方，發生車道與巡邏車方向相同（b）事件發生地點在巡邏車前方，發生車道與巡邏車方向相反（c）事件發生地點在巡邏車後方，發生車道與巡邏車方向相反（d）事件發生地點在巡邏車後方，發生車道與巡邏車方向相同。依照策略與派遣情形做一排列組合，分別求的期望反應時間最短，極為最佳派遣方法。 |
| 楊幼文 | 1992 | 應用流體近似模式，針對事故端車流、反向車流及迴轉車輛之延滯作一計算上的詳解。 |
| 楊明畢 | 2002 | 應用”交通事故之警察人力需求推估程序”，可求得依據救援時間所推估需求警員數，但是仍須配合事故嚴重性。 |
| 楊明畢 | 2001 | 按照歷史資料的分群，配合三角模糊數求得所需事故警員數，但仍須配事故合嚴重性。 |

表 2.6 評估準則之計算相關文獻彙析表（續）

| 作者 | 年代 | 評析 |
|------|------|--|
| 凌瑞賢 | 2001 | 常用於估算旅行時間的三種方法。 |
| John | 1993 | 依據事故地點附近救難單位之資源分配，訂定其應有能力處理之事故類型與規模大小之標準，當超過標準值時必須聯合責任區外之救難單位一同實施救援。 |

2.3 多準則評估方法之分類與應用

多準則評估又稱為多屬性決策（multi-attribute decision making, MADM）方法，所處理的決策問題為在已知的有限方案情況下，如何決定替選方案的優先順序。而多準則評估方法若根據其所能處理的資料型態，可區分如表2.7之四大類：一是質化準則評估法，用以處理質化資訊的評估問題；二是質量中介評估法，其性質介於質化與量化準則評估方法之間，特點在於考慮方案後，以打分數的方式進行評估；三是量化準則評估法，此類方法適用於評估準則可數量化的情況；四是值化與量化準則評估法，其特性為可以質化準則又能兼顧量化準則，為較具彈性的評估方法。（馮正民，研究分析方法）

表 2.7 多準則評估法分類

| 模式 | 類別 | 方法 |
|----------------|------------|----------------------------------|
| 多準則評估 (MCE) | 質化準則評估法 | 有預期值列等法、層級分析法、次數分析法 |
| | 質量中介評估法 | 價值矩陣法、ELECTRE法 |
| | 量化準則評估法 | 簡單加權法、多屬性效用函數法、滿足法、TOPSIS法、成對比較法 |
| | 值化與量化準則評估法 | 質化與量化多準則評估法 |

Feng et al. (2000) 應用灰關聯分析選取航空公司的財務狀況指標，作一績效評估，同時利用多準則評估的TOPSIS法選出方案的排名，並進而求的最佳解，最後以台灣五條國內航線為例，作一財務率的績效評估。

陳淵楠（民國 92）以「機場聯外營運服務績效最佳」與「系統整合與相關技術配合度成效最佳」為目標、十六項評估準則，對四個營運機構評選。

曾國雄與李穗玲（民國 84）曾研究使用了多準則評估的方式，綜合三項度（使用者、經營者、社會區域發展）路線決策系統層面，七大目標、十八項評估準則，以層級分析法、模糊理論以及 TOPSIS 之特色，作一路線選擇的方法。在決定評估準則權重方面，設計專家問卷，分別對三項度進行評訪，並使用了 AHP 法解讀問卷找出評估準則之權重。第二，引用模糊多屬性決策方法，對七條路線（方案）進行績效評估：先將具有模糊性質的資料轉為模糊數，在將模糊數轉為明確的數值。第三，將準則的權重值與績效評估之相乘，即得到各方案各準則的得點。最後以 TOPSIS 法之分析方法進行排序，以獲得七條路線中之優劣關係。

王維宏（民國 93 年）以層級分析法針對台中市的火車站商圈、三民商圈、精明商圈、七期商圈、逢甲商圈、東海商圈六個商業地區，探討商圈消費者對於徒步環境重視程度與消費者商圈選擇因素之間的關係。

羅兆廷（民國 88 年）以最適路邊停車管理策略為目標，經營管理者、巡場收費員與消費使用者為三大標的，並以十五項準則結合 AHP 法與 TOPSIS 法，評選出台北市路邊停車收費管理問題之最佳方案，健全路邊停車收費管理制度，達到有效運用人力資源、提昇管理績效、收費人性化管理、促進停車公平與繳費方便等目標。

陳登輝（民國 91 年）以民眾權益、建設效益、財務負擔及市

場需求為標的，結合十三項準則與四大方案，利用階層分析法與 TOPSIS 法對都市整體發展做一評選。

劉森榮（民國 92 年）以十一項質化指標與三向量化指標透過 AHP 方法，分別對擴大服務市場、資源有效利用、提高碼頭作業效率與降低營運成本等四層面作一權重的衡量。

熊啟中（民國 89 年）用 AHP 方法調查分析評估六方案中的七準則值，以瞭解推動 LED 交通號誌之可行性，其中以統包方式為最優 BT 方式次之。

許卜仁（民國 92 年）建立經濟財務、環境生態、社會公平、政府執行等四大構面、九項準則之評估架構，並利用多準則最佳化之妥協排序（TOPSIS），提出永續運輸策略之優先順序。

茲將上述文獻回顧重點整理如表 2.8

表 2.8 多準則評估方法相關文獻彙析表

| 作者 | 年代 | 評析 |
|--------|------|---|
| Thomas | 1971 | 提出 AHP 法之四大作業程序，以將複雜的問題由高層化往下層次逐步分解，並匯集有關決策人員進行評估，以求得各方之優勢比重值 |
| 王維宏 | 2004 | 以 AHP 方法探討商圈消費者對於徒步環境重視程度與消費者商圈選擇因素之間的關係。 |
| 陳登輝 | 2002 | 以十三項準則與四大方案，利用階層分析法與 TOPSIS 法對都市整體發展做一評選。 |
| 邱裕鈞 | 2004 | 量化多準則評估之 TOPSIS 法分析方法與六大步驟。 |
| Feng | 2000 | 以五個方案、三個指標、十五個準則，作一航空公司的財務狀況績效評估。 |
| 許卜仁 | 2003 | 利用多準則最佳化之妥協排序（TOPSIS），提出永續運輸策略之優先順序。 |

表 2.8 多準則評估方法相關文獻彙析表（續）

| 作者 | 年代 | 評析 |
|-----|------|---|
| 陳淵楠 | 2003 | 以四個方案、兩大目標、十六項評估準則，以模糊層級分析法（AHP）與量化多準則評估（TOPSIS），作一機場連外道路最適機構之評選。 |
| 熊啟中 | 2000 | 用 AHP 方法調查分析評估 LED 交通號誌之可行性。 |
| 曾國雄 | 1995 | 以三項度、七目標、十八項評估準則，作一路線選擇的方法。 |



第三章 救援方案產生與評估模型建立

本研究主要是構建一套“公路長隧道事故救援及疏散路線之多準則評估模型”，除了著重於多準則評估模型的研究外，希冀能藉由文獻回顧並以窮舉法方式產生所有可行之救援方案，進而使用多準則評估模型求得最佳方案。

3.1 救援方案產生

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，本節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，分為單車道內側事故（事故發生後，僅佔用內側車道）、單車道外側事故（事故發生後，僅佔用外側車道）及雙車道事故（事故發生後，佔用雙車道），分別加以探討。

3.1.1 背景與圖示說明

1. 基本配置圖：以下列隧道基本配置圖作為每一救援方案之背景

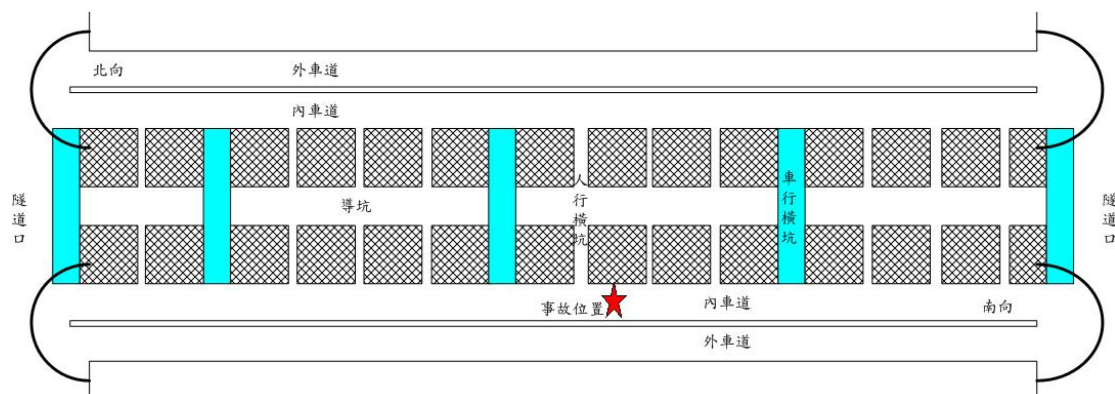


圖 3.1 隧道基本配置圖

【說明】

導坑：

設於兩主隧道間，長度與主隧道相同並略與主隧道平行，用以事先了解地質情況並做為完工後救援、疏導。

車行橫坑：

屬於聯絡道之一種，用以聯絡導坑與東、西向隧道，並供緊急事故發時人員疏散及維修保養用。

2. 路線示意圖

(1)以實線表示救援路線

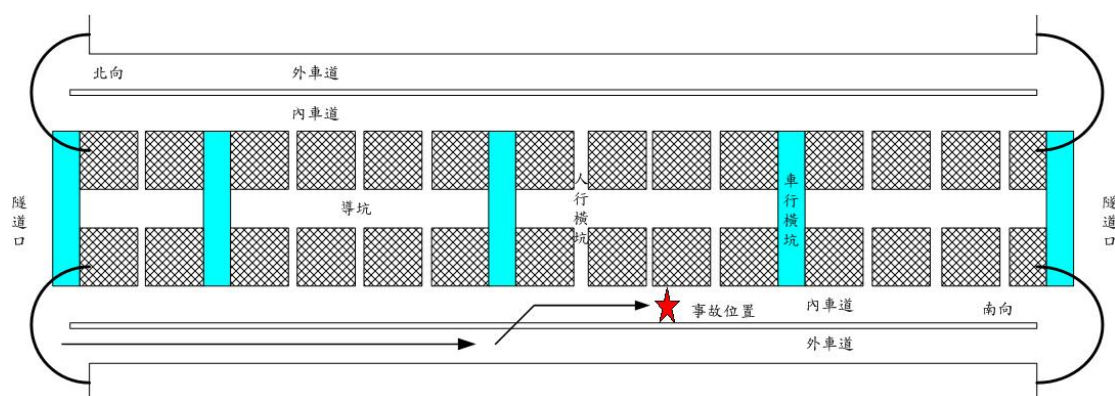


圖 3.2 救援路線示意圖

(2)以虛線表示疏散路線

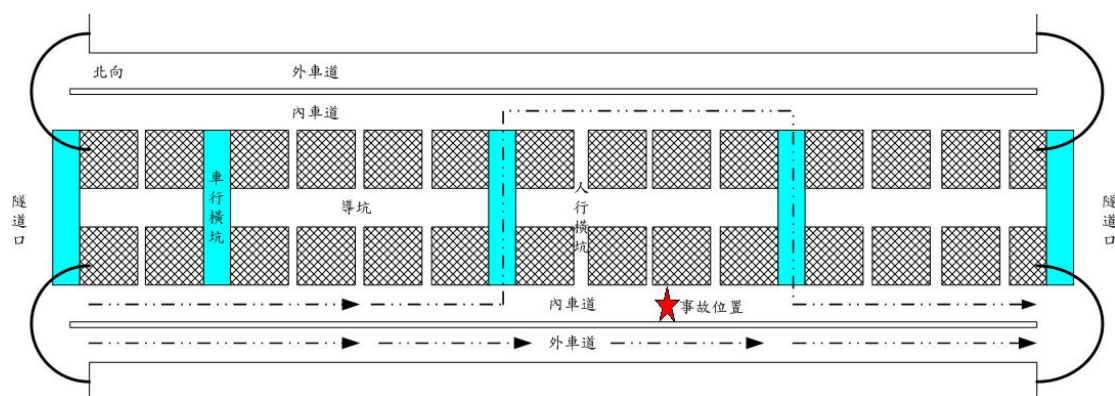


圖 3.3 疏散路線示意圖

(3)利用導坑救援方式：(由於導坑的救援方式較為特殊，於此先作一說明)

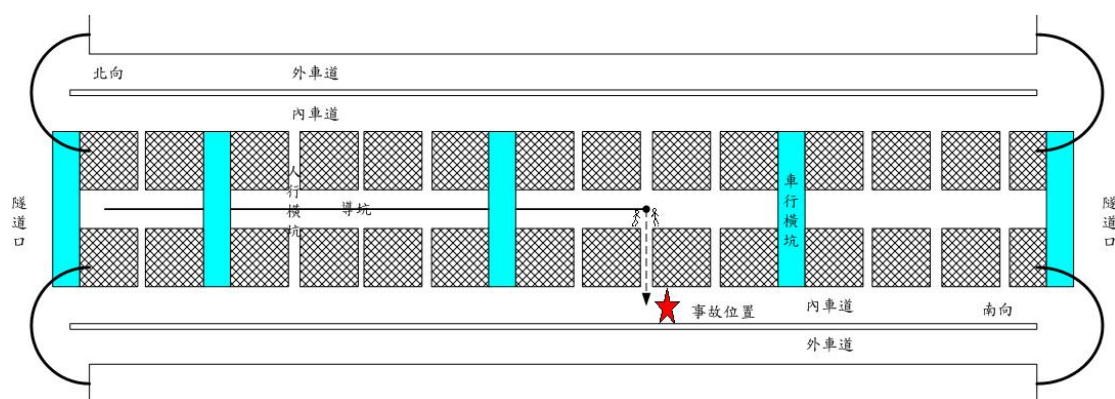


圖 3.4 導坑救援路線示意圖

黑圈為救援車輛停等位置(於最近事故位置之人行或車行聯絡道)，虛線為救難人員徒步至事故地點之路徑。

3.1.2 單車道內側事故救援方案

內側車道事故救援路線的產生，依據救難車輛行駛路線為「順向救援」、「利用車行橫坑救援」與「利用導坑救援」等三種方式，後兩者則各區分兩種路線，因此共產生五個救援路線，如表 3.1；單車道事故疏散路線則有「未受阻車道疏散」、「用車行橫坑疏散」等兩種方式，而後者也可分為順向與逆向，故共有三種疏散路線，如表 3.2。而救援方案實為救援路線與疏散路線之組合，故本類型之救援方案則有十五個（依序編號為 AI1~AI15）。

表 3.1 單車道內側事故救援路線種類與圖示

| 救援方式 | 種類 | 圖示 |
|------|--------------|----|
| 順向救援 | - (救援路線一) | |

表 3.1 單車道內側事故救援路線種類與圖示 (續)

| 救援方式 | 種類 | 圖示 |
|----------|---------------------|----|
| 利用車行橫坑救援 | 逆向下游橫坑救援 (救援路線二) | |
| | 逆向上游橫坑救援 (救援路線三) | |
| 利用導坑救援 | 順向導坑救援 (救援路線四) | |
| | 逆向導坑救援 (救援路線五) | |

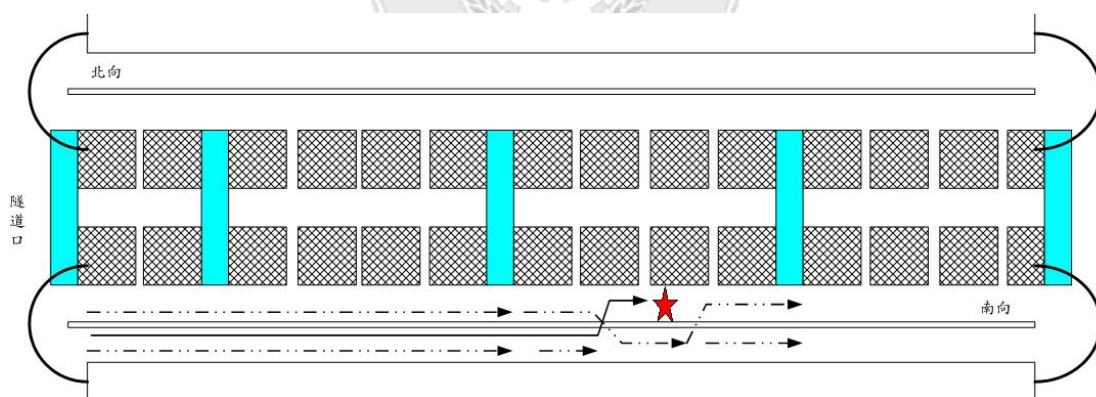
表 3.2 單車道內側事故疏散路線種類與圖示

| 救援方式 | 種類 | 圖示 |
|---------|----|----|
| 未受阻車道疏散 | - | |

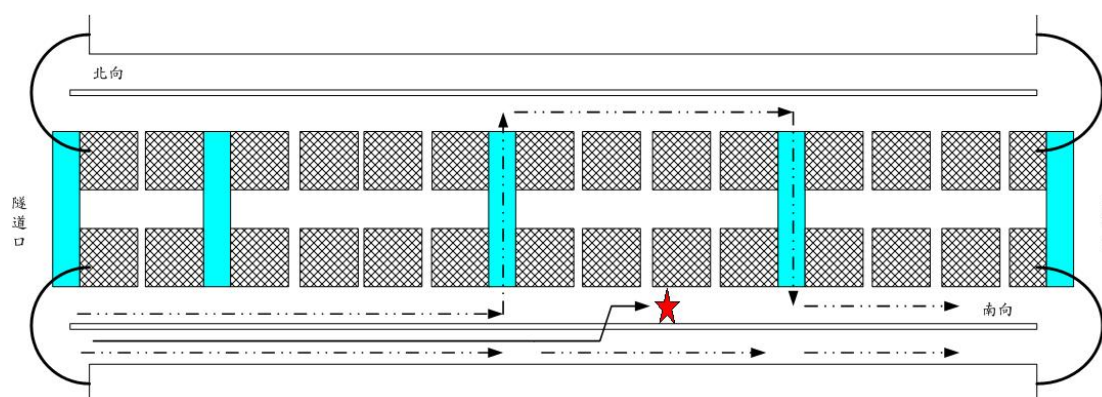
表 3.2 單車道內側事故疏散路線種類與圖示（續）

| 救援方式 | 種類 | 圖示 |
|---------|--------|----|
| 用車行橫坑疏散 | 順向橫坑疏散 | |
| | 逆向橫坑疏散 | |

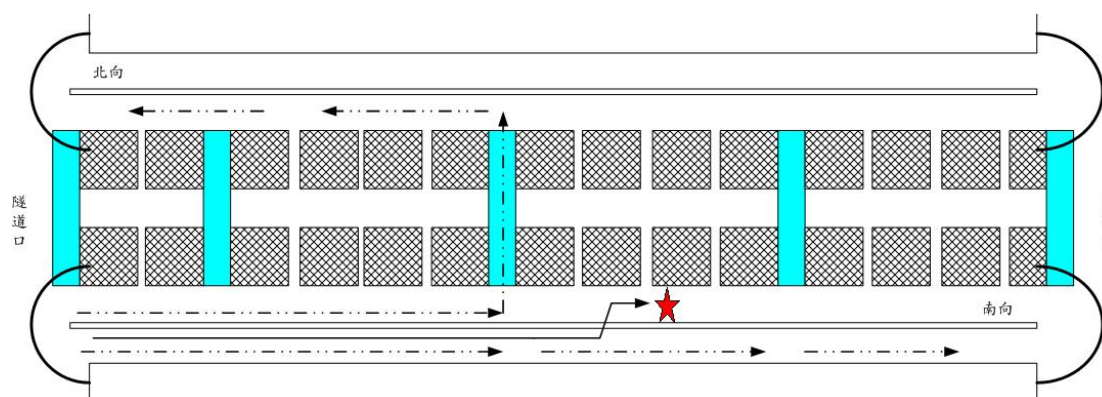
(AI1)救援車輛擬以行駛未受阻車道方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



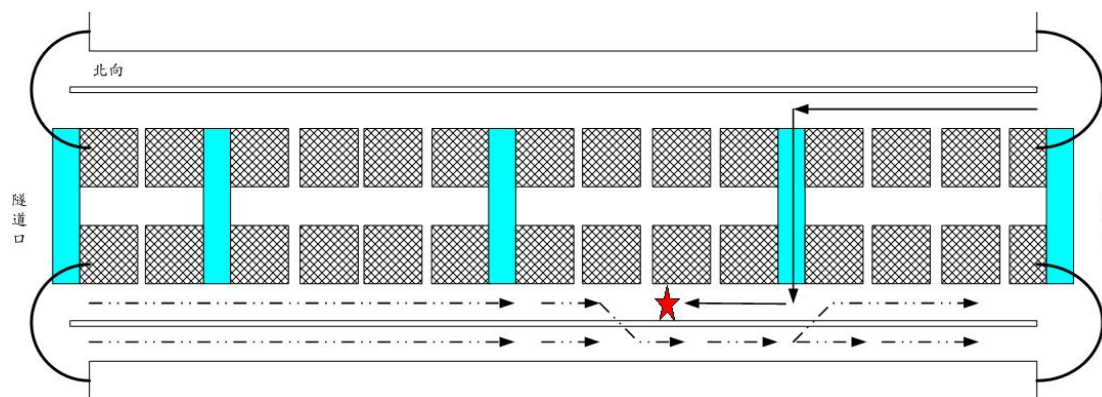
(AI2)救援車輛擬以行駛未受阻車道方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



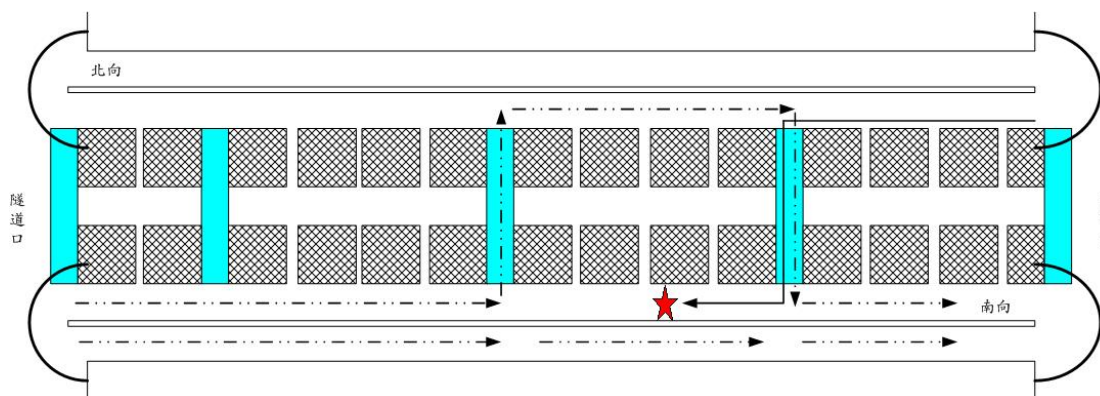
(AI3)救援車輛擬以行駛未受阻車道方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）如下圖：



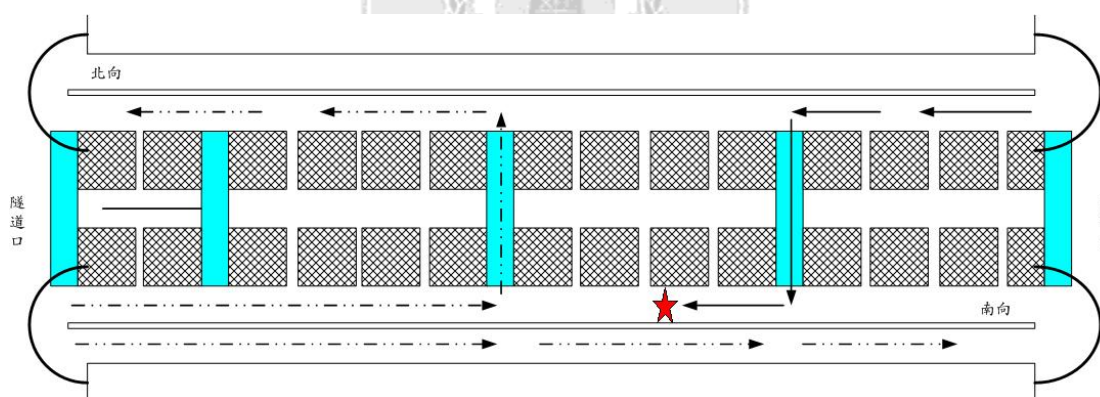
(AI4)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



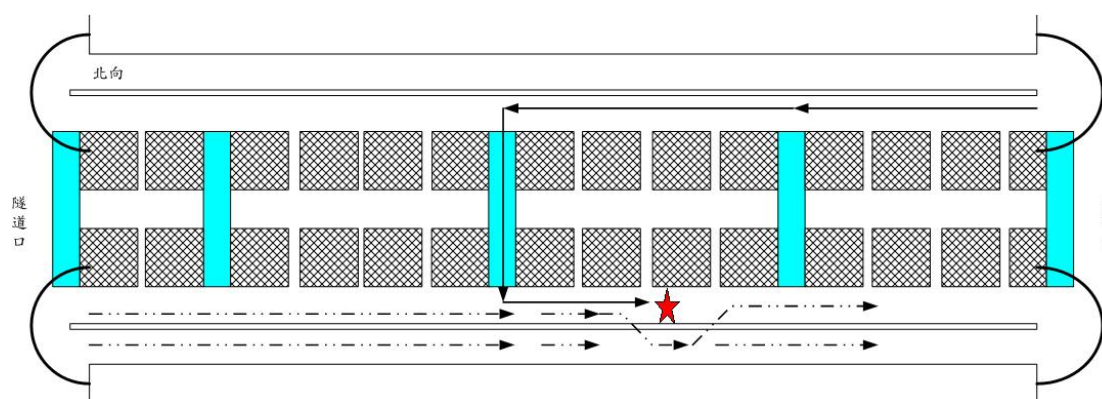
(AI5)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



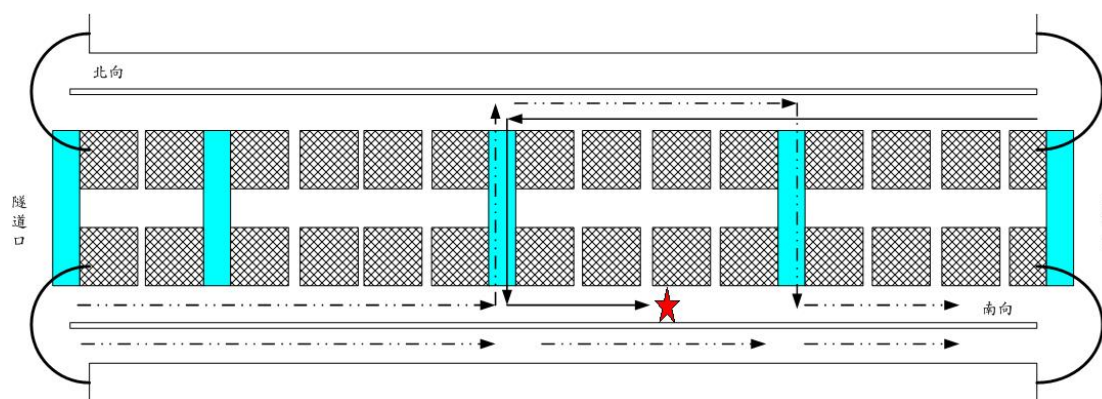
(AI6)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



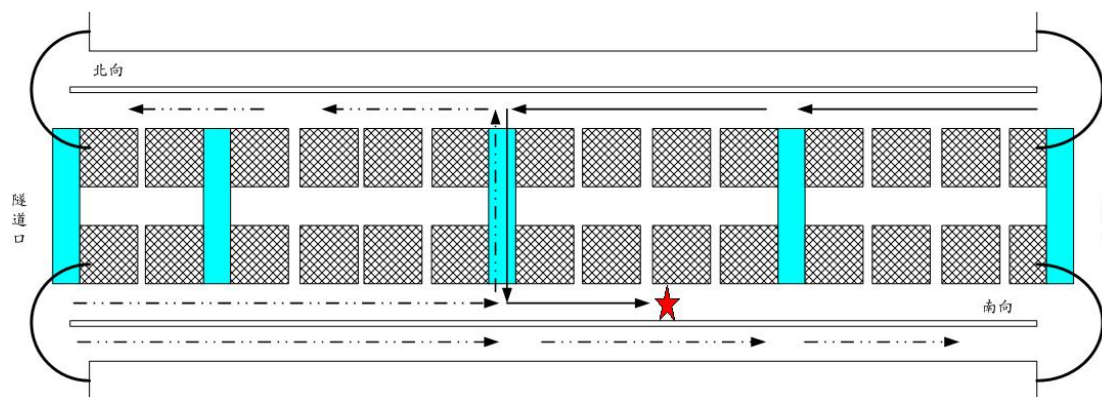
(AI7)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



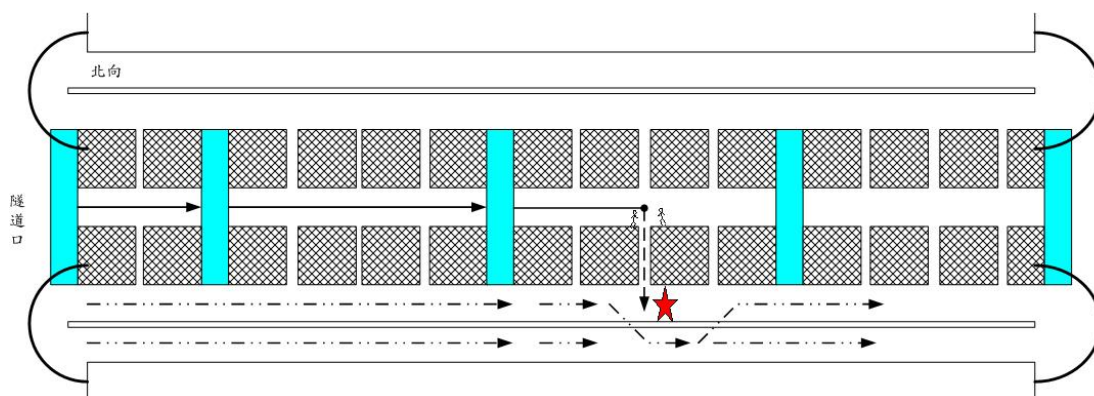
(AI8)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



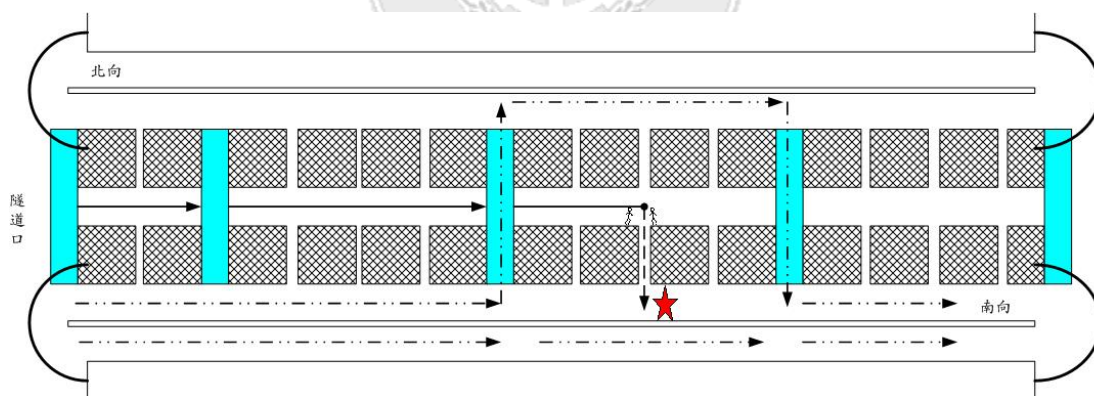
(AI9)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



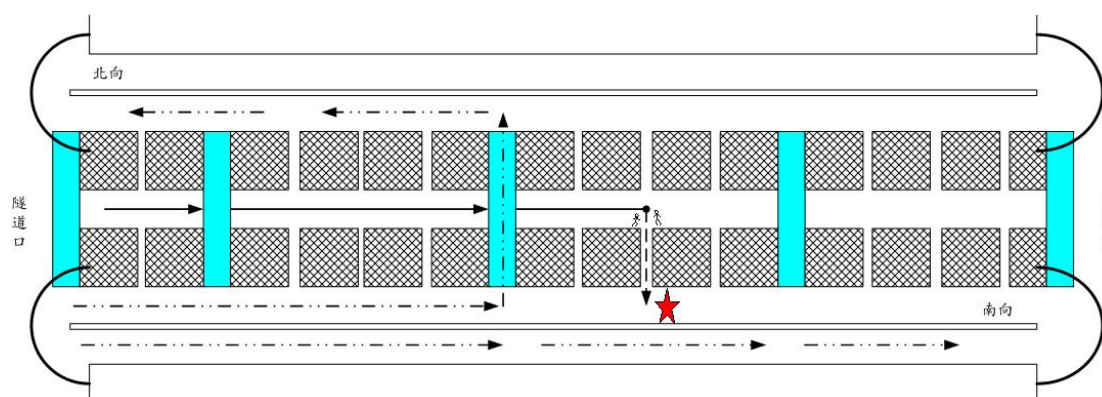
(AI10)事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



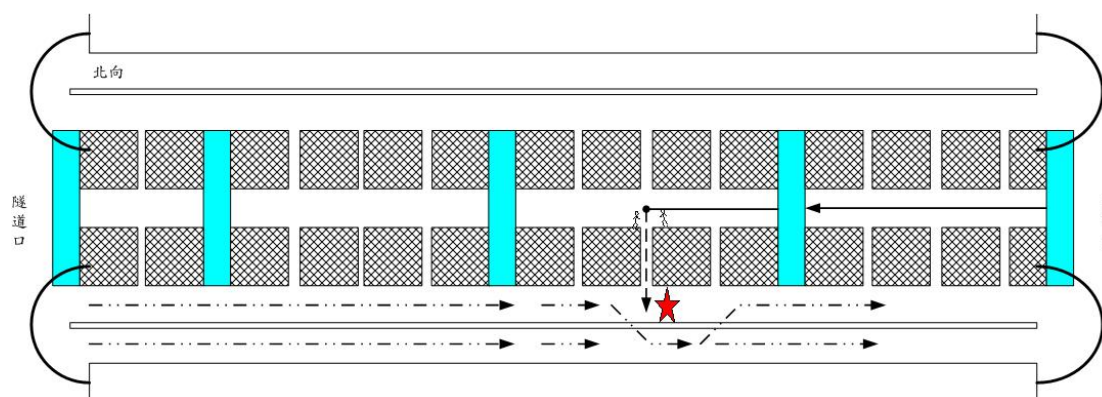
(AI11)救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



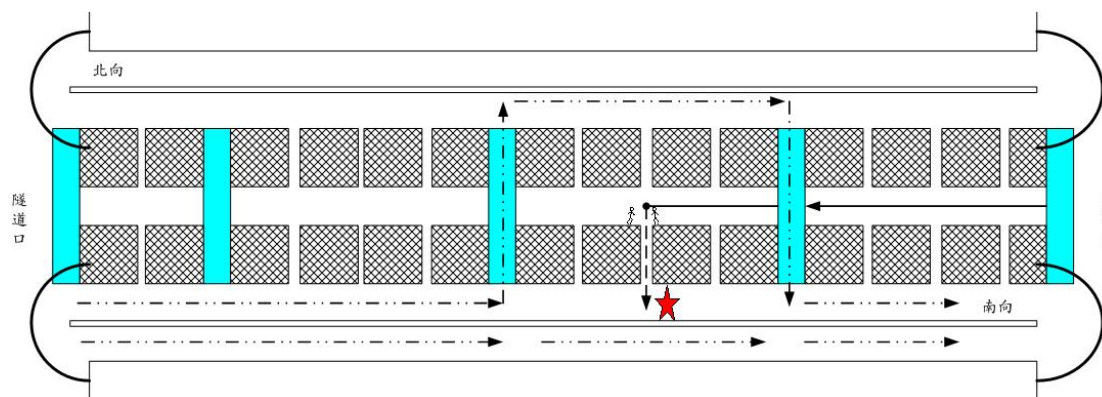
(AI12)救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



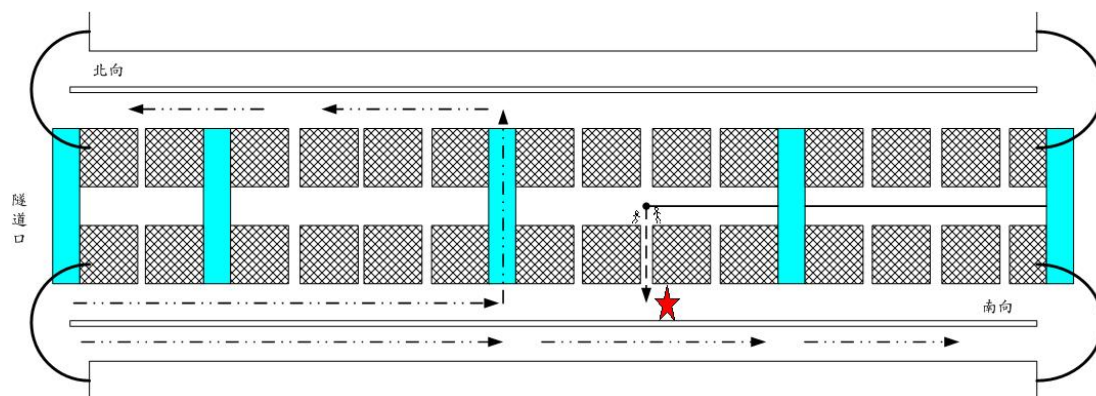
(AI13)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



(AI14)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



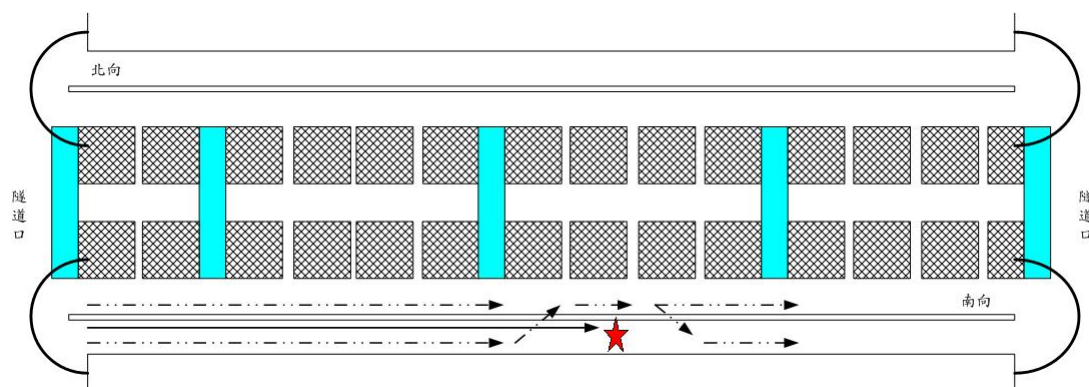
(AI15)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



3.1.3 單車道內側事故救援方案

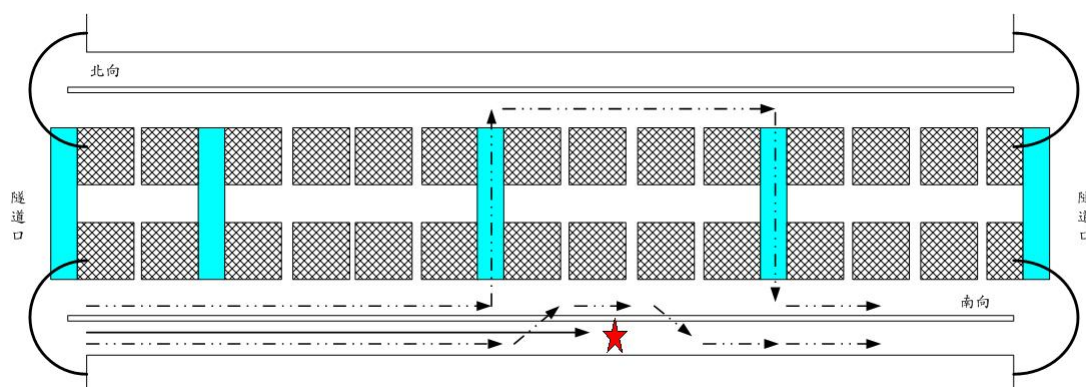
外側車道事故救援路線、疏散路線的產生則與內側車道事故雷同，故本類型之救援方案亦有十五個（依序編號為 AO1~AO15）。

(AO1)救援車輛擬以行駛順向救援方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）

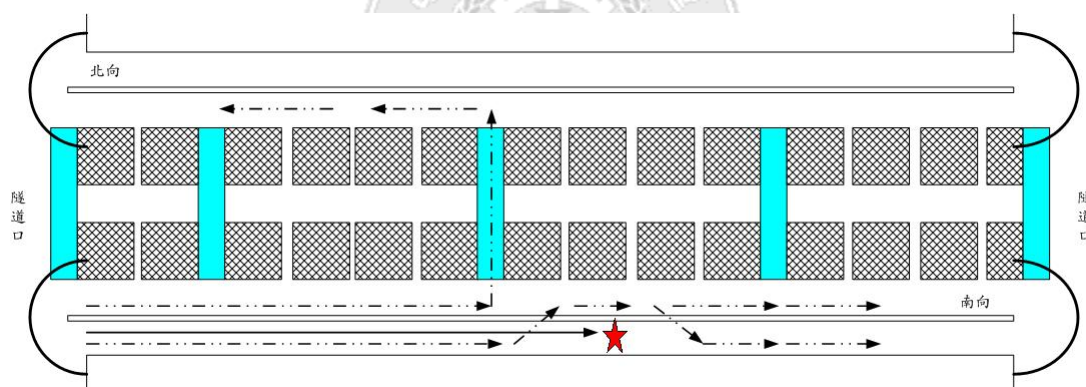


(AO2)救援車輛擬以行駛順向救援方式到達事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後

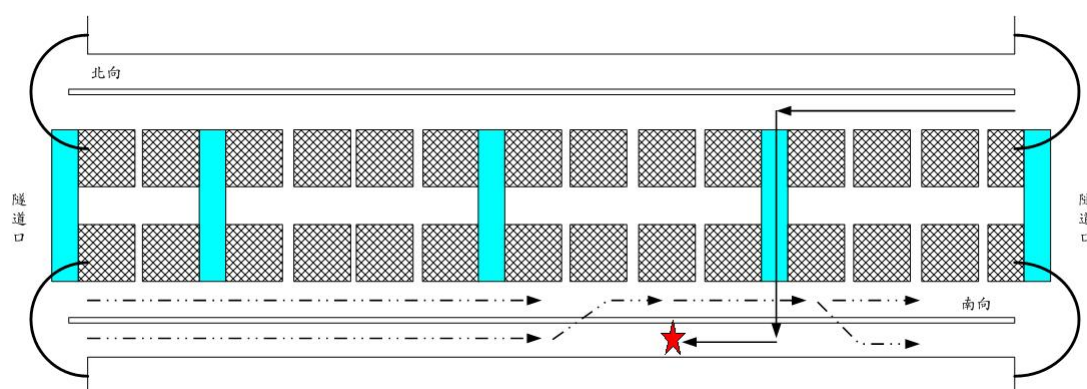
再匯回外側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



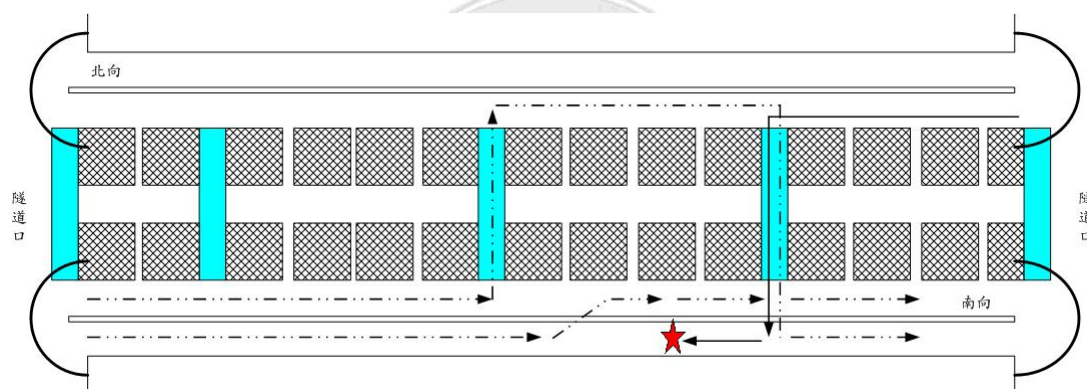
(AO3)救援車輛擬以行駛順向救援方式到達事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



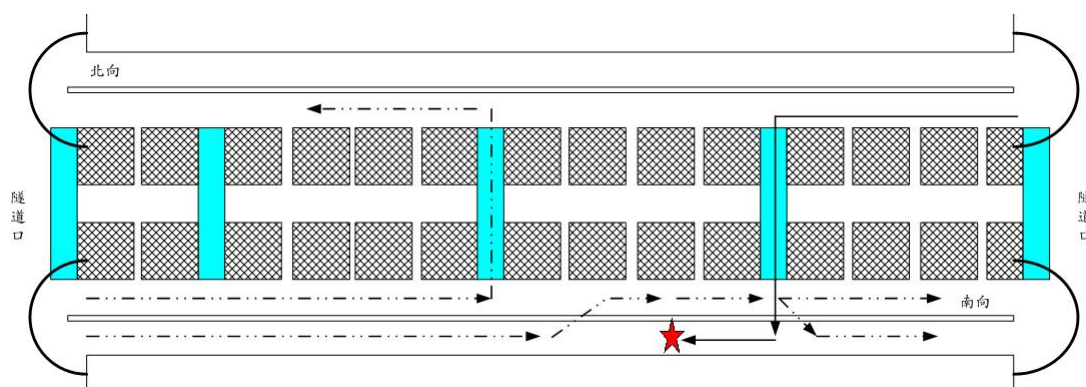
(AO4)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



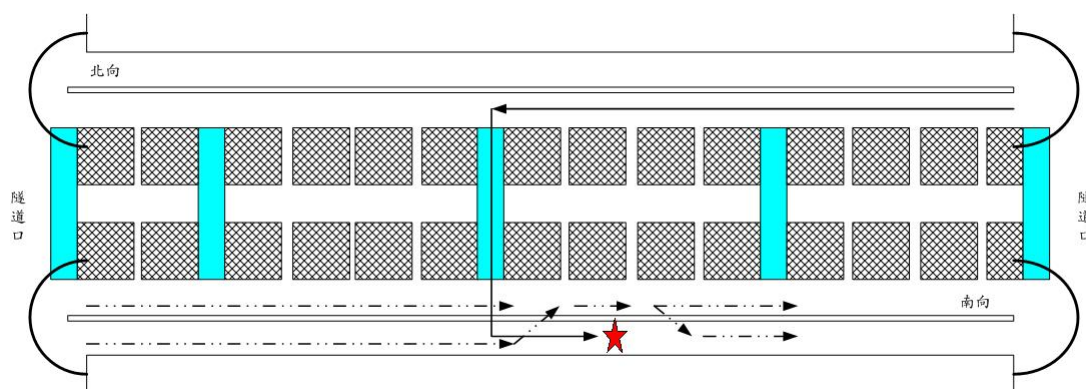
(AO5)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



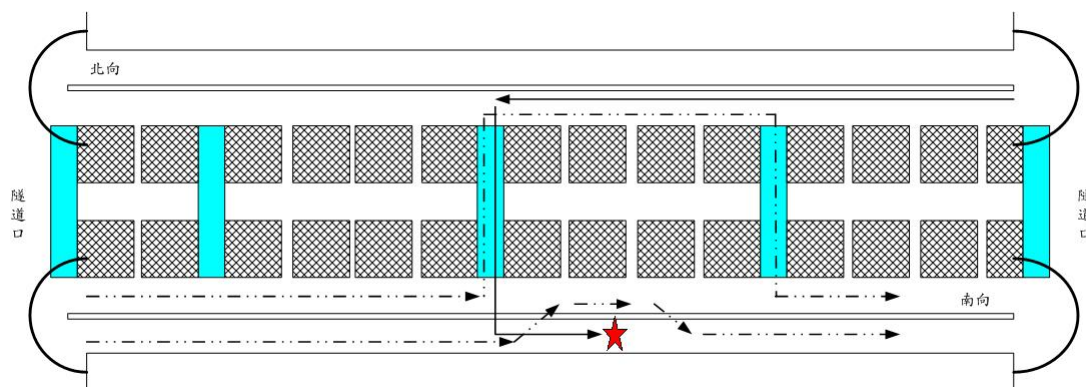
(AO6)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



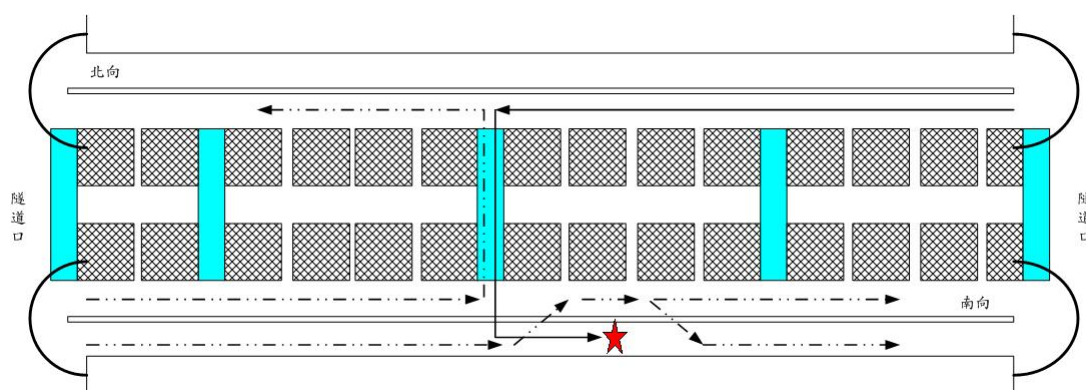
(AO7)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



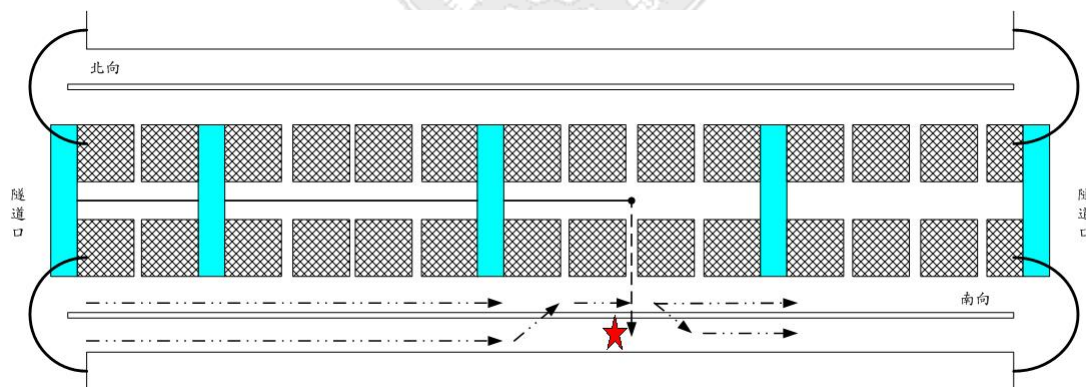
(AO8)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



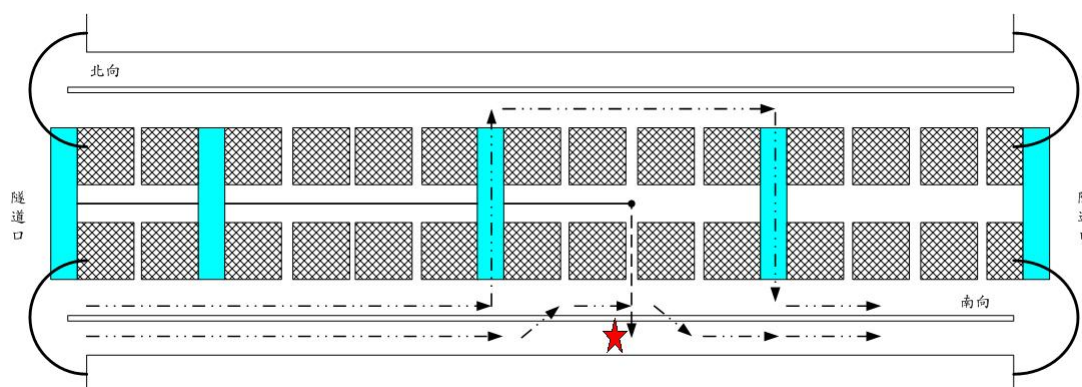
(AO9)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



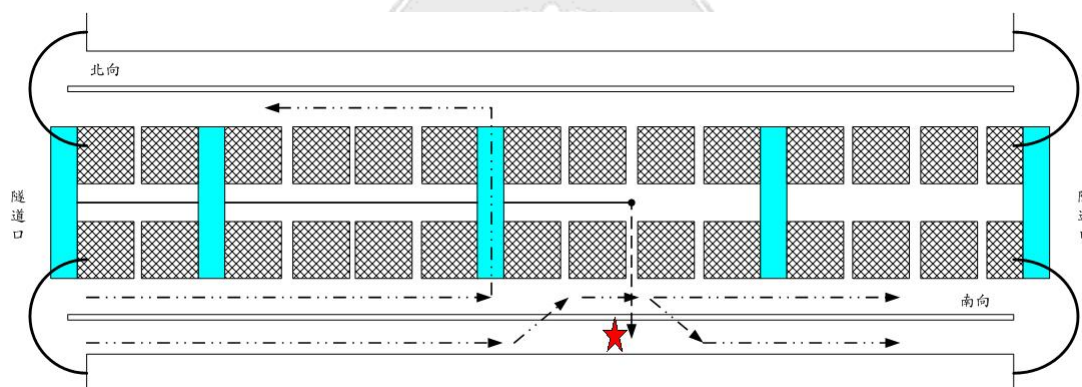
(AO10)事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



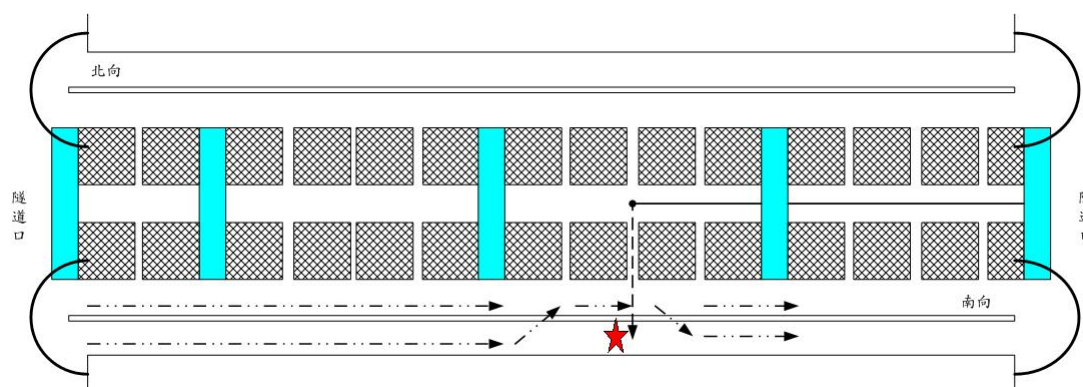
(AO11)救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



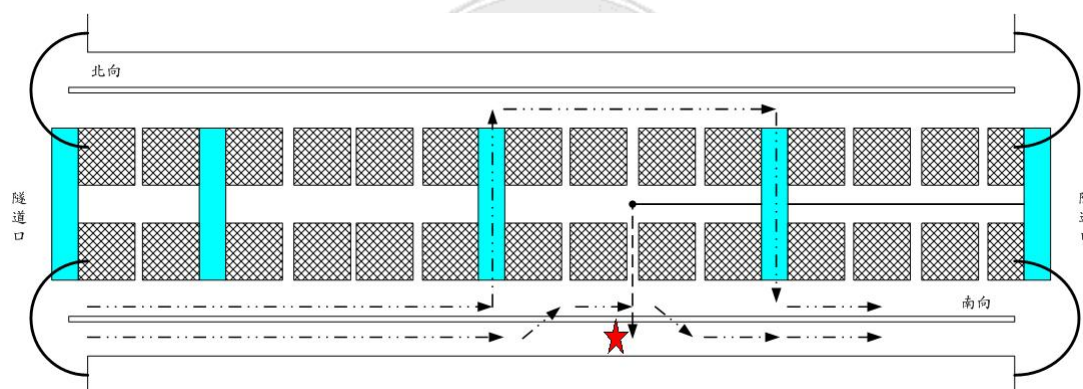
(AO12)救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



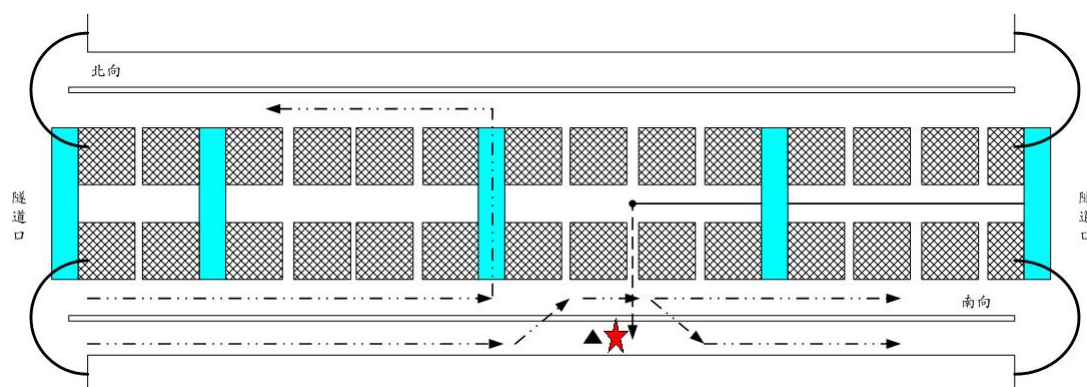
(AO13)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



(AO14)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



(AO15)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；內側車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



3.1.4 雙車道事故救援方案

雙車道事故救援路線的產生，依據救難車輛行駛路線為「順向救援」、「利用車行橫坑救援」與「利用導坑救援」等三種方式，後兩者則各區分兩種路線，因此共產生五個救援路線，如表 3.3；雙車道事故疏散路線則有「不進行疏散」、「用車行橫坑疏散」等兩種方式，而後者亦可分為順向與逆向，故共有三種疏散路線，如表 3.4。而救援方案實為救援路線與疏散路線之組合，所以本類型之救援方案原有十五個，但考慮「不進行疏散」方式會造成事故上游後方回堵，使得「順向救援」與「逆向上游橫坑救援」兩救援方案無法到達事故位置，因此將這兩類組合列為不合理救援方案，故本類型實際救援方案僅剩十三個（依序編號為 B1~B13）。

表 3.3 雙車道事故救援路線種類與圖示

| 救援方式 | 種類 | 圖示 |
|------|--------------|----|
| 順向救援 | - (救援路線一) | |

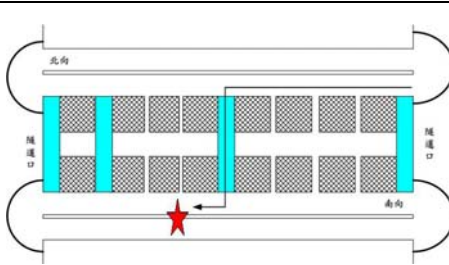
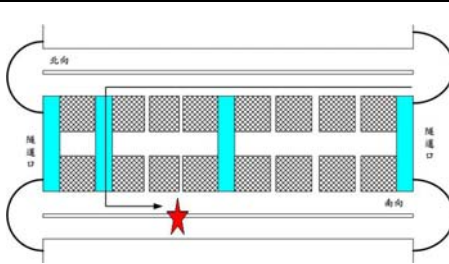
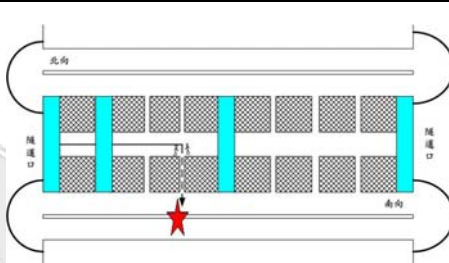
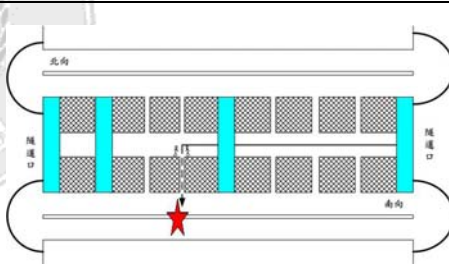
| | | |
|----------|---------------------|--|
| 利用車行橫坑救援 | 逆向下游橫坑救援 (救援路線二) |  |
| | 逆向上游橫坑救援 (救援路線三) |  |
| 利用導坑救援 | 順向導坑救援 (救援路線四) |  |
| | 逆向橫坑疏散 (救援路線五) |  |

表 3.4 雙車道事故疏散路線種類與圖示

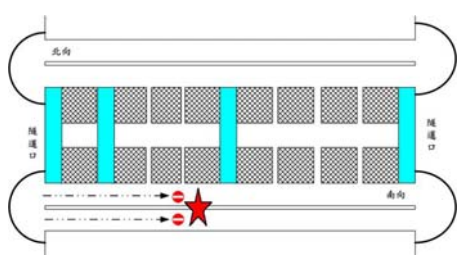
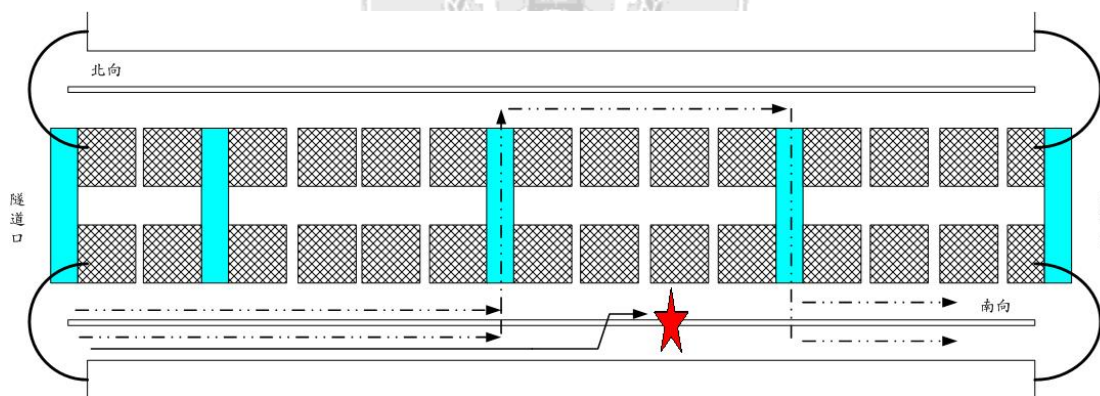
| 救援方式 | 種類 | 圖示 |
|-------|----|--|
| 未採用疏散 | - |  |

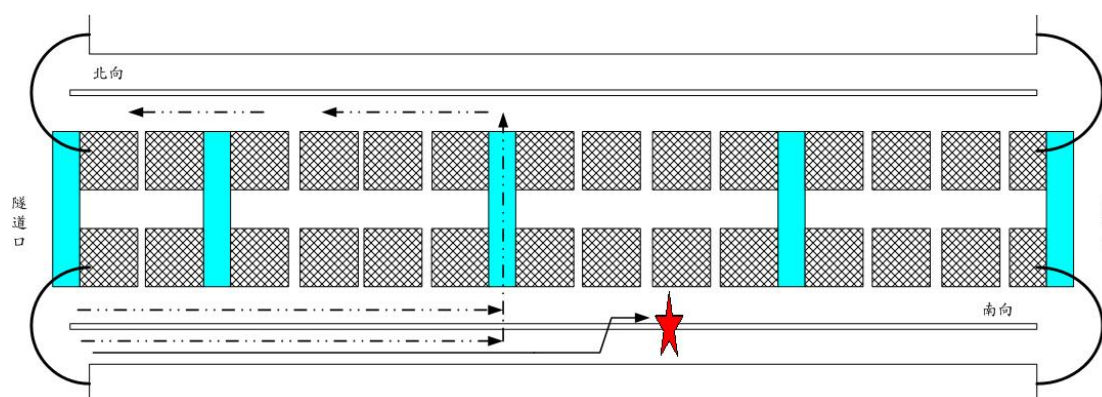
表 3.4 雙車道事故疏散路線種類與圖示 (續)

| 救援方式 | 種類 | 圖示 |
|---------|--------|----|
| 用車行橫坑疏散 | 順向橫坑疏散 | |
| | 逆向橫坑疏散 | |

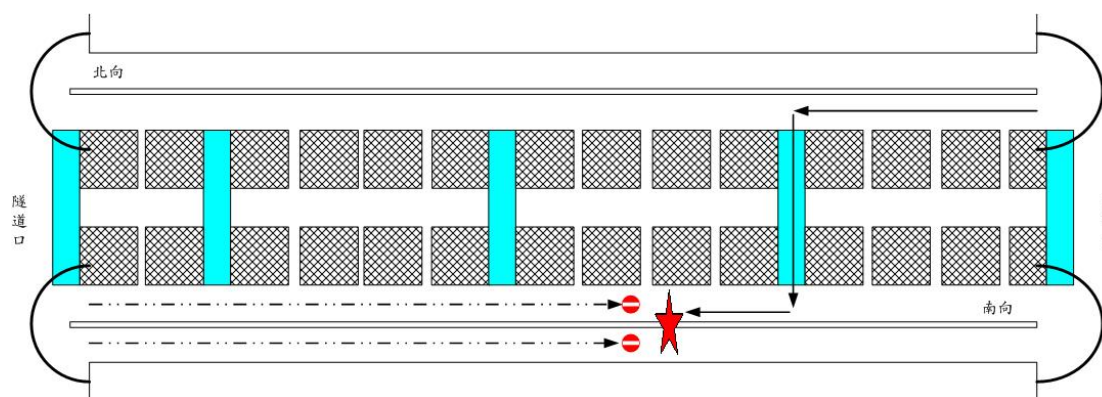
(B1)救救援車輛擬以行駛受阻車道方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



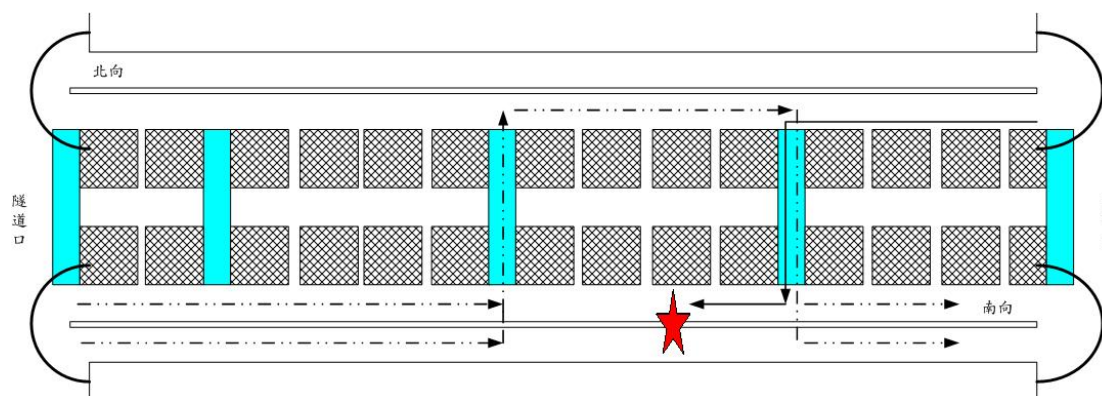
(B2)救援車輛擬以行駛受阻車道方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



(B3)救援車輛擬以行駛對向車道並順向經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均暫停行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）

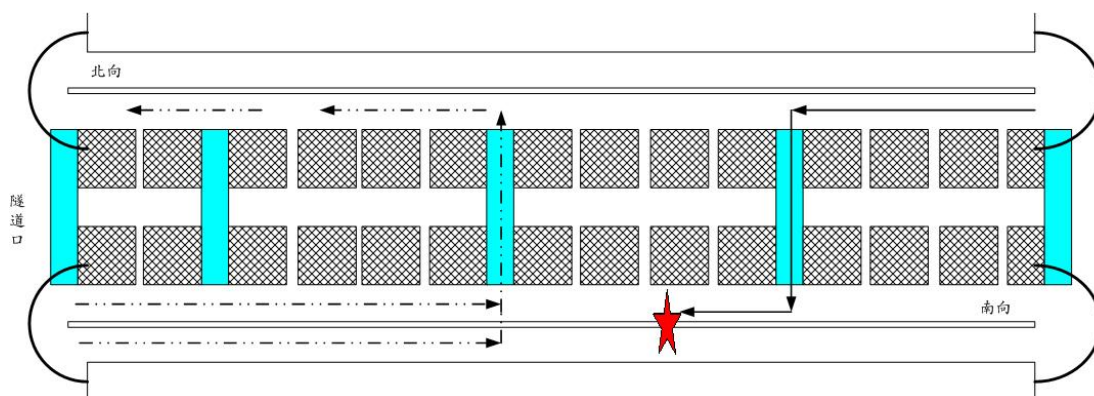


(B4)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）

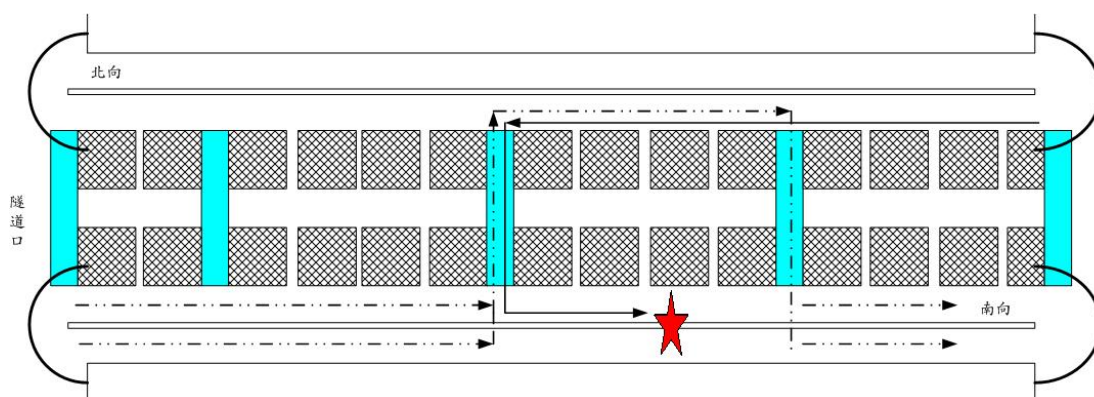


(B5)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道

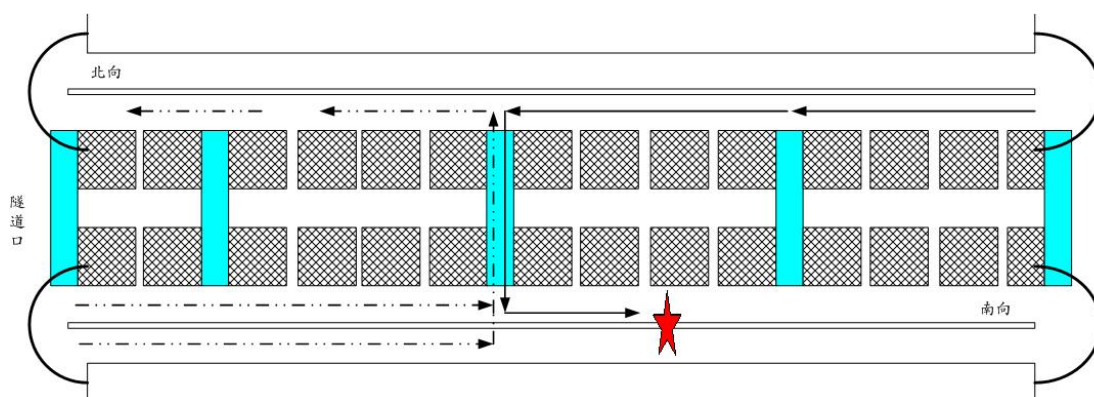
逆向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



(B6)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）

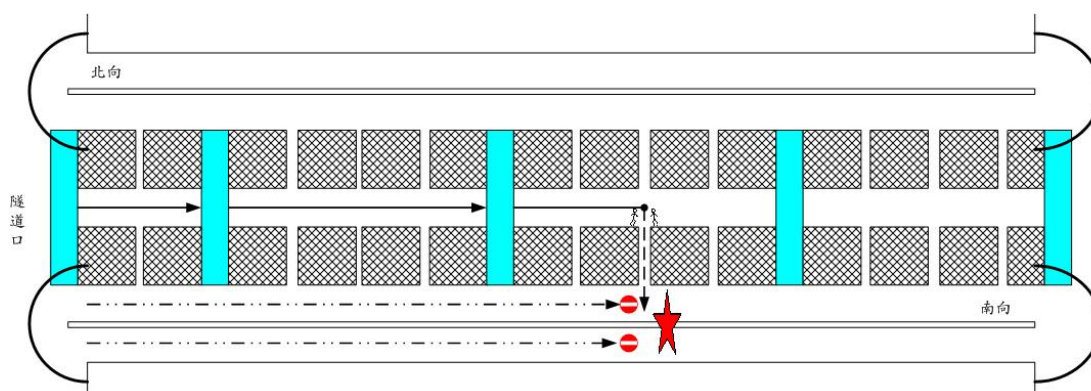


(B7)救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）

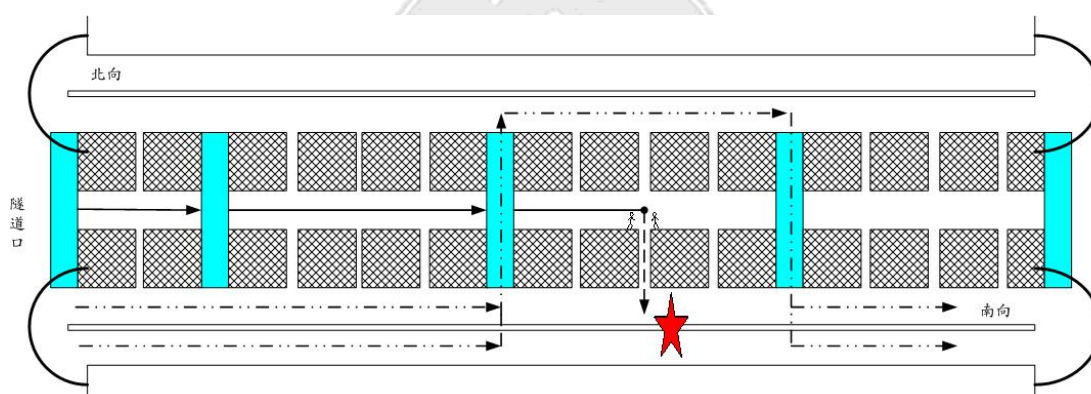


(B8)救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫

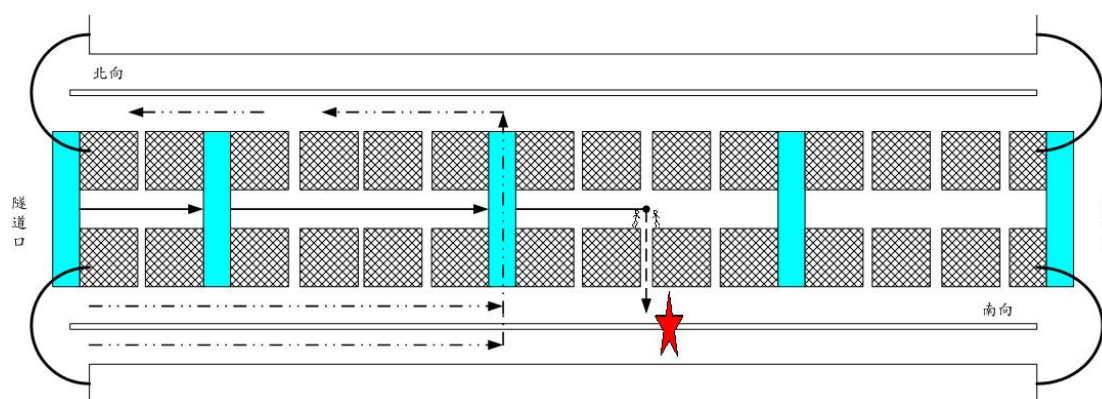
坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均暫停行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



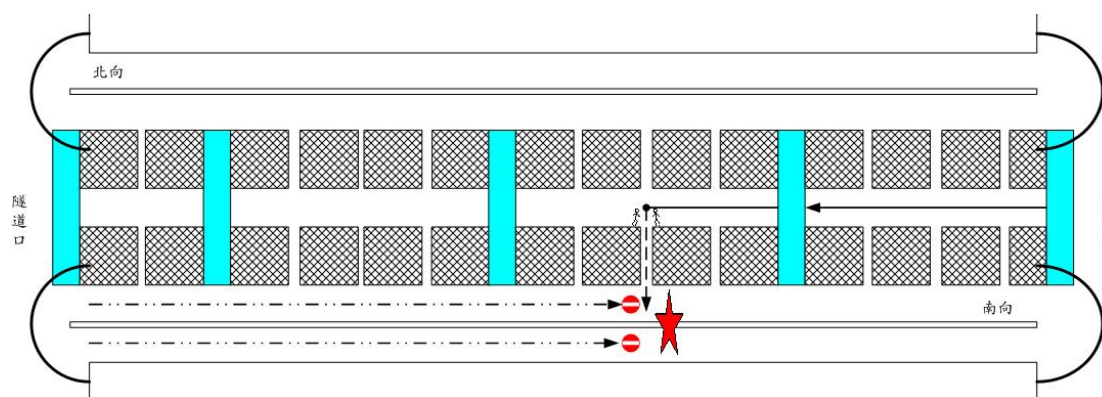
(B9)救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



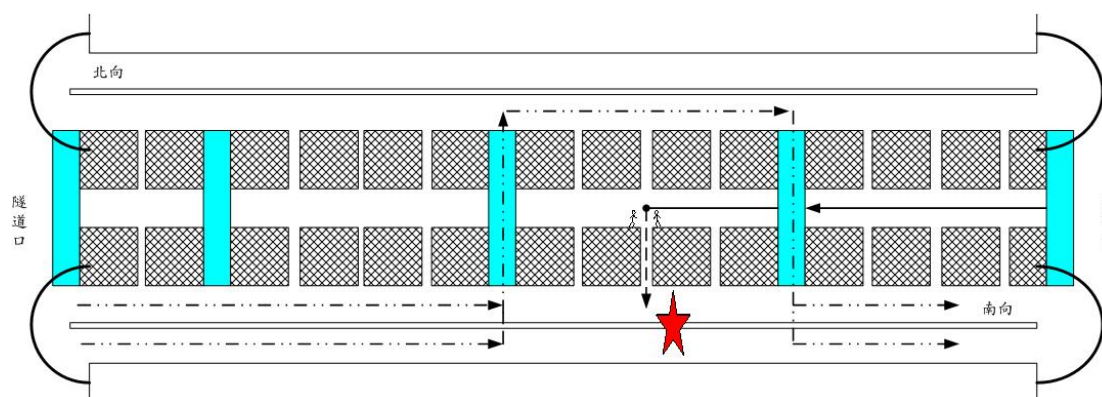
(B10)救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



(B11)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均暫停行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）

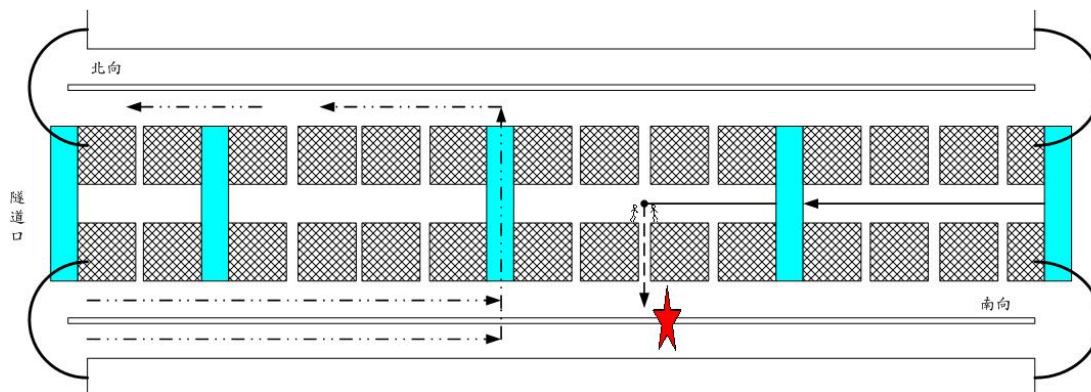


(B12)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



(B13)救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫

坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



3.2 評選模式建立

有關評選模式之建立，根據（30）需符合下列五項原則：

1. 完備性（Completeness）：準則要能涵蓋決策問題所有重要性。
2. 操作性（Operation）：準則對決策者而言必須有意義，而且可以公開研究。
3. 可分解性（Decomposable）：可從高階層分解至低階層，使評估過程得以簡化。
4. 無重複性（No redundancy）：避免計算同一準則。
5. 最小規模性（Minimal Size）：準則不宜過多，以簡化問題，減少評估過程所需人力、時間及成本。

本研究依據上述原則，並由文獻（1、3、6）以窮舉法產生了單內側、單車道外側與雙車道共 43 個救援方案，配合本研究「最佳救援方案」之總目標下，提出「救援成本」與「救援績效」兩大標的進行通盤考量，並以「所需交管人力」、「產生車流延滯」、「救援到達時間」與「救援方案危險度」等四項準則，最後構建最佳救援方案評估層級結構如圖 3.5 所示。（單車道部分以內側事故為例）

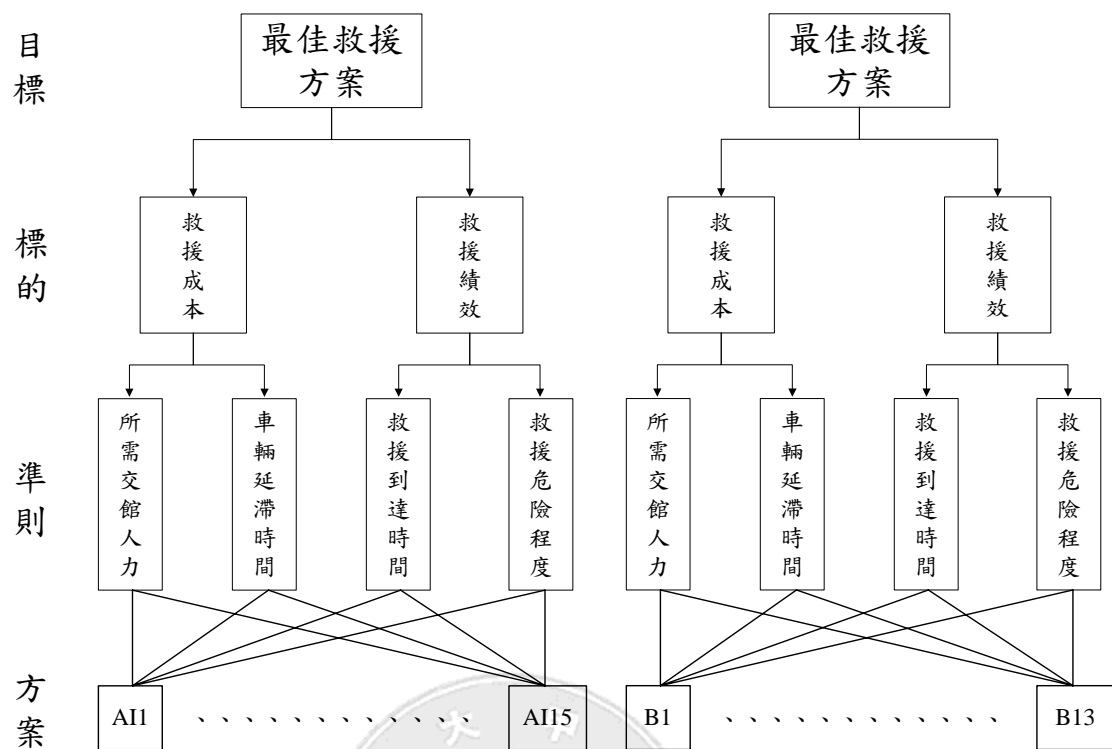


圖 3.5 最佳救援方案評選模式

當隧道事故發生時，救援決策者依事故特性包含：當時交通量、嚴重程度（單車道或雙車道）、事故類型（一般事故或火災事故）、事故位置以及預期處理時間等，為多準則評估模型的輸入變數。多準則評估模型則根據輸入之事故特性輔以量化方法-TOPSIS 方法評選出最佳救援方案為輸出，如圖 3.5。

本研究評選模式之建立係以多準則評估模型為核心，以互動式決策支援系統為最終方法，並產生決策者認為可行之最佳方案，而有關動式決策支援系統部分於後再進行說明。

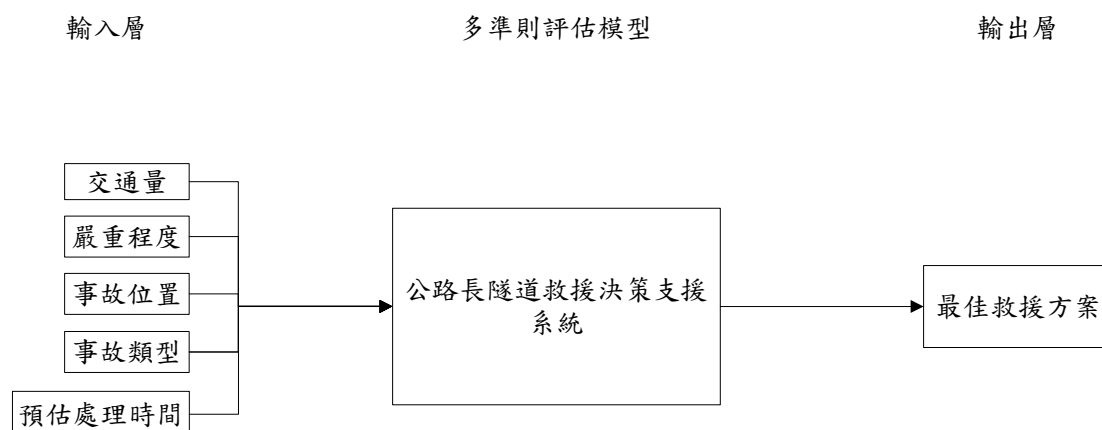


圖 3.6 評選系統架構圖

3.3 評估最佳方案方法

由表 2.7 之分類，本研究用於評選準則之權重採用分析階層程序法（AHP），而關於最佳方案之評選部分則採用量化多準則評估-TOPSIS 法，各方法之操作步驟茲說明如后。

3.3.1 階層分析程序法

AHP 是 1971 年由美國學者 Thomas L. Saaty 所發展出來，主要應用於不確定(Uncertainty)情況及具有多個評估準則之決策問題。當時係應用該理論從事埃及國防部之應變計畫問題上，至 1974 年開始廣為各界應用。1980 年後，AHP 的整體理論更臻完備。

AHP 法之主要基本假設是將一個系統分解成許多種類或成分，而每一層級之要素間均假設具獨立性，以作為評準基礎，再進行成對比較（Pair wise Comparison）；成對比較後可使用正倒值矩陣（Positive Reciprocal Matrix）處理，且使偏好關係滿足遞移性（Transitivity）。由於偏好關係欲完全具備遞移性並不容易，因此，容許不具遞移性的存在，但須測試其一致性（Consistency）

的程度。每一層級內的要素優劣程度，需經由加權法則（Weighting Principle）求得。因此，任何要素只要出現在階層結構中，不論其優勢程度如何小，均被認為與整個評估結構有關，而並非檢核階層結構的獨立性。

針對AHP 法之作業程序步驟，分別說明如后（馮正民、邱裕鈞，民國93年）

1. 建立層級關係

先將一複雜的評比問題分成四個層級：一是解決問題的目標（Goal），二是如何達到目標標的（Objective），三是衡量標的達成的準則（criteria），四是擬考慮的方案（Alternative）。圖3.6為層級結構之例。

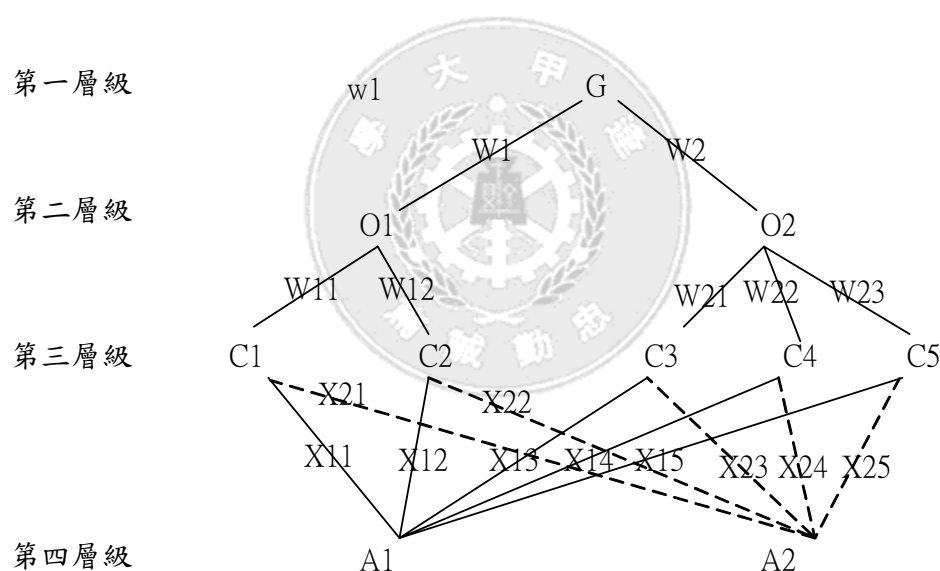


圖 3.7 層級結構圖

2. 建立成對比較矩陣

就各階層之每個單元內之評估項目進行兩兩比較，經由調查建立各評估項目間優劣關係的比較矩陣。所謂單元係指權重和為1之評估項目，以圖3.8之層級結構圖為例，它包含了如圖3.7的8個成對比較單元。

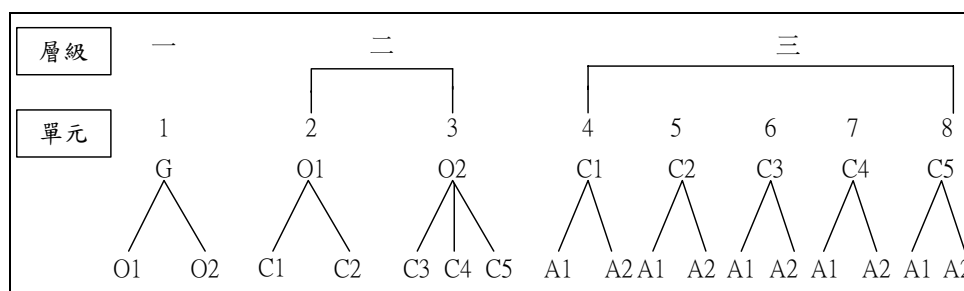


圖 3.8 比較單元說明

以圖3.8第三個比較單元之3個比較評估項目情境為例，其成對比較矩陣（A）可以表示如圖3.9。

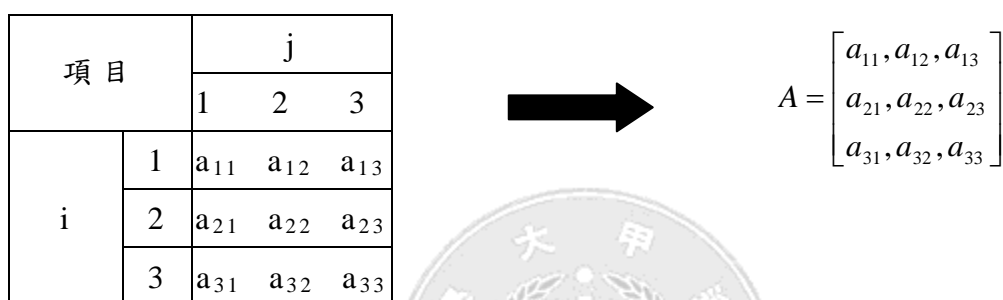


圖 3.9 成對比較矩陣說明

其中， a_{ij} 代表評估項目 i 權重（ W_i ）對項目 j 權重（ W_j ）之比值，理論上應滿足以下關係：

$$a_{ij} = W_i / W_j \quad (3-1)$$

$$a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk} \text{ (遞移性)} \quad (3-2)$$

$$a_{ij} \times a_{ji} = 1 \quad (3-3)$$

$$a_{ii} = 1 \quad (3-4)$$

3.求解權重並檢定一致性

另某個比較單元包含有 n 個項目，且 W_i 代表第 i 個評估項目之權重值，則權重矩陣（ W ）可表示如下：

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}, \text{ 且 } \sum W_i = 1$$

若成對比較矩陣完全符合 (3-1) 到 (3-4) 式之條件，則由於：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 / W_1 & W_1 / W_2 & \dots & W_1 / W_n \\ W_2 / W_1 & W_2 / W_2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_n / W_1 & \dots & \dots & W_n / W_n \end{bmatrix}$$

故存在以下關係：

$$\begin{aligned} AW &= nW \\ (A - nI)W &= 0 \end{aligned} \quad (3-5)$$

其中， n 不僅為比較評估項目數，同時亦應與成對比較矩陣 (A) 之最大特徵值 (the maximum eigenvalue, λ_{\max}) 相等，故亦應滿足下式：

$$(A - \lambda_{\max} I)W = 0 \quad (3-6)$$

利用 (3-6) 式、權重和為 1 之關係以及調查之 A 矩陣，即可求得各項目的權重值。

但是經由調查得到的成對比較矩陣，或多或少會違反遞移性關係，違反情形越嚴重，表示受訪者之回答越不一致，且 λ_{\max} 值會與 n 值有更大的差距，此時所得到之權重值越不可信。為了解調查資料之可信度，通常以一致性指標 (Consistence Index, CI) 進行檢定，公式如下：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3-7)$$

其中， λ_{\max} 與 n 之定一同 (3-5) 式與 (3-6) 式。為檢定評估結果是否具有一致性，一致性比率 (Consistency Ratio, CR) 值則被用為判斷成對比較矩陣一致性的基準，一致性比率值定義為：

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3-8)$$

其中RI值為平均隨機指標 (RI)，各階層數之RI值如表3.5所示。

表 3.5 平均隨機指標

| 階數 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R.I | 0.00 | 0.00 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.51 | 1.48 | 1.56 | 1.57 | 1.59 |

若 $CI \leq 0.1$ ，表示成對比較矩陣內之評比可被接受；若 $CI > 0.1$ ，則受訪者之成對比較矩陣不被接受而宜重新評比，或研究者應放棄此筆調查樣本。

4. 計算各方案之優勢比重值

經過一致性檢定通過後，即可進行各方案優勢比重值之計算，通常以 P_i 代表方案 I 之優勢比重值， P_i 可由各層級的權重相乘加總而得，值愈大者表示被採納之優先順序愈高。

3.3.2 評選最佳方案之方法-TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 法是 1981 年由 Hwang 與 Yoon 所發展出來的一種多評準決策方法。其基本概念是以「距離理想解 (Ideal Solution) 最近，且距離負理想解 (Negative-ideal Solution) 最遠」，作為方案選擇之依據，如圖 3.10 所示。

此法假設每一準則都是單調遞增或單調遞減的效用，也就是說，若該項準則屬效益準則 (Benefit Criteria)，則績效值愈大，偏好值就愈大；反之屬成本準則 (Cost Criteria)，則績效值愈小，偏好值就愈大。因此，「理想解」即是所有準則的最佳值組成，而「負理想解」則為所有準則的最劣值所組成的。

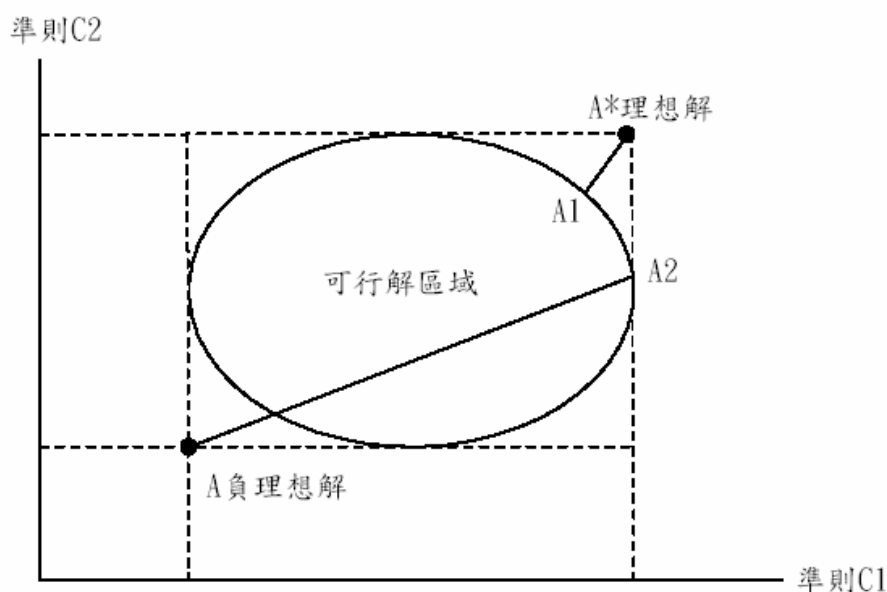


圖 3.10 理想解與負理想解示意圖

TOPSIS 法之分析過程主要包括六項步驟，分別說明如后：

1. 將評估準則正規化 (Normalization)，以下為四種常用公式：

$$a. r_{ij} = \frac{i \text{ 準則中第 } j \text{ 個方案之評估得點}}{i \text{ 準則中所有方案評估得點之加總}} = \frac{e_{ij}}{\sum e_{ik}} \quad (3-9)$$

$$b. r_{ij} = \frac{i \text{ 準則中第 } j \text{ 個方案之評估得點}}{i \text{ 準則中所有方案之最大評估得點}} = \frac{e_{ij}}{\max e_{ik}} \quad (3-10)$$

$$c. r_{ij} = \frac{i \text{ 準則第 } j \text{ 個方案之評估得點} - i \text{ 準則中所有方案之最小評估得點}}{i \text{ 準則中所有方案之最大評估得點} - i \text{ 準則中所有方案之最小評估得點}} \\ = \frac{e_{ij} - e_{i,\min}}{e_{i,\max} - e_{i,\min}} \quad (3-11)$$

$$d. r_{ij} = \frac{i \text{ 準則中第 } j \text{ 個方案之評估得點}}{\sqrt{\sum (i \text{ 準則中所有方案之評估得點})^2}} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{\sum (e_{ik})^2}} \quad (3-12)$$

其中， $r_{ij} \in [0,1]$ 為方案 j 在準則 i 經過正規化後的評估值。

2. 將正規化後之評估值乘上準則權重。

令 W_i 為準則 i 之權重，則加權正規化矩陣 V 為分別權重值乘上評估矩陣，即為下式：

$$V_{ij} = W_i \times r_{ij} \quad (3-13)$$

其中 V_{ij} 為方案 i 在準則 k 經過正規化且加權後之評估值。

3. 決定理想解與負理想解

理想解 (A^+) 與負理想解 (A^-) 以下列二式求得：

$$A^+ = \left\{ \left(\max_j V_{ij} \mid i \in I \right), \left(\min_j V_{ij} \mid i = I' \right), j = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+\} \quad (3-14)$$

$$A^- = \left\{ \left(\max_j V_{ij} \mid i \in I \right), \left(\min_j V_{ij} \mid i = I' \right), j = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} \quad (3-15)$$

其中 V_i^+ 為準則 i 之理想值， V_i^- 為準則 i 之負理想值

4. 計算分離度

兩方案間的分離度以 n 次歐幾里得距離求出，則每一方案距理想解的分離度為：

$$S_{j^+} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_i^+)^2}, j = 1, 2, \dots, m \quad (3-16)$$

距負理想解的分離度為：

$$S_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_i^-)^2}, j = 1, 2, \dots, m \quad (3-17)$$

5. 計算距離理想解之相對接近程度

$$C_j = \frac{S_j}{S_{j^+} + S_j}, j = 1, 2, \dots, m \quad (3-18)$$

其中 C_{j^+} 為方案 j 對理想解之相對接近程度，其值愈近 1，表示愈接近理想解。

6. 排列順序

最後根據 C_{j^+} 各方案距離理想解的相對接近度值的大小，決定優先順序。

3.4 互動式救援決策支援系統

互動式救援決策支援系統為本研究之最終模型，如圖 3.11 並以五大步驟說明如后。

Step1

當隧道事故發生時，根據事故類型、事故嚴重程度與事故地點產生所有可行之救援方案。

Step2

依據事故預期處理時間、救援設備（車行橫坑或人行橫坑）位置與當時交通量狀況等，分別計算 1.救援到達時間；2.車流延滯時間；3.所需交管人力；4.救援路線危險度四大準則值。

Step3

根據收集之專家問卷以 AHP 方法產生四大準則之權重。

Step4

將準則值與權重值代入量化多準則評估模式-TOPSIS 中，並產生一最佳救援方案。

Step5

由事故救援決策者（Decision maker）判斷最佳救援方案是否可接受。若可接受，則執行此最佳救援方案；若認為不可接受，則救援決策者必須重新設定一組權重值以取代專家權重，或根據資源與救災限制對四準則值設定門檻，並接續執行 Step 4、Step5，以重新求得最佳救援方案。

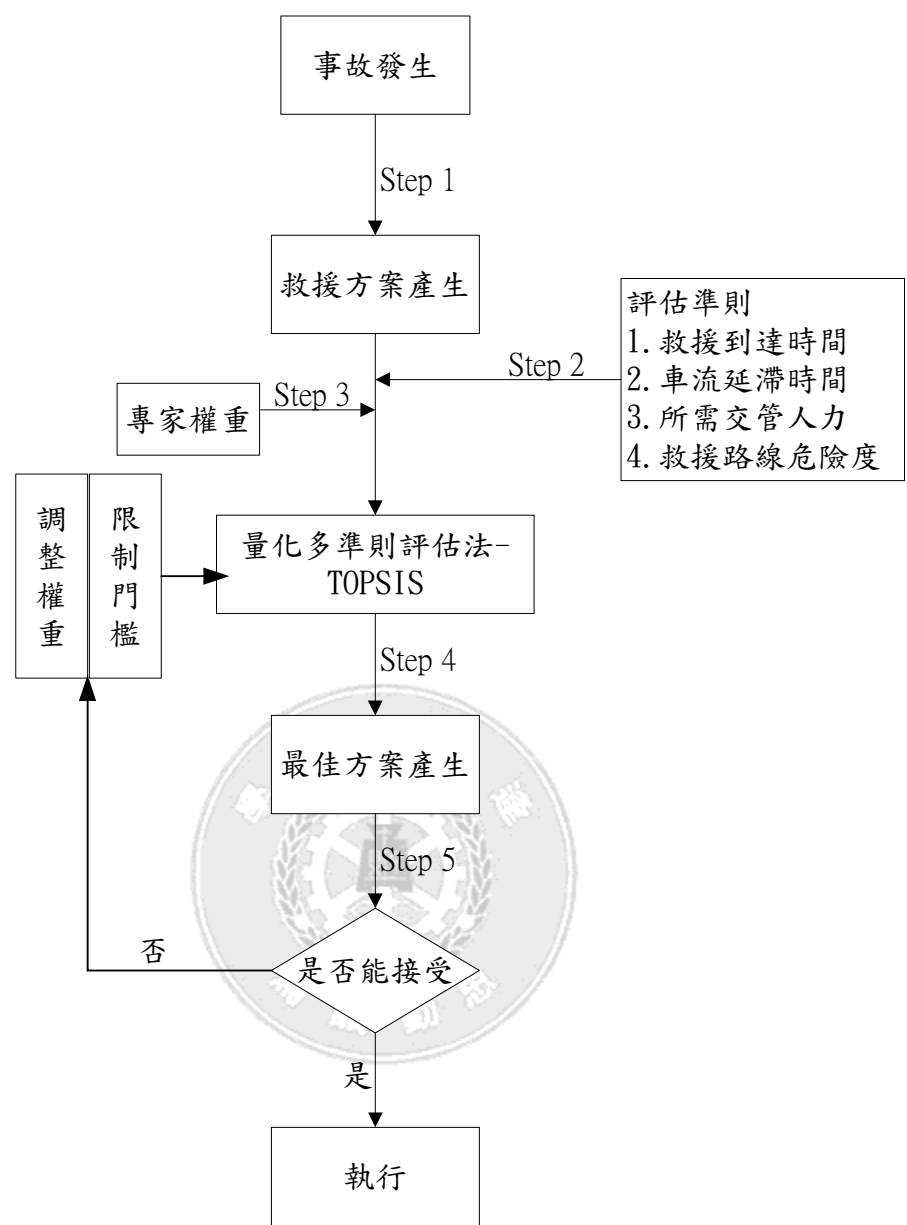


圖 3.11 互動式決策支援系統架構圖

第四章 準則衡量與權重調查

4.1 方案準則衡量

進行事故救援時救援單位能否儘速到達現場，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，而實施交通管制對其他車輛所造成之延滯，亦有必要列為救援方案之評估準則。同時，由於事故災害類型、發生位置之不同，使得各救援方案危險程度也迥異，故在救援與疏散的同時危險程度為必須考慮的準則之一。另外，進行交通管制時，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，本研究用於評估救援方案優劣之準則有四，即救援單位到達時間愈短愈好、車輛延滯愈少愈好、危險程度越低越好、交管人力愈少愈好。各準則之估算方式說明如下：

4.1.1 救援到達時間

救援單位到達事故現場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、實際距離與交通狀況遂求得到達匝道時間（ T_a ）與隧道口之時間（ T_b ）。再依據發生地點與行駛路線之距離、速限與交通狀況的不同，求得其由隧道口到達救援點的時間（ T_c ）。將救難單位由基地出發，經過最近匝道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。基本公式如下：

$$T = T_a + T_b + T_c \quad (4-1)$$

T ：救援時間

T_a ：救難單位所在地到達最近匝道所需時間

T_b ：最近匝道到達隧道口所需時間

T_c ：隧道口到達事故地點所需時間

為同時考量旅行時間包括車行時間(Running Time)及因路口停等與行車中其他車流的影響而增加之時間延滯(Intersection Delay)。在路網交通量指派的實務上，常用簡化的數學公式計算，其中最被廣泛使用的是美國公路局(U.S Bureau of Public Roads ; BPR)建立的公式，稱為 BPR 公式。本研究在估算救援旅行時間時亦使用此模式如下：

$$T = T_0 [1 + \alpha(Q / C)^\beta] \quad (4-2)$$

其中

T：在流量為 Q 時之路段平均旅行時間

T₀：自由車流速率之路段旅行時間

Q：路段流量

C：實際容量(Practical Capacity)

α 、 β ：參數值（表 4.1）

表 4.1 各道路類別參數值

| 道路類別 | | 參數 | 參數值 |
|------|------|----------|-------|
| 多車道 | 高速公路 | α | 0.390 |
| | | β | 1.331 |
| | 一般道路 | α | 0.777 |
| | | β | 1.897 |
| 兩車道 | 高速公路 | α | 0.515 |
| | | β | 1.569 |
| | 一般道路 | α | 1.287 |
| | | β | 1.891 |

來源：【41】

由（4-1）、（4-2）式與表 4.1 可得：

$$T_a = \frac{D_c}{S_c} [1 + 1.287(Q_c / C_c)^{1.891}] \quad (4-3)$$

D_c ：救難單位所在地與最近匝道之距離

S_c ：一般道路速限

$\frac{Q_c}{C_c}$ ：一般道路容量與實際流量比

T_b 為最近匝道位置與隧道口之時間，由於該時間之計算會因救援單位之行車方向而有差異，如表 4.2 所示。

表 4.2 各救援路線由匝道位置到達隧道口所需時間計算通式

| 救援路線別 | T_b |
|-----------------------------------|---|
| 救援路線一、救援路線四（行車方向與肇事隧道車流向） | $\frac{D_h}{S_h}[1 + 0.515(\frac{Q_h}{C_h})^{1.569}]$ (4-4) |
| 救援路線二、救援路線三、救援路線五（行車方向與肇事隧道車流向不同） | $\frac{D_h}{S_h}[1 + 0.515(\frac{Q_{oh}}{C_{oh}})^{1.569}]$ (4-5) |

D_h ：匝道位置與隧道口之距離

S_h ：高速公路速限

$\frac{Q_h}{C_h}$ ：事故向高速公路實際流量與容量比

$\frac{Q_{oh}}{C_{oh}}$ ：事故對向高速公路實際流量與容量比

T_c 為隧道口到達事故地點所需時間，而該時間之計算則因救援路線是否受到其他車流影響分為四類，如下表

表 4.3 各救援路線由隧道口到達事故地點所需時間計算通式

| 救援路線別 | T_c |
|-----------------|--|
| 救援路線一（順向救援） | $\frac{D_t}{S_t}[1 + 0.515(\frac{Q_t}{C_t})^{1.569}]$ (4-6) |
| 救援路線二（下游車行橫坑救援） | $\frac{D_{t1}}{S_t}[1 + 0.515(\frac{Q_{ot}}{C_{ot}})^{1.569}] + \frac{D'_{t1}}{S_t}$ (4-7) |
| 救援路線三（上游車行橫坑救援） | $\frac{D_{t2}}{S_t}[1 + 0.515(\frac{Q_{ot}}{C_{ot}})^{1.569}] + \frac{D'_{t2}}{S_t}[1 + 0.515(\frac{Q_t}{C_t})^{1.569}]$ (4-8) |

表 4.3 各救援路線由隧道口到達事故地點所需時間計算通式（續）

| 救援路線別 | T_c |
|-----------------|--|
| 救援路線四、五（利用導坑救援） | $\frac{D_{t3}}{S'_t} + \frac{D_w}{S_w}$ （行駛導坑未受到其他車流影響）（4-9） |

D_t ：隧道口與事故地點之距離

D_{t1} ：南隧道口至事故下一橫坑距離

D'_{t1} ：事故下一橫坑至事故地點距離

D_{t2} ：南隧道口至事故上一橫坑距離

D'_{t2} ：事故上一橫坑至事故地點距離

S_t ：隧道速限

S'_t ：導坑速限

$\frac{Q_t}{C_t}$ ：事故向隧道內實際流量與容量比

$\frac{Q_{ot}}{C_{ot}}$ ：事故對向隧道內實際流量與容量比

D_{t3} ：隧道口與最接近事故地點之人行聯絡道距離

D_w ：最接近事故地點人行聯絡道至事故地點距離

S_w ：救難人員行走速率

將（4-3）、（4-4（5））、（4-6(7)(8)(9)）代入（4-1）即為救難單位到達事故現場時間。

4.1.2 車輛產生延滯

由表 3.2 與 3.4 不論單車道（內側、外側）事故與雙車道事故均有三個疏散方法，本節將就各疏散方法所衍生之車輛延滯以等候理論模式【36】加以探討：

一、單車道內側事故

單車道內側事故疏散方式共可分為三種：未受阻車道疏散、順向橫坑疏散與逆向橫坑疏散。茲以下說明

1. 未受阻車道疏散

在此疏散情形下，雖然發生事故但是上游車輛仍可以由未被事故影響之車道通過事故地點到達下游，而因車道交織縮減而產生的延滯如圖 4.1。當事故於 O 時間發生時，上游車輛以 λ_1 到達率到達，由於車流需交織於未受阻車道，使得僅能以受影響道路容量 μ_0 離開。待事故於 T 時間排除後，後方車隊以隧道設計容量 (μ) 離開。

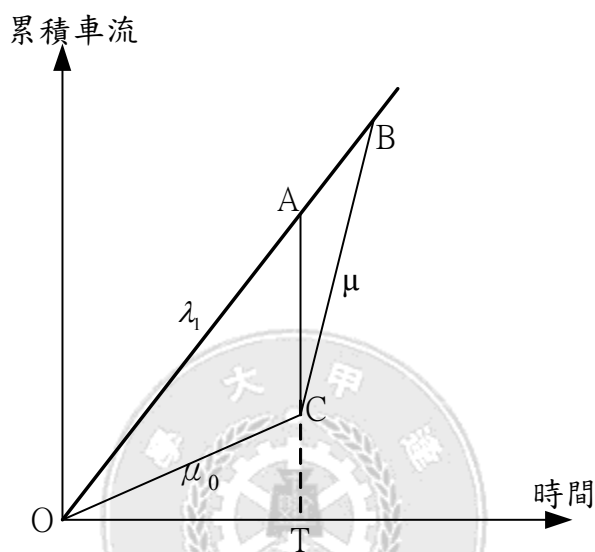


圖 4.1 由未受阻車道疏散產生延滯圖

註：T：事故排除時間、 λ_1 ：到達率、 μ_0 ：受影響道路容量、 μ ：隧道設計容量

$$\Delta OAC \text{ 之面積} = \frac{T^2(\lambda_1 - \mu_0)}{2}$$

$$\Delta ACB \text{ 之面積} = \frac{T^2(\lambda_1 - \mu_0)^2}{2(\mu - \lambda_1)}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔOBC 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta OBC = \Delta OAC + \Delta ACB = \frac{T^2(\lambda_1 - \mu_0)(\mu - \mu_0)}{2(\mu - \lambda_1)} \quad (4-10)$$

2. 順向橫坑疏散

當採用順向橫坑疏散的方式時，需考慮的延滯部分共分為兩類：

(1) 迴轉車輛之延滯與 (2) 反向隧道車輛之延滯，分述如下：

(1) 迴轉車輛之延滯

迴轉車輛於 T 時間後，自受阻車道之最近上游車行橫坑離開肇事車道，因車輛行駛迴轉道時需減速進入，易於車行橫坑口形成等候車隊，此車隊之等候型態為先到達先離開 (FIFO)，其到達率為原肇事車道到達率 (λ'_1)，離開率則為受影響道路容量 (μ_0)。待事故排除後，便不再有車輛進入反向隧道，該車隊之延滯時間估算為：(如圖 4.2)

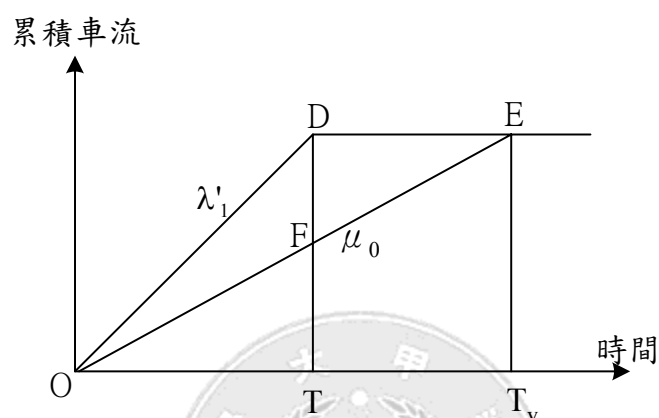


圖 4.2 迴轉車輛於反向隧道之延滯時間圖

註： T ：事故排除時間、 T_v ：迴轉車輛全部離開反向隧道時間、 λ'_1 ：單一車道到達率、 μ_0 ：受影響道路容量

$$\Delta ODF \text{ 之面積} = \frac{T^2(\lambda'_1 - \mu_0)}{2}$$

$$\Delta DEF \text{ 之面積} = \frac{T^2(\frac{\lambda'^2_1}{\mu_0} - 2\lambda'_1 + \mu_0)}{2}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔODE 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta ODE = \Delta ODF + \Delta DEF = \frac{T^2\lambda'_1(\frac{\lambda'_1}{\mu_0} - 1)}{2} \quad (4-11)$$

(2) 反向隧道車輛之延滯

反向隧道自 T^* 時間後，因調撥一車道予迴轉車輛行駛，故反向隧道車輛僅能行駛於右側車道。又如圖 4.3，反向隧道車輛之到達率為

λ_2 ，於 T^* 時間後即以 μ'_0 之離開率通過，待事故排除，迴轉車輛全部駛離反向隧道後 (T_v)，才恢復兩車道通車，其離開率為 μ_0 。而延滯時間計算為：

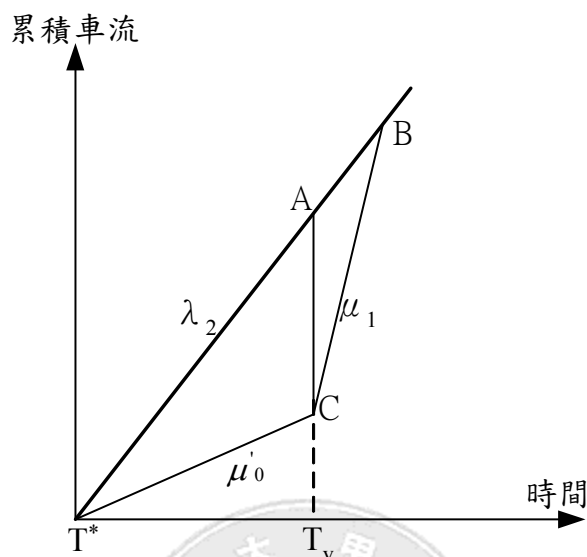


圖 4.3 反向隧道車輛延滯時間圖

註： T^* 為開始調撥迴轉之時間（救援單位到達後）、 T_v 為迴轉車輛全部離開反向隧道時間、 λ_2 ：反向車流到達率、 μ_1 ：反向隧道設計容量、 μ'_0 ：反向受影響道路容量

$$\Delta T^*AC \text{ 之面積} = \frac{(T_v - T^*)^2 (\lambda_2 - \mu'_0)}{2}$$

$$\Delta ACB \text{ 之面積} = \frac{(T_v - T^*)^2 (\lambda_2 - \mu'_0)^2}{2(\mu_1 - \lambda_2)}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔT^*BC 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta OBC = \Delta T^*AC + \Delta ACB = \frac{(T_v - T^*)^2 (\lambda_2 - \mu'_0)(\mu_1 - \mu'_0)}{2(\mu_1 - \lambda_2)} \quad (4-12)$$

綜合 (1)、(2) 順向橫坑疏散路線之總延滯，則為式 (4-11) 與式 (4-12) 之加總。

3. 逆向橫坑疏散

當採用逆向橫坑疏散的方式時，需考慮的延滯部分共分為三類：

(1) 迴轉車輛之延滯與 (2) 反向隧道車輛之延滯 (3) 行駛路線改道後旅行時間延滯，分述如下：

(1)、(2) 項之說明及通式如順向橫坑疏散

(3) 行駛路線改道後旅行時間延滯

為達到旅次完成之目的，原行車路線經由迴轉改道後仍必須尋找適當之替代道路，而此替代路線之建立是依據事故上游與下游兩最近交流道之個別道路系統所形成的路網，由其中建立一條距離最短之路線作為替代路線【7】，如圖 4.4

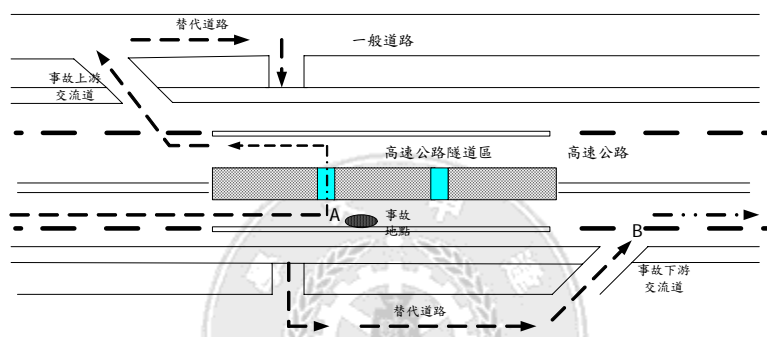


圖 4.4 最短距離替代路線圖

該車流延滯的估算方法，則為改道前之旅行時間與改道後旅行時間之差為依據，以圖 4.4 之點 A 為例：當事故未發生時由點 A 至點 B 之旅行時間為 T_0 ；事故發生後採逆向橫坑疏散方式（圖中虛線），由點 A 至點 B 之旅行時間為 T_p ，則該車流延滯即為：

$$TD = T_p - T_0 \quad (4-13)$$

其中

$$T_p = \left[\frac{D_{cl}}{S_h} (1 + 0.515 (Q_p / C_{ot})^{1.569}) + \frac{D_{c2}}{S_c} (1 + 1.287 (Q_k / C_c)^{1.891}) \right]$$

$$T_0 = \frac{D_o}{S_h} (1 + 0.515 (Q_h / C_h)^{1.569})$$

D_{cl} = 事故地點上一車行橫坑 距離上一匝道距離

Q_p = 迴轉流量 + 原來流量

Q_k = Q_p + 一般道路交通量

D_{c2} =最短繞道距離

D_0 =事故地點上一橫坑距離下一匝道距離

綜合 (1)、(2)、(3) 順向橫坑疏散路線之總延滯，則為式 (4-11)、式 (4-12) 與 (4-13) 之加總。

二、單車道外側事故

單車道外側事故疏散方式共可分為三種：未受阻車道疏散、順向橫坑疏散與逆向橫坑疏散。茲以下說明

1. 未受阻車道疏散

在此疏散情形下，雖然發生事故但是上游車輛仍可以由未被事故影響之車道通過事故地點到達下游，而因車道交織縮減而產生的延滯如圖 4.5。當事故於 O 時間發生時，上游車輛以 λ_1 到達率到達，由於車流需交織於未受阻車道，使得僅能以受影響道路容量 μ_0 離開。待事故於 T 時間排除後，後方車隊以隧道設計容量 (μ) 離開。

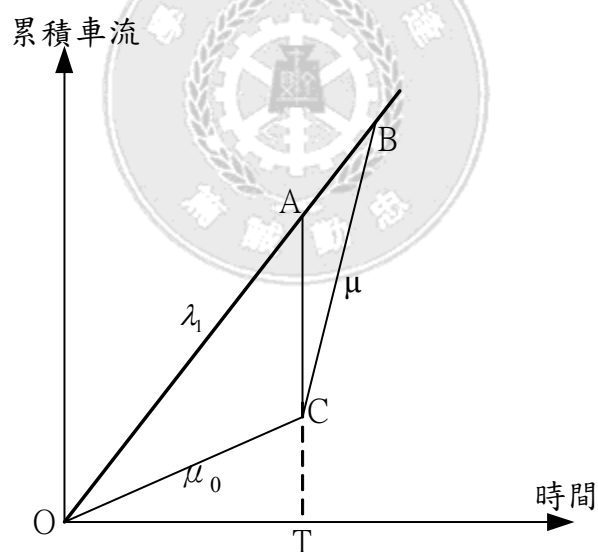


圖 4.5 由未受阻車道疏散產生延滯圖

註： T ：事故排除時間、 λ_1 ：到達率、 μ_0 ：受影響道路容量、 μ ：隧道設計容量

$$\Delta OAC \text{ 之面積} = \frac{T^2(\lambda_1 - \mu_0)}{2}$$

$$\Delta ACB \text{ 之面積} = \frac{T^2(\lambda_1 - \mu_0)^2}{2(\mu - \lambda_1)}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔOBC 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta OBC = \Delta OAC + \Delta ACB = \frac{T^2(\lambda'_1 - \mu_0)(\mu - \mu_0)}{2(\mu - \lambda_1)} \quad (4-14)$$

2. 順向橫坑疏散

當採用順向橫坑疏散的方式時，需考慮的延滯部分共分為三類：

(1) 內側迴轉車輛之延滯、(2) 反向隧道車輛之延滯與 (3) 外側疏散延滯，分述如下

(1) 內側迴轉車輛之延滯

內側迴轉車輛於 T 時間後，自受阻車道之最近上游車行橫坑離開肇事車道，因車輛行駛迴轉道時需減速進入，易於車行橫坑口形成等候車隊，此車隊之等候型態為先到達先離開 (FIFO)，其到達率為內側車道到達率 (λ'_1)，離開率則為受影響道路容量 (μ_0)。待事故排除後，便不再有車輛進入反向隧道，該車隊之延滯時間估算為：(如圖 4.6)

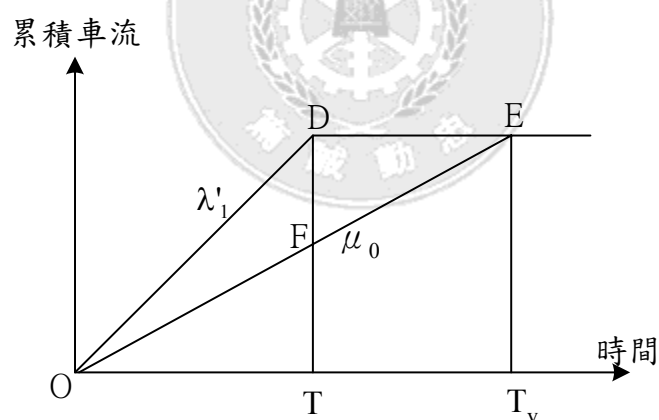


圖 4.6 內側迴轉車輛之延滯時間圖

註：T：事故排除時間、 T_v ：迴轉車輛全部離開反向隧道時間、 λ'_1 ：內側車道到達率、 μ_0 ：受影響道路容量

$$\Delta ODF \text{ 之面積} = \frac{T^2(\lambda'_1 - \mu_0)}{2}$$

$$\Delta DEF\text{之面積} = \frac{T^2(\frac{\lambda_1'^2}{\mu_0} - 2\lambda_1' + \mu_0)}{2}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔODE 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta ODE = \Delta ODF + \Delta DEF = \frac{T^2\lambda_1'(\frac{\lambda_1'}{\mu_0} - 1)}{2} \quad (4-15)$$

(2) 反向隧道車輛之延滯

反向隧道自 T^* 時間後，因調撥一車道予迴轉車輛行駛，故反向隧道車輛僅能行駛於外側車道。又如圖 4.7，反向隧道車輛之到達率為 λ_2 ，於 T^* 時間後即以 μ_0' 之離開率通過，待事故排除，迴轉車輛全部駛離反向隧道後 (T_v)，才恢復兩車道通車，其離開率為 μ_0 。而延滯時間計算為：

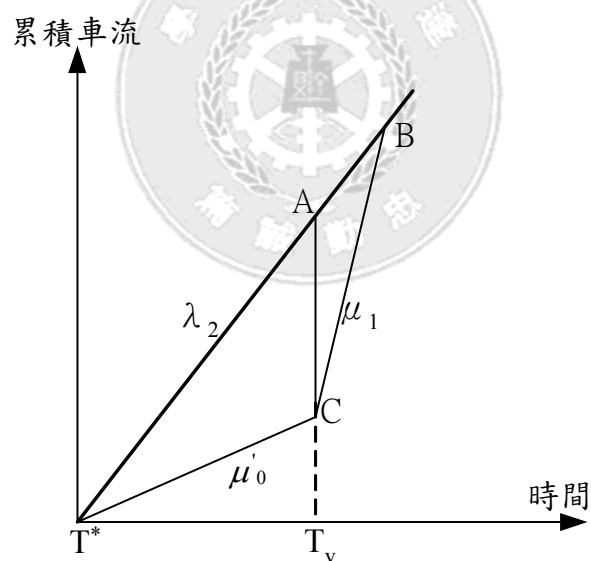


圖 4.7 反向隧道車輛延滯時間圖

註： T^* 為開始調撥迴轉之時間（救援單位到達後）、 T_v 為迴轉車輛全部離開反向隧道時間、 λ_2 ：反向車流到達率、 μ_1 ：反向隧道設計容量、 μ_0' ：反向受影響道路容量

$$\Delta T^*AC\text{之面積} = \frac{(T_v - T^*)^2(\lambda_2 - \mu_0')}{2}$$

$$\Delta ACB\text{之面積} = \frac{(T_v - T^*)^2 (\lambda_2 - \mu_0')^2}{2(\mu_1 - \lambda_2)}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔT^*BC 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta OBC = \Delta T^*AC + \Delta ACB = \frac{(T_v - T^*)^2 (\lambda_2 - \mu_0')(\mu_1 - \mu_0')}{2(\mu_1 - \lambda_2)} \quad (4-16)$$

(3) 外側疏散延滯

在此疏散情形下，雖然發生事故但是上游車輛仍可以由未被事故影響之車道通過事故地點到達下游，而因車道交織縮減而產生的延滯如圖 4.8。當事故於 O 時間發生時，上游外側車輛以 $\lambda_1/2$ 到達率到達，由於車流需交織於未受阻車道，使得僅能以受影響道路容量 $\mu_0/2$ 離開。待事故於 T 時間排除後，後方車隊以隧道設計容量 (μ) 離開。

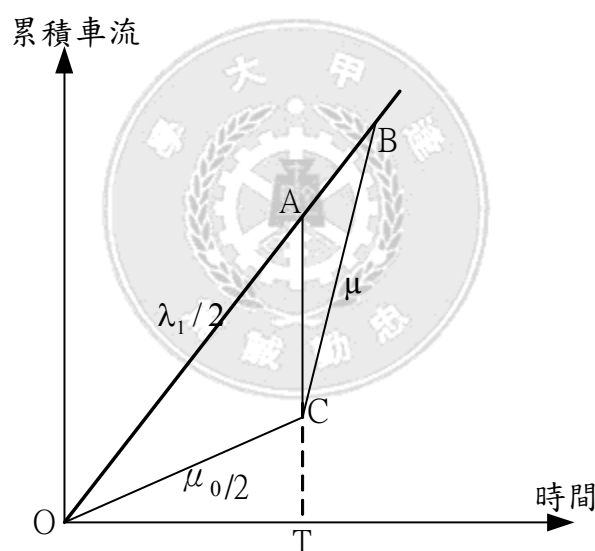


圖 4.8 外側疏散延滯時間圖

註：T：事故排除時間、 λ_1 ：到達率、 μ_0 ：受影響道路容量、 μ ：隧道設計容量

$$\Delta OAC\text{之面積} = \frac{T^2 (\lambda_1 - \mu_0)}{4}$$

$$\Delta ACB\text{之面積} = \frac{T^2 (\lambda_1 - \mu_0)^2}{8(\mu - \lambda_1/2)}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔOBC 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta OBC = \Delta OAC + \Delta ACB = \frac{T^2(\lambda_1 - \mu_0)(2\mu - \mu_0)}{8(\mu - \lambda_1/2)} \quad (4-17)$$

綜合 (1)、(2)、(3) 順向橫坑疏散路線之總延滯，則為式 (4-15)、式 (4-16) 與式 (4-17) 之加總。

3. 逆向橫坑疏散

當採用逆向橫坑疏散的方式時，需考慮的延滯部分共分為四類：

(1) 內側迴轉車輛之延滯、(2) 反向隧道車輛之延滯、(3) 外側疏散延滯與 (4) 行駛路線改道後旅行時間延滯，分述如下：

(1)、(2)、(3) 項之說明及通式如順向橫坑疏散

(4) 行駛路線改道後旅行時間延滯

為達到旅次完成之目的，原行車路線經由迴轉改道後仍必須尋找適當之替代道路，而此替代路線之建立是依據事故上游與下游兩最近交流道之個別道路系統所形成的路網，由其中建立一條距離最短之路線作為替代路線【7】，如圖 4.9

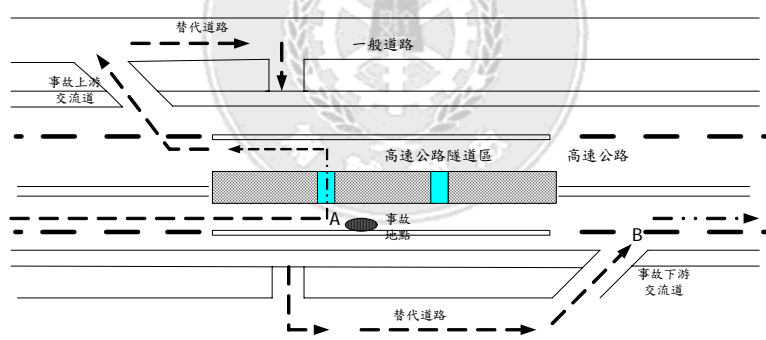


圖 4.9 最短距離替代路線圖

該車流延滯的估算方法，則為改道前之旅行時間與改道後旅行時間之差為依據，以圖 4.9 之點 A 為例：當事故未發生時由點 A 至點 B 之旅行時間為 T_0 ；事故發生後採逆向橫坑疏散方式（圖中虛線），由點 A 至點 B 之旅行時間為 T_p ，則該車流延滯即為：

$$TD = T_p - T_0 \quad (4-18)$$

其中

$$T_p = \left[\frac{D_{cl}}{S_h} (1 + 0.515 (\frac{Q_p}{C_{ot}})^{1.569}) + \frac{D_{c2}}{S_c} (1 + 1.287 (\frac{Q_k}{C_c})^{1.891}) \right]$$

$$T_o = \frac{D_o}{S_h} (1 + 0.515 (Q_h / C_h)^{1.569})$$

D_{c1} = 事故地點上一車行橫坑 距離上一匝道距離

Q_p = 迴轉流量 + 原來流量

$Q_k = Q_p$ + 一般道路交通量

D_{c2} = 最短繞道距離

D_o = 事故地點上一橫坑距離下一匝道距離

綜合(1)、(2)、(3)、(4)順向橫坑疏散路線之總延滯，則為式(4-15)、式(4-16)、式(4-17)與(4-18)之加總。

三、雙車道事故

雙車道事故疏散方式共可分為三種：未採用疏散、順向橫坑疏散與逆向橫坑疏散。茲以下說明

1. 未採用疏散

在未採用疏散的情形下，事故上游車流並無法順利通過，僅能於事故地點前作一停等之動作。又如圖 4.10，當事故於 O 時間發生時，上游車輛到達率為 λ_1 並無法離開，待事故於 T 時間排除後，後方停等車隊即以隧道設計容量 (μ) 離開。而於停等時產生之延滯估算如下：

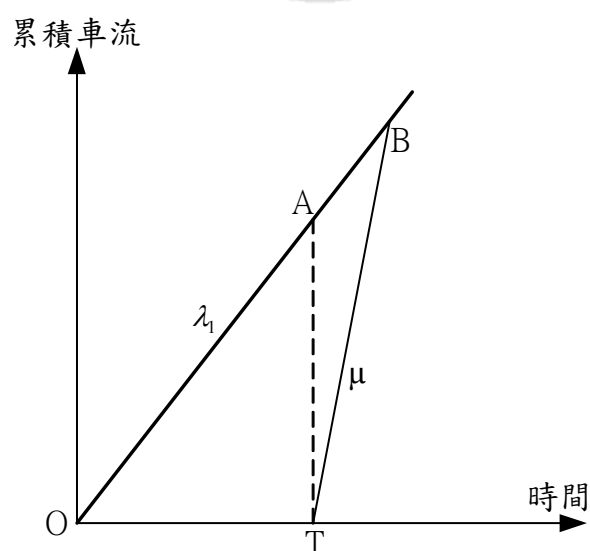


圖 4.10 未採用疏散疏散車輛時間延滯圖

註：T：事故排除時間、 λ_1 ：到達率、 μ ：隧道設計容量

$$\Delta OAT\text{之面積} = \frac{T^2 \lambda_1}{2}$$

$$\Delta ATB\text{之面積} = \frac{(\lambda_1 T)^2}{2(\mu - \lambda_1)}$$

總延滯 (TD) 就是 ΔOBC 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta OBT = \Delta OAT + \Delta ATB = \frac{\lambda_1 \mu T^2}{2(\mu - \lambda_1)} \quad (4-19)$$

2. 順向橫坑疏散

當採用順向橫坑疏散的方式時，需考慮的延滯部分共分為三類：

(1) 迴轉車輛之延滯、(2) 反向隧道車輛之延滯與 (3) 無法即時迴轉疏散之延滯，分述如下：

(1) 迴轉車輛之延滯

迴轉車輛於 T 時間後，自受阻車道之最近上游車行橫坑離開肇事車道，因車輛行駛迴轉道時需減速進入，易於車行橫坑口形成等候車隊，此車隊之等候型態為先到達先離開 (FIFO)，其到達率為原肇事車道到達率 (λ_1)，離開率則減為一車道容量 ($\mu/2$)。待事故排除後，便不再有車輛進入反向隧道，該車隊之延滯時間為：(如圖 4.11)

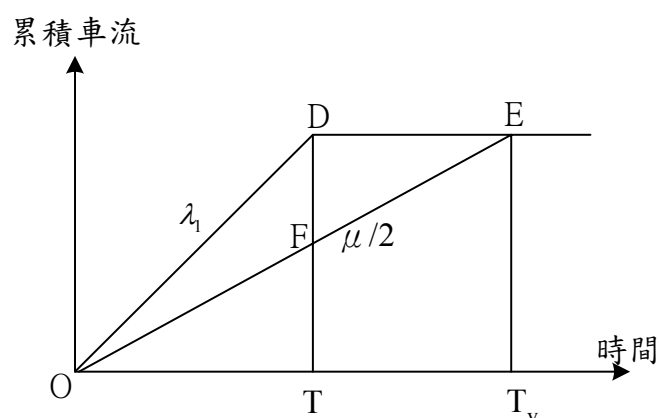


圖 4.11 迴轉車輛於反向隧道之延滯時間圖

註：T：事故排除時間、 T_v ：迴轉車輛全部離開反向隧道時間、 λ_1 ：到達率、 μ ：隧道設計容量

$$\Delta ODF\text{之面積} = \frac{T^2(\lambda_1 - \frac{\mu}{2})}{2}$$

$$\Delta DEF\text{之面積} = \frac{T^2(\frac{2\lambda_1^2}{\mu_0} - 2\lambda_1 + \frac{\mu}{2})}{2}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔODE 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta ODE = \Delta ODF + \Delta DEF = \frac{T^2\lambda_1(\frac{2\lambda_1}{\mu} - 1)}{2} \quad (4-20)$$

(2) 反向隧道車輛之延滯

反向隧道自 T^* 時間後，因調撥一車道予迴轉車輛行駛，故反向隧道車輛僅能行駛於右側車道。又如圖 4.12，反向隧道車輛之到達率為 λ_2 ，於 T^* 時間後即以 $\mu_1/2$ 之離開率通過，待事故排除，迴轉車輛全部駛離反向隧道後 (T_v)，才恢復兩車道通車，其離開率為 μ_0 。其延滯時間為：

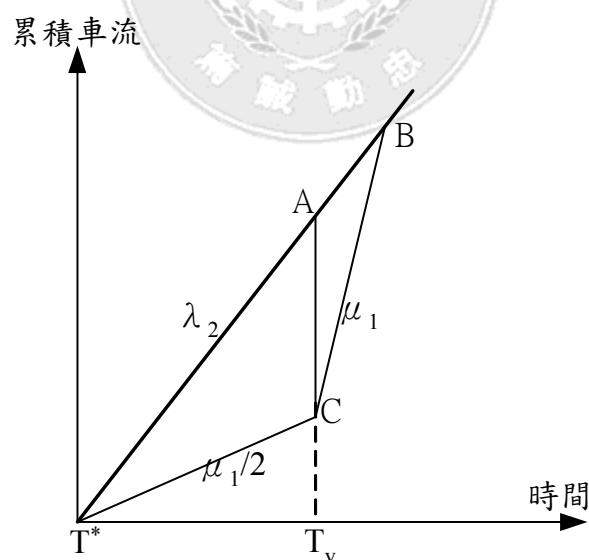


圖 4.12 反向隧道車輛延滯時間圖

註： T^* 為開始調撥迴轉之時間 (救援單位到達後)、 T_v 為迴轉車輛全部離開反向隧道時間、 λ_2 ：反向車流到達率、 μ_1 ：反向車道道路容量

$$\Delta T^*AC\text{之面積} = \frac{(T_v - T^*)(\lambda_2 - \frac{\mu_1}{2})}{2}$$

$$\Delta ACB\text{之面積} = \frac{(T_v - T^*)^2(\lambda_2 - \frac{\mu_1}{2})^2}{2(\mu_1 - \lambda_2)}$$

而總延滯 (TD) 就是 ΔT^*BC 所為成的面積，故：

$$TD = \Delta OBC = \Delta T^*AC + \Delta ACB = \frac{\frac{\mu_1}{2}(T_v - T^*)^2(\lambda_2 - \frac{\mu_1}{2})}{2(\mu_1 - \lambda_2)} \quad (4-21)$$

(3) 無法即時迴轉疏散之車輛延滯

全數車道受阻時，無法即時使用車行橫坑迴轉疏散之車輛於 O 時間停等於事故前方，待 T_0 時後方車流已回堵至上游車行橫坑前，至 T_1 時間（隧道口至車行橫坑間之車流均轉入欲疏散之橫坑）後，即以調車頭迴轉方式自上游之車行橫坑離開現場，此一現象為後到者先離開 (LIFO) 之等候型態，如圖 4.13 所示。

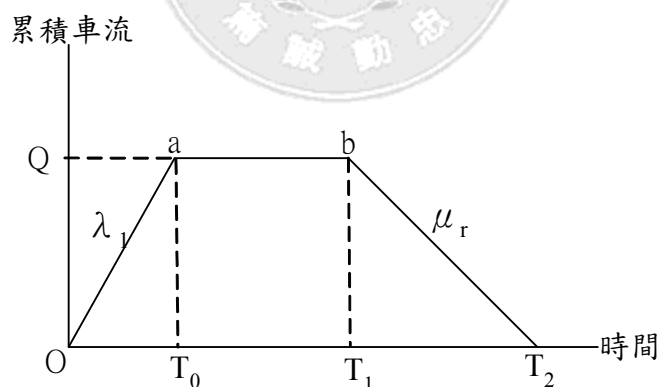


圖 4.13 無法即時迴轉疏散之車輛延滯

註： T_0 ：車流由事故地點累積回堵至上游橫坑之時間 T_1 ：無法即時使用車行橫坑迴轉疏散之車輛始得離開之時間。 λ_1 ：到達率。 μ_r ：調頭迴轉離開率

$Q = \frac{X_1}{h}$ ，其中 X_1 ：事故地點距離上游橫坑之距離、 h ：平均有效車

長

$$T_0 = \frac{Q}{\lambda_1}$$

$$T_1 = \frac{2\lambda_1 X_2}{\mu V}$$

註： $Q' = KX_2N$ ，由車流橫等式 $\lambda_1 = KVN$ ，則 $Q' = \frac{\lambda_1 X_2}{V}$ ，而離開率根據

(2) 為 $\frac{\mu}{2}$ ，故 $T_1 = \frac{2\lambda_1 X_2}{\mu V}$ ，其中 Q' 為隧道口至欲疏散橫坑之累積車

流、 X_2 為事故地點上游橫坑與隧道口距離、 V 為車輛行駛速率、 N 為車道數、 K 為車輛密度

$$T_2 = \frac{Q}{\mu_r} + T_1$$

$$\Delta OaT_0\text{之面積} = \frac{T_0 \times Q}{2}$$

$$\Delta T_1bT_2\text{之面積} = \frac{(T_2 - T_1) \times Q}{2}$$

$$T_0abT\text{之面積} = (T_1 - T_0) \times Q$$

而總延滯 (TD) 就是 $\square OabT_2$ 所為成的面積，故：

$$TD = \frac{Q(T_2 + T_1 - T_0)}{2} \quad (4-22)$$

綜合 (1)、(2)、(3) 順向橫坑疏散路線之總延滯，則為式 (4-20)、式 (4-21) 與 (4-22) 之加總。

3. 逆向橫坑疏散

當採用逆向橫坑疏散的方式時，需考慮的延滯部分共分為四類：

(1) 迴轉車輛之延滯、(2) 反向隧道車輛之延滯、(3) 無法即時迴轉疏散之延滯與 (4) 行駛路線改道後旅行時間延滯，分述如下：

(1)、(2)、(3) 項之說明及通式如順向橫坑疏散

(4) 行駛路線改道後旅行時間延滯

為達到旅次完成之目的，原行車路線經由迴轉改道後仍必須尋找適當之替代道路，而此替代路線之建立是依據事故上游與下游兩最近交流道之個別道路系統所形成的路網，由其中建立一條距離最短之路線作為替代路線，如圖 4.14

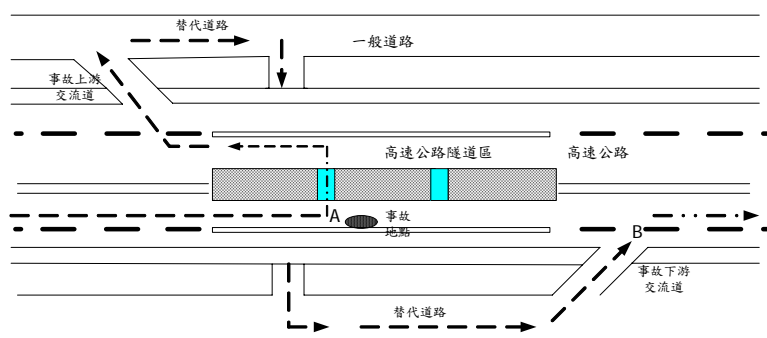


圖 4.14 最短距離替代路線圖

該車流延滯的估算方法，則為改道前之旅行時間與改道後旅行時間之差為依據，以圖 3.2.8 之點 A 為例：當事故未發生時由點 A 至點 B 之旅行時間為 T_0 ；事故發生後採逆向橫坑疏散方式（圖中虛線），由點 A 至點 B 之旅行時間為 T_p ，則該車流延滯即為：

$$TD = T_p - T_0 \quad (4-23)$$

其中

$$T_p = \left[\frac{D_{c1}}{S_h} (1 + 0.515 (Q_p / C_{ot})^{1.569}) + \frac{D_{c2}}{S_c} (1 + 1.287 (Q_k / C_c)^{1.891}) \right]$$

$$T_0 = \frac{D_o}{S_h} (1 + 0.515 (Q_h / C_h)^{1.569})$$

D_{c1} = 事故地點上一車行橫坑 距離上一匝道距離

Q_p = 迴轉流量 + 原來流量

Q_k = Q_p + 一般道路交通量

D_{c2} = 最短繞道距離

D_o = 事故地點上一橫坑距離下一匝道距離

綜合(1)、(2)、(3)、(4) 逆向橫坑疏散路線之總延滯，則為式(4-20)、式(4-21)、式(4-22) 與式(4-23) 之加總。

4.1.3 救援危險度程度

當公路長隧道發生交通事故的同時，往往急需加以救援及疏散，但由於事故災害類型與事故發生位置不同，使得每一救援路線與疏散路線所產生的危險程度也迥異。同時，由於危險程度屬於主觀認定值，因此無法以量化公式確實估算，故本研究將以專家問卷方式分析各救援方案之危險程度。(問卷本文如附錄一)

1.問卷內容設計：

本問卷內容擬以兩種事故類型劃分，配合單車道、雙車道各五個救援方式與三個疏散方式，同時採用李克特(Likert) 五點量表來進行。事故類型：

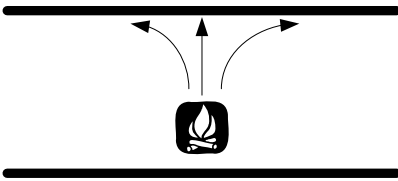
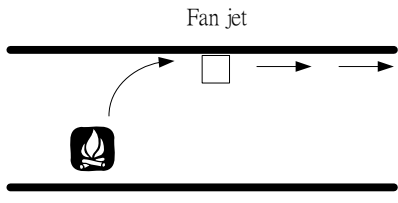

本研究針對一般交通事故與火災交通事故事件作為研究對象，其中一般交通事故包含：故障車、一般事故（無人員傷亡）與重大交通事故（有人員傷亡）；而火災交通事故則定義為：碰撞起火、易燃物品的散落起火及運槽車之碰撞等，也由於火災交通事故會伴隨產生大量濃煙與一氧化碳等有毒氣體，而此有毒氣體之排放方向則會影響各救援與疏散路線安全性。有關隧道火災產生有毒氣體之排放方向研究如后。

針對隧道火災事故所產生的有毒氣體排散部分，根據隧道通風方法不同有毒氣體排散（擴散）方向均有不同。隧道的通風方法大致可分為三種：無機械式通風設備、縱向通風與橫向通風。以歐洲長隧道排煙方式，均以縱向通風與橫向通風並用，一方面以縱向通風將事故地點產生的有毒氣體排放至豎井位置，在依橫向通風將氣體經豎井排放至隧道外。其氣體排散方式如表 4.4 所示。我國隧道雪山隧道之通風系統則依不同行車狀況作改變：

- (1) 一般正常行車狀況通風方式-縱流式通風系統
- (2) 緊急狀況之排煙方式-縱流式通風系統與橫向通風系統並用，並考慮事故地點上游人員車輛安全，以順向排煙為原則，即濃煙及

一氧化碳將向車流下游方向進行擴散。

表 4.4 隧道通風方法與濃煙流動方向

| 方法 | 圖示 | 濃煙流動方向 |
|----------|---|--|
| 無機械式通風設備 |  | 火源附近有股強烈的向上氣流，濃煙與高溫氣體會向進出口兩端擴散。 |
| 縱向通風 |  | 濃煙與高溫氣體會往火源點前方（下游）吹去。 |
| 橫向通風 |  | 濃煙與高溫氣體會往通風管道散去，同時濃煙會充滿於兩通風管道之間，故有效排煙方式為打開離火源最近的出風口，而關閉其餘出風口，以達最佳效果。 |

【31】

2.問卷對象與結果：

由於此部分問卷屬於專家問卷有別於一般普通問卷，因此在訪談的對象必須有：客觀、中立與專業之特性。基此，本研究特將訪談對象分為三個部分，分別是行政單位，主政單位以及學術單位，詳如下表。而結果部分將列於 4.2.3 節「專家問卷準則分析」中。

表 4.5 危險度專家問卷訪談對象

| 單位別 | 訪談對象 |
|------|-----------------------------|
| 行政單位 | 交通部運輸研究所運輸安全組 交通部道路安全委員會 |

表 4.5 危險度專家問卷訪談對象（續）

| 單位別 | 訪談對象 |
|------|------------------------------|
| 主政單位 | 國道公路警察局第九警察小隊 |
| 學術單位 | 中央警察大學交通管理學系 中央警察大學消防科學學系 |

4.1.4 所需交管人力

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。然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。

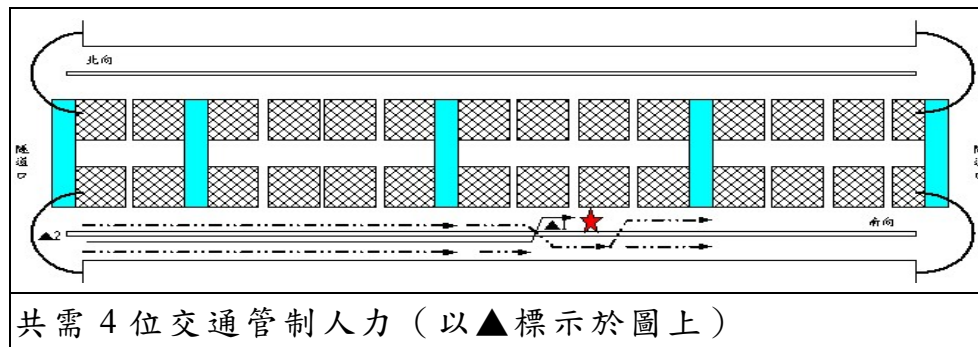
交管人力的配置與佈設實屬交通警務人員之業務範圍，故本準則之估算方式採用訪談的方式，並以國道公路警察局事故處理員警為對象。然為避免單一訪談對象而產生以偏蓋全的問題，特以第二警察隊與第九警察隊兩單位為訪談主要對象。

訪談內容（附錄二）將以各救援方案（包含單車道內側事故 15 個、單車道外側事故 15 個與雙車道事故 13 個）為主軸，逐一討論其所需之交管人力佈設位置與人數。

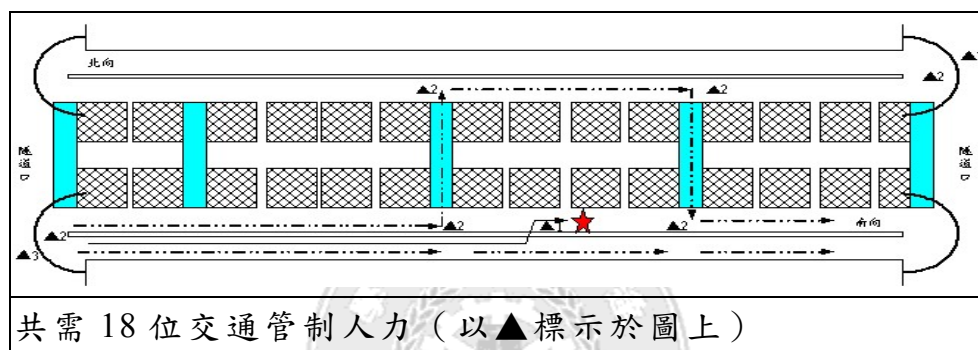
訪談結果顯示，所需人力配置則以一車兩人為一單位，而各工作內容分為三部分：「區域警戒」：用以提供後方用路人事故發生，避免二次傷害（以▲1 表示）；「疏散引導」：將受阻車輛依管制路線引導（▲2 表示）；「守望備援」，於隧道入口守望，並隨時支援區域警戒與疏散引導（▲1 表示）。各類型事故之方案所需交管人力圖示如下：

1. 單車道內側事故交管人力佈設

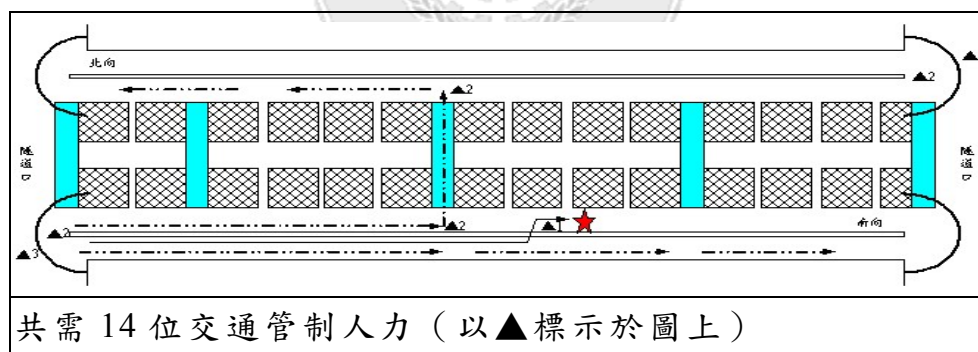
AI1



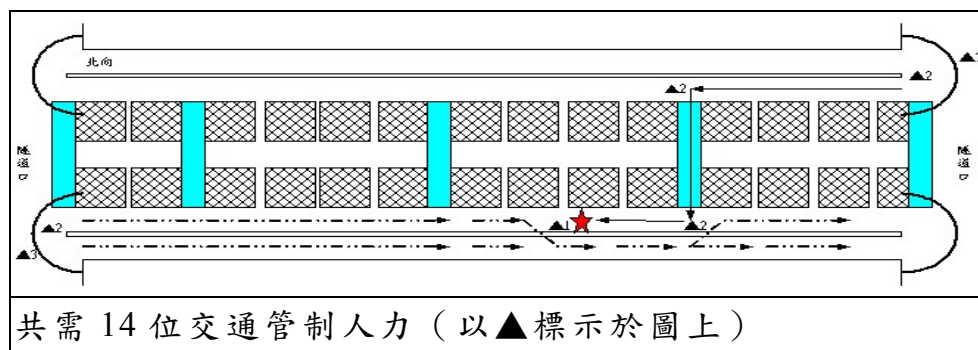
AI2



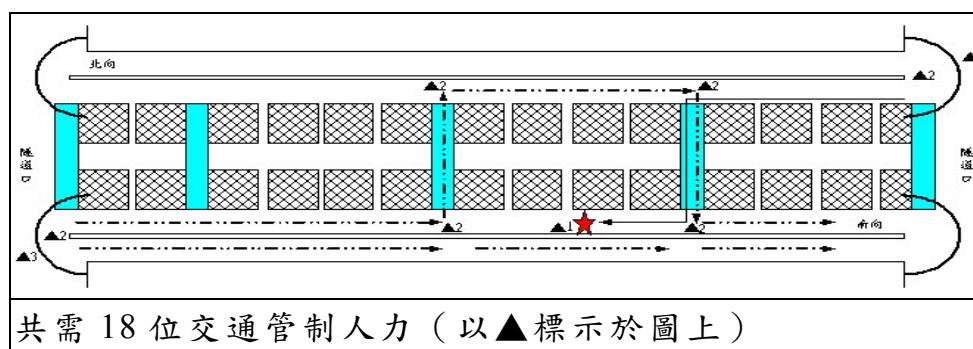
AI3



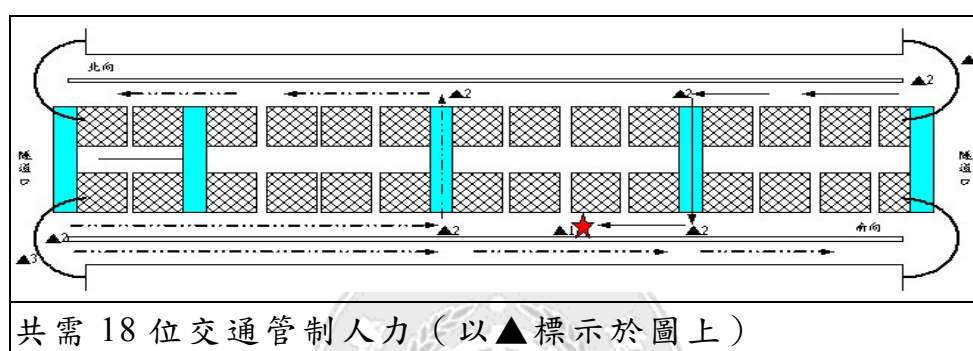
AI4



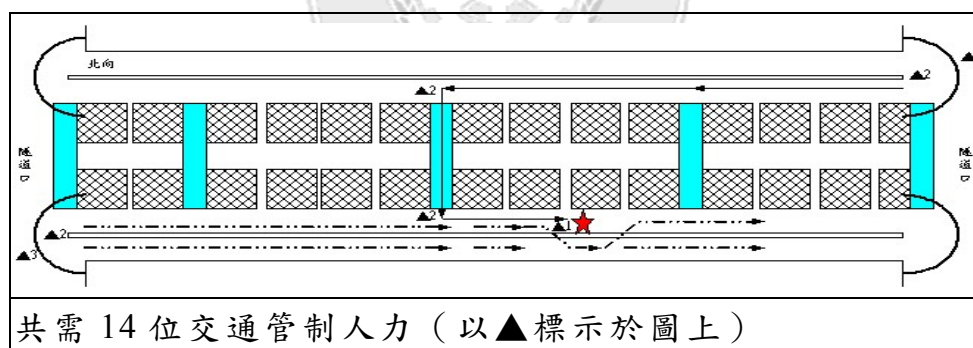
AI5



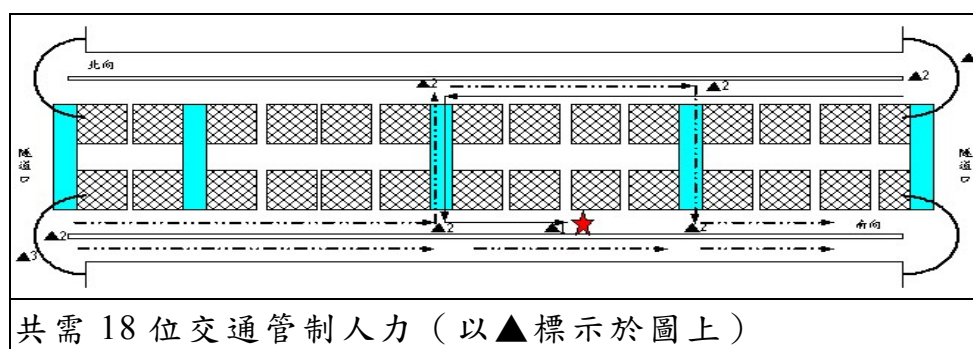
AI6



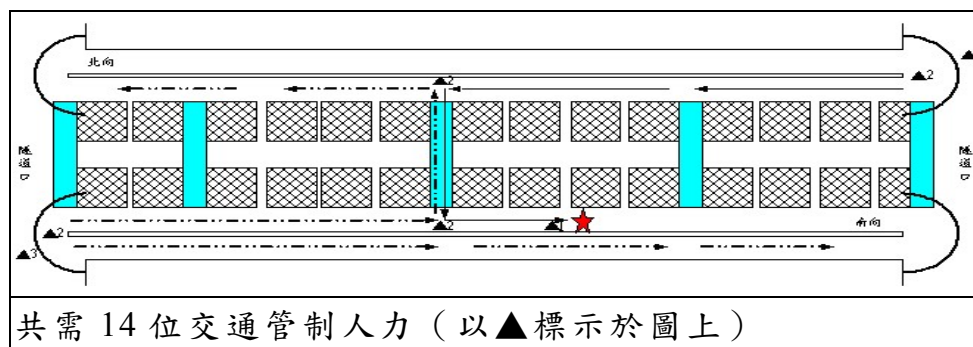
AI7



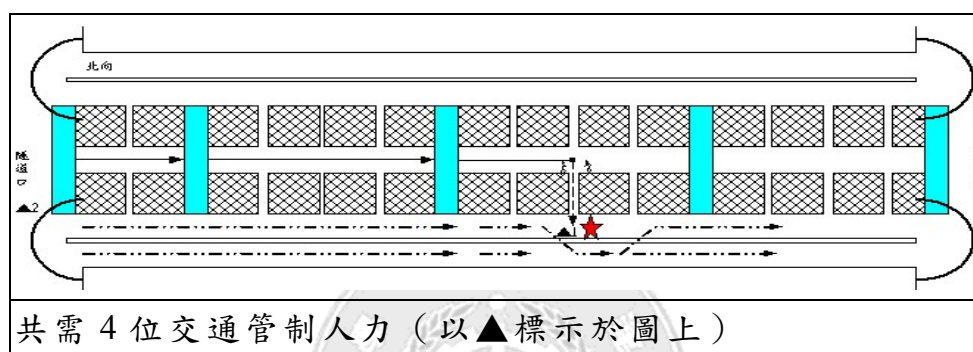
AI8



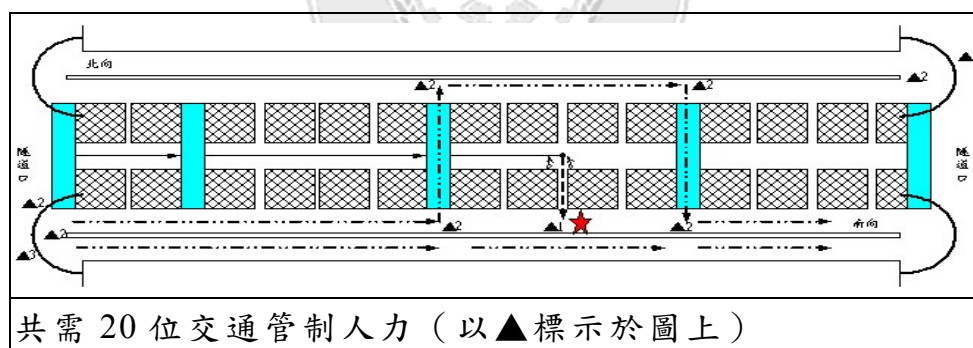
AI9



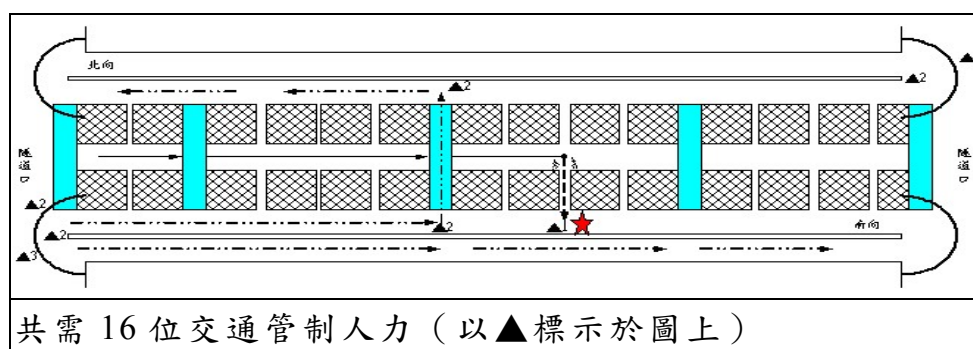
AI10



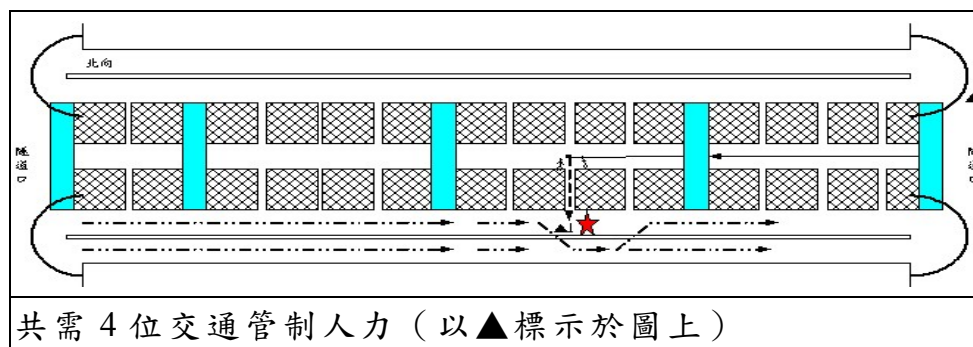
AI11



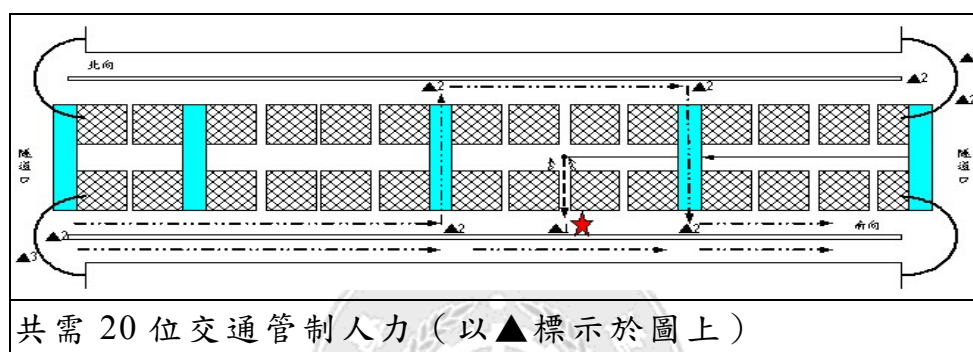
AI12



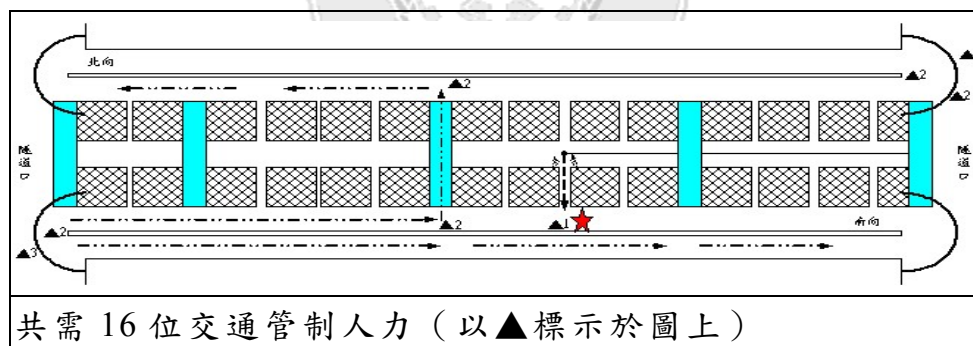
AI13



AI14

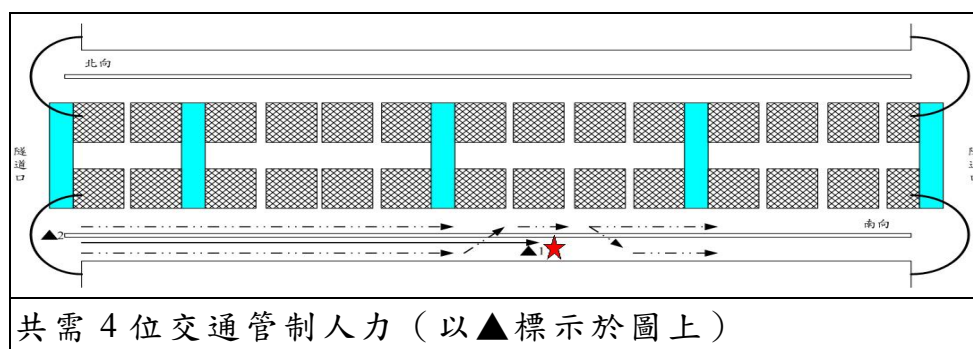


AI15

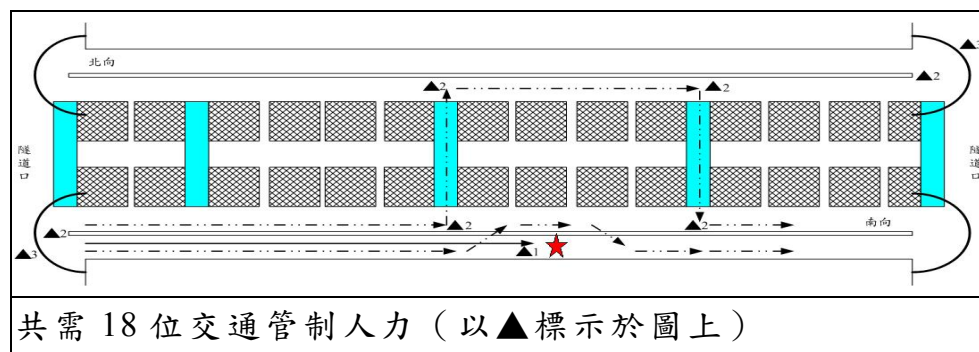


2. 單車道外側事故交管人力佈設

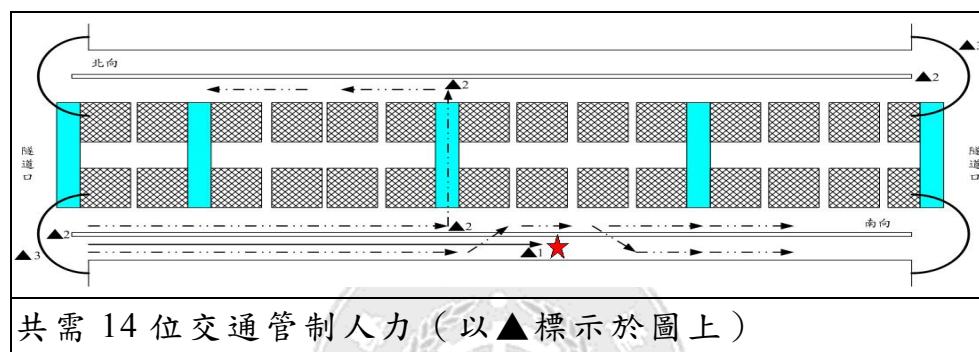
AO1



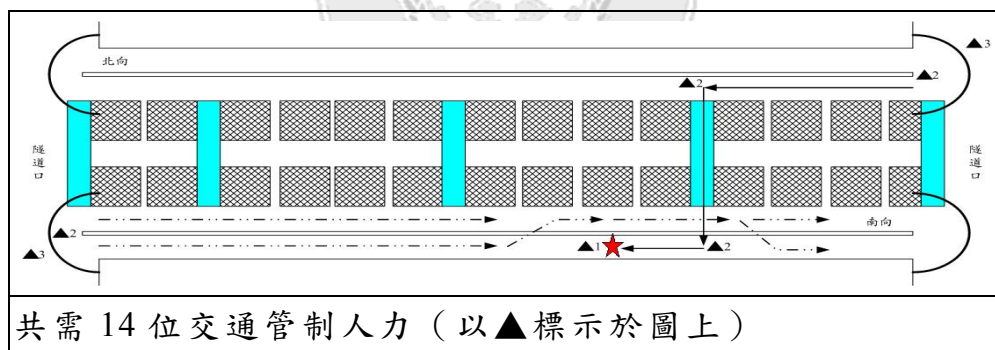
AO2



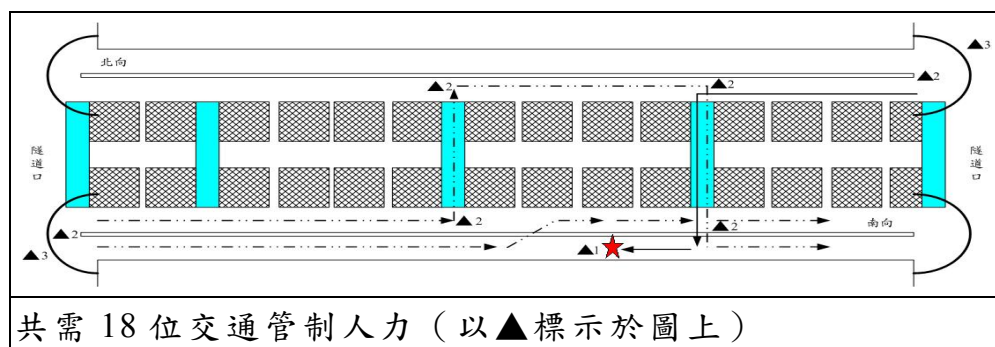
AO3



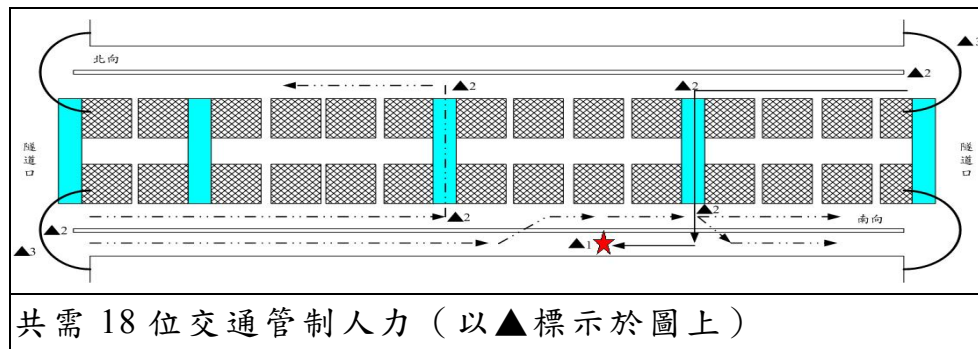
AO4



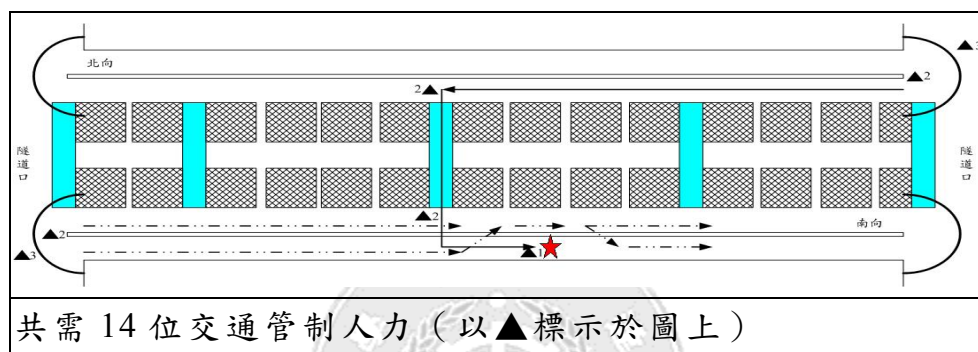
AO5



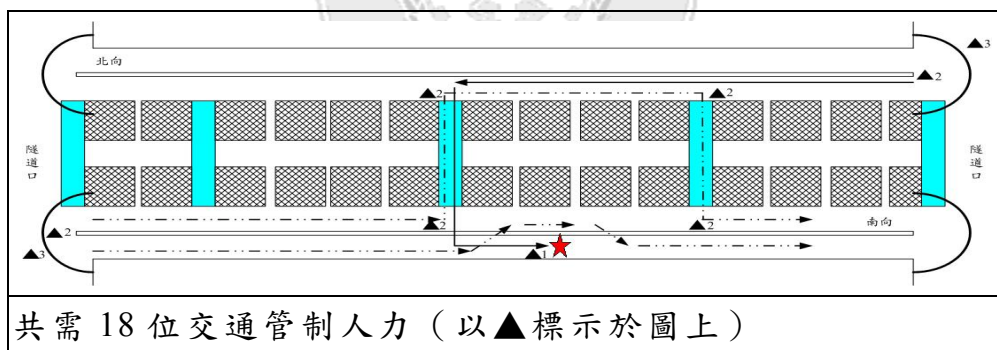
AO6



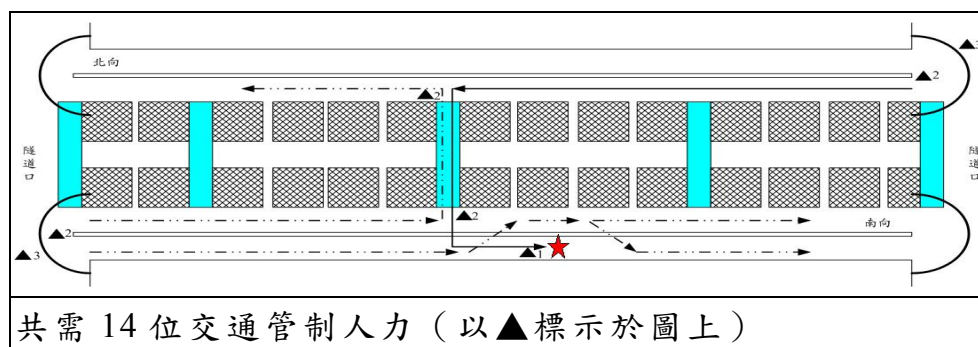
AO7



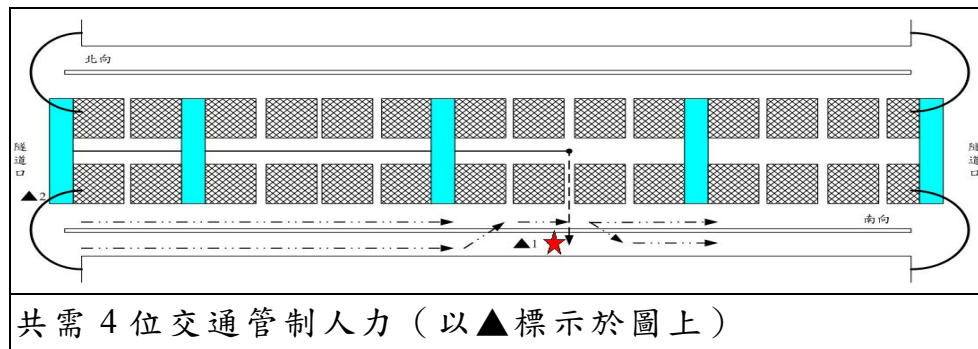
AO8



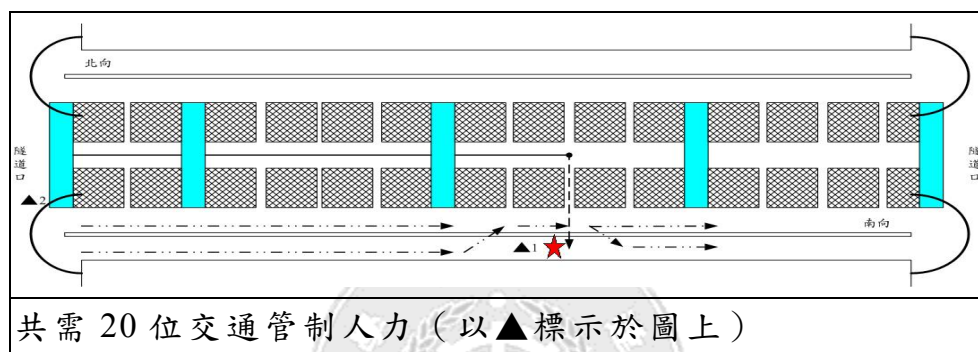
AO9



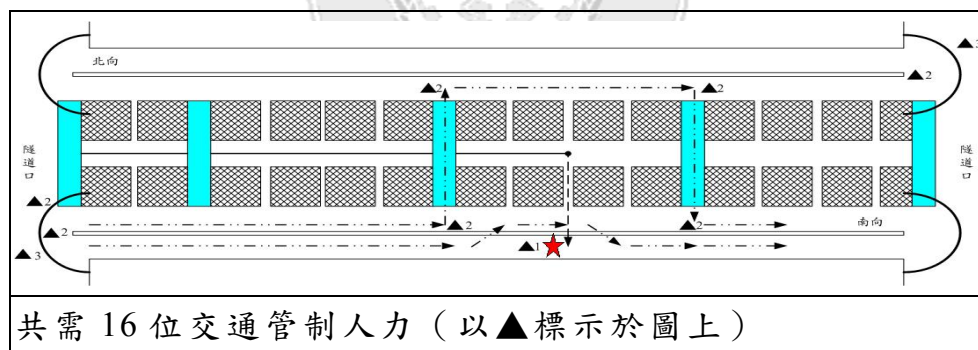
AO10



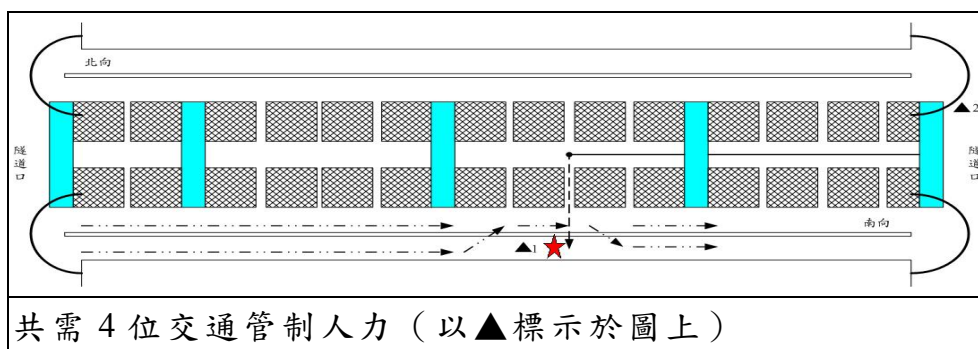
AO11



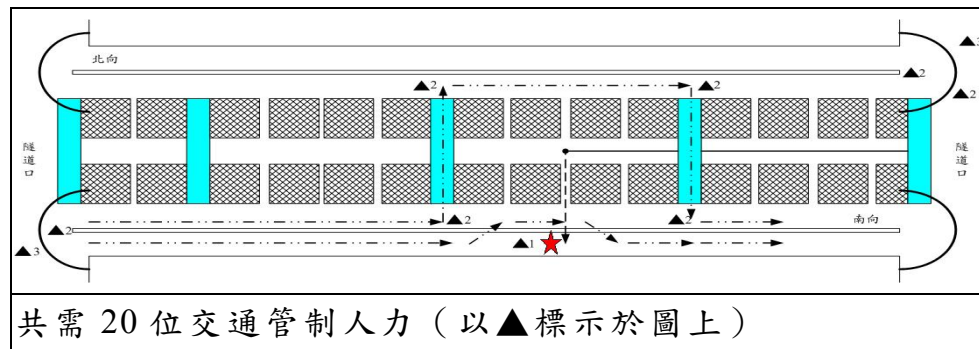
AO12



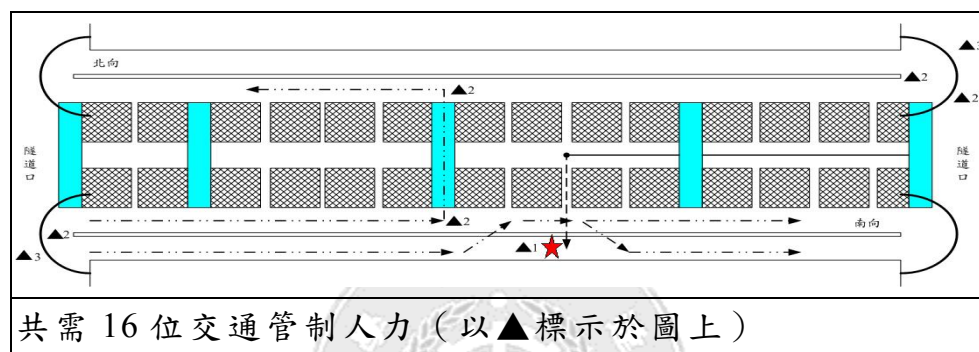
AO13



AO14

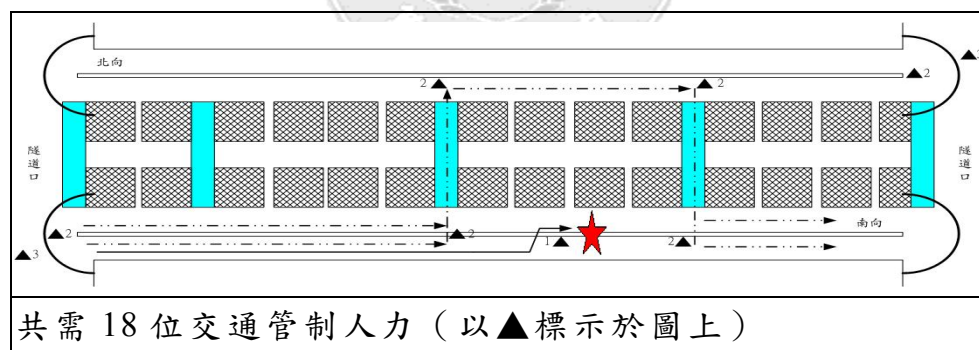


AO15

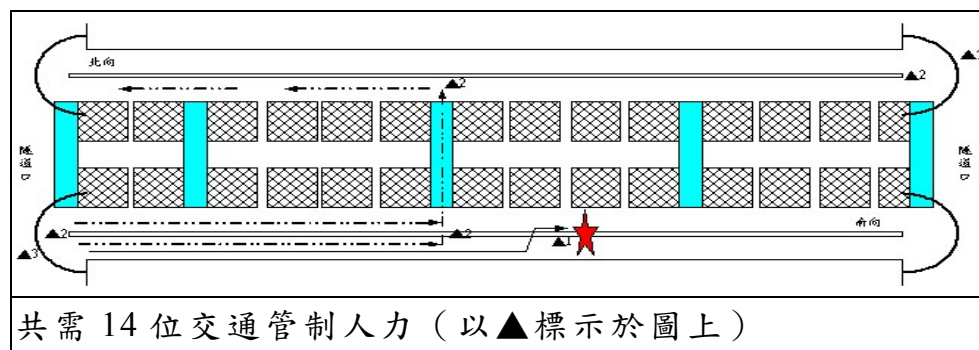


3.雙車道事故交管人力佈設

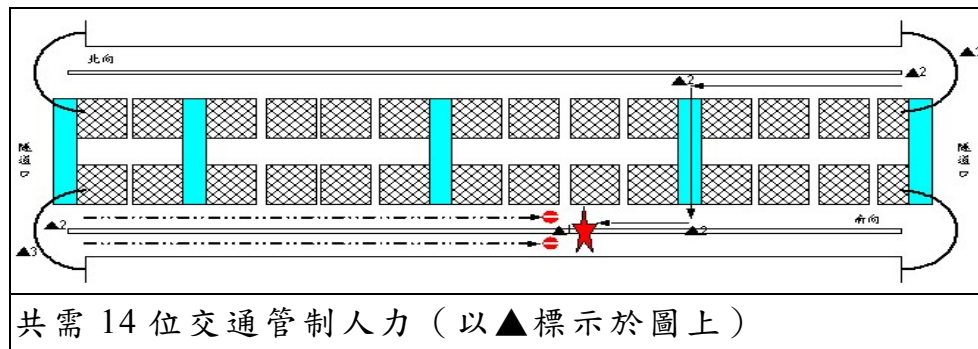
B1



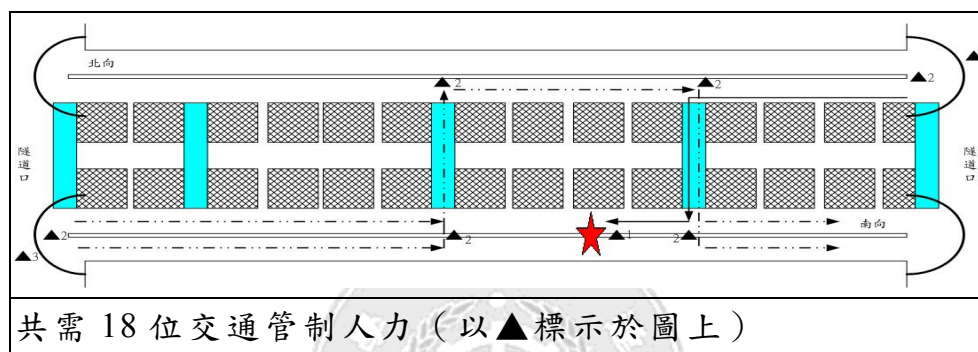
B2



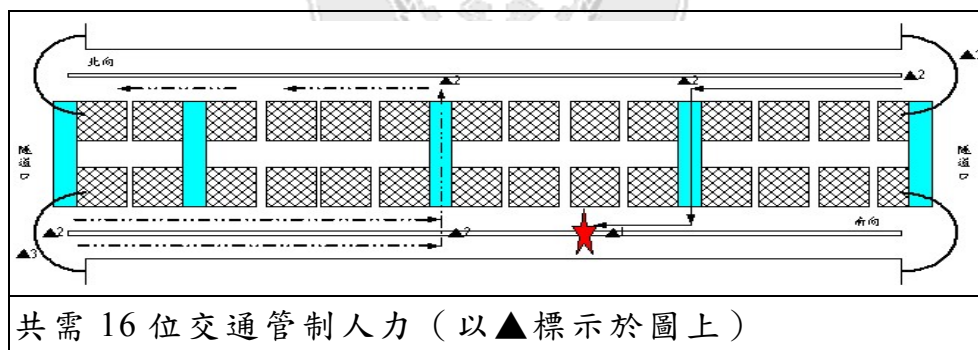
B3



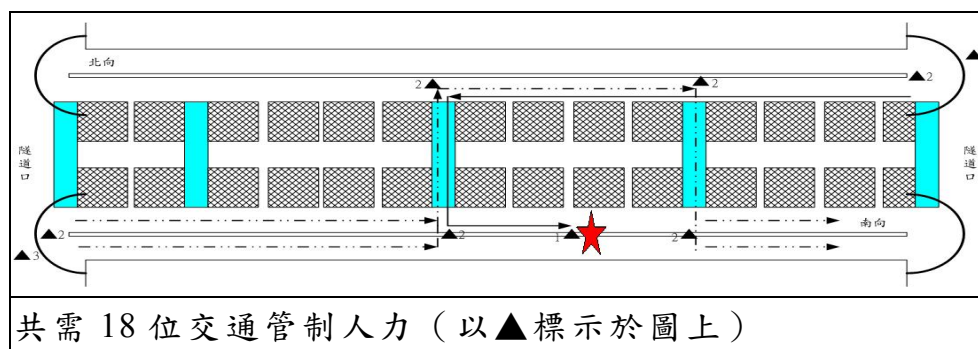
B4



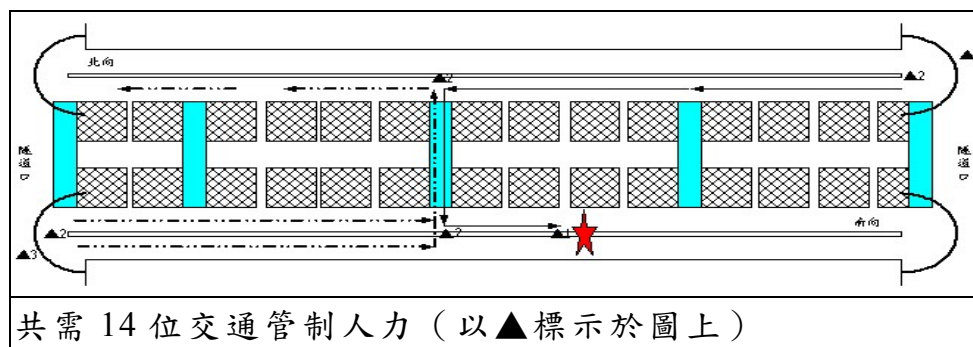
B5



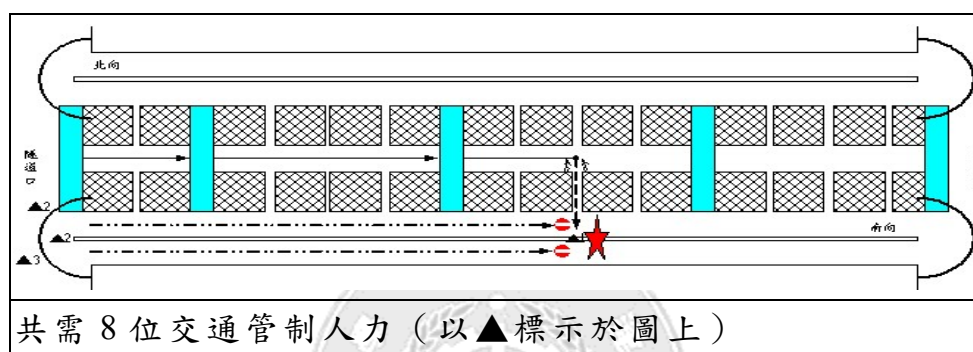
B6



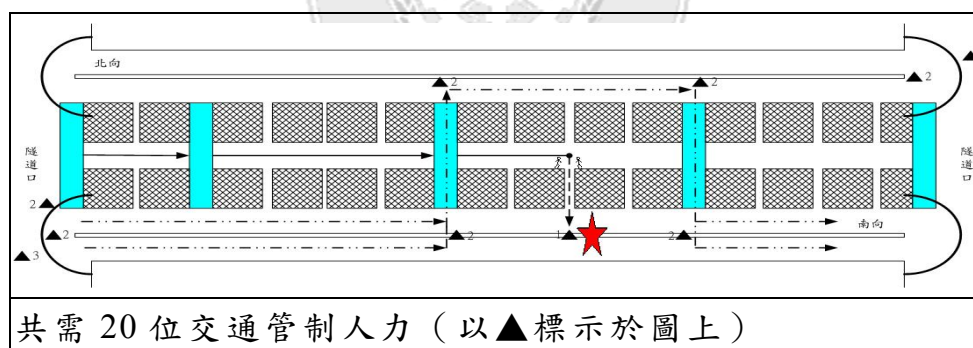
B7



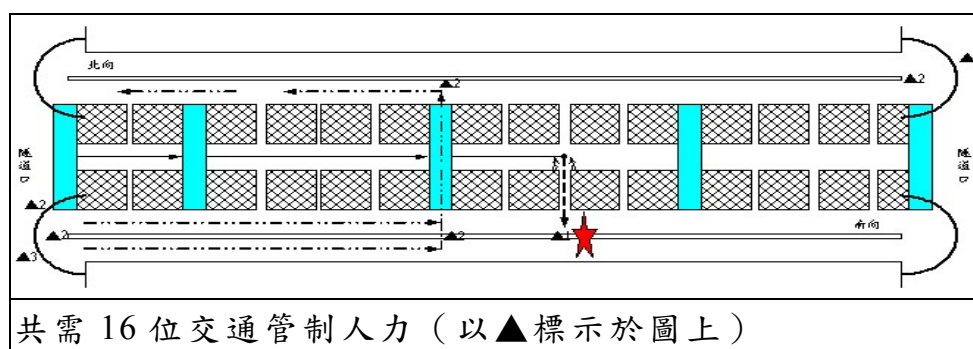
B8



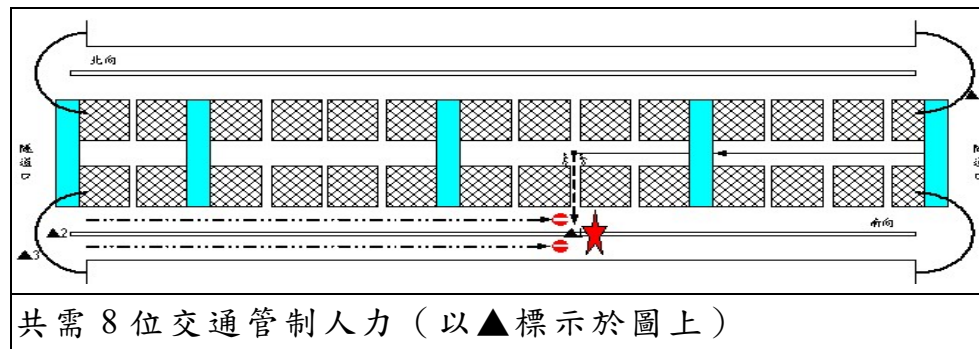
B9



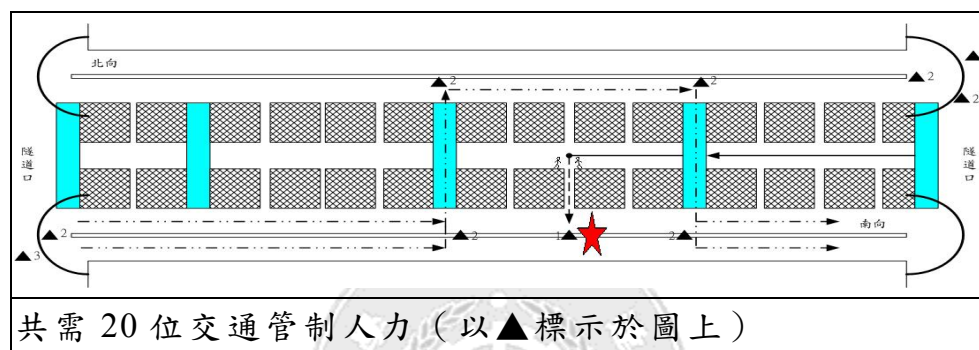
B10



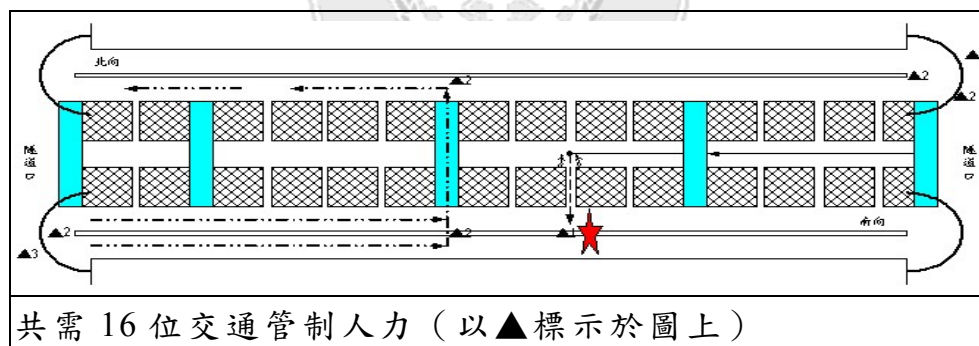
B11



B12



B13



4.2 專家問卷權重與準則分析

4.2.1 專家問卷設計與調查

一、問卷設計

本研究依據第三章所說明的評估準則與評估步驟，以問卷調查方

式進行救援標的及準則權重評選。問卷分為二大部分，一為利用分析階層程序法（AHP），分析準則與標的的相對重要程度(即偏好情形)，一為利用李克特（Likert）五點量表，進行各救援路線與疏散路線之危險程度之衡量。問卷調查表之設計詳如附錄一。

二、決策群體者分析

本研究係採用群體決策方法(Group Decision Method)進行救援標的、準則權重與危險度指標之評估與分析，而群體決策的首要工作即為成立決策團體，其考量因素有二：一是決策群體成員的代表性，二是決策群體的獨立性。就人員的代表性而言，主要的考慮是該成員必須具有其特定立場及背景，不但能代表決策問題所牽涉的層面，且對於相關準則與問題之決策方案有較深入的瞭解。

由於「隧道事故救援」影響層面甚廣，為求能周延考量各層面人士之意見，本研究問卷就兩大群體（政府機構與學術團體）後，再細分為：行政單位（交通部、交通部運輸研究所）、主政單位（國道公路警察局與國道高速公路局）與中央警察大學（交管系與消防系）等各群體10位人士（詳如表4.6），進行各項評估準則與標的之重要度調查；另亦請各群體之專家或學者，對各救援與疏散路線之危險程度加以評價，以獲得救援危險程度準則值。

表 4.6 決策群體與訪談對象表

| 決策群體 | 組成人員 | 份數 |
|------|------------|----|
| 政府機構 | 交通部道路安全委員會 | 1 |
| | 交通部運輸研究所 | 1 |
| | 國道高速公路局 | 2 |
| | 國道公路警察局 | 1 |
| 學者代表 | 中央警察大學交管系 | 3 |
| | 中央警察大學消防系 | 2 |

4.2.2 專家問卷權重分析

本問卷共計10份問卷，回收問卷7份，回收率為70%。在實際回收問卷中，以電腦輔助輸入及判別有效性，共7份問卷通過一致性檢定，為完全有效問卷。根據評選者具一致性之判斷，利用AHP計算程序可求得各評估準則之相對重要性，有關於「政府機構」與「學者代表」兩群體對於各標的及準則之權重值，可詳見於下表，其中權重值皆以幾何平均數顯示權重差異，以說明受訪者對準則之偏好情形。茲說明如下：

1. 政府機構

由表 4.7 與表 4.8 結果分析，在標的部分以救援績效（0.750）較救援成本（0.250）為重要；在準則部分則依序為救援到達時間（0.539）、救援危險程度（0.211）、所需交管人力（0.203）與車流延滯時間（0.047）。茲將結果以圖 4.10 表示。

表 4.7 政府機構評估標的決策群體權重差異表

| 標的 | 群體 | 政府機構 |
|------|----|-------------------------|
| 救援成本 | | 0.250 (0.217, 0.866) |
| 救援績效 | | 0.750 (0.217, 0.289) |

註：括弧內前項數字為標準差（S），後項數字表示變異係數（C.V）

表 4.8 政府機構評估準則決策群體權重差異表

| 準則 | 群體 | 政府機構代表 | 排名 |
|--------|----|-------------------------|----|
| 所需交管人力 | | 0.203 (0.204, 1.006) | 3 |
| 車流延滯時間 | | 0.047 (0.027, 0.577) | 4 |

註：括弧內前項數字為標準差（S），後項數字表示變異係數（C.V）

表 4.8 政府機構評估準則決策群體權重差異表 (續)

| 準則 | 群體 | 政府機構代表 | 排名 |
|--------|----|-------------------------|----|
| 救援到達時間 | | 0.539 (0.165, 0.316) | 1 |
| 救援危險程度 | | 0.211 (0.202, 0.956) | 2 |

註：括弧內前項數字為標準差 (S)，後項數字表示變異係數 (C.V)

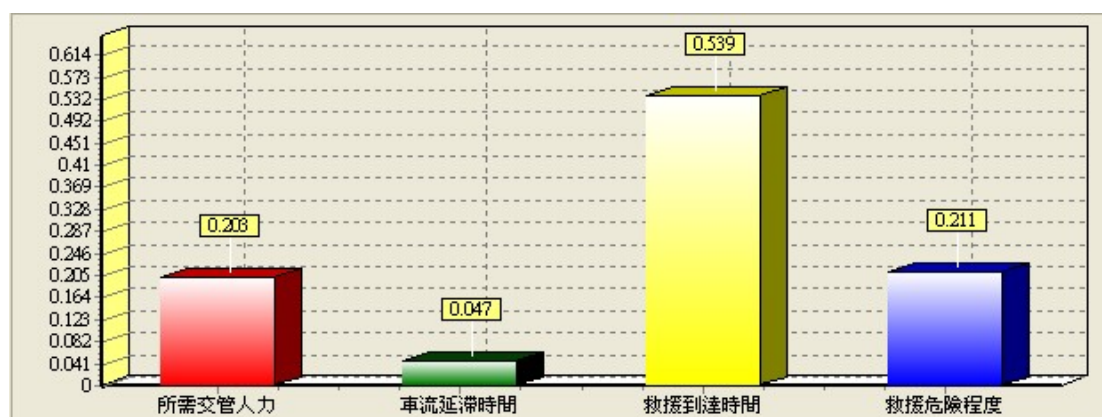


圖 4.15 政府機構權重圖

2. 學者代表

由表 4.9 與表 4.10 結果分析，在標的部分以救援績效 (0.781) 較救援成本 (0.219) 為重要；在準則部分則依序為救援危險程度 (0.457)、救援到達時間 (0.324)、車流延滯時間 (0.151) 與所需交管人力 (0.068)。茲將結果以圖 4.11 表示。

表 4.9 學者代表評估標的決策群體權重差異表

| 標的 | 群體 | 學者代表 |
|------|----|-------------------------|
| 救援成本 | | 0.219 (0.092, 0.422) |
| 救援績效 | | 0.781 (0.092, 0.118) |

註：括弧內前項數字為標準差 (S)，後項數字表示變異係數 (C.V)

表 4.10 學者代表評估準則決策群體權重差異表

| 準則 | 群體 | 學者代表 | 排名 |
|--------|----|-------------------------|----|
| 所需交管人力 | | 0.068 (0.040, 0.591) | 4 |
| 車流延滯時間 | | 0.151 (0.058, 0.382) | 3 |
| 救援到達時間 | | 0.324 (0.181, 0.559) | 2 |
| 救援危險程度 | | 0.457 (0.257, 0.562) | 1 |

註：括弧內前項數字為標準差（S），後項數字表示變異係數（C.V）

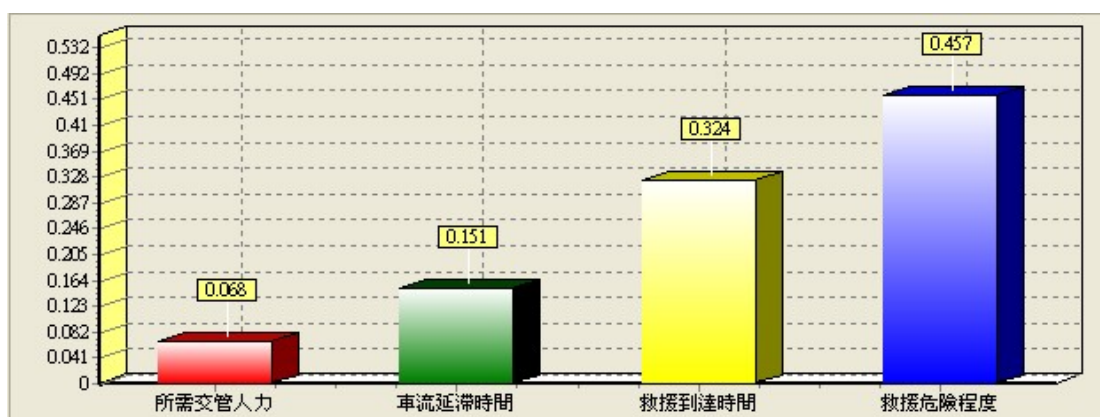


圖 4.16 學者代表權重圖

3. 兩群體整合結果

由表 4.11 與表 4.12 結果分析，在標的部分以救援績效（0.768）較救援成本（0.232）為重要；在準則部分則依序為救援到達時間（0.416）、救援危險程度（0.351）、所需交管人力（0.126）與車流延滯時間（0.106）。茲將結果以圖 4.12 表示。

表 4.11 兩群體整合方案評估標的決策群體權重差異表

| 標的 | 群體 | 政府機構與學者代表整合 |
|------|----|-------------------------|
| 救援成本 | | 0.232 (0.142, 0.612) |

表 4.11 兩群體整合方案評估標的決策群體權重差異表 (續)

| 標的 \ 群體 | 政府機構與學者代表整合 |
|---------|-------------------------|
| 救援績效 | 0.768 (0.142, 0.185) |

註：括弧內前項數字為標準差 (S)，後項數字表示變異係數 (C.V)

表 4.12 兩群體整合方案評估準則決策群體權重差異表

| 準則 \ 群體 | 政府機構與學者代表整合 | 排名 |
|---------|-------------------------|----|
| 所需交管人力 | 0.126 (0.142, 1.131) | 3 |
| 車流延滯時間 | 0.106 (0.075, 0.701) | 4 |
| 救援到達時間 | 0.416 (0.201, 0.505) | 1 |
| 救援危險程度 | 0.352 (0.274, 0.778) | 2 |

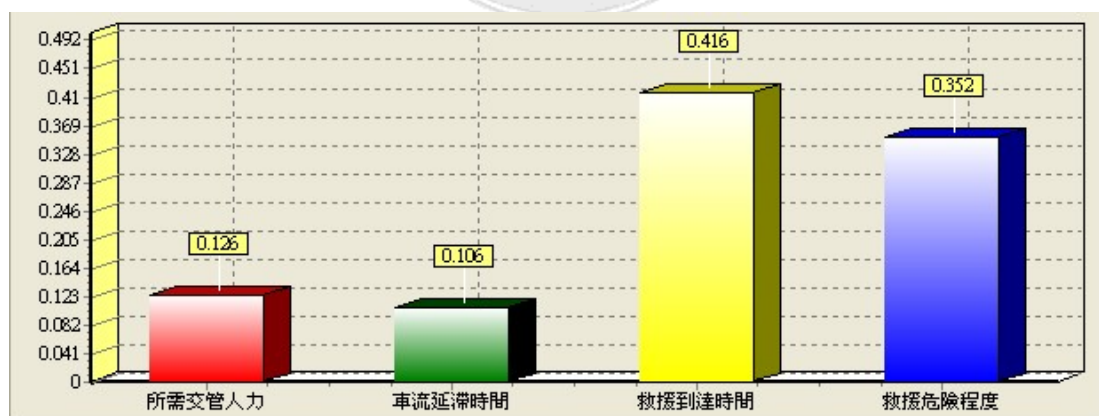


圖 4.17 兩群體整合權重圖

4.2.3 專家問卷準則分析

在危險度準則評估部分，本研究係採用李克特(Likert)五點量表：非常安全(1分)、安全(2分)、普通(3分)、危險(4分)與非常危險(5分)。將每一方案分為救援路線(1~5分)與疏散路線(1~5分)個別評量，再將救援與疏散路線之量表分別加總求得各方案之救援危險程度。分析結果如下：

1. 單車道內側一般事故(如表 4.13 所示)

- AI1：調查結果以「安全」比例居多，整體危險程度為 4.57。
- AI2：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 5.86。
- AI3：調查結果以「安全」比例居多，整體危險程度為 4.71。
- AI4：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 5.57。
- AI5：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 7.43。
- AI6：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 5.71。
- AI7：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 5.86。
- AI8：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 7.43。
- AI9：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 5.43(普通)。
- AI10：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 4.43(安全)。
- AI11：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 5.57(普通)。
- AI12：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 4.71。
- AI13：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 4.43(安全)。
- AI14：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 5.57(普通)。
- AI15：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 4.71。

由各方案比較中可發現，在單車道內側一般事故中，以 AI10(順向導坑救援+另一車道疏散)與 AI13(逆向導坑救援+另一車道疏散)為救援危險程度較低的方案；而 AI5(逆向下游橫坑救援+順向橫坑疏散)及 AI8(逆向上游橫坑救援+順向橫坑疏散)則為救援危險程度較高之方案。

表 4.13 單車道內側一般事故各救援方案危險程度值

| 等級 方案 | 非常安全 | | 安 全 | | 普 通 | | 危 險 | | 非常危險 | | 平均值 |
|----------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|------|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 6 分 | 7 分 | 8 分 | 9 分 | 10 分 | |
| AI1 | 0% | | 57.14% | | 28.57% | | 14.29% | | 0% | | 4.57 |
| AI2 | 0% | | 0% | | 85.71% | | 14.29% | | 0% | | 5.86 |
| AI3 | 0% | | 57.14% | | 28.57% | | 14.29% | | 0% | | 4.71 |
| AI4 | 0% | | 14.29% | | 71.43% | | 14.29% | | 0% | | 5.57 |
| AI5 | 0% | | 14.29% | | 14.29% | | 57.14% | | 14.29% | | 7.43 |
| AI6 | 0% | | 14.29% | | 57.14% | | 14.29% | | 14.29% | | 5.71 |
| AI7 | 0% | | 28.57% | | 14.29% | | 57.14% | | 0% | | 5.86 |
| AI8 | 0% | | 28.57% | | 0% | | 42.86% | | 28.57% | | 7.43 |
| AI9 | 14.29% | | 28.57% | | 28.57% | | 28.57% | | 0% | | 5.43 |
| AI10 | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 0% | | 0% | | 4.43 |
| AI11 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.57 |
| AI12 | 14.29% | | 14.29% | | 71.43% | | 0% | | 0% | | 4.71 |
| AI13 | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 0% | | 0% | | 4.43 |
| AI14 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.57 |
| AI15 | 14.29% | | 14.29% | | 71.43% | | 0% | | 0% | | 4.71 |

2. 單車道內側火災事故（表 4.14 所示）

AI1：調查結果較為分歧，整體危險程度為 6.86（危險）。

AI2：調查結果以「非常危險」比例居多，整體危險程度為 7.57。

AI3：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 5.86。

AI4：調查結果以「危險」與「非常危險」比例居多，整體危險程度為 8.29。

AI5：調查結果以「非常危險」比例居多，整體危險程度為 8.86。

AI6：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 7.14。

AI7：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 7.14。

AI8：調查結果以「危險」與「非常危險」比例居多，整體危險程度為 8.57。

AI9：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 6.00（普通）。

AI10：調查結果以「危險」與「非常危險」比例居多，整體危險程度為 7.00。

AI11：調查結果以「危險」與「非常危險」比例居多，整體危險程度為 7.71。

AI12：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 5.86。

AI13：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 7.00。

AI14：調查結果以「危險」與「非常危險」比例居多，整體危險程度為 7.71。

AI15：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 5.86。

由各方案比較中可發現，在單車道內側火災事故中，以 AI3（順向救援+逆向橫坑疏散）與 AI12（順向導坑救援+逆向橫坑疏散）與 AI15（逆向導坑救援+逆向橫坑疏散）為救援危險程度較低的方案；而 AI5（逆向下游橫坑救援+順向橫坑疏散）則為救援危險程度較高之方案。

表 4.14 單車道內側火災事故各救援方案危險程度值

| 等級 方案 | 非常安全 | | 安 全 | | 普 通 | | 危 險 | | 非常危險 | | 平均值 |
|----------|------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|------|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 6 分 | 7 分 | 8 分 | 9 分 | 10 分 | |
| AI1 | 0% | | 14.29% | | 28.57% | | 28.57% | | 28.57% | | 6.86 |
| AI2 | 0% | | 0% | | 28.57% | | 28.57% | | 42.86% | | 7.57 |
| AI3 | 0% | | 28.57% | | 28.57% | | 42.86% | | 0% | | 5.86 |
| AI4 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 8.29 |
| AI5 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 28.57% | | 57.14% | | 8.86 |
| AI6 | 0% | | 0% | | 28.57% | | 42.86% | | 28.57% | | 7.14 |
| AI7 | 0% | | 14.29% | | 0% | | 71.43% | | 14.29% | | 7.14 |
| AI8 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 8.57 |
| AI9 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 6.00 |
| AI10 | 0% | | 0% | | 42.86% | | 28.57% | | 28.57% | | 7.00 |
| AI11 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 7.71 |
| AI12 | 0% | | 28.57% | | 42.86% | | 14.29% | | 14.29% | | 5.86 |

表 4.14 單車道內側火災事故各救援方案危險程度值（續）

| 等級 方案 | 非常安全 | | 安 全 | | 普 通 | | 危 險 | | 非常危險 | | 平均值 |
|----------|------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|------|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 6 分 | 7 分 | 8 分 | 9 分 | 10 分 | |
| AI13 | 0% | | 0% | | 42.86% | | 28.57% | | 28.57% | | 7.00 |
| AI14 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 7.71 |
| AI15 | 0% | | 28.57% | | 42.86% | | 14.29% | | 14.29% | | 5.86 |

3. 單車道外側一般事故（表 4.15 所示）

AO1：調查結果以「安全」比例居多，整體危險程度為 4.57。

AO2：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 5.71。

AO3：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 5.57（普通）。

AO4：調查結果較為分歧，整體危險程度為 6.86（危險）。

AO5：調查結果以「危險」與「非常危險」比例居多，整體危險程度為 7.71。

AO6：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 7.43。

AO7：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 5.86。

AO8：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 7.43。

AO9：調查結果以「安全」與「危險」比例居多，整體危險程度為 6.00。

AO10：調查結果以「安全」與「危險」比例居多，整體危險程度為 5.57。

AO11：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.86。

AO12：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.29。

AO13：調查結果以「安全」與「危險」比例居多，整體危險程度為 5.57。

AO14：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.86。

AO15：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.29。

由各方案比較中可發現，在單車道外側一般事故中，以 AO1（順向救援+未受阻車道疏散）為救援危險程度較低的方案；而 AO5（逆向下游橫坑救援+順向橫坑疏散）則為救援危險程度較高之方案。

表 4.15 單車道外側側一般事故各救援方案危險程度值

| 等級 方案 | 非常安全 | | 安 全 | | 普 通 | | 危 險 | | 非常危險 | | 平均值 |
|----------|------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|------|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 6 分 | 7 分 | 8 分 | 9 分 | 10 分 | |
| AO1 | 0% | | 57.14% | | 28.57% | | 14.29% | | 0% | | 4.57 |
| AO2 | 0% | | 14.29% | | 57.14% | | 14.29% | | 14.29% | | 5.71 |
| AO3 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.57 |
| AO4 | 0% | | 14.29% | | 28.57% | | 28.57% | | 28.57% | | 6.86 |
| AO5 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 7.71 |
| AO6 | 0% | | 14.29% | | 14.29% | | 57.14% | | 14.29% | | 7.43 |
| AO7 | 0% | | 28.57% | | 28.57% | | 42.86% | | 0% | | 5.86 |
| AO8 | 0% | | 14.29% | | 14.29% | | 57.14% | | 14.29% | | 7.43 |
| AO9 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 6.00 |
| AO10 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.57 |
| AO11 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.86 |
| AO12 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.29 |
| AO13 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.57 |
| AO14 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.86 |
| AO15 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.29 |

4. 單車道外側火災事故（表 4.16 所示）

AO1：調查結果以「普通」與「危險」比例居多，整體危險程度為 6.14。

AO2：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 7.14。

AO3：調查結果以「安全」與「危險」比例居多，整體危險程度為 5.57。

AO4：調查結果較為分歧，整體危險程度為 6.86（危險）。

AO5：調查結果以「危險」與「非常危險」比例居多，整體危險程度為 8.29。

AO6：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 7.43。

AO7：調查結果以「安全」與「危險」比例居多，整體危險程度為 6.00。

AO8：調查結果較為分歧，整體危險程度為 6.86（危險）

AO9：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 5.86。

AO10：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.86。

AO11：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 7.00。

AO12：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.14。

AO13：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.86。

AO14：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 7.00。

AO15：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.14。

由各方案比較中可發現，在單車道火災事故中，以 AO3（順向救援+逆向橫坑疏散）為救援危險程度較低的方案；而 AO5（逆向下游橫坑救援+順向橫坑疏散）則為救援危險程度較高之方案。

表 4.16 單車道外側側火災事故各救援方案危險程度值

| 等級 方案 | 非常安全 | | 安 全 | | 普 通 | | 危 險 | | 非常危險 | | 平均值 |
|----------|------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|------|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 6 分 | 7 分 | 8 分 | 9 分 | 10 分 | |
| AO1 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 0% | | 6.14 |
| AO2 | 0% | | 0% | | 28.57% | | 42.86% | | 28.57% | | 7.14 |
| AO3 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.57 |
| AO4 | 0% | | 14.29% | | 28.57% | | 28.57% | | 28.57% | | 6.86 |
| AO5 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 8.29 |
| AO6 | 0% | | 14.29% | | 14.29% | | 57.14% | | 14.29% | | 7.43 |
| AO7 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 6.00 |
| AO8 | 0% | | 14.29% | | 28.57% | | 28.57% | | 28.57% | | 6.86 |
| AO9 | 0% | | 28.57% | | 28.57% | | 42.86% | | 0% | | 5.86 |
| AO10 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.86 |
| AO11 | 0% | | 0% | | 42.86% | | 28.57% | | 28.57% | | 7.00 |
| AO12 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.14 |
| AO13 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.86 |
| AO14 | 0% | | 0% | | 42.86% | | 28.57% | | 28.57% | | 7.00 |
| AO15 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.14 |

5. 雙車道一般事故（表 4.17 所示）

B1：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 5.71。

B2：調查結果以「安全」比例居多，整體危險程度為 4.71。

B3：調查結果以「普通」與「危險」比例居多，整體危險程度為 6.14。

B4：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.86。

B5：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 5.86。

B6：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 7.71。

B7：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 5.71。

B8：調查結果以「安全」比例居多，整體危險程度為 5.43。

B9：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.14。

B10：調查結果以「安全」與「普通」比例居多，整體危險程度為 5.14。

B11：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 5.57（普通）。

B12：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.29。

B13：調查結果以「安全」與「普通」比例居多，整體危險程度 5.29。

由各方案比較中可發現，在雙車道一般事故中，以 B2（順向救援+順向橫坑疏散）為救援危險程度較低的方案；而 B6（逆向上游橫坑救援+順向橫坑疏散）則為救援危險程度較高之方案。

表 4.17 雙車道一般事故各救援方案危險程度值

| 等級 方案 | 非常安全 | | 安 全 | | 普 通 | | 危 險 | | 非常危險 | | 平均值 |
|----------|------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|------|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 6 分 | 7 分 | 8 分 | 9 分 | 10 分 | |
| B1 | 0% | | 28.57% | | 28.57% | | 42.86% | | 0% | | 5.71 |
| B2 | 0% | | 57.14% | | 42.86% | | 0% | | 0% | | 4.71 |
| B3 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 0% | | 6.14 |
| B4 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.86 |
| B5 | 0% | | 28.57% | | 42.86% | | 14.29% | | 14.29% | | 5.86 |
| B6 | 0% | | 0% | | 42.86% | | 28.57% | | 28.57% | | 7.71 |
| B7 | 0% | | 28.57% | | 42.86% | | 28.57% | | 0% | | 5.71 |
| B8 | 0% | | 42.86% | | 28.57% | | 28.57% | | 0% | | 5.43 |
| B9 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.14 |

表 4.17 雙車道一般事故各救援方案危險程度值（續）

| 等級 方案 | 非常安全 | | 安 全 | | 普 通 | | 危 險 | | 非常危險 | | 平均值 |
|----------|------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|------|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 6 分 | 7 分 | 8 分 | 9 分 | 10 分 | |
| B10 | 0% | | 42.86% | | 42.86% | | 14.29% | | 0% | | 5.14 |
| B11 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.57 |
| B12 | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 28.57% | | 14.29% | | 6.29 |
| B13 | 0% | | 42.86% | | 42.86% | | 14.29% | | 0% | | 5.29 |

6. 雙車道火災事故（表 4.18 所示）

B1：調查結果以「非常危險」比例居多，整體危險程度為 8.00。

B2：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.14。

B3：調查結果以「非常危險」比例居多，整體危險程度為 8.86。

B4：調查結果以「非常危險」比例居多，整體危險程度為 8.86。

B5：調查結果以「普通」比例居多，整體危險程度為 6.71。

B6：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 8.86。

B7：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 6.00（普通）。

B8：調查結果以「危險」與「非常危險」比例居多，整體危險程度為 7.86。

B9：調查結果以「非常危險」比例居多，整體危險程度為 7.57。

B10：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 5.71（普通）。

B11：調查結果以「危險」比例居多，整體危險程度為 8.00。

B12：調查結果以「非常危險」比例居多，整體危險程度為 7.71。

B13：調查結果較為分歧，但整體危險程度為 5.86（普通）。

由各方案比較中可發現，在雙車道一般事故中，以 B10（順向橫坑救援+逆向橫坑疏散）為救援危險程度較低的方案；而 B3（逆向下游橫坑救援+未採用疏散）、B4（逆向下游橫坑救援+順向橫坑疏散）與 B6（逆向上游橫坑救援+未採用疏散）則為救援危險程度較高之方案。

表 4.18 雙車道火災事故各救援方案危險程度值

| 等級 方案 | 非常安全 | | 安 全 | | 普 通 | | 危 險 | | 非常危險 | | 平均值 |
|----------|------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|------|------|
| | 1 分 | 2 分 | 3 分 | 4 分 | 5 分 | 6 分 | 7 分 | 8 分 | 9 分 | 10 分 | |
| B1 | 0% | | 14.29% | | 0% | | 28.57% | | 57.14% | | 8.00 |
| B2 | 0% | | 28.57% | | 42.86% | | 14.29% | | 14.29% | | 6.14 |
| B3 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 14.29% | | 71.43% | | 8.86 |
| B4 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 28.57% | | 57.14% | | 8.86 |
| B5 | 0% | | 0% | | 57.14% | | 14.29% | | 28.57% | | 6.71 |
| B6 | 0% | | 0% | | 0% | | 57.14% | | 42.86% | | 8.86 |
| B7 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 6.00 |
| B8 | 0% | | 0% | | 14.29% | | 42.86% | | 42.86% | | 7.86 |
| B9 | 0% | | 0% | | 28.57% | | 28.57% | | 42.86% | | 7.57 |
| B10 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.71 |
| B11 | 0% | | 0% | | 0% | | 57.14% | | 42.86% | | 8.00 |
| B12 | 0% | | 0% | | 28.57% | | 28.57% | | 42.86% | | 7.71 |
| B13 | 0% | | 42.86% | | 14.29% | | 42.86% | | 0% | | 5.86 |

4.2.4 小 結

1. 在專家問卷權重分析中，政府機構代表認為「救援到達時間」所佔比重最高（0.539）而「車流延滯時間」所佔比重最低（0.047）。
2. 在專家問卷權重分析中，學者代表認為「救援危險程度」所佔比重最高（0.457）而「所需交管人力」所佔比重最低（0.068）。
3. 兩群體綜合評估準則權重為：最高為「救援到達時間」佔 0.416，之次為「救援危險程度」佔 0.352，第三為「所需交管人力」佔 0.126，最後為「車輛延滯時間」佔 0.106。
4. 單車道內側一般事故以 AI10 與 AI13 為救援危險程度較低的方案；而 AI5 及 AI8 為救援危險程度較高之方案。
5. 單車道內側火災事故以 AI3、AI12 與 AI15 為救援危險程度較低的方案；而 B5 則為救援危險程度較高之方案。

6. 單車道外側一般事故以 AO1 為救援危險程度較低的方案；而 AO5 為救援危險程度較高之方案。
7. 單車道外側火災事故以 AO3 為救援危險程度較低的方案；而 AO5 為救援危險程度較高之方案。
8. 雙車道一般事故以 B2 為救援危險程度較低的方案；而 B6 則為救援危險程度較高之方案。
9. 雙車道火災事故以 B10 為救援危險程度較低的方案；而 B3、B4 與 B6 則為救援危險程度較高之方案。



第五章 實例應用-以雪山隧道為例

5.1 案例分析

由於救援方案之績效係以救援到達時間、車輛產生延滯、救援危險程度以及所需交管人力等四項準則加以評估，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，本文係採用專家權重加權法（weighting method）來進行此三項準則之加權評估，在權重的設定上，以 4.2.2 乙節之說明 0.416、0.106、0.352 與 0.126 加以設定。即救援到達時間之重要性大於救援危險程度、所需交管人力，又大於車輛產生延滯。

北宜高速公路的雪山隧道設有二十七座的人行橫坑（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 4.8 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，此外對於各準則計算值所設定之參數與隧道基本配置如表 5.1、5.2。

表 5.1 各準則計算參數說明表

| 類別 | 參數符號 | 參數代表意義 | 模式中帶入之參數值 | |
|------------|-----------|----------------|-----------|-----------|
| 救援到達時間設定參數 | D_c | 救援單位至匝道入口距離 | 坪林 1 km | 礁溪 4.5 km |
| | S_c | 一般道路行駛速率 | 50 km/h | |
| | Q_c/C_c | 一般道路實際流量與服務容量比 | 0.2 | |
| | D_h | 匝道位置與隧道口之距離 | 北 0.4 km | 南 2.05 km |
| | S_h | 國道五號行駛速限 | 70 km/h | |

表 5.1 各準則計算參數說明表 (續)

| 類別 | 參數 符號 | 參數代表意義 | 模式中帶入之參數值 | |
|----------------------------|----------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 救援 到達 時間 設定 參數 | S_t | 隧道速限 | 70 km/h | |
| | S'_t | 導坑速限 | 50 km/h | |
| | S_w | 救難人員步行行走速率 | 4.56 km/h | |
| | C_t | 國道五號坪林-頭城服務容量 (隧道) | 2986 pcu/h | |
| | C_h | 國道五號坪林-頭城服務容量 (一般) | 2986 pcu/h | |
| | C_{ot} | 國道五號頭城-坪林服務容量 (隧道) | 2984 pcu/h | |
| | C_{oh} | 國道五號坪林-頭城服務容量 (一般) | 2984 pcu/h | |
| 產生 車輛 延滯 設定 參數 | μ | 雪山隧道南向設計容量 | 2986pcu/h | |
| | μ_1 | 雪山隧道北向設計容量 | 2984pcu/h | |
| | μ'_0 | 反向受影響道路容量 | $0.355 \times \mu_1$ | |
| | μ_0 | 受影響道路容量 | 未受阻車道 疏散 $0.355 \times \mu$ | 迴轉車輛 延滯 $0.5 \times \mu / 2$ |
| | T_r | 交控中心採取管制措施之反應時間 | 4.63 分鐘 | |
| | μ_r | 車輛調頭迴轉之離開率 | 南下 $0.5 \times \mu$ | 北上 $0.5 \times \mu_1$ |
| | h | 平均有效車長 | 7.3m | |
| | D_{c2} | 最短繞道距離 | 36.5 km | |
| | V | 車輛行駛速率 | 70 km/h | |

【3】、【6】、【8】、【32】

表 5.2 北宜高速公路與雪山隧道基本設施里程數

| 設施名稱 | 里程數 | 設施名稱 | 里程數 | 設施名稱 | 里程數 |
|-------|---------|-------|---------|--------|---------|
| 坪林交流道 | 27K | 人行橫坑三 | 28K+403 | 人行橫坑十七 | 35K+214 |
| 頭城交流道 | 42K+294 | 人行橫坑四 | 29K+120 | 人行橫坑十八 | 35K+573 |
| 北隧道口 | 27K+327 | 人行橫坑五 | 29K+478 | 人行橫坑十九 | 36K+290 |
| 南隧道口 | 40K+233 | 人行橫坑六 | 29K+837 | 人行橫坑二十 | 36K+648 |

表 5.2 北宜高速公路與雪山隧道基本設施里程數（續）

| 設施名稱 | 里程數 | 設施名稱 | 里程數 | 設施名稱 | 里程數 |
|-------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 車行橫坑一 | 28K+761 | 人行橫坑七 | 30K+554 | 人行橫坑二一 | 37K+007 |
| 車行橫坑二 | 30K+195 | 人行橫坑八 | 30K+912 | 人行橫坑二二 | 37K+724 |
| 車行橫坑三 | 31K+629 | 人行橫坑九 | 31K+271 | 人行橫坑二三 | 38K+082 |
| 車行橫坑四 | 33K+063 | 人行橫坑十 | 31K+988 | 人行橫坑二四 | 38K+441 |
| 車行橫坑五 | 34K+497 | 人行橫坑十一 | 32K+346 | 人行橫坑二五 | 39K+158 |
| 車行橫坑六 | 35K+931 | 人行橫坑十二 | 32K+705 | 人行橫坑二六 | 39K+516 |
| 車行橫坑七 | 37K+365 | 人行橫坑十三 | 33K+422 | 人行橫坑二七 | 39K+875 |
| 車行橫坑八 | 38K+799 | 人行橫坑十四 | 33K+780 | | |
| 人行橫坑一 | 27K+686 | 人行橫坑十五 | 34K+139 | | |
| 人行橫坑二 | 28K+044 | 人行橫坑十六 | 34K+856 | | |

5.1.1 單車道事故案例

假設該事故為單車道一般事故，發生地點在北宜高速公路南向內側 33k 處，當時之車輛到達率為 2281pcu/小時(民國 100 預測交通量)，對向車輛到達率為 2170pcu/小時(民國 100 預測交通量)。事故預估處理及佔用車道時間為 10 分鐘，可計算各方案之準則值如表 5.3 所示。

由表知，AI1 救援方案(順向救援+由另一車道疏散)為最佳方案，其綜合得點值為 0.96，其次為 AI10 救援方案(順向導坑救援+由另一車道疏散)，其綜合得點值為 0.92。最差者為 AI8 救援方案(逆向上游橫坑救援+順向橫坑疏散)，其綜合得點值為 0.04。

表 5.3 單車道事故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 |
|------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 救援到達時間 (分) | 車輛延滯時間 (車-時) | 所需交管人力 (人) | 救援危險程度 (級) | 救援到達時間 | 車輛延滯時間 | 所需交管人力 | 救援危險程度 | |
| AI1 | 8.24 | 242.22 | 4 | 4.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.96* |

表 5.3 單車道事故案例之救援方案評估結果（續）

| 救援方案 | 原始數值 | | | | 標準化數值 | | | | 綜合得點 |
|------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| | 救援到達時間 (分) | 車輛延滯時間 (車-時) | 所需交管人力 (人) | 救援危險程度 (級) | 救援到達時間 | 車輛延滯時間 | 所需交管人力 | 救援危險程度 | |
| AI2 | 8.24 | 303.71 | 18 | 5.90 | 0.00 | 0.21 | 0.88 | 0.50 | 0.69 |
| AI3 | 8.24 | 305.81 | 14 | 4.70 | 0.00 | 0.22 | 0.63 | 0.10 | 0.86 |
| AI4 | 16.16 | 439.11 | 14 | 5.60 | 0.72 | 0.68 | 0.63 | 0.40 | 0.42 |
| AI5 | 16.16 | 427.04 | 18 | 7.40 | 0.72 | 0.64 | 0.88 | 1.00 | 0.21 |
| AI6 | 16.16 | 429.15 | 18 | 5.70 | 0.72 | 0.64 | 0.88 | 0.43 | 0.40 |
| AI7 | 19.29 | 532.96 | 14 | 5.90 | 1.00 | 1.00 | 0.63 | 0.50 | 0.28 |
| AI8 | 19.29 | 482.20 | 18 | 7.40 | 1.00 | 0.83 | 0.88 | 1.00 | 0.04 [#] |
| AI9 | 19.29 | 484.31 | 14 | 5.40 | 1.00 | 0.83 | 0.63 | 0.33 | 0.35 |
| AI10 | 9.44 | 268.50 | 4 | 4.40 | 0.11 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.92 ^{**} |
| AI11 | 9.44 | 321.02 | 20 | 5.60 | 0.11 | 0.27 | 1.00 | 0.40 | 0.69 |
| AI12 | 9.44 | 323.13 | 16 | 4.70 | 0.11 | 0.28 | 0.75 | 0.10 | 0.81 |
| AI13 | 17.47 | 477.37 | 4 | 4.40 | 0.84 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 0.52 |
| AI14 | 17.47 | 449.74 | 20 | 5.60 | 0.84 | 0.71 | 1.00 | 0.40 | 0.36 |
| AI15 | 17.47 | 451.84 | 16 | 4.70 | 0.84 | 0.72 | 0.75 | 0.10 | 0.47 |

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

各救援方案之綜合得點計算係先將原始數值加以標準化，以獲得標準化數值，再依各準則權重加權彙整後，求得其理想解與負理想解，最後以歐幾里得距離計算各方案在各準則表現距理想解與負理想解的距離，而綜合得點即為各方案對理想解之相對接近程度。例如，A1 救援方案之救援到達時間、車輛延滯時間、所需交管人力以及救援危險程度原始數值分別為 8.24、242.22、4、4.60，標準化後成為 0、0、0、0.07，而四準則之理想解（0、0、0、0）、非理想解（0.416、0.106、0.126、0.352），故 A1 距離理想解距離（ S_{AI^+} ）為 0.02，距離非理想解為 0.56（ S_{AI^-} ），綜合得點即可求得為 $0.96 \left(\frac{S_{AI^-}}{S_{AI^+} + S_{AI^-}} \right)$ 。

為了解事故地點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，僅事故地點改為 39+200K 處，結果如表 5.4 所示。由表知，事故地點變化後之最佳救援方案變成 AI13（逆向導坑救援+由另一車道疏散），其綜合得點值為 0.91；次佳救援方案為 AI15（逆向導坑救援+逆向橫坑疏散），其綜合得點值為 0.80。最差之救援方案則為 AI2（順向救援+順向橫坑疏散），其綜合得點為 0.31。由此可知，當事故位置改變時的确會影響最佳救援方案之選擇。

表 5.4 單車道案例事故位置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 |
|------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| | 救援到達時間 (分) | 車輛延滯時間 (車-時) | 所需交管人力 (人) | 救援危險程度 (級) | 救援到達時間 | 車輛延滯時間 | 所需交管人力 | 救援危險程度 | |
| AI1 | 15.34 | 416.22 | 4 | 4.60 | 0.85 | 0.83 | 0.00 | 0.07 | 0.50 |
| AI2 | 15.34 | 413.31 | 18 | 5.90 | 0.85 | 0.82 | 0.88 | 0.50 | 0.31 [#] |
| AI3 | 15.34 | 415.72 | 14 | 4.70 | 0.85 | 0.83 | 0.63 | 0.10 | 0.47 |
| AI4 | 8.92 | 256.99 | 14 | 5.60 | 0.00 | 0.00 | 0.63 | 0.40 | 0.75 |
| AI5 | 8.92 | 313.48 | 18 | 7.40 | 0.00 | 0.29 | 0.88 | 1.00 | 0.53 |
| AI6 | 8.92 | 315.89 | 18 | 5.70 | 0.00 | 0.31 | 0.88 | 0.43 | 0.71 |
| AI7 | 10.11 | 283.56 | 14 | 5.90 | 0.16 | 0.14 | 0.63 | 0.50 | 0.67 |
| AI8 | 10.11 | 330.79 | 18 | 7.40 | 0.16 | 0.39 | 0.88 | 1.00 | 0.49 |
| AI9 | 10.11 | 333.20 | 14 | 5.40 | 0.16 | 0.40 | 0.63 | 0.33 | 0.73 |
| AI10 | 16.49 | 448.60 | 4 | 4.40 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.47 |
| AI11 | 16.49 | 432.70 | 20 | 5.60 | 1.00 | 0.92 | 1.00 | 0.40 | 0.32 |
| AI12 | 16.49 | 435.11 | 16 | 4.70 | 1.00 | 0.93 | 0.75 | 0.10 | 0.42 |
| AI13 | 9.89 | 278.47 | 4 | 4.40 | 0.13 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.91 [*] |
| AI14 | 9.89 | 327.50 | 20 | 5.60 | 0.13 | 0.37 | 1.00 | 0.40 | 0.68 |
| AI15 | 9.89 | 329.91 | 16 | 4.70 | 0.13 | 0.38 | 0.75 | 0.10 | 0.80 ^{**} |

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

5.1.2 雙車道事故案例

假設該事故為雙車道火災事故，發生地點在北宜高速公路南向 36k 處，當時之車輛到達率為 2200pcu/小時，對向車輛到達率為 1900pcu/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 5.5 所示。

由表知，B2 救援方案（順向救援+逆向橫坑疏散）為最佳方案，其綜合得點值為 0.86，其次為 B5 救援方案（逆向下游橫坑救援+逆向橫坑疏散），其綜合得點值為 0.69。最差者為 B11 救援方案（逆向導坑救援+未採用疏散），其綜合得點值為 0.24。

表 5.5 雙車道事故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 |
|------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| | 救援到達時間 (分) | 車輛延滯時間 (車-分) | 所需交管人力 (人) | 救援危險程度 (級) | 救援到達時間 | 車輛延滯時間 | 所需交管人力 | 救援危險程度 | |
| B1 | 11.53 | 558.92 | 16.00 | 8.00 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.72 | 0.62 |
| B2 | 11.53 | 561.84 | 14.00 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.13 | 0.86* |
| B3 | 12.19 | 2544.16 | 14.00 | 8.90 | 0.26 | 0.91 | 0.60 | 1.00 | 0.44 |
| B4 | 12.19 | 570.48 | 16.00 | 8.90 | 0.26 | 0.01 | 0.80 | 1.00 | 0.46 |
| B5 | 12.19 | 573.40 | 16.00 | 6.70 | 0.26 | 0.01 | 0.80 | 0.31 | 0.69** |
| B6 | 12.63 | 578.47 | 16.00 | 8.90 | 0.45 | 0.01 | 0.80 | 1.00 | 0.38 |
| B7 | 12.63 | 581.40 | 14.00 | 6.00 | 0.45 | 0.01 | 0.60 | 0.09 | 0.67 |
| B8 | 12.96 | 2628.82 | 8.00 | 7.90 | 0.58 | 0.95 | 0.00 | 0.69 | 0.41 |
| B9 | 12.96 | 584.28 | 18.00 | 7.60 | 0.58 | 0.01 | 1.00 | 0.59 | 0.42 |
| B10 | 12.96 | 587.21 | 16.00 | 5.70 | 0.58 | 0.01 | 0.80 | 0.00 | 0.61 |
| B11 | 14.00 | 2745.65 | 8.00 | 8.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.72 | 0.24 [#] |
| B12 | 14.00 | 603.28 | 18.00 | 7.70 | 1.00 | 0.02 | 1.00 | 0.63 | 0.26 |
| B13 | 14.00 | 606.21 | 16.00 | 5.90 | 1.00 | 0.02 | 0.80 | 0.06 | 0.45 |

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增加為 2800pcu/小時，結果如表 5.6 所示。由表知，交通量變化後之最佳救援方案變成 B7（逆向上游橫坑救援+逆向橫坑疏散），其綜合得點值為 0.78；次佳救援方案為 B5（逆向下游橫坑救援+逆向橫坑疏散），其綜合得點值為 0.77。最差之救援方案則為 B11（逆向導坑救援+未採用疏散），其綜合得點為 0.24。由此可知，事故當時交通量之狀況確實會影響最佳救援方案之選擇。

表 5.6 雙車道事故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 |
|------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| | 救援到達時間 (分) | 車輛延滯時間 (車-分) | 所需交管人力 (人) | 救援危險程度 (級) | 救援到達時間 | 車輛延滯時間 | 所需交管人力 | 救援危險程度 | |
| B1 | 12.67 | 1214.85 | 16.00 | 8.00 | 0.27 | 0.00 | 0.80 | 0.72 | 0.54 |
| B2 | 12.67 | 1218.32 | 14.00 | 6.10 | 0.27 | 0.00 | 0.60 | 0.13 | 0.76 |
| B3 | 12.19 | 13683.26 | 14.00 | 8.90 | 0.00 | 0.92 | 0.60 | 1.00 | 0.53 |
| B4 | 12.19 | 1194.28 | 16.00 | 8.90 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 1.00 | 0.54 |
| B5 | 12.19 | 1197.74 | 16.00 | 6.70 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.31 | 0.77** |
| B6 | 12.64 | 1213.67 | 16.00 | 8.90 | 0.25 | 0.00 | 0.80 | 1.00 | 0.46 |
| B7 | 12.64 | 1217.14 | 14.00 | 6.00 | 0.25 | 0.00 | 0.60 | 0.09 | 0.78* |
| B8 | 13.01 | 14168.50 | 8.00 | 7.90 | 0.45 | 0.96 | 0.00 | 0.69 | 0.47 |
| B9 | 13.01 | 1229.27 | 18.00 | 7.60 | 0.45 | 0.00 | 1.00 | 0.59 | 0.48 |
| B10 | 13.01 | 1232.74 | 16.00 | 5.70 | 0.45 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 0.67 |
| B11 | 14.00 | 14766.91 | 8.00 | 8.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.72 | 0.24 [#] |
| B12 | 14.00 | 1272.34 | 18.00 | 7.70 | 1.00 | 0.01 | 1.00 | 0.63 | 0.26 |
| B13 | 14.00 | 1275.81 | 16.00 | 5.90 | 1.00 | 0.01 | 0.80 | 0.06 | 0.45 |

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

5.2 臨界條件分析

依本文之評估模型，最佳救援方案會依事故發生地點、事故處理

時間、交通量等狀況之不同而異。本節之目的旨在探討不同事故類型及影響範圍對各方案在各條件下之優劣變化臨界條件。分析結果分別說明如下：

5.2.1 事故發生地點

事故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南口時，可能由礁溪救難隊派遣前往較佳；當事故發生地點接近於北口時，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類型與範圍之發生地點進行最佳救援方案評選，而在測試地點選取部分則以南下車道每隔 1.4 km 為單位，分別為：28K+200、29K+600、31K、32K+400、33K+600、35K+200、36K+600、38K 與 39K+400，而其他外生變數設定則為：預期處理時間 30 分鐘、南向交通量 2281pcu/h、北向交通量 2170pcu/h。

一. 單車道內側一般事故

由圖 5.1 知，在不同事故發生地點下，單車道內側一般事故係以救援方案 AI1（順向救援+由另一車道疏散）、AI13（逆向導坑救援+由另一車道疏散）為最優。至於此兩方案之優劣差異，則大約在事故發生地點為 37K+191 處。即若事故發生地點在 37K+191 以前，應採取救援方案 AI1，但若事故發生地點在 37K+191 之後，則需改採救援方案 AI13。此兩方案均只需用另一未受阻車道疏散而不需利用橫坑進行疏散。

二. 單車道內側火災事故

由圖 5.2 知，在不同事故發生地點下，單車道內側火災事故係以救援方案 AI3（順向救援+逆向橫坑疏散）、AI9（逆向上游橫坑救援+逆向橫坑疏散）、AI15（逆向導坑救援+逆向橫坑疏散）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 37K+398 與 38K+958 等處。即若事故發生地點在 37K+398 以前，應採取救援方案 AI3；若事故發生地點在 37K+398 與 38K+958 間時，應採取救援方案 AI15，若事故發生地點在 38K+958 之後，則需改採救援方案 AI9。此三方案

均利用橫坑進行逆向疏散。

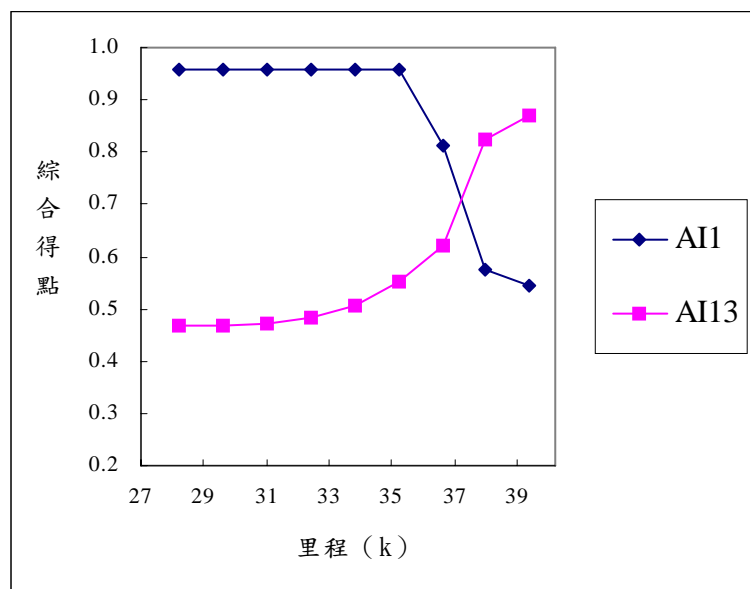


圖 5.1 單車道內側一般事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析

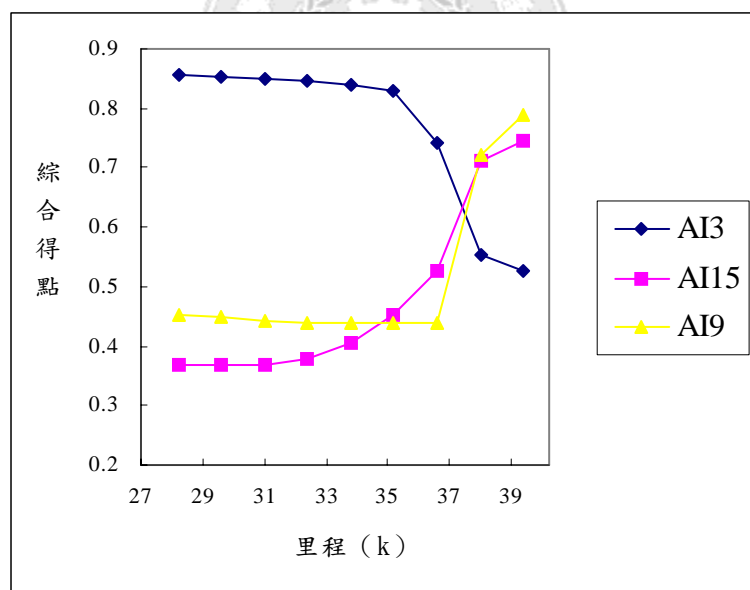


圖 5.2 單車道內側火災事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析

三. 單車道外側一般事故

由圖 5.3 知，在不同事故發生地點下，單車道外側一般事故係以救援方案 AO1（順向救援+由另一車道疏散）、AO13（逆向導坑救援+由另一車道疏散）為最優。至於此兩方案之優劣差異，則大約在事故

發生地點為 37K+531 處。即若事故發生地點在 37K+531 以前，應採取救援方案 AO1，但若事故發生地點在 37K+531 之後，則需改採救援方案 AO13。此兩方案均只需用另一未受阻車道疏散而不需利用橫坑進行疏散。

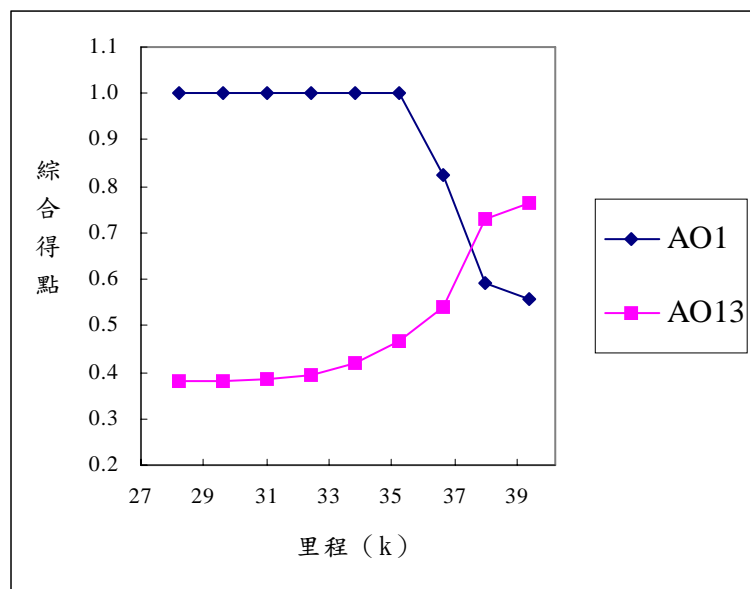


圖 5.3 單車道外側側一般事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析

四. 單車道外側火災事故

由圖 5.4 知，在不同事故發生地點下，單車道外側火災事故係以救援方案 AO1（順向救援+由另一車道疏散）、AO7（逆向上游橫坑救援+由另一車道疏散）為最優。至於此兩方案之優劣差異，則大約在事故發生地點為 37K+528 處。即若事故發生地點在 37K+528 以前，應採取救援方案 AO1；若事故發生地點在 37K+528 之後，則需改採救援方案 AO7。此兩方案均只需用另一未受阻車道疏散而不需利用橫坑進行疏散。

五. 雙車道一般事故

由圖 5.5 知，在不同事故發生地點下，雙車道一般事故係以救援方案 B2（順向救援+逆向橫坑疏散）、B5（逆向下游橫坑救援+逆向橫坑疏散）、B13（逆向導坑救援+逆向橫坑疏散）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 36K+867 與 38K+364 等兩

處。即若事故發生地點在 36K+867 以前，應採取救援方案 B2，若事故發生地點在 36K+867 與 38K+364 間時，應採取救援方案 B5，但若事故發生地點在 38K+364 之後，則需改採救援方案 B13。此三方案均利用橫坑進行逆向疏散。

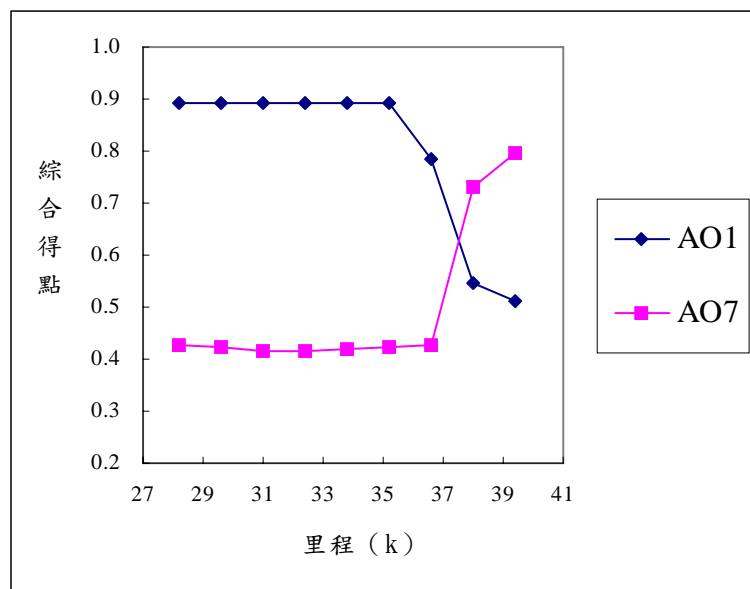


圖 5.4 單車道外側火災事故於不同事故發生地點下之臨界條件分析

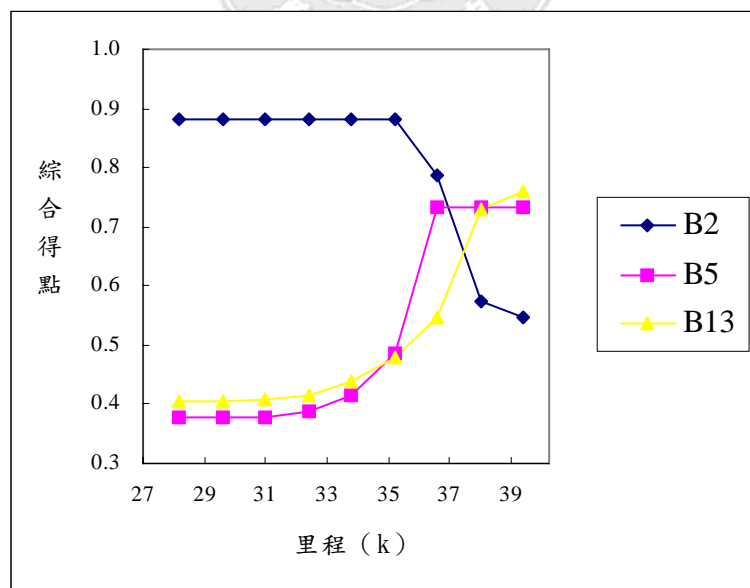


圖 5.5 雙車道一般事故於不同事故發生地點下之優劣臨界條件分析

六. 雙車道火災事故

由圖 5.6 知，在不同事故發生地點下，雙車道火災事故係以救援方案 B2（順向救援+逆向橫坑疏散）、B5（逆向下游橫坑救援+逆向橫坑疏散）、B13（逆向導坑救援+逆向橫坑疏散）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 36K+685 與 38K+585 等兩處。即若事故發生地點在 36K+685 以前，應採取救援方案 B2，若事故發生地點在 36K+685 與 38K+585 間時，應採取救援方案 B5，但若事故發生地點在 38K+585 之後，則需改採救援方案 B13。此三方案均利用橫坑進行逆向疏散。

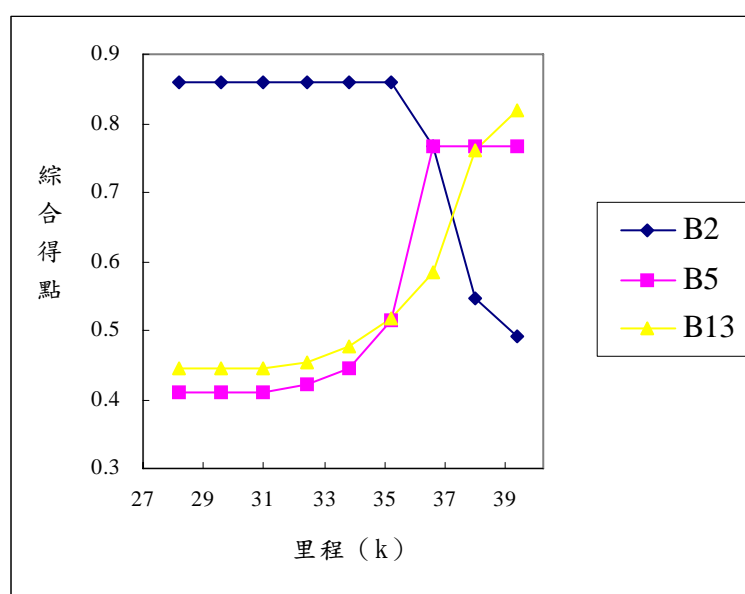


圖 5.6 雙車道火災事故於不同事故發生地點下之優劣臨界條件分析

小結：

1. 單車道一般事故無論事故地點為何，均只需用疏散路線一（另一未受阻車道疏散）而不需利用橫坑進行疏散。
2. 單車道內側火災事故、雙車道一般事故與雙車道火災事故均以採用疏散路線三（逆向橫坑疏散）為佳。
3. 雙車道火災事故之救援派遣以 36K+685 為臨界條件，即當事故發生於 36K+685 前由坪林消防隊救援為佳，若事故地點發生於 36K+685 後則以礁溪消防隊為佳。
4. 雙車道事故均以 B2、B5 與 B13 等救援方案為佳。

5.2.2 事故處理時間

事故處理時間之變化由 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 5.5 至圖 5.8 所示。（其他外生變數設定值為：事故地點南下 36K+500、事故向交通量 2281pcu/h、對向交通量 2170pcu/h。）

一. 單車道內側一般事故

由圖 5.7 知，此六種事故處理時間條件下，單車道一般事故無論事故處理時間如何變化均以救援方案 AI1（順向救援+由另一車道疏散）為最佳。此乃因為 AI1 係利用另一非事故車道進行疏散，因此，即便事故處理時間很長，車流也能獲得疏解。

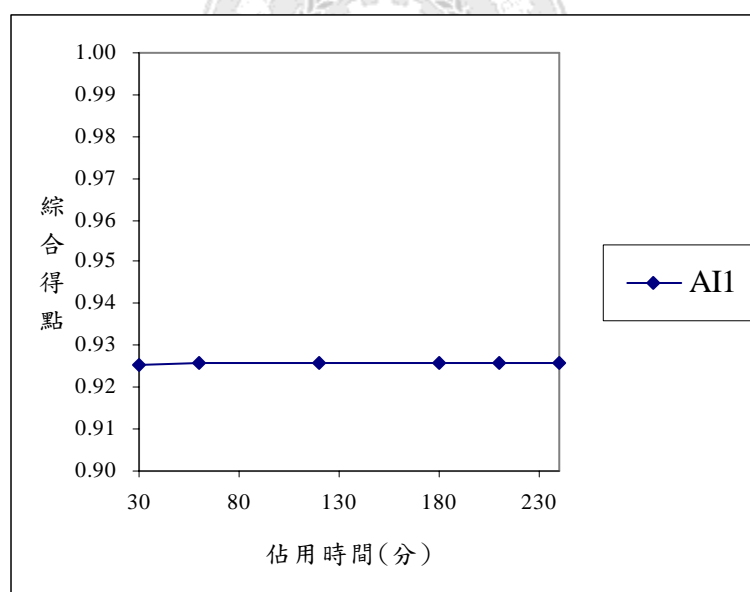


圖 5.7 單車道內側一般事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析

二. 單車道內側火災事故

由圖 5.8 知，此六種事故處理時間條件下，單車道火災事故係以救援方案 AI3（順向救援+逆向橫坑疏散）及 AI1（順向救援+由另一車道疏散）最佳。至於此兩方案之優劣差異，大約在事故處理時間為

150 分鐘時。即若事故處理時間低於 150 分鐘時，應採取救援方案 AI3，即利用對向車道進行疏散，但高於 150 分鐘時，則為避免佔用對向車道過長時間，則需改採救援方案 AI1，即利用未受阻車道進行疏散。

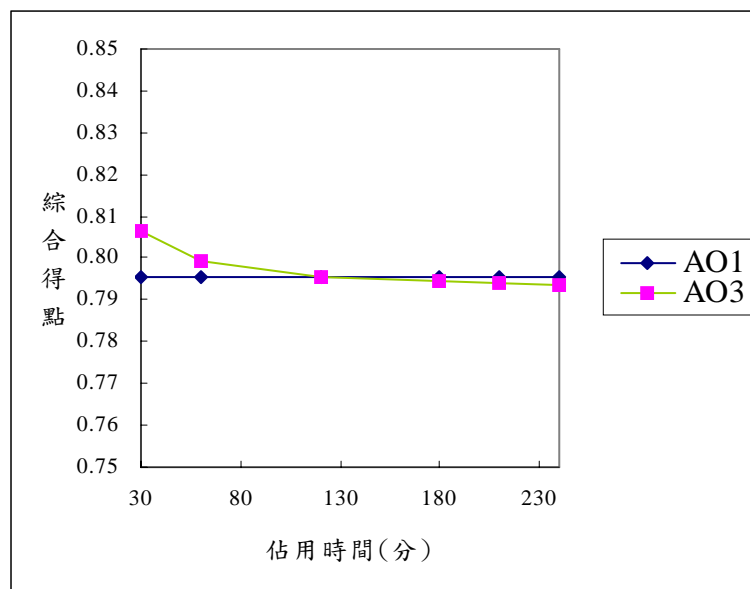


圖 5.8 單車道內側火災事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析

三. 單車道外側一般事故

由圖 5.9 知，此六種事故處理時間條件下，單車道一般事故無論事故處理時間如何變化均以救援方案 AO1（順向救援+由另一車道疏散）為最佳。此乃因為 AO1 係利用另一非事故車道進行疏散，因此，即便事故處理時間很長，車流也能獲得疏解。

四. 單車道外側火災事故

由圖 5.9 知，此六種事故處理時間條件下，單車道一般事故無論事故處理時間如何變化均以救援方案 AO1（順向救援+由另一車道疏散）為最佳。此乃因為 AO1 係利用另一非事故車道進行疏散，因此，即便事故處理時間很長，車流也能獲得疏解。

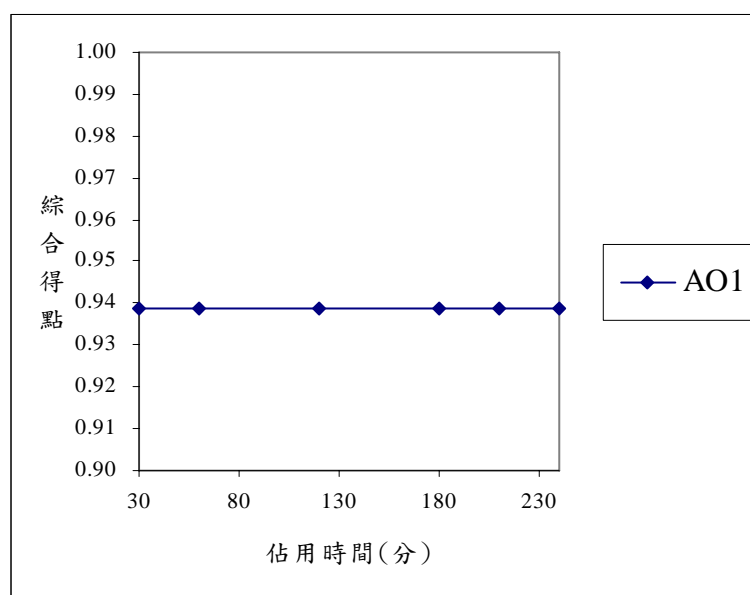


圖 5.9 單車道外側一般事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析

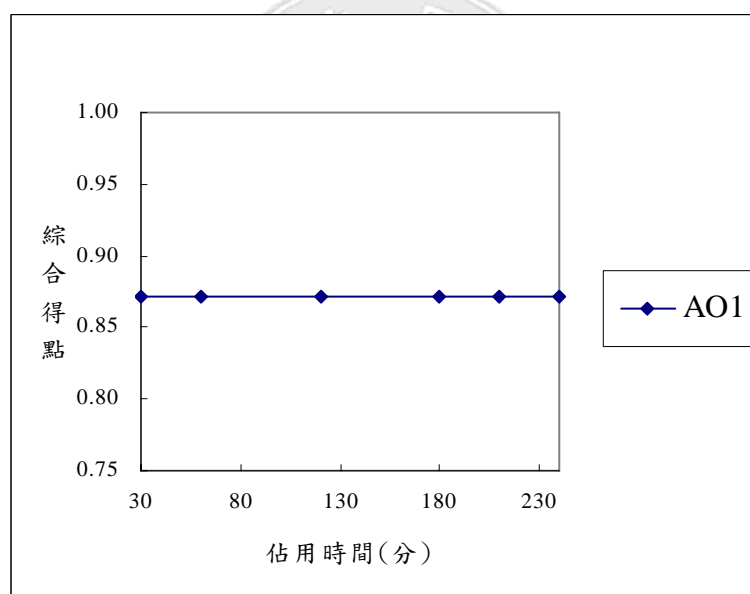


圖 5.10 單車道外側火災事故於不同事故處理時間下之臨界條件分析

五. 雙車道一般事故

由圖 5.11 知，此六種事故處理時間條件下，雙車道一般事故無論事故處理時間如何變化均以救援方案 B2（順向導坑救援+逆向橫坑疏散）為最佳。此乃因為 B2 係利用對向車道進行逆向疏散，即便事故處理時間很長，車流也能獲得疏解。

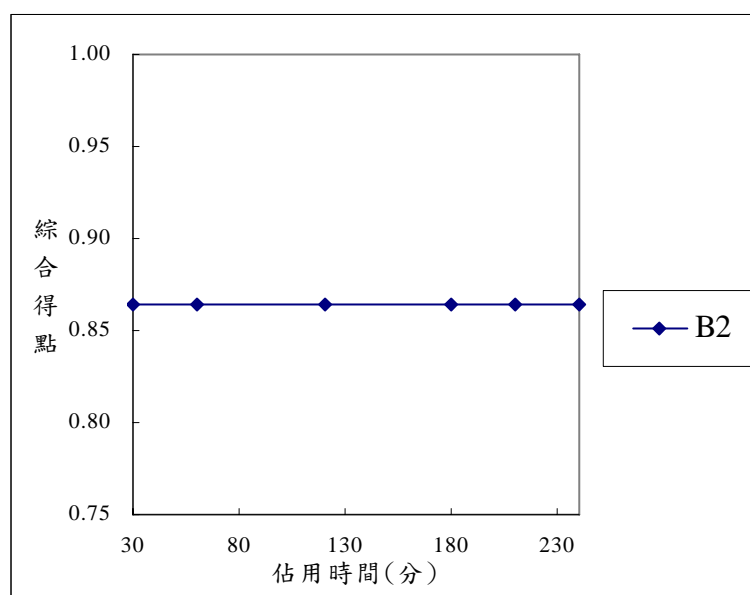


圖 5.11 雙車道一般事故於不同事故處理時間下之優劣臨界條件分析

六. 雙車道火災事故

由圖 5.12 知，此六種事故處理時間條件下，雙車道火災事故無論事故處理時間如何變化均以救援方案 B2（順向導坑救援+逆向橫坑疏散）為最佳。此乃因為 B2 係利用對向車道逆向進行疏散，即便事故處理時間很長，車流也能獲得疏解。

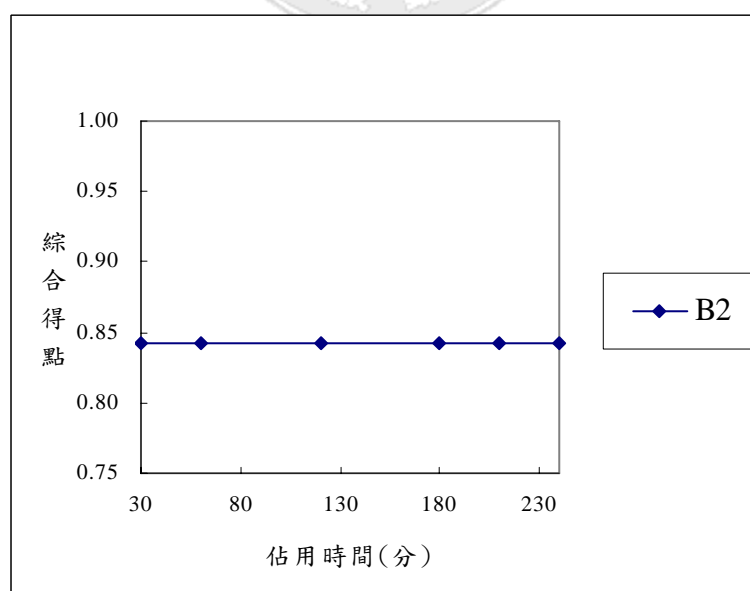


圖 5.12 雙車道火災事故於不同事故處理時間下之優劣臨界條件分析

小結

1. 雙車道事故之最佳救援方案並不會因處理時間之多寡而有所變化。
2. 當單車道事故處理時間大於 150 分鐘後，均由疏散路線一（另一未受阻車道疏散）為佳。

5.2.3 交通量變化

變化交通量由每方向 863pcu/小時、1192 pcu/小時（服務水準 A），增加為 1520pcu/小時、1900 pcu/小時（服務水準 B），再增為 2281pcu/小時、2575 pcu/小時（服務水準 C）及 2868pcu/小時（服務水準 D），分別探討各救援方案之優劣。（其他外生變數設定值為：預期處理時間 60 分鐘、事故地點南下 36K、對向交通量 1900pcu/h。）

一. 單車道內側一般事故

由圖 5.13 知，此七種交通量條件下，單車道內側一般事故係以救援方案 AI1（順向救援+由另一車道疏散）、AI3（順向救援+逆向橫坑疏散與）與 AI6（逆向下游橫坑救援+逆向橫坑疏散）為最佳。至於此三方案之優劣差異，則在交通量為 2259pcu/小時與 2820pcu/小時時，亦即若交通量低於 2259pcu/小時時，應採取救援方案 AI1，即由另一未受阻車道疏散即可；當交通量介於 2259pcu/小時與 2820pcu/小時時，應採取救援方案 AI3；但高於 2820pcu/小時時，則需改採救援方案 AI6，即需由逆向派遣救援。

二. 單車道內側火災事故

由圖 5.14 知，此七種交通量條件下，單車道內側火災事故係以救援方案 AI1（順向救援+由另一車道疏散）、AI3（順向救援+逆向橫坑疏散與）與 A9（逆三向上游橫坑救援+逆向橫坑疏散）為最佳。至於此三方案之優劣差異，則在交通量為 1700pcu/小時與 2740pcu/小時時，亦即若交通量低於 1700pcu/小時時，應採取救援方案 AI1，即由另一未受阻車道疏散即可；當交通量介於 1700pcu/小時與 2740pcu/小時時，應採取救援方案 AI3；但高於 2740pcu/小時時，則需改採救援

方案 AI9，即需由逆向派遣救援。

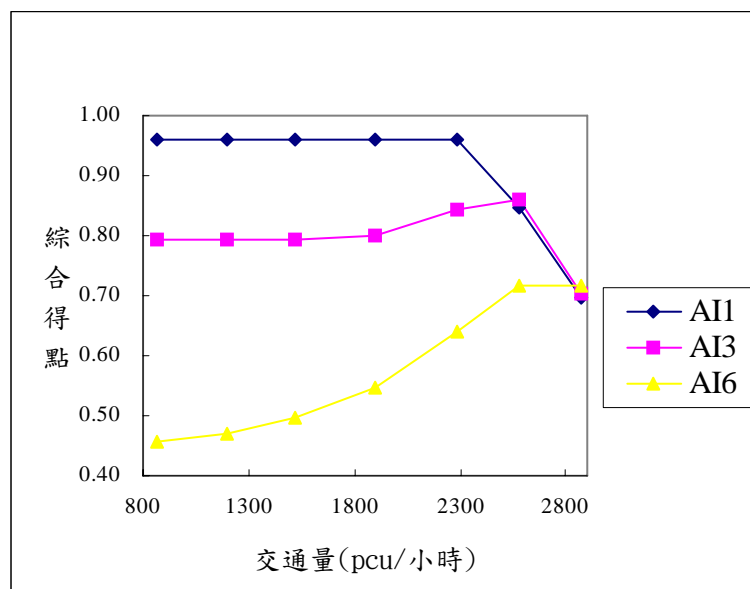


圖 5.13 單車道內側一般事故於不同交通量下之優劣臨界條件分析

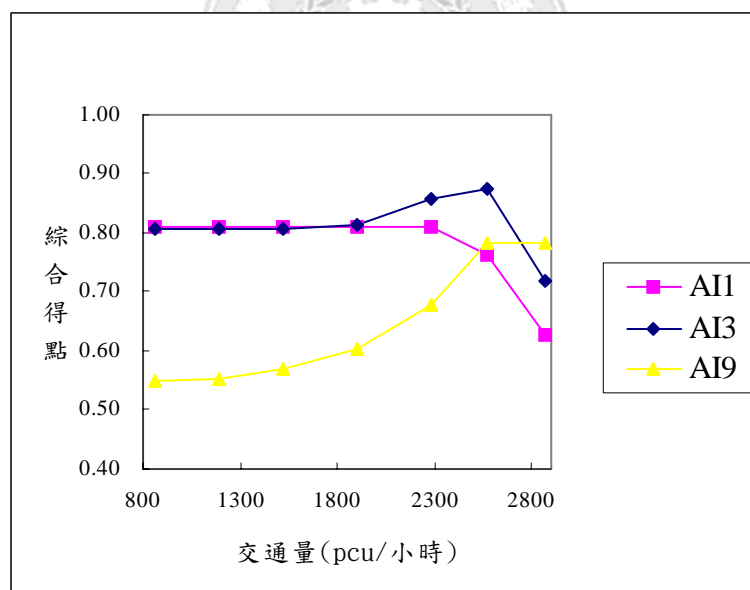


圖 5.14 單車道內側火災事故於不同交通量下之優劣臨界條件分析

三. 單車道外側一般事故

由圖 5.15 知，此七種交通量條件下，單車道外側一般事故係以救援方案 AO1（順向救援+由另一車道疏散）、AO13（逆向向導坑救援+由另一車道疏散）。至於此兩方案之優劣差異，則在交通量為 2032pcu/

小時時，亦即若交通量低於 2032pcu/小時時，應採取救援方案 AI1，即由順向救援即可；但高於 2032pcu/小時時，則需改採救援方案 AIO13，即需利用導坑救援。

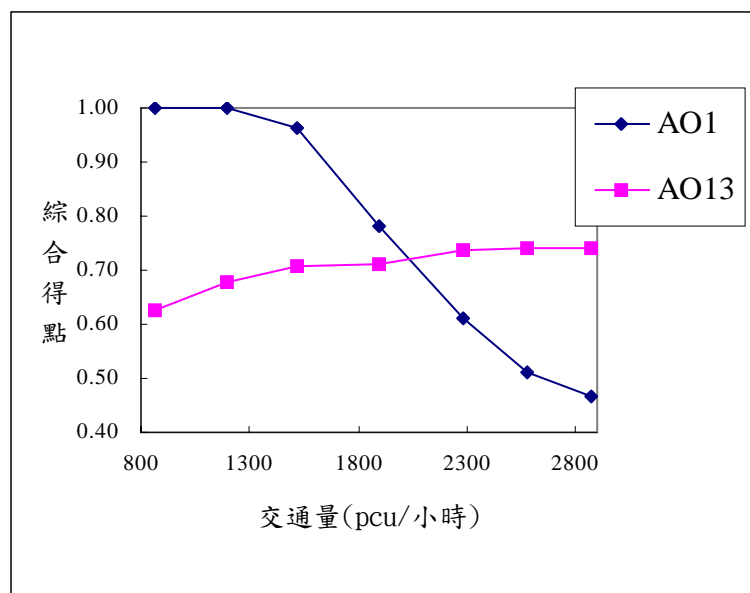


圖 5.15 單車道外側一般事故於不同交通量下之優劣臨界條件分析

四. 單車道外側火災事故

由圖 5.16 知，此七種交通量條件下，單車道外側火災事故係以救援方案 AO1（順向救援+由另一車道疏散）、AO3（順向救援+逆向橫坑疏散與）與 AO9（逆三向上游橫坑救援+逆向橫坑疏散）為最佳。至於此三方案之優劣差異，則在交通量為 2398pcu/小時與 2824pcu/小時時，亦即若交通量低於 2398pcu/小時時，應採取救援方案 AI1，即由另一未受阻車道疏散即可；當交通量介於 2398pcu/小時與 2824pcu/小時時，應採取救援方案 AI3；但高於 2824pcu/小時時，則需改採救援方案 AI9，即需由逆向派遣救援。

五. 雙車道一般事故

由圖 5.17 知，此七種交通量條件下，雙車道火災事故係以救援方案 B2（順向導坑救援+逆向橫坑疏散）及 B5（逆向下游橫坑救援+逆向橫坑疏散）最佳。至於此兩方案之優劣差異，則在交通量為 2838pcu/小時時，亦即若交通量低於 2838pcu/小時時，應採取救援方案 B2，即

由順向救援即可，但高於 2838pcu/小時時，則需改採救援方案 B5，即有必要由逆向救援，而此兩種救援方案之疏散方式則均利用對向車道進行疏散。

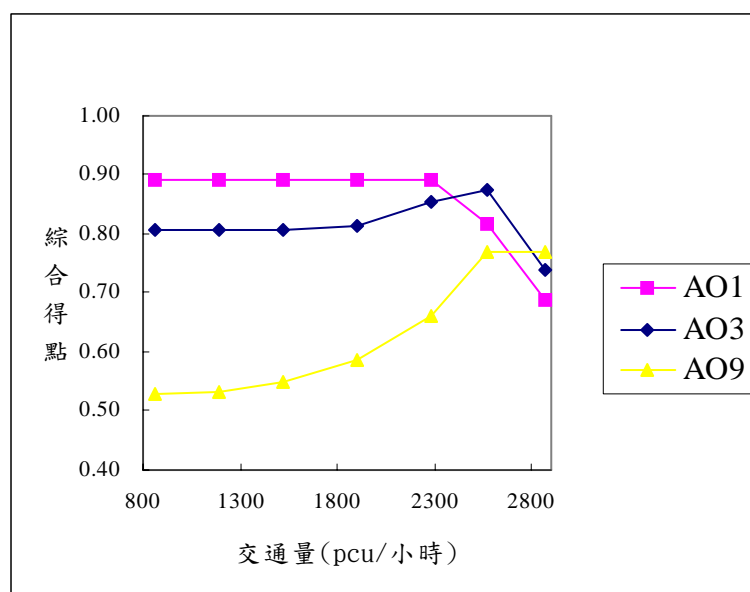


圖 5.16 單車道外側一般事故於不同交通量下之優劣臨界條件分析

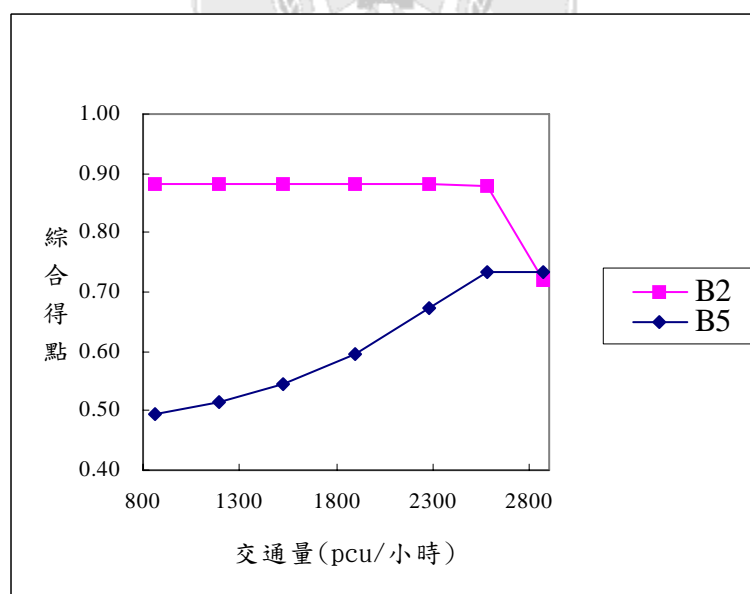


圖 5.17 雙車道一般事故於不同交通量下之優劣臨界條件分析

六. 雙車道火災事故

由圖 5.18 知，此七種交通量條件下，雙車道火災事故係以救援方案 B2（順向導坑救援+逆向橫坑疏散）及 B7（逆向上游橫坑救援+逆

向橫坑疏散)最佳。至於此兩方案之優劣差異,則在交通量為 2701pcu/小時時,亦即若交通量低於 2701pcu/小時時,應採取救援方案 B2,即由順向救援即可,但高於 2701pcu/小時時,則需改採救援方案 B7,即有必要由逆向救援,而此兩種救援方案之疏散方式則均利用對向車道進行疏散。

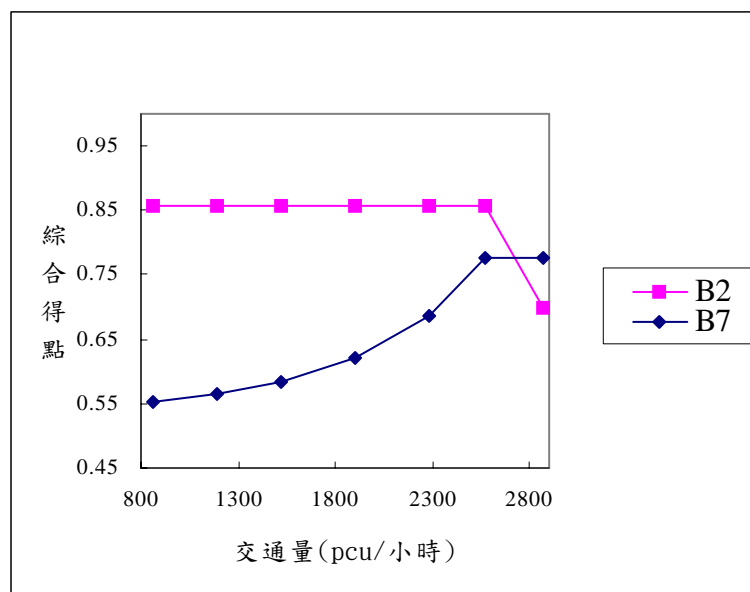


圖 5.18 雙車道火災事故於不同交通量下之優劣臨界條件分析

小結：

1. 事故類型為一般交通事故且服務水準為 A、B 等級時均以救援路線一（順向救援）為佳
2. 當雙車道事故服務水準為 A~C 等級時,均以救援方案 B2(順向救援+逆向橫坑疏散)為佳
3. 事故類型為單車道火災事故且服務水準為 A 時以救援方案一為佳；服務水準為 D 時則以救援方案九為佳。

5.3 雪山隧道事故救援決策支援系統

5.3.1 系統說明與操作

本研究所建構之決策支援系統，係利用 Microsoft 公司所出版的 Visual Basic 6.0 為程式開發前端工具並配合 Microsoft Office 成員 Excel 為資料庫試算功能，系統畫面如圖 5.19 所示。其中系統設計之功能表內容有簡介、模式應用與分析、說明及關閉系統。簡介部分如圖 5.20，用於簡介本系統之開發過程與目的。模式應用與分析則分為兩部分，分別為「操作步驟」(圖 5.21)與「模式應用」(圖 5.22)：操作步驟意旨在講解本系統之操作程序，藉由 Step by Step 的方式，讓初次使用者瞭解本程式之使用操作方法；模式應用則是本決策支援系統的核心，透過使用者於輸入層輸入事故位置、事故當時雙向交通量及預期處理時間，配合基本參數層之設定，經過系統計算與評選即可於輸出層輸出一最佳救援路線。當救援決策者對於所評選的方案不甚滿意時，更可以透過權重層重新輸入權重或經由限制層限制救援準則之門檻值，以達到互動式的隧道救援決策支援系統目的，詳細內容及結果將以 5.3.2 及 5.3.3 節說明之。

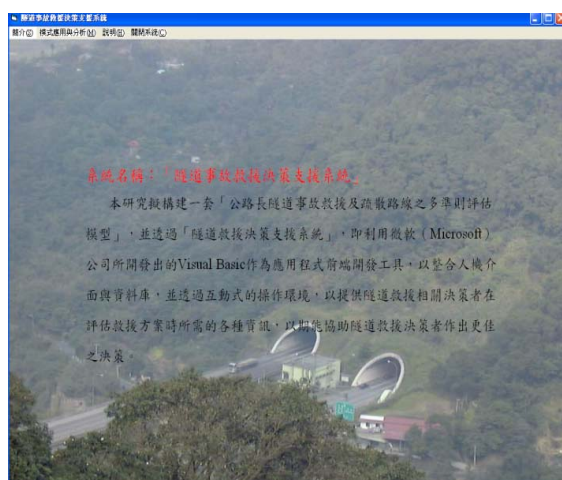


圖 5.19 系統主畫面圖



圖 5.20 系統簡介圖

圖 5.21 操作步驟說明

圖 5.22 模式應用分析介面

5.3.2 救援決策支援系統案例分析

本節將針對 5.3.1 節中所提出之隧道事故救援決策支援系統，作一模擬與應用，綜合考量事故發生地點、事故處理時間與雙向交通量，以彌補 5.2 乙節個別臨界條件分析之不足，並確定本研究之正確性與完整性。

案例一（單車道一般事故）

背景資料：

事故位置-國道五號南下 34K+234 內側車道處

交通量-南下 2281pcu/h；北上 2170pcu/h

預期處理時間-15 分鐘

結果：（最佳救援方案與該方案之四準則值如圖 5.23 所示）

由輸出層顯示，最佳救援方案為由坪林消防隊派員進行順向救援，並由另一未受阻車道進行疏散（AI1），而四個準則值分別為：救援到達時間 9.65 分、車輛延滯時間 397.18 車-時、所需交管人力為 4 位（所需管制位置則為圖中之▲）、救援危險程度 4.6 級（安全）。當決策者對於此結果表示可以接受時則按下「是」，則系統會建議決策者以此救援方案執行之，如圖 5.24。

公路長隧道事故救援策略之多準則決策模型



圖 5.23 案例一救援決策結果



圖 5.24 案例一救援決策建議

案例二（單車道火災事故）

背景資料：

事故位置-國道五號北上 30K+867 外側車道處

交通量-南下 1910pcu/h；北上 1800pcu/h

預期處理時間-35 分鐘

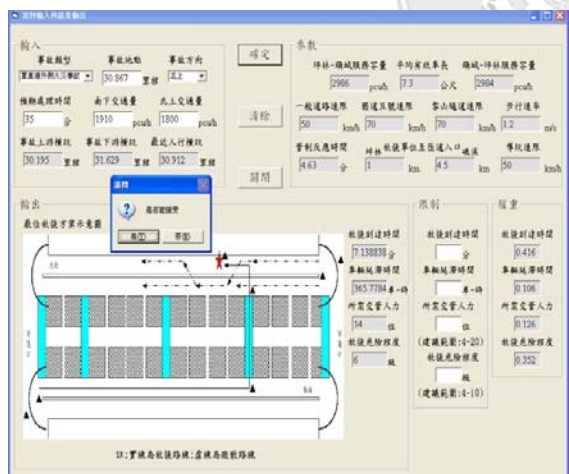


圖 5.25 案例二救援決策結果圖



5.26 案例二救援決策建議

結果：（最佳救援方案與該方案之四準則值如圖 5.25 所示）

由輸出層顯示，最佳救援方案為由坪林消防隊派員經由事故地點上一車行橫坑進入事故隧道救援，並將事故後方受阻車輛於事故地點前匯入內側車道，待通過事故點後再匯回外側車道或繼續前行

(AO7)。而四個準則值分別為：救援到達時間 7.14 分、車輛延滯時間 365.78 車-時、所需交管人力為 14 位（位置則為圖中之▲）、救援危險程度 6.0 級（普通）。當決策者對於此結果表示可以接受時則按下「是」，則系統會建議決策者以此救援方案執行之，如圖 5.26。

案例三（雙車道一般事故）

背景資料：

事故位置-國道五號南下 35K+400 處

交通量-南下 2000pcu/h；北上 2100pcu/h

預期處理時間-30 分鐘

結果：（最佳救援方案與該方案之四準則值如圖 5.27 所示）

由輸出層顯示，最佳救援方案為由坪林消防隊派員利用未受阻車道救援，並將事故上游所有受阻車輛藉由車行橫坑逆向行駛疏散至對向行走替代道路（B2）。而四個準則值分別為：救援到達時間 10.53 分、車輛延滯時間 569.34 車-時、所需交管人力為 14 位（位置則為圖中之▲）、救援危險程度 4.7 級（安全）。當決策者對於此結果表示可以接受時則按下「是」，則系統會建議決策者以此救援方案執行之，如圖 5.28。

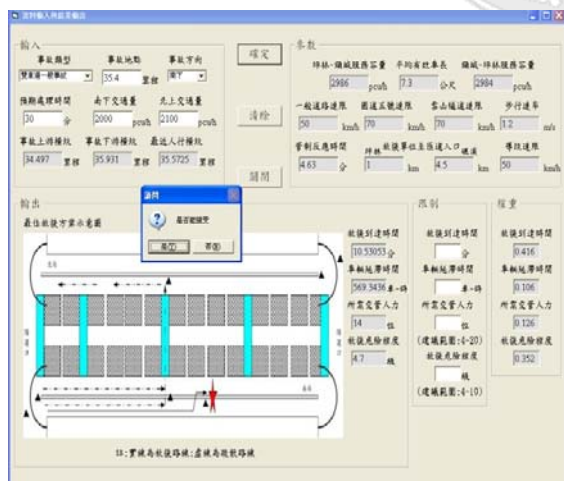


圖 5.27 案例三救援決策結果

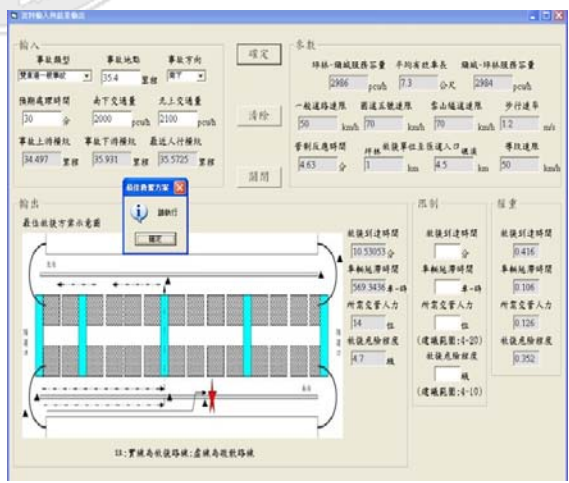


圖 5.28 案例三救援決策建議

案例四（雙車道火災事故）

背景資料：

事故位置-國道五號北上 39K+500 處

交通量-南下 2380pcu/h；北上 2290pcu/h

預期處理時間-90 分鐘

結果：(最佳救援方案與該方案之四準則值如圖 5.29 所示)

由輸出層顯示，最佳救援方案為由礁溪消防隊派遣並經由順向行駛方式到達救援，後方受阻車流則經由車行橫坑逆向行駛疏散至對向並行走替代道路(B2)，而四個準則值分別為：救援到達時間 8.93 分、車輛延滯時間 8659.65 車-時、所需交管人力為 14 位(位置則為圖中之▲)、救援危險程度 6.1 級(普通)。當決策者對於此結果表示可以接受時則按下「是」，則系統會建議決策者以此救援方案執行之，如圖 5.30。



圖 5.29 案例四救援決策結果



圖 5.30 案例四救援決策建議

5.3.3 互動式決策支援系統案例分析

透過 5.3.1 及 5.3.2 節可以一窺本救援決策支援系統的全貌，然對於與決策者間互動的部分則以權重層或限制層之調整為依據。透過權重對四準則重要程度之改變或按救援決策者對四準則的門檻限制，以求取更符合實際情況佳之救援方案，以達本系統之最終目的「互動式隧道事故救援決策支援系統」，並以兩案例說明如后：

1. 權重層之互動

背景資料：

類型-單車道火災事故

事故位置-國道五號南下 30K+867 內側處

交通量-南下 1910pcu/h；北上 1800pcu/h

預期處理時間-35 分鐘

結果：(最佳救援方案與該方案之四準則值如圖 5.31 所示)

由輸出層顯示，最佳救援方案為由坪林消防隊派員利用未受阻車道救援，並將事故後方受阻車輛藉由車行橫坑逆向行駛疏散至對向行走替代道路 (AI3)。而四個準則值分別為：救援到達時間 5.51 分、車輛延滯時間 533.52 車-時、所需交管人力為 14 位 (位置則為圖中之▲)、救援危險程度 5.9 級 (普通)。當決策者對於此結果表示無法接受時則按下「否」，則系統會要求決策者重新輸入權重層中四準則之權重，如圖 5.32。

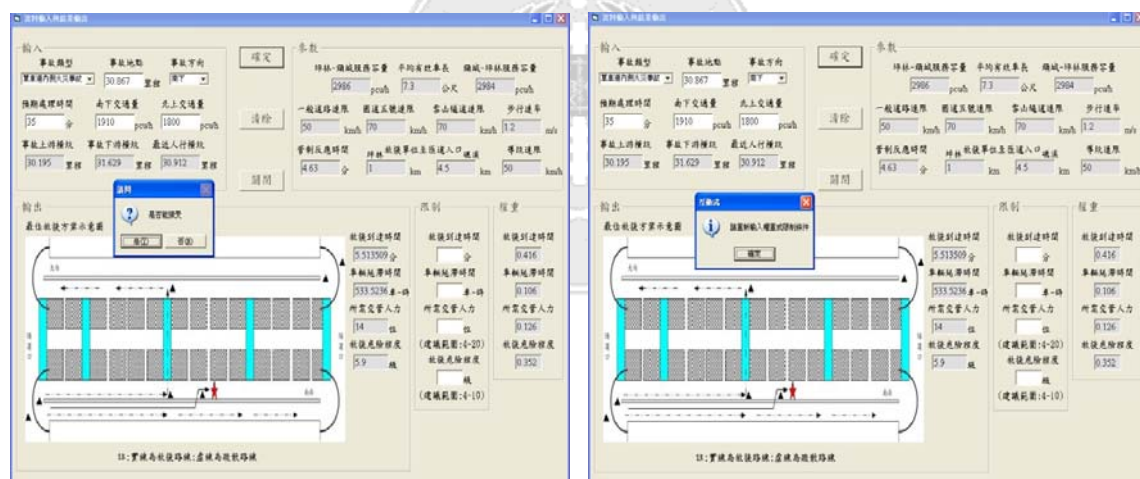
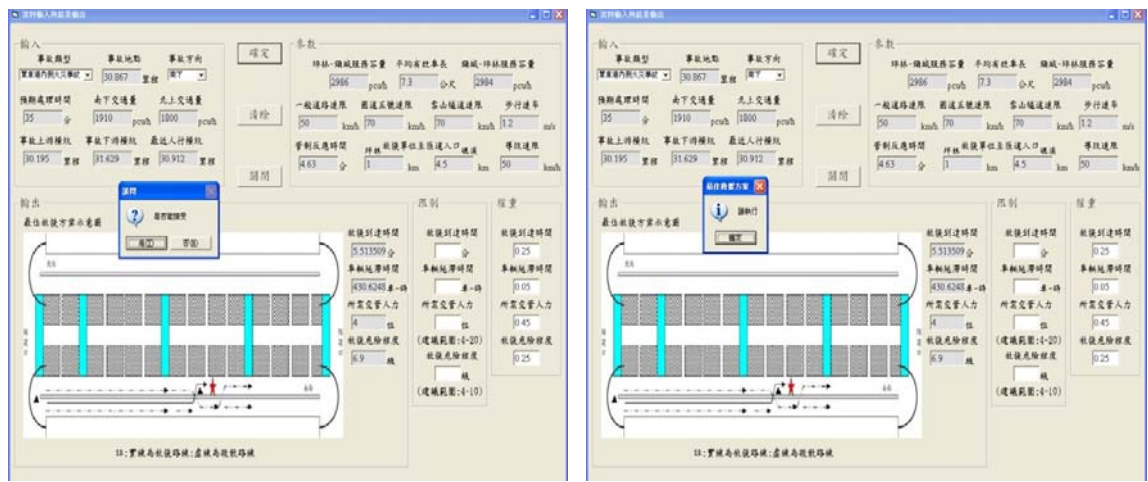


圖 5.31 救援決策支援系統評選結果 圖 5.32 系統要求重新輸入權重

於權重層中改四準則權重值為：救援到達時間 (0.25)、車輛延滯時間 (0.05)、交管人力 (0.45)、救援危險程度 (0.25)，如圖 5.33。由輸出層顯示，最佳救援方案為由坪林消防隊派員出發救援，並由另一未受阻車道救援 (A1)，而四個準則值分別為：救援到達時間 5.51 分、車輛延滯時間 430.6 車-時、所需交管人力為 4 位 (位置則為圖中之▲)、救援危險程度 6.9 級 (普通)。當決策者對於此結果表示可以接受時則按下「是」，則系統會建議決策者以此救援方案執行之，如圖

5.34。



5.33 修改權重後最佳救援方案 圖 5.34 修改權重後救援決策建議

2. 限制層之互動

類型-雙車道火災事故

事故位置：國道五號南下 39K+500 處

交通量：南下 2380pcu/h；北上 2290pcu/h

預期處理時間：90 分鐘

結果：(最佳救援方案與該方案之四準則值如圖 5.35 所示)

由輸出層顯示，最佳救援方案為由礁溪消防隊派遣並經由導坑至最接近事故地點之人行橫坑步行救援，後方受阻車流則經由車行橫坑逆向行駛疏散至對向並行走替代道路 (B13)，而四個準則值分別為：救援到達時間 9.16 分、車輛延滯時間 7965.5 車-時、所需交管人力為 16 位 (位置則為圖中之▲)、救援危險程度 5.9 級 (普通)。當決策者對於此結果表示無法接受時則按下「否」，則系統會要求決策者重新輸入權重層中四準則之權重或限制層中輸入限制條件，如圖 5.36。於限制層中對救援到達時間設一門檻值為 9 分鐘，亦即模式中會先將救援到達時間大於 9 分鐘之方案剔除，而剩餘方案再繼續評選。因此最佳救援方案會由 B13 更改為 B5 (由礁溪消防隊派遣並利用逆向下游導坑救援，受阻車輛藉由車行橫坑逆向行駛疏散至對向行走替代道路)，如圖 5.37 所示。而四準則值則變更為：救援到達時間 8.71 分、車輛延滯時間 7927.9 車-時、所需交管人力為 16 位 (位置則為圖中之▲)、

公路長隧道事故救援策略之多準則決策模型

救援危險程度 6.7 級（危險）。當決策者對於此結果表示可以接受時則按下「是」，則系統會建議決策者以此救援方案執行之，如圖 5.38

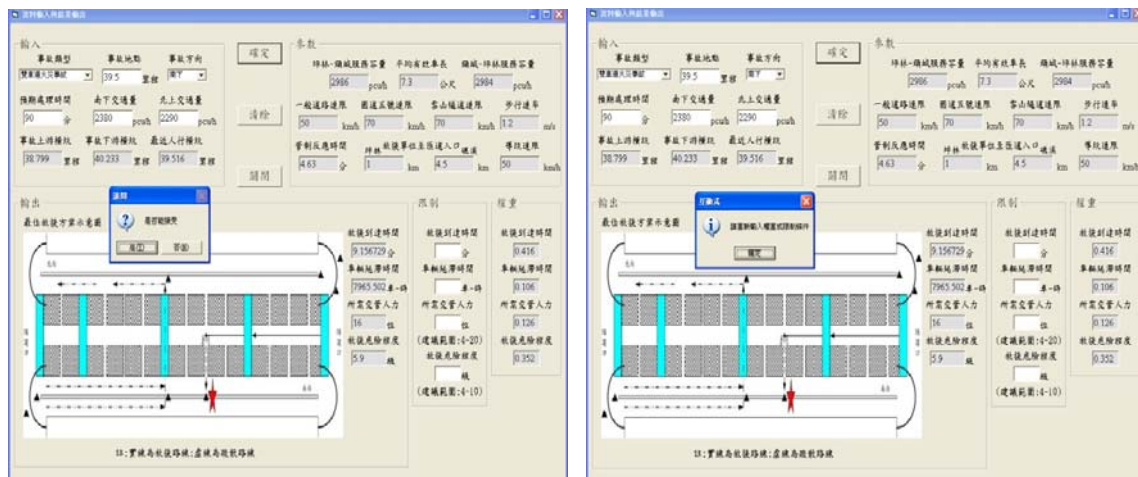


圖 5.35 救援決策支援系統評選結果 圖 5.36 系統要求重新輸入限制

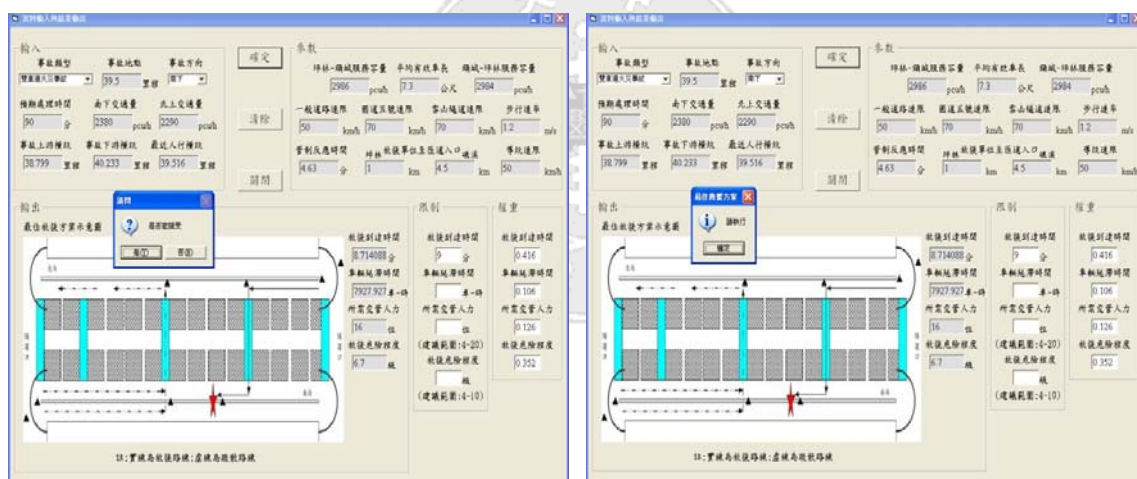


圖 5.37 修改限制後最佳救援方案 圖 5.38 修改限制後救援決策建議

第六章 結論與建議

6.1 結論

本文建構一公路長隧道事故救援之多準則評估模型，以救援到達時間、車輛產生延滯、所需交管人力與救援危險程度等四個準則最小化之原則進行救援方案評選。而依據事故特性、不同隧道救難設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 30 種救援方案（包含：內側事故編號為 AI1~AI15，外側事故編號為 AO1~AO15）及雙車道事故 13 種救援方案（編號為 B1~B13），並以專家問卷加權法進行最佳救援方案之多準則評選。主要研究結論如下：

1. 由專家問卷分析顯示，四項救援準則之重要性分別為救援到達時間（0.416）>救援危險程度（0.352）>所需交管人力（0.126）>車流產生延滯（0.106）
2. 單車道內側一般事故以利用導坑救援與由另一車道疏散方式之 AI10 與 AI13 為救援危險程度較低的方案；而利用順向橫坑疏散方式之 AI5 及 AI8 為救援危險程度較高之方案。
3. 單車道內側火災事故則以利用逆向橫坑疏散方式之 AI3、AI12 與 AI15 為救援危險程度較低的方案；而 AI5 則為救援危險程度較高之方案。
4. 單車道外側一般事故以利用順向救援與由另一車道疏散方式之 AO1 為救援危險程度較低的方案；而利用逆向下游橫坑救援的 AO5 與 AO6 則為救援危險程度較高之方案。
5. 單車道外側火災事故則以順向救援並配合逆向橫坑疏散之 AO3 為救援危險程度較低的方案；而以逆向下游橫坑救援並配合順向橫坑疏散之 AO5 為救援危險程度較高之方案。
6. 雙車道一般事故則以 B2 為救援危險程度較低的方案；而 B6 則為救援危險程度較高之方案。

7. 雙車道火災事故以 B10 為救援危險程度較低的方案；而以未採用疏散及順向橫坑疏散方式 B3、B4 與 B6 則為救援危險程度較高之方案。
8. 為了解不同狀況變化下，最佳救援方案之評選結果，本文以各類事故及不同影響範圍為例針對事故發生地點、事故處理時間、交通量等三個重要影響狀況，分析各最佳方案間之臨界條件。
9. 事故地點的改變確實會影響最佳救援策略之改變。
10. 在事故處理時間方面，除了單車道內側火災事故之最佳救援方案有明顯變化外，其餘事故種類之最佳救援方案變化均不明顯。
11. 最佳救援方案會隨交通量變化而產生不同結果。
12. 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，因此一套能立即規劃最佳救援方案之模型確實有必要。
13. 不同權重值或限制條件的確會使評估結果之最佳救援方案產生差異。

6.2 建議

1. 救援危險程度於本模式之重要程度僅次於救援到達時間，然本文僅以方案別評估危險度，對於各方案於事故發生地點（隧道入口區、內部區與出口區）之救援危險程度未能加以探討。
2. 一套良好隧道救援方案需考慮的構面需相當廣泛，本文僅以四準則衡量實為不足，未來在進行最佳救援方案評估時，宜再蒐集更多評估準則項目，以增加評選最佳救援方案之完備性。
3. 公路長隧道長度通常達數十公里有別於一般普通隧道，當事故發生往往伴隨二次災害，而本研究所提出之救援決策支援系統僅針對單一起事故，對於隧道內同一時間所發生之多起災害並無法正確有效給予救援建議。
4. 一套正確且有效率之隧道救援系統，除完善之方案規劃外，為能達到各方案所預期之救援效果，還需有適當之警力派遣模式與任務指派規劃配合。

5. 隧道救援實為一相當艱鉅之課題，本文僅提出有關最佳救援方案（救援與疏散）路線規劃，對於各路線規劃所需配合之交通管制應變措施以及隧道前後端所需調整之交通控制策略未能深入考慮。



參考文獻

- 【1】 張文城，民國 85 年，「坪林隧道之規劃、設計、施工與地工技術」，地工技術，第 58 期，頁 17-28。
- 【2】 周胤德、忻元發、張世忠，民國 93 年，「從近年國內外之重大公路長隧道事故探討隧道營運管理安全設施策略」，台灣公路工程，第三十卷第七期，頁 2-13。
- 【3】 藍武王、楊幼文，民國 81 年，「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」，中國土木水利工程期刊，第四卷卷第四期，頁 259-267
- 【4】 邱裕鈞等，民國 93 年，「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」，交通學報第四卷第二期，頁 93-112。
- 【5】 陳俊堯，民國 92 年，「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。
- 【6】 陳發林，民國 91 年，「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。
- 【7】 淡江大學，民國 89 年，「高速公路事故救援指揮系統與救援路線規劃研究」，國道新建工程局委託研究計畫。
- 【8】 蔡揮政，民國 84 年，「高速公路隧道事故標準作業程序之研究」，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文。
- 【9】 顏應明，民國 77 年，「路網疏散時間敏感度分析及災後救援路線之研究」，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文。
- 【10】 曾平毅、楊明畢，民國 91 年，「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。
- 【11】 曾平毅、楊明畢，民國 90 年，「交通事故處理工作量及警力需求類型分析」，國際道路交通安全與執法研討會，頁 313-322。
- 【12】 馮正民、邱裕鈞，民國 92 年，「研究分析方法」，建都文化出版社。
- 【13】 鄧振源，民國 79 年，「多評準決策規劃方法之概念性分析」，交通運輸，第十二期，頁 131-163。

- 【14】 曾國雄、李穗玲，民國 84 年，「路線方案評選多目標決策之應用：以桃園都會區捷運路網選線為例」，運輸計畫季刊，第二十四卷第三期，頁 299-323。
- 【15】 陳淵楠，民國 93 年，「中正機場聯外捷運系統最適營運機構研究」，碩士論文。
- 【16】 簡賢文，民國 88 年，「公路隧道防災及救援之探討」，交通部國道興建工程局。
- 【17】 林啟豐，民國 93 年，「長隧道交控系統策略規劃及研討」，長隧道管理研習營-長隧道交控進階訓練。
- 【18】 簡賢文，民國 93 年，「隧道緊急事件應變標準作業」，長隧道管理研習營。
- 【19】 伍靜宜，民國 91 年，「即時應變事故之動態交通量指派方法論」，國立台灣大學土木工程研究所，碩士論文。
- 【20】 凌瑞賢，民國 89 年，「運輸規劃原理與實務」，鼎漢國際工程顧問公司。
- 【21】 簡俊能 王銘亨 兵界力，民國 88 年，「高速公路隧道群(區)車流及行車事故特性分析」，88 年道路交通安全與執法研討會，頁 307-321。
- 【22】 周文生，民國 88 年，「高速公路事故救援體系之探討」，88 年道路交通安全與執法研討會。
- 【23】 劉森榮，民國 92 年，「貨櫃碼頭聯營模式之研究—以高雄港為例」，國立中山大學企業管理研究所碩士論文。
- 【24】 楊松隆，民國 78 年，「北部第二高速公路隧道交通安全防災設施」，現代交通。
- 【25】 何志宏、徐國鈞，民國 84 年，「建構專家系統從事公路事件管理標準作業程序之評估研究-以北二高公路隧道事件管理為例」，中華民國運輸學會第十屆論文研討會。
- 【26】 簡俊能等，民國 88 年，「高速公路隧道群(區)車流及行車事故特性分析」，道路交通安全與執法研討會。
- 【27】 周文生，民國 88 年，「高速公路事故救援體系之探討」，道路交通安全與執法研討會。

- 【28】 陳淵楠，民國 93 年，「中正國際機場聯外捷運系統最適營運機構之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
- 【29】 陳登輝，民國 91 年，「土地整體開發方式評選-多屬性決策方法之應用」，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文。
- 【30】 褚志朋，民國 92 年，「層級分析法 AHP」，國立東華大學企業管理學系上課講義。
- 【31】 施兆瑄，民國 84 年，「長隧道通風技術下之隧道火災研究」，淡江大學機械工程研究所碩士論文。
- 【32】 亞聯工程顧問公司，民國 80 年，「北宜高速公路(含蘇澳延伸段)運輸規劃分析報告」，規劃報告書。
- 【33】 R.W. Hall (2002), "Incident dispatching, clearance and delay", Transportation Research Part A, Vol.36, pp.1-16.
- 【34】 J.A. Stoop (2003), "Critical size events : a new tool crisis management resource allocation?", Safety Science, Vol.41, pp.465-480.
- 【35】 C.M. Feng et. al (2000), "Performance evaluation for airlines including the consideration of financial ratios.", Air Transport Management , Vol.6,pp.133-142..
- 【36】 G.F. Newell (1982), "Applications of Queuing Theory", Chapman and Hall.
- 【37】 A Schatzmann (1993), "Traffic Control and Safety in Long Vehicular Tunnels", Seminar on Urban and Highway Traffic Surveillance and Control Technology, pp. H-1~H-10.
- 【38】 Stelios H. Zanakakis et. al (1998), " Multi-attribute decision making : A simulation comparison of select methods." European Journal of Operational Research IO7, pp.507-529.
- 【39】 W.T.M. Wolters and B. Mareschal (1995), "Novel types of sensitivity analysis for additive MCDN methods", European Journal of Operational Research 81 pp.281-290.
- 【40】 Gyutai Kim et. Al (1997), "Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated

performance measurement. ”, Int. Production Economics 50, pp.23-33.

- 【41】 日本道路公團(1985),「設計要領第三集-隧道」
- 【42】 吉田偵雄、石古昌之,「道路交通センサデータによる BPR 式パラメータの推估」



各位交通專家，您好！

因應我國高快速公路網長隧道完工通車之需要，本研究擬建立一套高速公路長隧道事故救援策略之多準則評估模型。素仰您在隧道安全領域之卓越成就，希望您能撥冗回覆本問卷，以提供本研究更為正確且完整之決策資訊。

本問卷分為兩部份：第一部分旨在調查隧道事故救援方案之準則權重，係透過層級分析法（AHP）進行。第二部份旨在調查救援與疏散路線之危險度，採用李克特(Likert) 五點量表進行。

本問卷所得資料僅供學術研究之用，絕不單獨對外發表。非常感謝您的協助！並請於三月十五日前擲回。

敬祝您

新春愉快 萬事如意

逢甲大學交通工程與管理學系助理教授：邱裕鈞

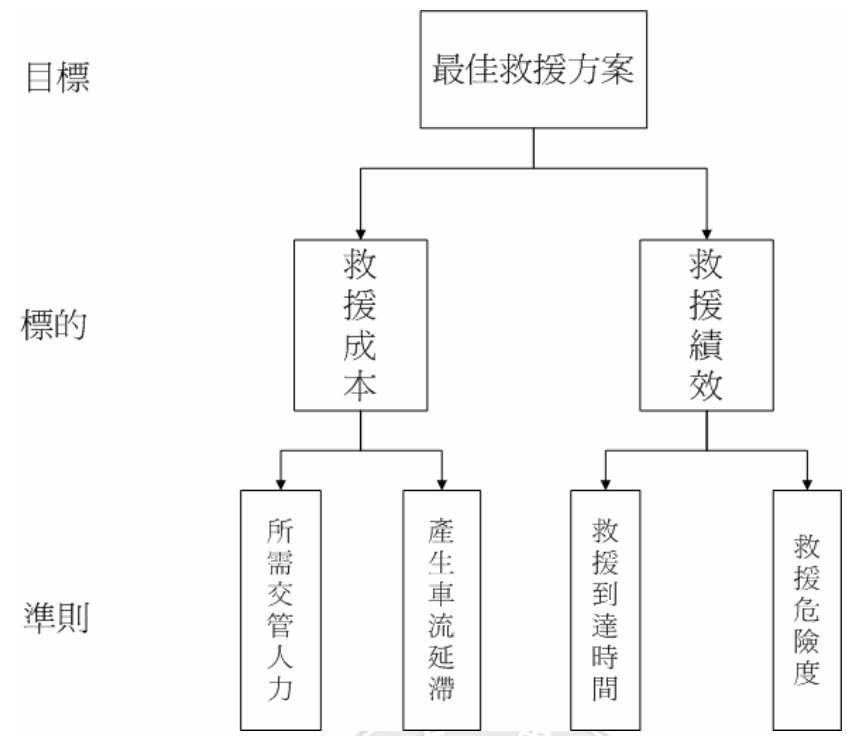
研究生：黃彥斐 敬上

連絡電話：(04) 2451-7250 # 4676

第一部份：隧道事故救援方案之準則權重

（一）問卷說明

本研究依據「救援成本」與「救援績效」等兩層面，分別設計「救援到達時間」、「產生車流延滯」、「所需之交管人力」，以及「救援危險度」等四項評估準則，以據以進行救援方案之評選。層級架構設計如下圖：



救援方案評選之層級分析架構圖



◎填答範例：假設您認為「A準則」較「B準則」重要時，就您認為其相對重要程度為3：1，則在3：1 格位上打[✓]，劃記法舉例如下：

| 評估 尺度 項目一 | 絕對重要 | | 極為重要 | | 頗為重要 | | 些許重要 | | 同等重要 | | 些許重要 | | 頗為重要 | | 極為重要 | | 絕對重要 | 評估 尺度 項目二 |
|-----------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----------------|
| | 9:1 | 8:1 | 7:1 | 6:1 | 5:1 | 4:1 | 3:1 | 2:1 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 | 1:5 | 1:6 | 1:7 | 1:8 | 1:9 | |
| A 準則 | | | | | | | ✓ | | | | | | | | | | | B 準則 |

(二) 問卷填答

1. 標的層

| 評估 尺度 項目一 | 絕對重要 | | 極為重要 | | 頗為重要 | | 些許重要 | | 同等重要 | | 些許重要 | | 頗為重要 | | 極為重要 | | 絕對重要 | 評估 尺度 項目二 |
|-----------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----------------|
| | 9:1 | 8:1 | 7:1 | 6:1 | 5:1 | 4:1 | 3:1 | 2:1 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 | 1:5 | 1:6 | 1:7 | 1:8 | 1:9 | |
| 救援成本 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 救援績效 |

2. 救援成本準則層

| 評估 尺度 項目一 | 絕對重要 | | 極為重要 | | 頗為重要 | | 些許重要 | | 同等重要 | | 些許重要 | | 頗為重要 | | 極為重要 | | 絕對重要 | 評估 尺度 項目二 |
|-----------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----------------|
| | 9:1 | 8:1 | 7:1 | 6:1 | 5:1 | 4:1 | 3:1 | 2:1 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 | 1:5 | 1:6 | 1:7 | 1:8 | 1:9 | |
| 交管人力 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 車流延滯 |

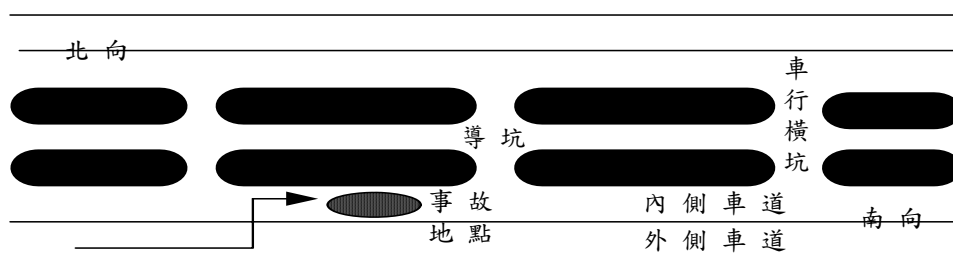
3. 救援績效準則層

| 評估 尺度 項目一 | 絕對 重要 | | 極為 重要 | | 頗為 重要 | | 些許 重要 | | 同等 重要 | | 些許 重要 | | 頗為 重要 | | 極為 重要 | | 絕對 重要 | 評估 尺度 項目二 |
|-----------------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----------------|
| | 9:1 | 8:1 | 7:1 | 6:1 | 5:1 | 4:1 | 3:1 | 2:1 | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 | 1:5 | 1:6 | 1:7 | 1:8 | 1:9 | |
| 救援 到達 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 救援 危險 |

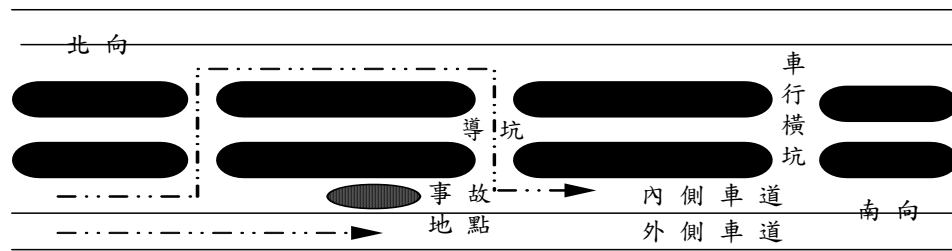
第二部分：救援路線與疏散路線之危險度

(一) 名詞定義與說明

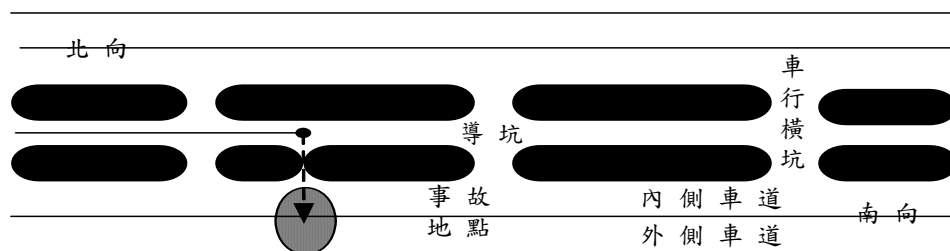
1. 一般事故：未發生火災之交通事故，包括故障車、一般與重大交通事故等。
2. 火災事故：併發火災之交通事故，包括碰撞起火、易燃物品的散落起火及運槽車之碰撞起火等。
3. 單車道事故：事故發生後，僅造成隧道單向單車道阻塞。
4. 雙車道事故：事故發生後，造成隧道單向雙車道均阻塞。
5. 事故地點：
 - (1) 隧道入口區：進入隧道後 50m 之路段
 - (2) 隧道出口區：離開隧道前 50m 之路段
 - (3) 隧道內部區：隧道內之路段
6. 濃煙、一氧化碳及粒狀污染物擴散方向：以順向排煙為原則，即濃煙及一氧化碳將向車流下游方向進行擴散。
7. 路線示意圖：
 - (1) 以實線表示救援路線（註：此圖代表單車道事故之順向救援路線）



(2)以虛線表示疏散路線(註：此圖為單車道事故之順向橫坑疏散路線)



(3)利用導坑救援方式：(註：此圖為雙車道事故之順向導坑救援路線)



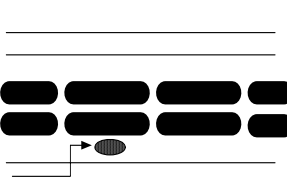
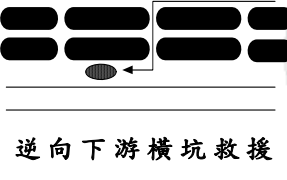
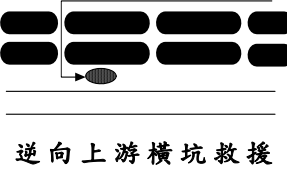
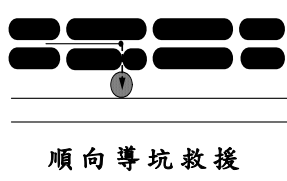
說明：黑圈為救援車輛停等位置(於最近事故位置之人行聯絡道)，虛線為救難人員徒步至事故地點之路徑。



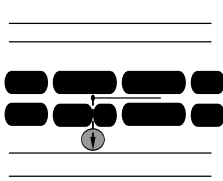
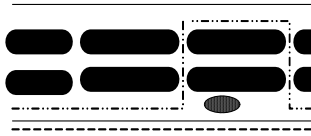
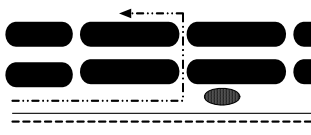
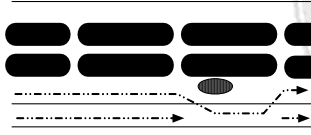
(二) 危險度評估

請您就針對下列事故位置及類型，評估各種救援路線及疏散路線之危險程度：

1. 單車道內側事故

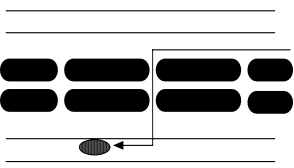
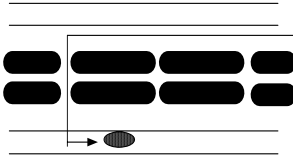
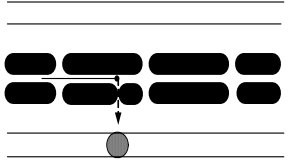
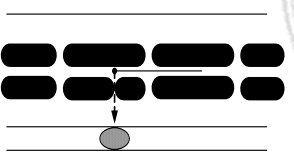
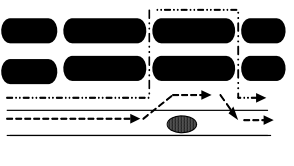
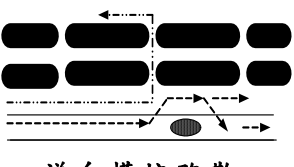
| 救援 或 疏散 | 路線示意圖 | 危險程度 | 事故位置與類型 | | | |
|---------------|---|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | 隧道出（入）口區 | | 隧道內部區 | |
| | | | 一般事故 | 火災事故 | 一般事故 | 火災事故 |
| 救援 路線 |  順向救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  逆向下游橫坑救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  逆向上游橫坑救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  順向導坑救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

公路長隧道事故救援策略之多準則評估模型

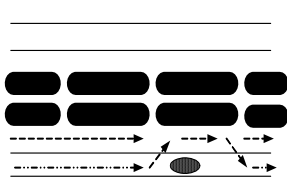
| | | | | | | |
|----------|--|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| |  逆向導坑救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 疏散 路線 |  順向橫坑疏散 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  逆向橫坑疏散 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  由另一車道疏散 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |

2. 單車道外側事故

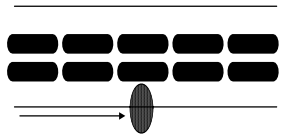
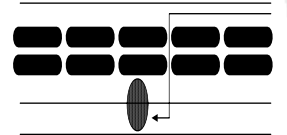
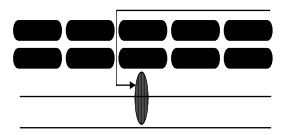
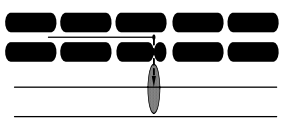
| 救援 或 疏散 | 路線示意圖 | 危險程度 | 事故位置與類型 | | | |
|---------------|---|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | 隧道出（入）口區 | | 隧道內部區 | |
| | | | 一般事故 | 火災事故 | 一般事故 | 火災事故 |
| 救援 路線 |  順向救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

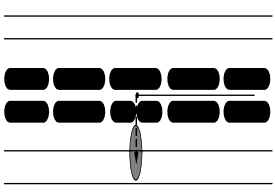
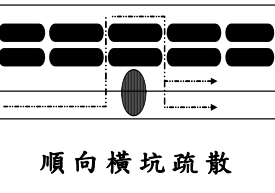
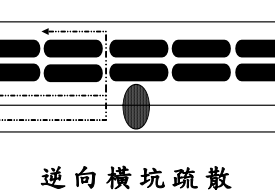
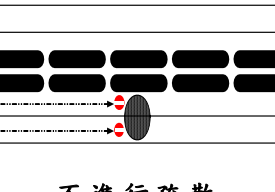
| | | | | | | |
|----------|---|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| |  逆向下游橫坑救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  逆向上游橫坑救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 疏散 路線 |  順向導坑救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  逆向導坑救援 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 疏散 路線 |  順向橫坑疏散 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  逆向橫坑疏散 | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

公路長隧道事故救援策略之多準則評估模型

| | | | | | |
|--|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|  <p>由另一車道疏散</p> | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

3. 雙車道事故

| 救援或疏散 | 路線示意圖 | 危險程度 | 事故位置與類型 | | | |
|-------|---|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | 隧道出（入）口區 | | 隧道內部區 | |
| | | | 一般事故 | 火災事故 | 一般事故 | 火災事故 |
| 救援路線 |  <p>順向救援</p> | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  <p>逆向上游橫坑救援</p> | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  <p>逆向下游橫坑救援</p> | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  <p>順向導坑救援</p> | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

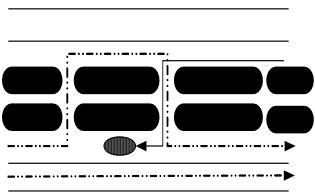
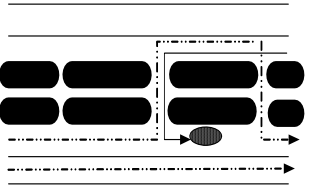
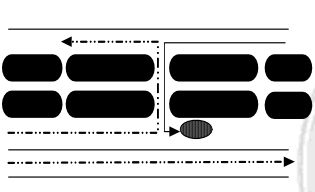
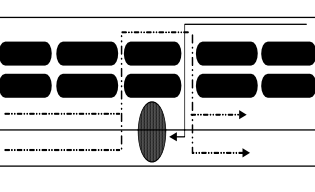
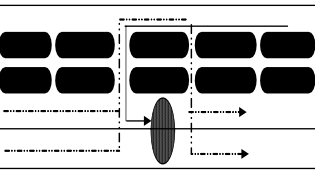
| | | | | | | |
|----------|---|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 疏散 路線 |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

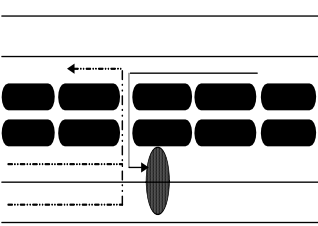
(三) 救援與疏散路線重疊危險度評估

救援方案係由一條救援路線與一條疏散路線組合而成。部份救援方案之救援路線與疏散路線會發生交織現象，而可能導致危險度變化。請您就下列具有交織現象之救援方案，加以評估其危險度

| 事故 影響 範圍 | 路線示意圖 | 危險程度 | 事故位置與類型 | | | |
|----------------|-------|------|----------|------|-------|------|
| | | | 隧道出（入）口區 | | 隧道內部區 | |
| | | | 一般事故 | 火災事故 | 一般事故 | 火災事故 |

公路長隧道事故救援策略之多準則評估模型

| | | | | | | |
|-----------------------|---|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 單 車 道 事 故 |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危 險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普 通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安 全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 逆向下游橫坑救援+順 向橫坑疏散 | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| 單 車 道 事 故 |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危 險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普 通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安 全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 逆向上游橫坑救援+順 向橫坑疏散 | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| 單 車 道 事 故 |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危 險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普 通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安 全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 逆向上游橫坑救援+逆 向橫坑疏散 | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| 雙 車 道 事 故 |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危 險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普 通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安 全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 逆向下游橫坑救援+順 向橫坑疏散 | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |
| 雙 車 道 事 故 |  | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 危 險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 普 通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | 安 全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 逆向上游橫坑救援+順 向橫坑疏散 | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | | | | | | |

| | | | | | |
|---|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|  <p>逆向上游橫坑救援+逆 向橫坑疏散</p> | 非常危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 危險 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 普通 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 非常安全 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



附錄二 所需交管人力訪談問卷

各位交通專家，您好！

因應我國高快速公路網長隧道完工通車之需要，本研究擬建立一套高速公路長隧道事故救援策略之多準則評估模型。其中，尤其必須對於不同救援與疏散路線下交通管制警力之需求與配置，有正確之掌握與認識。素仰您在隧道安全領域之卓越成就與交通管理之實務經驗，希望您能撥冗回覆本問卷，以提供本研究更為正確且完整之決策資訊。本問卷所得資料僅供學術研究之用，絕不單獨對外發表。非常感謝您的協助！敬祝您

新春愉快 萬事如意

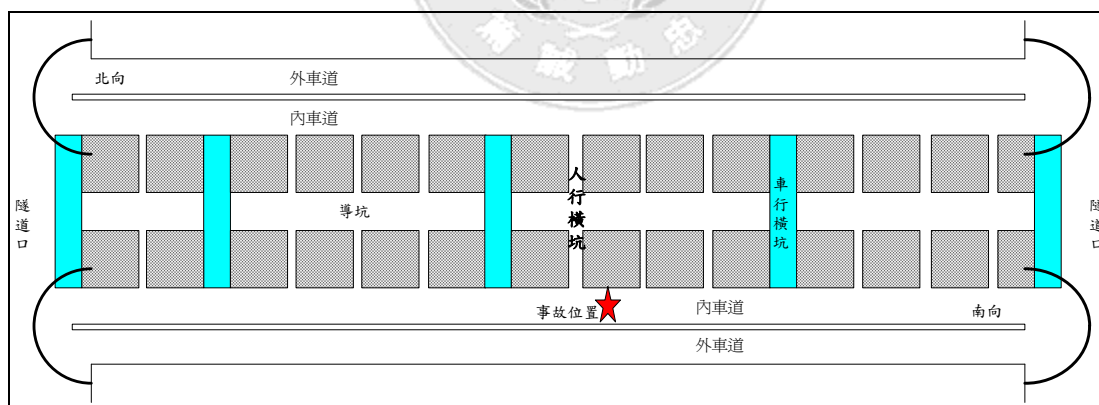
逢甲大學交通工程與管理學系助理教授：邱裕鈞

研究生：黃彥斐 敬上

連絡電話：(04) 2451-7250 # 4676

一、隧道配置與圖示說明

下圖為隧道基本配置與圖示：



隧道基本配置圖

說明

導坑：設於兩主隧道間，長度與主隧道相同並略與主隧道平行，用以事先了解地質情況並做為完工後主隧道之輔助坑道。

車行橫坑：屬於聯絡到之一種，用以聯絡導坑與東、西向隧道，並供緊急事故發時車流疏散及維修保養用。

人行橫坑：用以聯絡主隧道與導坑，供人員於緊急事故時避難與救難用。

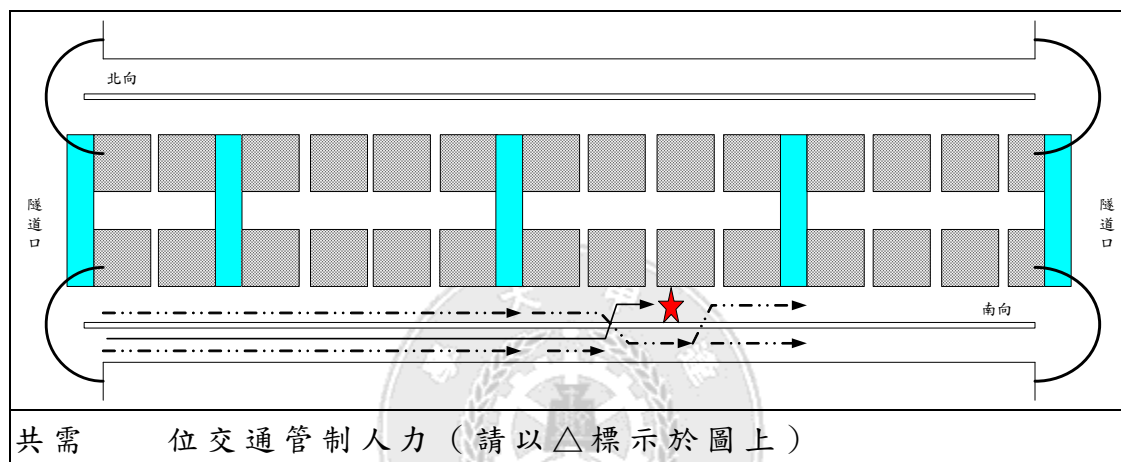


二、問卷填答

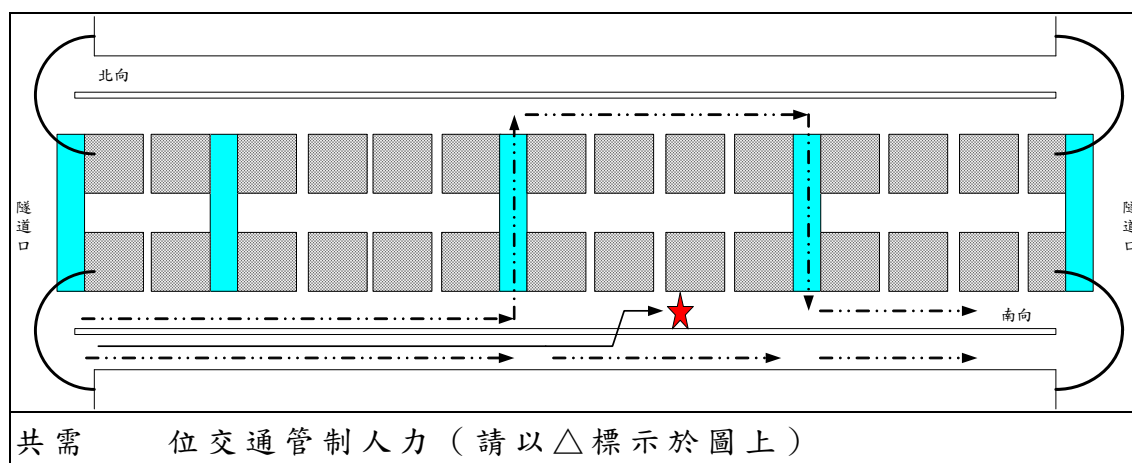
請您依下列各種救援與疏散路線交通管制所需之警察人數與配置標示填答於圖上：

(一) 單車道事故

1. 方案一：事故發生於東行向內側車道，救救援車輛擬以行駛未受阻車道方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)

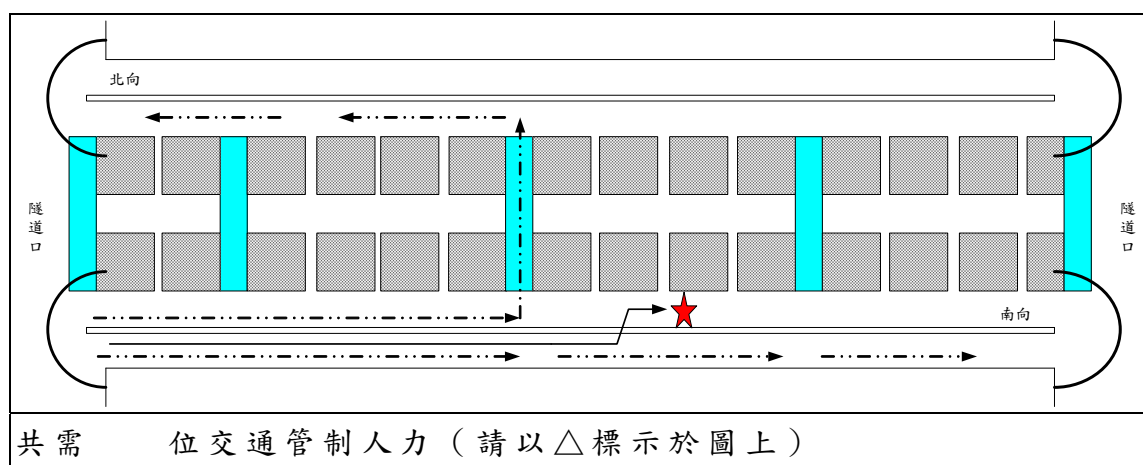


2. 方案二：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以行駛未受阻車道方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)

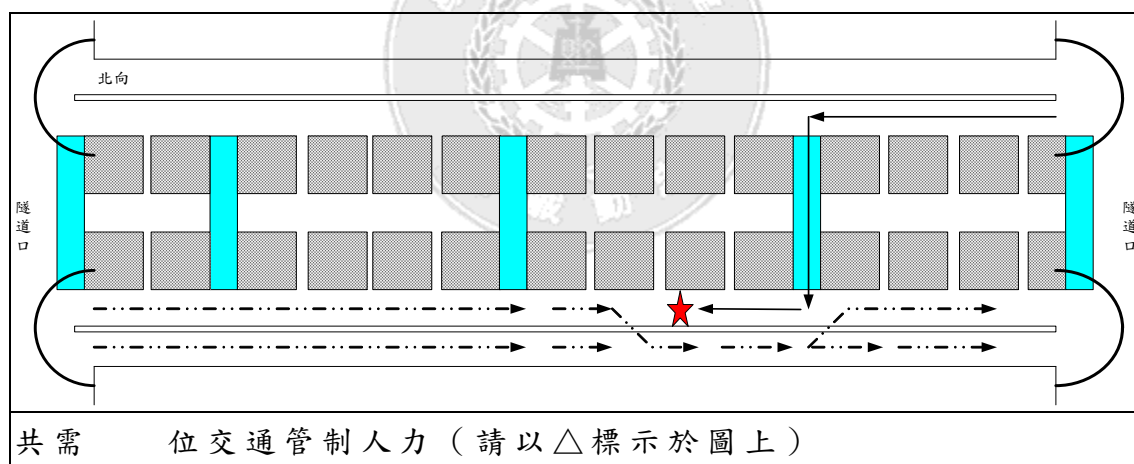


3. 方案三：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以行駛未受阻車道方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調

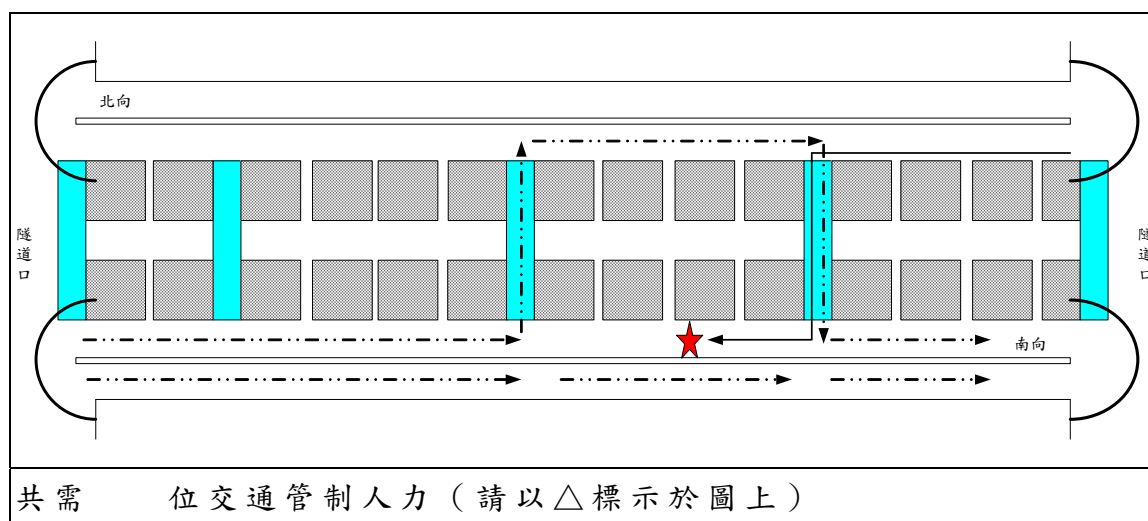
撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）如下圖：



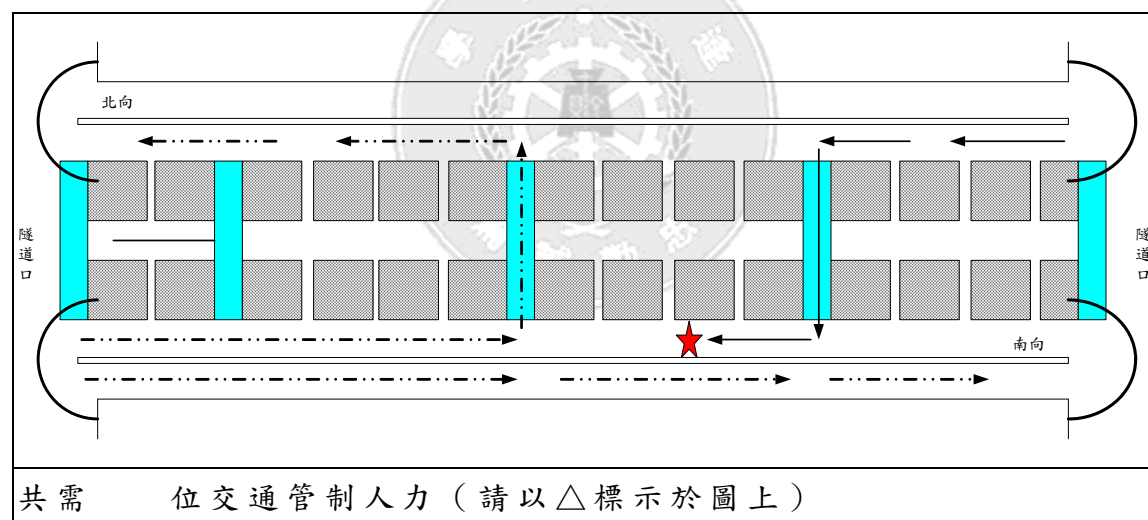
4.方案四：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



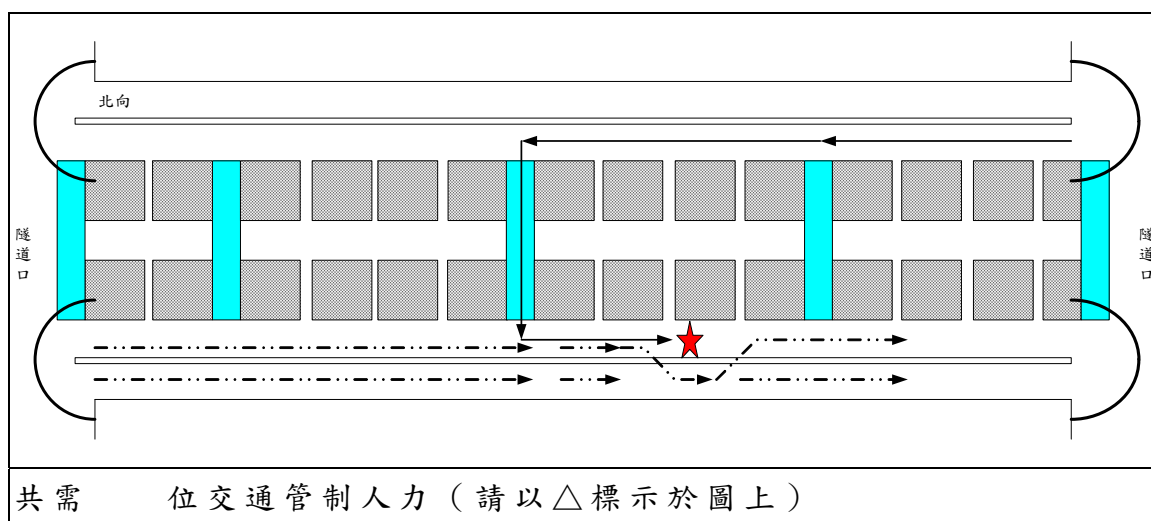
5.方案五：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



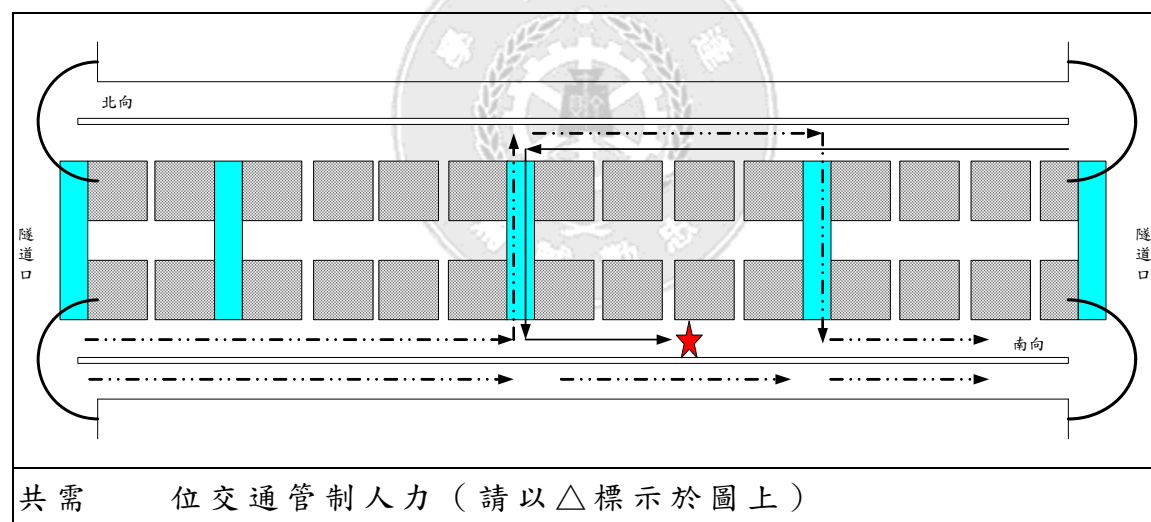
6.方案六：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



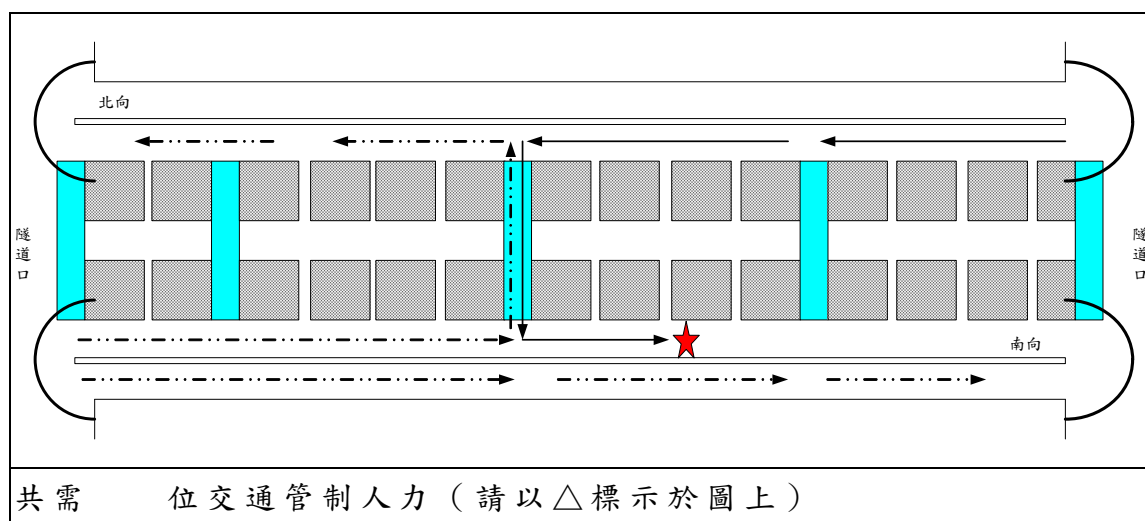
7.方案七：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



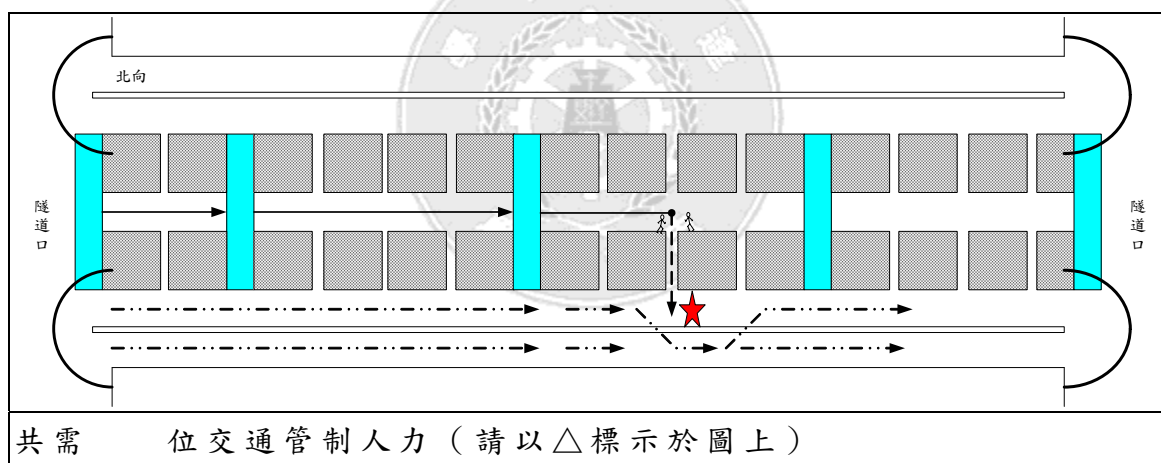
8.方案八：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



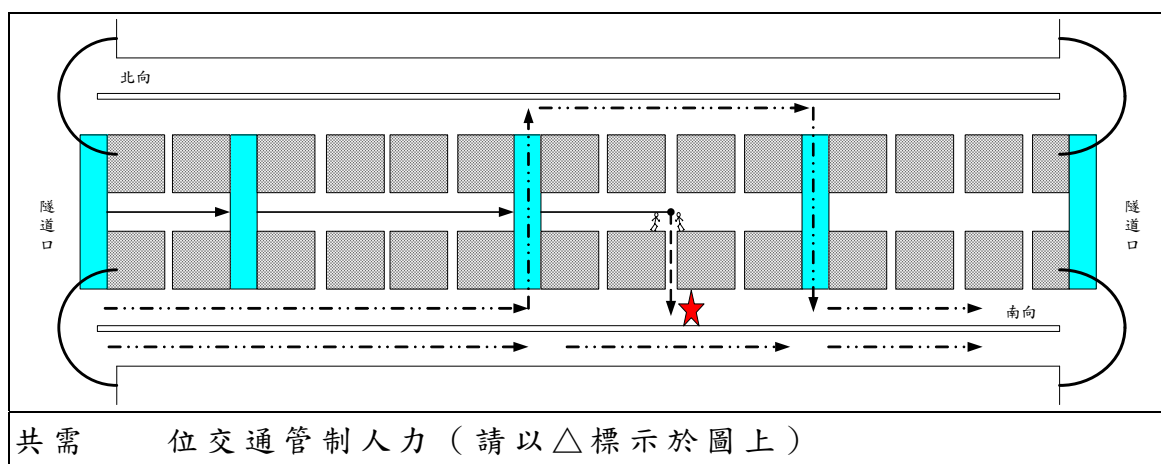
9.方案九：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



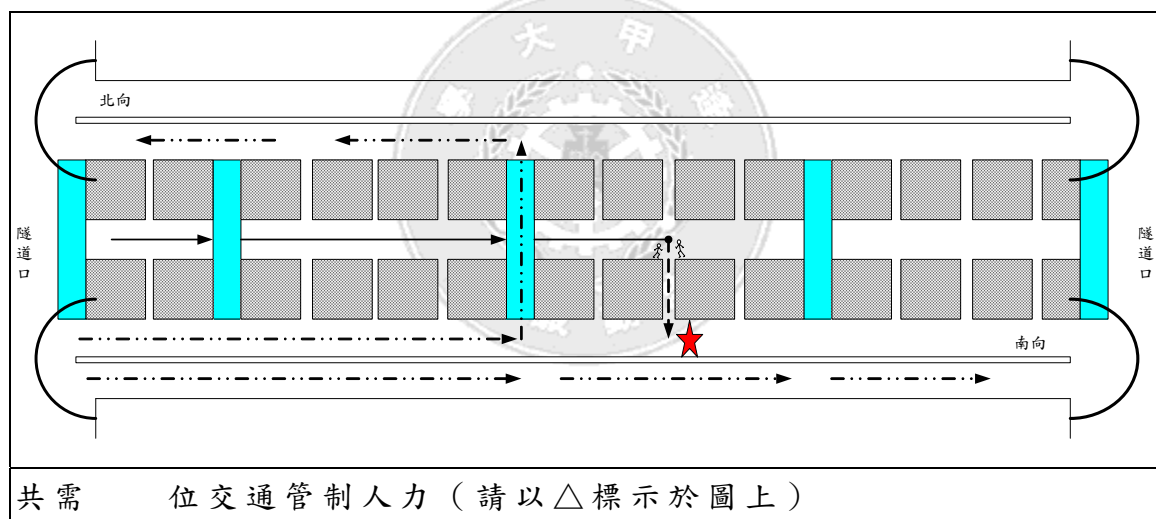
10.方案十：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



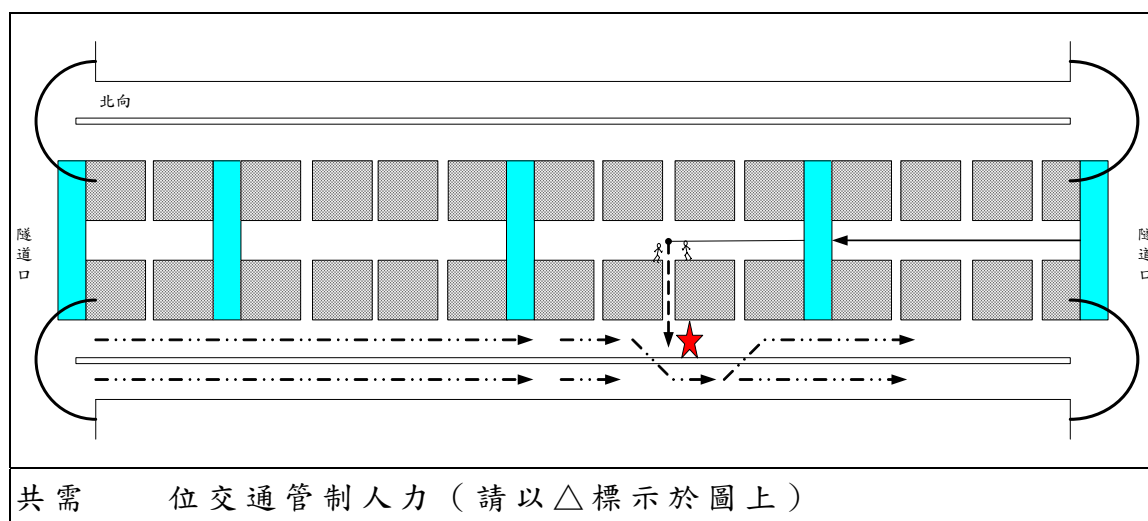
11.方案十一：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



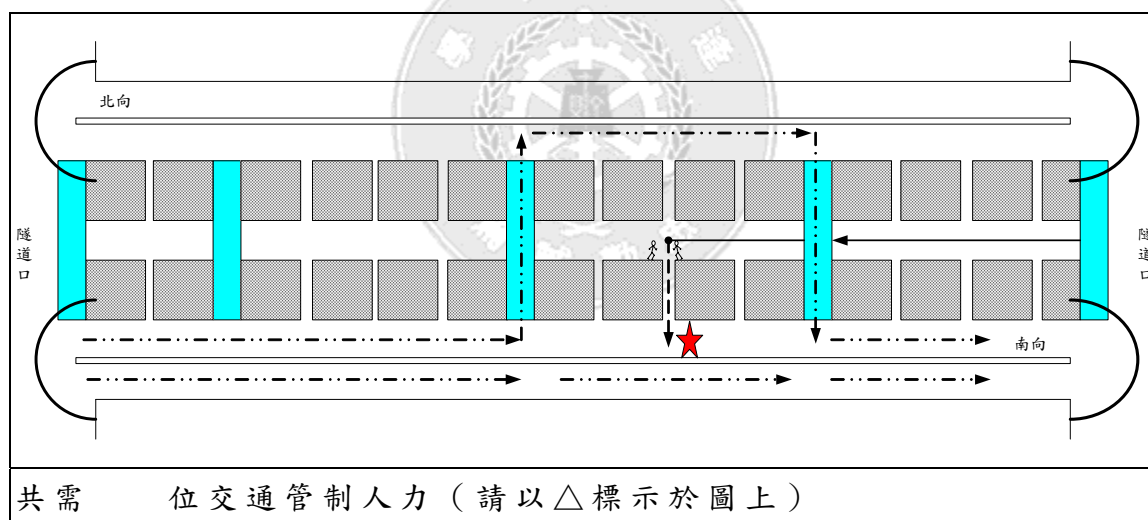
12.方案十二：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



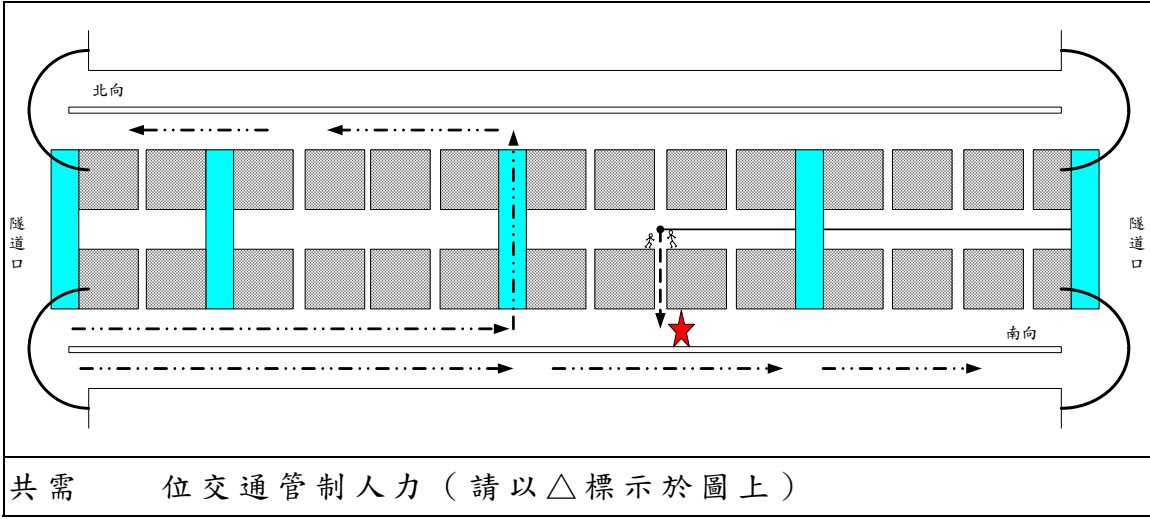
13.方案十三：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬於事故地點前匯入外側車道，待通過事故點後再匯回內側車道，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



14.方案十四：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)

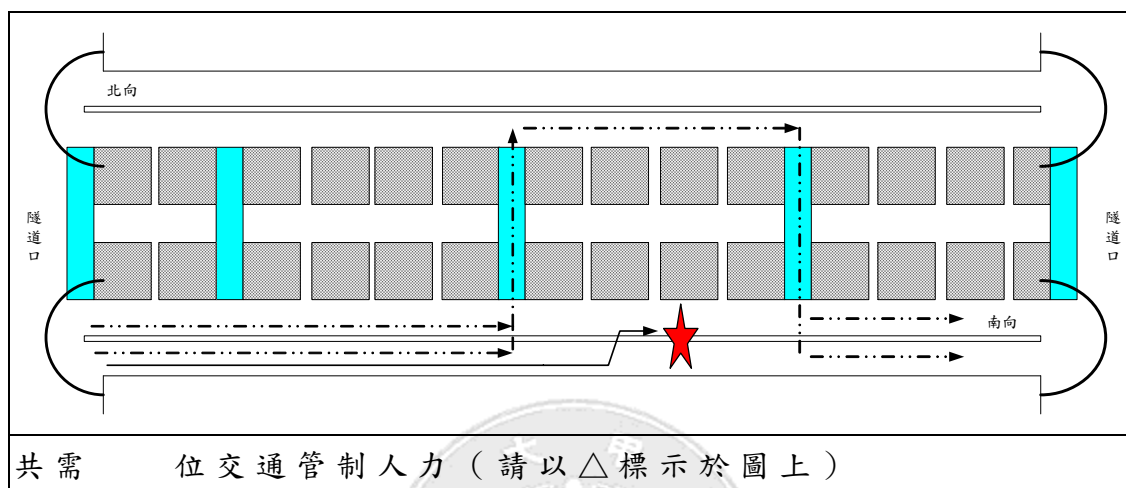


15.方案十五：事故發生於東行向內側車道，救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故車道上游車輛擬經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，未受阻之車道仍可繼續行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)

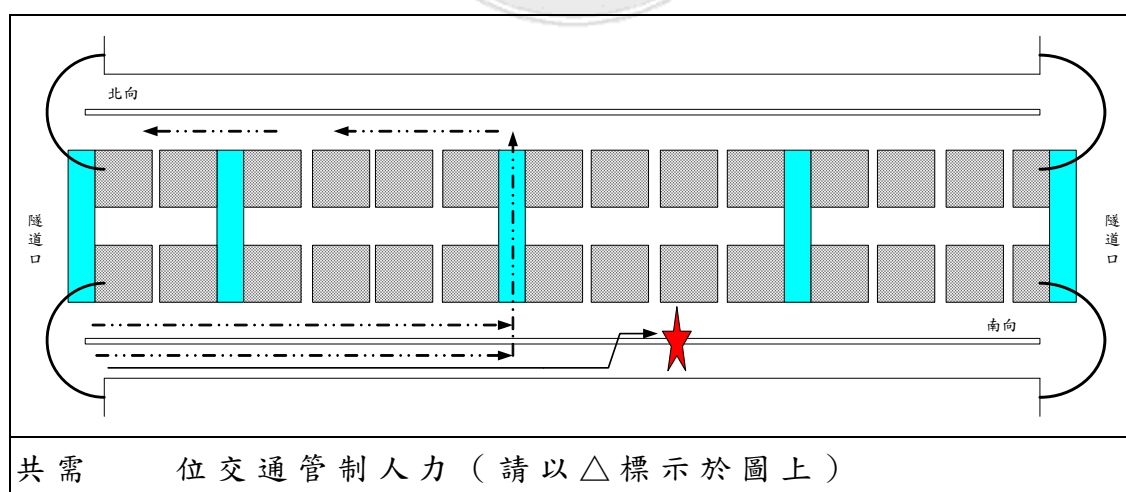


(二) 雙車道事故

1. 方案一：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救救援車輛擬以行駛受阻車道方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)

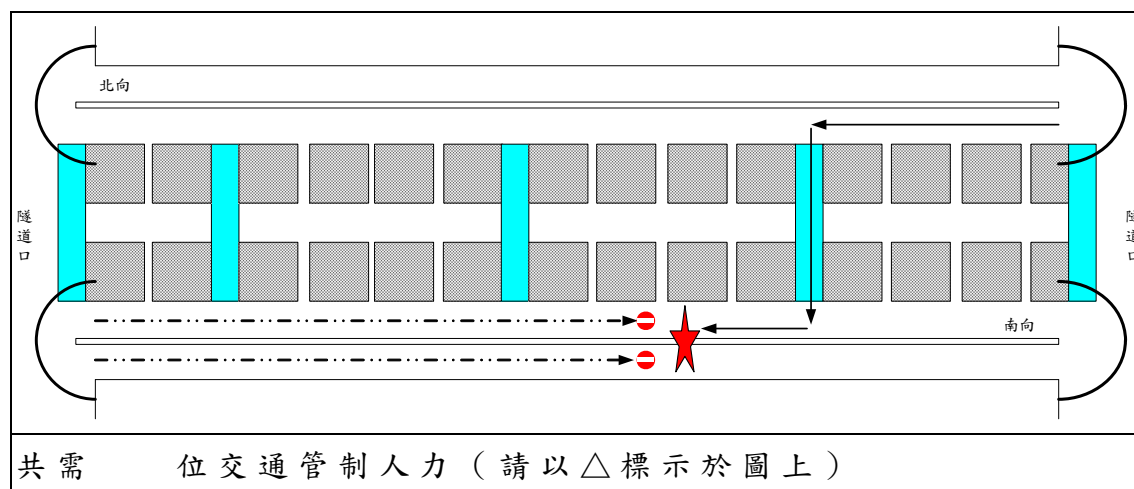


2. 方案二：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救救援車輛擬以行駛受阻車道方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)

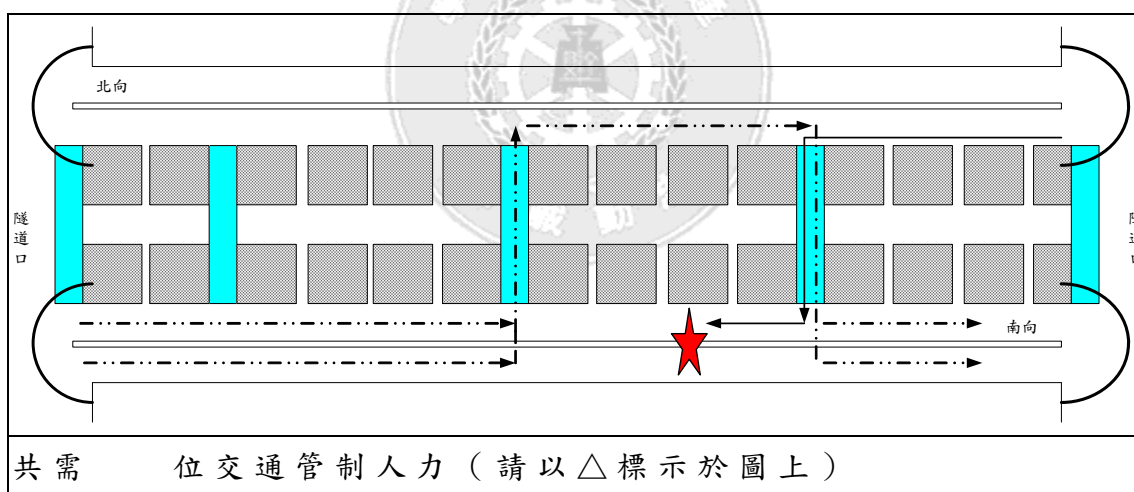


3. 方案三：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以行駛對向車道並順向經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均暫停行駛，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)

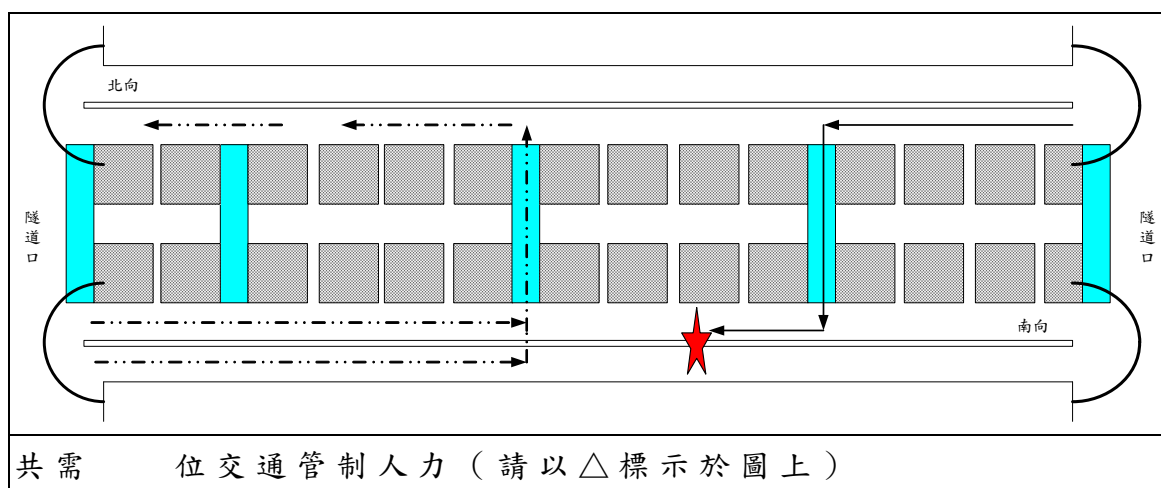
線為疏散路線)



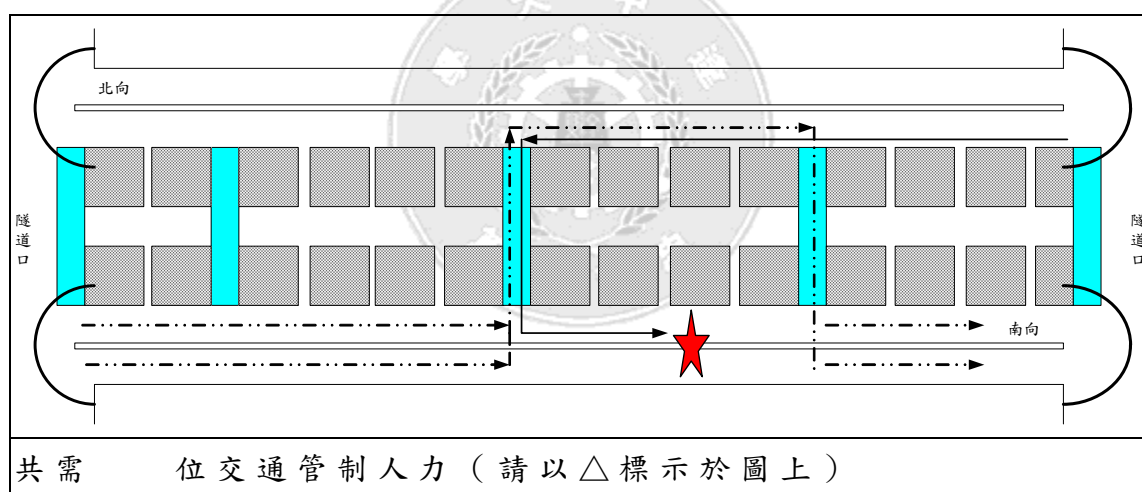
4.方案四：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



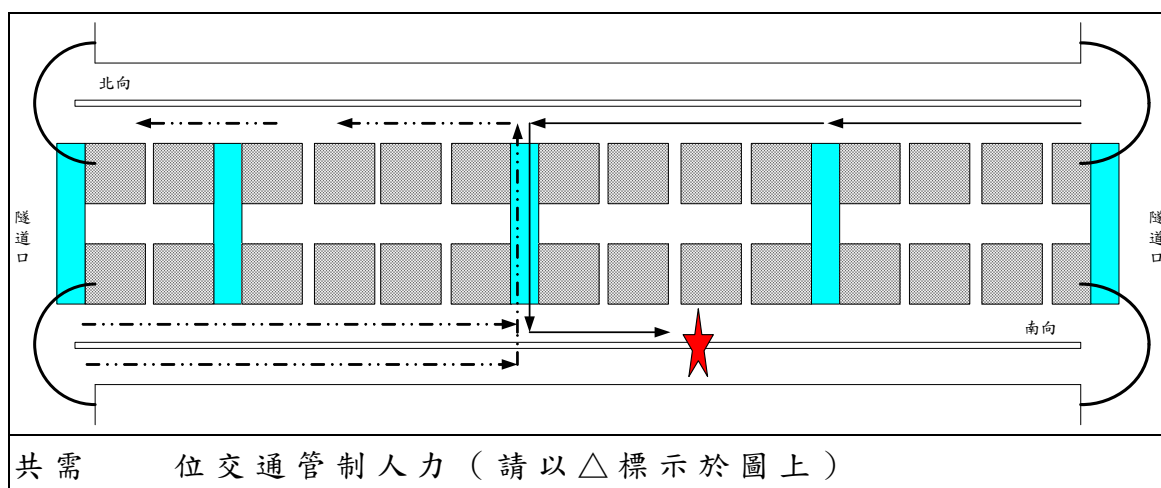
5.方案五：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑逆向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



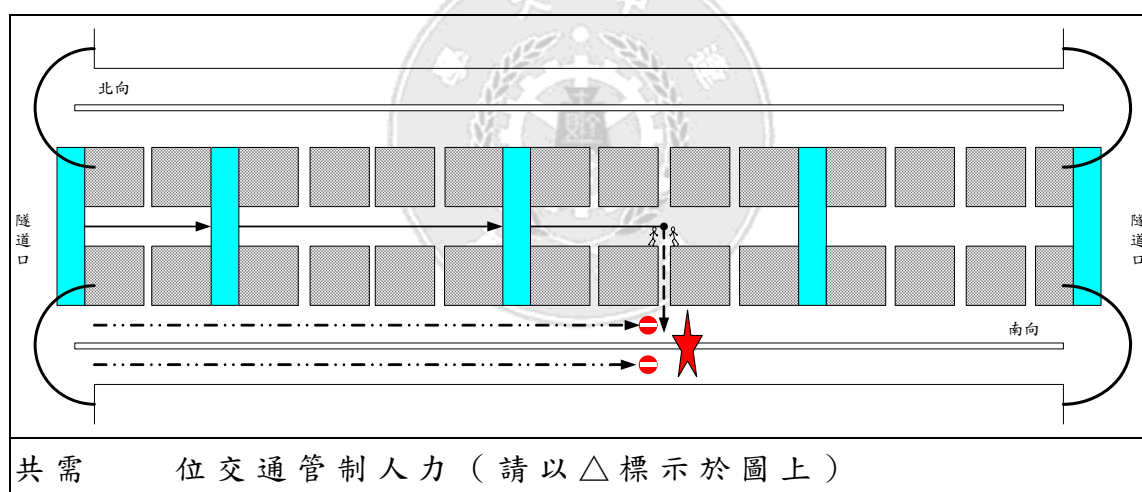
6.方案六：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



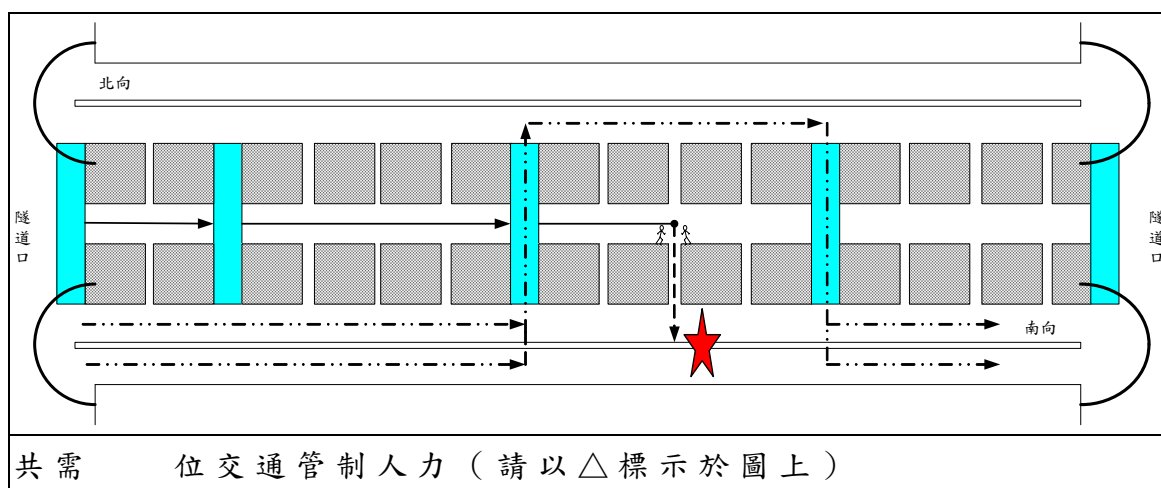
7.方案七：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以行駛對向車道並經由車行橫坑順向行駛方式到達事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



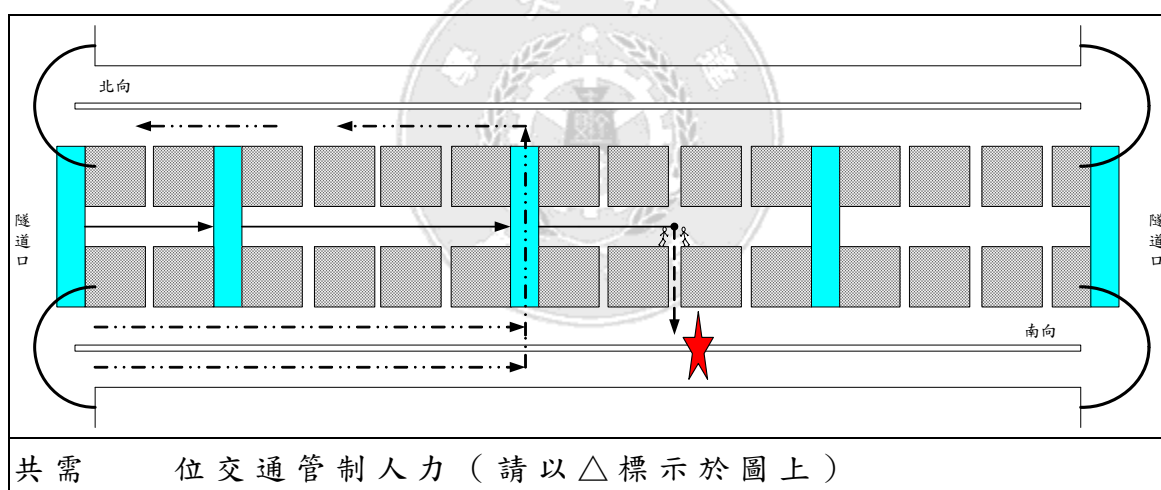
8.方案八：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均暫停行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



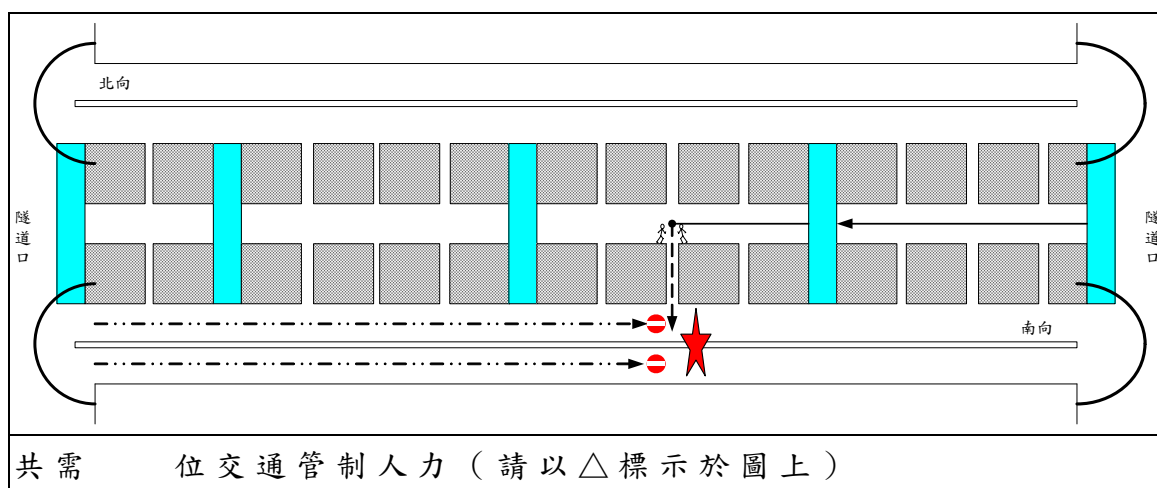
9.方案九：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



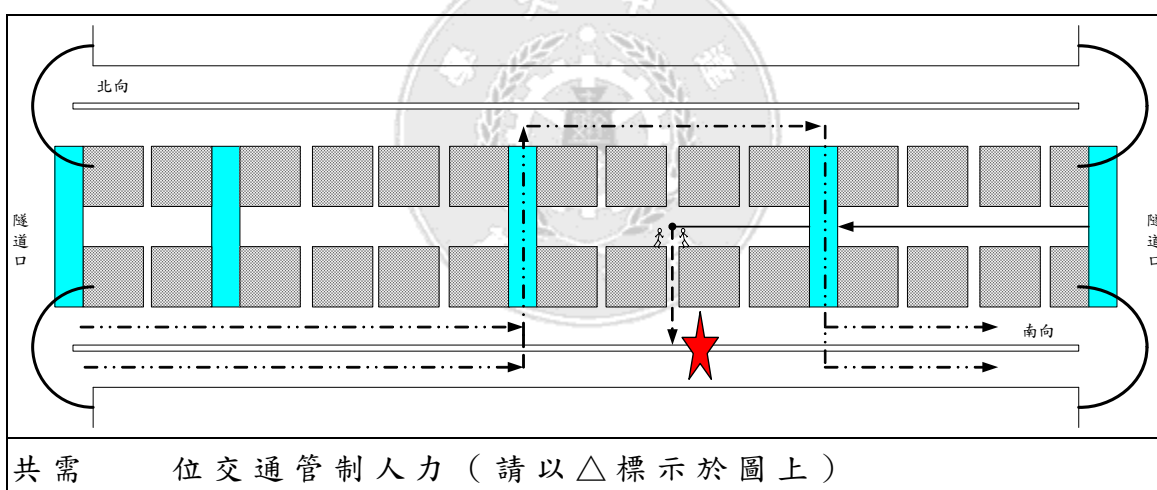
10.方案十：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以順向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



11.方案十一：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均暫停行駛，如下圖：（實線為救援路線，虛線為疏散路線）



12. 方案十二：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道順向疏散，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)



13. 方案十三：事故發生於東行向車道，並造成雙車道阻塞，救援車輛擬以逆向行駛導坑到達最接近事故地點之人行橫坑，並以徒步方式至事故地點；事故上游車輛均經由車行橫坑與對向調撥車道逆向疏散，如下圖：(實線為救援路線，虛線為疏散路線)

