

逢 甲 大 學  
交通工程與管理學系碩士班  
碩 士 論 文



不確定環境下多目標救災路徑  
與交通管制整合模式

**An Integrated Multi-objective Model for  
Determining the Optimal Rescuing Path  
and Optimal Traffic Control Sites  
under Uncertain Environments**

指導教授：邱裕鈞

研 究 生：賴宇軒

中 華 民 國 九 十 四 年 七 月

## 誌 謝

首先感謝老天安排的機緣，讓我有幸來到逢甲交管系，又順利地考上逢甲交管所，並遇到這麼好的老師們。您們的認真，對學生毫無保留地教導，真的沒話說。而我要特別感謝我的指導老師 邱裕鈞老師。邱老師做研究嚴謹的態度、講課授業的認真、處處為學生著想的心態，對於我思想上的開導及啟發有極多影響及助益。邱老師的諄諄教誨及鼓勵、支持，總是讓我覺得倍感窩心，而我很幸運可以當他的學生。同門的師兄弟曜彰、彥斐及雲慶，多謝你們陪我度過無數個沮喪的夜晚，因為有喜愛小酌的你們陪伴，可以一起討論論文並解決困難，這本論文才得以順利完成。

這兩年的生活，即便有起有落，但是論文完成的成就感、以及各種課程所帶給我的啟發與成長，都是我心中獨一無二的美好回憶——朋友間的相扶相持，一起慶生、辦活動、品嚐美食及好酒，還有難忘的谷關溫泉之旅...。你們是一群出色的朋友，我從每一個人身上都學到一些事情：猛男總是跟我同組做報告，是我們組員的靠山；阿展跟宜炫會找我打羽球，這是我在研究所生活中難得的運動機會；擅長電腦的tt與小龜，多虧有你們的幫忙，我的程式才得以順利完成；阿六與阿肥的千杯不醉，讓我望塵莫及。還有其他的同學，感謝你們在同組時對我的包容，因為跟優秀的你們在一起，我才有機會成為優秀的一份子。而我的女友小公主-佳琪，感謝妳在這段日子默默的陪伴，每當心情低落、體力透支和遭遇困難時，有妳細心呵護與照顧，才能有今日開朗、快樂與健康的我。

論文口試期間，承蒙 馮正民老師和 魏健宏老師在百忙之中細心審閱，並針對論文內容撰寫方面，給予許多珍貴的建議與指正，使學生論文更趨完備，也感謝兩位老師給予莫大的肯定與支持，在在都成為我繼續努力的動力。

最後，我要以最誠摯及感恩的心，將此論文獻給辛苦養育我的父母，感謝您們二十幾年來不辭辛勞的栽培與付出，也感謝您們尊重與支持我每一個重大的決定，更感謝您們細心、無微不至地照顧著我。也感謝姊姊們能夠承擔家務讓我無後顧之憂。在此，感謝您們的支持與鼓勵，並將此成就和榮耀，與我最親愛的家人一同分享。

宇軒 謹誌于

逢甲大學丘逢甲紀念館

中華民國九十四年七月

## 摘要

大規模災害發生時，如何使救援人員及救災物資於第一時間到達災區，以降低災情衝擊，實為一重要課題。然而為達此一目標，除仰賴正確有效之救災路徑規劃外，而為避免一般車輛干擾救援之進行，亦需配合實施必要之交通管制。但交通管制措施又不能過度嚴苛或管制範圍過度放大，以免嚴重影響一般居民（非災民）之正常生活，進而衝擊整體民生經濟運作。因此，如何因應救災環境即時提出最適當之救災路徑與交通管制之應變計畫實為一重要課題。此外，大規模災害剛發生時，由於電力、通訊及道路系統之破壞，災區道路損壞程度之判斷資訊具有相當之不確定性，但救災決策者又不能等資訊蒐集齊全後，再進行救援之決策。因此，如何在此一不確定環境下，進行有效率之救援決策，確需一套有效率之規劃模式以資因應。

基此，本文建立一個不確定環境下之多目標救災路徑與交通管制整合模式。包括三個子模式與三項目標。至於不確定性之處理方式則利用模糊理論加以模化，亦即將各路段能否通行之資訊，以模糊可靠度加以表之。並利用Tw（the weakest t-norm）模糊數相乘運算方法，綜整成為路徑之連接模糊可靠度。其中，第一個子模式是非災民災後交通量指派預測模式，因災害發生後，用路人會因應道路損壞程度資訊與發佈之交通管制路徑，而改變原先的路徑選擇行為。而這些正常旅次之改變，也對道路形成負荷，進而影響衝擊救災與交管路段之選擇，因此有必要在規劃救災路徑予以一併考量。其求解方法係以逐次增量指派法結合路段的模糊可靠度加以指派。第二個子模式是交通管制模式，其以路段為管制單元，而在規劃路網上選擇部份路段實施交通管制，管制非救援車輛之使用。其求解方法係利用遺傳演算法（genetic algorithms），以0,1編碼方式選擇管制路段。第三個子模式則是救援車輛最短路徑模式，其在給定之路徑連接模糊可靠度要求水準下，求解最短之救災路徑。其求解方法係利用K條最短路徑演算法加以求解，至於救災路徑模糊連接可靠度之運算上，採用模糊數得分排序法判斷各最短路徑之連接可靠度是否大於所要求之水準。至於三項目標則分別為救災路徑旅行時間最小化、交通管制警力最少化，以及非災民干擾程度最小化。此三個子模式相互影響，必須加以整合，同時求解。

模式測試方面，本研究透過50節點與85條節線之假設路網，並以三種情境（不實施交管、實施部分交管、實施全線交管）進行求解，求解結果顯示在不實施交通管制措施時，其最短路徑成本為110.5分鐘；實施全線交管，其最短路徑成本為49.1分鐘，但所需交管警力為26位，非災民干擾程度為432車小時；實施交通管制措施，其最短路徑成本為49.5分鐘，但所需交管警力為18位，非災民干擾程度為419車小時。三種情境中，以本研究模式所求解之實施部分交管情境所得到之目標函數值為最佳。在實例應用與驗證方面，將以921地震中受損較為嚴重之南投災區為研究範圍，同樣以三種情境進行求解，而結果顯示，本研究模式仍較其他情境有較佳之目

不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式

標函數值。

**關鍵字：**災害救援、模糊可靠度、遺傳演算法、最短路徑演算法



## Abstract

As a disaster happens, it is important to make the rescue teams and relief supplies to arrive the affected area as soon as possible. To achieve this goal, it does not only depend on a well-planned rescue path, but also on some effective traffic control measures. However, the traffic control measures should not be too unnecessarily rigorous or be enforced in some unnecessary routes; otherwise it will seriously affect the ordinary life of non-victim people, further impact the local economics. Besides, in the very beginning of disaster, due to the damages to the electronic, communication, and road systems, the access reliability of planned rescue routes are uncertain. Therefore, on the urgent needs of the integrated planning of rescue routes and the coordinated traffic control measures for disaster management in Taiwan, it is truly important to propose a decision model that can instantaneously provide optimal rescue routes and traffic control sites in coping with the fast changing rescue environment.

Basing on this, this study proposes a integrated multi-objective model for determining the optimal rescue path and traffic control links under uncertain environments, which is composed of three sub-problems to simultaneously achieve three goals. For coping with the uncertain information of damaged road network, this study employ fuzzy reliability to measure the connective degree of rescue path by multiplying the fuzzy reliabilities of each link in the path with the weakest t-norm method. The first sub-problem is the post-disaster traffic assignment problem, which has to re-assign the O-D traffic to the damaged and controlled network according to route selection behaviors. These traffics will form the burden of road network, which will further affect the selection of optimal rescue path and traffic control links. The solution to this sub-problem can be obtained by fuzzy incremental assignment method. The second sub-problem is the selection of traffic control links which determines the optimal controlled links for the exclusive usage of rescue teams. This sub-problem is solved by genetic algorithms by binary encoding the selection of link. The third sub-problem is the shortest path model, which is to determine the shortest rescue path under the required level of fuzzy connective reliability. The K shortest paths algorithm is employed to solve this problem. Three goals are going to be achieved simultaneously: to minimize the arrival time of rescue team, to minimize the police manpower required for traffic control, and to minimize the interference to the none-victims. These three sub-models are interacted, so they have to be integrated and solved simultaneously.

For validating the effectiveness and applicability of the proposed models, the case studies on an exemplified example with 50 nodes and 85 links and a field case of 921 earthquakes in Taiwan are conducted, respectively. There are three situations to validate the proposed models. The results of exemplified example show that if there are no traffic control measures in disaster area, the cost of rescue path is 110.5 minutes. If there are traffic control measures in disaster area, the cost of rescue path is 49.5 minutes and 18 police manpower are required and the interference to the none-victims are 419 vehicle-hours. The

proposed models perform better in the three situations. The results of field case show that the proposed models still have the best performance in the three situations.

**Key words:** disaster rescuing、fuzzy reliability、genetic algorithm、shortest path algorithm



## 目錄

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| 誌謝.....                         | VI   |
| 中文摘要.....                       | II   |
| 英文摘要.....                       | IV   |
| 目錄.....                         | VI   |
| 圖目錄.....                        | VIII |
| 表目錄.....                        | X    |
| <br>                            |      |
| 第一章 緒論.....                     | 1    |
| 1.1 研究背景與動機.....                | 1    |
| 1.2 研究目的.....                   | 3    |
| 1.3 研究流程與內容.....                | 3    |
| 1.4 研究架構.....                   | 6    |
| 第二章 文獻回顧.....                   | 7    |
| 2.1 災害救援相關文獻彙析.....             | 7    |
| 2.2 可靠度工程理論相關文獻彙析.....          | 10   |
| 2.3 遺傳演算法相關文獻彙析.....            | 14   |
| 2.4 最短路徑相關文獻彙析.....             | 16   |
| 第三章 問題定義與模式構建.....              | 21   |
| 3.1 不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式..... | 21   |
| 3.1.1 問題說明.....                 | 21   |
| 3.1.2 問題架構.....                 | 22   |
| 3.2 交通管制規劃問題.....               | 23   |
| 3.2.1 交通管制規劃問題說明.....           | 23   |
| 3.2.2 交通管制規劃問題模式.....           | 24   |
| 3.2.3 交通管制規劃求解方法.....           | 25   |
| 3.3 非災民災後交通量指派預測問題.....         | 30   |
| 3.3.1 非災民災後交通量指派預測問題說明.....     | 30   |
| 3.3.2 非災民災後交通量指派預測問題模式.....     | 30   |
| 3.3.3 非災民災後交通量指派預測問題求解方法.....   | 33   |
| 3.4 救援車輛最短路徑問題.....             | 38   |
| 3.4.1 救援車輛最短路徑問題說明.....         | 38   |
| 3.4.2 救援車輛最短路徑問題模式.....         | 39   |
| 3.4.3 救援車輛最短路徑問題求解方法.....       | 42   |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第四章 模式測試與分析 ..... | 48 |
| 4.1 簡例說明 .....    | 48 |
| 4.2 求解結果 .....    | 52 |
| 4.3 模式比較分析 .....  | 59 |
| 第五章 實例應用與分析 ..... | 61 |
| 5.1 案例說明 .....    | 61 |
| 5.2 應用結果 .....    | 63 |
| 5.3 比較分析 .....    | 71 |
| 第六章 結論與建議 .....   | 73 |
| 6.1 結論 .....      | 73 |
| 6.2 建議 .....      | 73 |
| 參考文獻 .....        | 75 |



## 圖目錄

|   |    |
|---|----|
| 圖 1.1 研究內容示意圖.....                          | 2  |
| 圖 1.2 研究流程圖.....                            | 5  |
| 圖 1.3 模式架構圖.....                            | 6  |
| 圖 3.1 不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式求解架構.....       | 22 |
| 圖 3.2 交通管制規劃問題之求解流程圖.....                   | 24 |
| 圖 3.3 蒙地卡羅轉盤之選擇方式.....                      | 27 |
| 圖 3.4 單點、雙點及均勻交配方法.....                     | 28 |
| 圖 3.5 基因及移轉突變.....                          | 28 |
| 圖 3.6 遺傳演算法之求解流程圖.....                      | 30 |
| 圖 3.7 非災民災後交通量指派預測問題之求解流程圖.....             | 32 |
| 圖 3.8 交通量指派方法之歸納圖.....                      | 34 |
| 圖 3.9 逐次增量指派法之操作流程圖.....                    | 36 |
| 圖 3.10 Floyd-Warshall Algorithm 之操作流程圖..... | 38 |
| 圖 3.11 路段模糊連接可靠度之隸屬函數圖.....                 | 40 |
| 圖 3.12 救援車輛最短路徑問題之求解流程圖.....                | 41 |
| 圖 3.13 Yen's Algorithm 演算法流程圖.....          | 44 |
| 圖 3.14 Dijkstra's Algorithm 流程圖.....        | 46 |
| 圖 3.15 左評分值與右評分值之關係圖.....                   | 47 |
| 圖 4.1 簡例之路網結構.....                          | 49 |
| 圖 4.2 救援車輛最短路徑模式尋優過程圖.....                  | 53 |
| 圖 4.3 交通管制模式尋優過程圖.....                      | 53 |
| 圖 4.4(a) 非災民災後交通量指派預測模式尋優過程圖.....           | 53 |
| 圖 4.4(b) 非災民災後交通量指派預測模式尋優過程圖.....           | 54 |
| 圖 4.5 實施交管路段與規劃救援路線示意圖.....                 | 56 |
| 圖 4.6 地震救災時程圖.....                          | 57 |
| 圖 4.7 救災前後期之救災路徑示意圖.....                    | 58 |
| 圖 5.1 實例分析範圍圖.....                          | 62 |
| 圖 5.2 實例分析路網圖.....                          | 64 |
| 圖 5.3 最短路徑模式尋優過程圖.....                      | 66 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 圖 5.4 交通管制模式尋優過程圖.....          | 66 |
| 圖 5.5(a) 災後交通量指派預測模式尋優過程圖 ..... | 66 |
| 圖 5.5(b) 災後交通量指派預測模式尋優過程圖 ..... | 67 |
| 圖 5.6 交管路段圖.....                | 68 |
| 圖 5.7 救災路徑圖.....                | 69 |
| 圖 5.8 救災前後期之救災路徑示意圖.....        | 70 |



## 表目錄

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 表 2.1 災害救援相關研究彙整表.....          | 9  |
| 表 2.2 可靠度工程理論相關研究彙整表.....       | 13 |
| 表 2.3 遺傳演算法相關研究彙整表.....         | 16 |
| 表 2.4 最短路徑相關研究彙整表.....          | 18 |
| 表 3.1 遺傳演算法應用於本研究之專有名詞對照表 ..... | 24 |
| 表 3.2 遺傳演算法中目標函數值調整方式.....      | 27 |
| 表 4.1 路網資料.....                 | 50 |
| 表 4.2 不同參數組合之求解結果比較表.....       | 52 |
| 表 4.3 整合模式求解結果.....             | 54 |
| 表 4.4 實施交管與否比較表.....            | 55 |
| 表 4.5 三種策略之簡例測試績效.....          | 60 |
| 表 5.1 案例分析範圍之主要連外幹道.....        | 62 |
| 表 5.2 南投市主要道路阻斷風險值.....         | 63 |
| 表 5.3 草屯鎮主要道路阻斷風險值.....         | 63 |
| 表 5.4 不同交配率與突變率參數組合之求解結果 .....  | 65 |
| 表 5.5 整合模式求解結果.....             | 67 |
| 表 5.6 實施交管與否比較表.....            | 67 |
| 表 5.7 三種策略之實例測試績效.....          | 72 |

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

重大災害的發生，不僅會耗損民眾的生命與財產，還會嚴重損毀國家的基礎建設，且其影響的層面更是全面性及長期性的。由於台灣位處於環太平洋地震帶上，所發生之有感地震為世界最多區域之一。地震的發生係屬於能量的釋放，其主因多半為大陸板塊相互碰撞所引起，以芮氏地震規模估計，六級震度以上的地震，所造成的破壞力，足以摧毀都市內之建築物、運輸設施及維生管線。所影響之處，除了人員的傷亡及財產的損失外，災民心中的陰影更是揮之不去。相較於其他災害，地震往往具有瞬間破壞性、廣域性、無法準確預測之突發性及災害複合性等四項特性。其中，災害複合性是指因地震所造成的災害，除了一次災害外（地震發生當時之自然力如山崩、海嘯等所造成的破壞），尚可能因煤氣、可燃性液體等危險品爆炸或是導因於社會秩序混亂、謠傳等所造成的「二次災害」、「三次災害」。而災後在緊急動員救援及搶修時，若救災決策者之指揮或調度不良，不但會嚴重影響救難及重建之效率，還會使災害的時間延長，造成更多時間與金錢的損失與浪費。故災後如何迅速應變、復原及避免二次災害之處理方法，則在近年來逐漸受到重視。

根據公路局勘災報告顯示，921大地震中公路受損部分，共計有四十四條路線受損，其中有三十一條路線交通阻斷，而橋樑則有六座受到重度損壞，中度或輕微損壞者達八十座之多，部份災區對外道路交通還曾經一度中斷。由於災區路網多處損壞及受阻，進而造成救災上的困難，使得死傷人數不斷地增加。

因此道路系統之功能是否能發揮效用，將會直接影響到救災的時效與成效，相對地也能減少災害傷亡的可能性。就整個災害發生的時序與救災作業而言，救災路線系統是首先發揮功能的救災空間系統，因此規劃救援路線於整個救災體系中，將扮演最具關鍵性的角色，也將左右救災的成效。有鑑於921地震發生之後，交通主管機關無法立即於災區選定一條兼具安全、可靠與效率的路線，以提供救援車輛行走，導致救援車輛在進入災區選擇路線時，全憑公路局所發布之替代路線或一般人熟知的主要聯絡幹道，其結果造成上述道路產生交通集中現象，影響到救災之效率。

大規模災害發生後，要如何使救援物資及車輛在第一時間到達災區，以降低災情衝擊，實為一重要課題。為達此一目標並避免一般車輛干擾救援之進行，除仰賴正確有效之救災路徑規劃外，亦需配合交通管制之實施。但交通管制措施又不能過度嚴苛或管制範圍過度放大，以避免影響到一般居民（非災民）之正常生活，進而衝擊整體民生經濟之運作。因此，如何因應救災環境，提出最適當之規劃救災路徑，與交通管制之應變計畫，實為一重要課題。此外，由於大規模災害剛發生時，造成電力、通訊及道路系統之破壞，使得災區道路損壞程度之判斷資訊具有相當程度之不

確定性。但是救災決策者又不能等到資訊蒐集齊全後，才進行救援之決策。因此，如何在此一不確定環境下，進行有效率之救援決策，確需一套有效率之規劃模式以茲因應。

有鑑於此，本文建立一個「不確定環境下之多目標救災路徑與交通管制整合模式」，包括三個子問題與三項目標。在不確定性之處理方式，則利用模糊理論加以模化。亦即將各路段能否通行之資訊，以路段模糊連接可靠度加以表之，並利用 $T_w$  (the weakest t-norm) 模糊數相乘運算方法，綜整成為路徑之模糊連接可靠度。

本研究之第一個子問題為非災民災後交通量指派預測問題。肇因於災害發生後，用路人會因應道路損壞程度資訊，與發佈之交通管制路段，而改變其原先的路徑選擇行為。由於這些正常旅次的改變，將會對道路系統形成負荷，進而影響救災成效與交管路段之選擇。因此有必要在規劃救災路徑時，予以一併考量。其求解方法係結合路段的模糊連接可靠度與逐次增量指派法加以指派。第二個子問題是交通管制規劃問題，以路段為管制單元，在規劃路網上選擇部份路段實施交通管制，管制非救援車輛之使用。其求解方法係利用遺傳演算法 (genetic algorithms)，以0,1編碼方式選擇需要管制之路段。第三個子問題則是救援車輛最短路徑問題。在給定路徑模糊連接可靠度要求水準下，利用K條最短路徑演算法，求解最短之救災路徑。至於救災路徑模糊連接可靠度之運算，係採用模糊數得分排序法，判斷各最短路徑之模糊連接可靠度是否大於所要求之水準。至於三項目標則分別為救災路徑旅行時間最小化、交通管制警力最少化，以及非災民干擾程度最小化。此三個子問題相互影響，必須加以整合，同時求解。

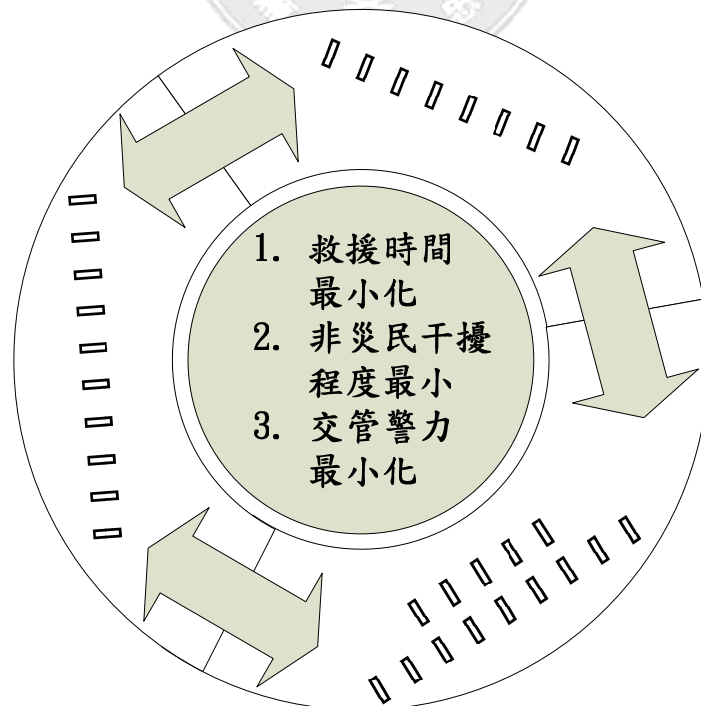


圖 1.1 研究內容示意圖

## 1.2 研究目的

過去防救災計劃相關研究文獻中，甚少針對防救災計劃中之救援路線部分加以進行探討，即便有也只考慮距離或時間上之最短路徑，而沒有考量道路因破壞而無法連通之不確定性因素，造成實際救災之困難。因此，本研究嘗試導入模糊理論及可靠度工程之觀念，結合遺傳演算法、最短路徑演算法以及 K 條最短路徑演算法進行救援路線之求解，期望能夠在大規模災害發時，提供救災決策者一條在非災民干擾程度最小下，所必須實施交通管制之路段及連通可靠度最高之規劃救災最短路線。

有鑑於上述所提之研究理念，本研究目的為：

1. 彙析模糊理論與可靠度工程分析求解方法與其應用領域之相關文獻，研擬路徑模糊連接可靠度衡量指標。
2. 利用遺傳演算法構建交通管制模式，求解當災害發生後，路網中需要管制之路段。
3. 應用逐次增量指派法與最短路徑演算法，構建非災民災後交通量指派預測模式，探討用路人因為災害後所造成道路破壞的不確定性因素，進而改變其原先選擇路徑的行為。
4. 結合 K 條最短路徑演算法及模糊數得分排序法，構建救援車輛最短路徑模式，以提供一條符合決策者所要求路徑模糊連接可靠度在某一水準上之規劃救災最短路線。
5. 建立一個在不確定環境下之多目標救災路徑與交通管制整合模式，模式目標分別為救災路徑旅行時間最小化、交通管制警力最少化，以及非災民干擾程度最小化。

## 1.3 研究流程與內容

本研究之研究流程如圖 1.2 所示，其研究內容分別敘述如下：

### 1. 界定研究目的與範圍

本研究嘗試導入模糊可靠度理論觀念，並結合遺傳演算法與最短路徑演算法，求解當大規模災害發生時，緊急救援所需之規劃救援最短路線。

### 2. 回顧相關文獻

本研究擬蒐集有關災害救援研究、可靠度工程理論、遺傳演算法與最短路徑演算法等四方面之國內外相關文獻。在第一項文獻回顧部份，主要是用來瞭解過去在災害救援研究中之研究內容與求解方法；在第二項文獻回顧部份，主要是用來瞭解模糊可靠度理論之方法與應用；在第三項文獻回顧部份，主要是用來瞭解遺傳演算法之發展過程與應用；在第四項文獻回顧部份，主要是用來瞭解最短路徑演算法及 K 條最短路徑演算法之求

不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式

解流程。

### 3. 建立求解演算法

以 FORTRAN 程式語言，自行構建三個子模式，分別為「交通管制模式」、「災害交通量預測模式」及「最短路徑模式」。由於這三個子模式相互影響，必須加以整合，同時求解。故將三個子模式綜整成本研究之『不確定環境下之多目標救災路徑與交通管制整合模式』。

### 4. 模式驗證

本研究藉由簡例與實例之應用分析，進而評估本研究模式求解之有效性。

### 5. 結論與建議

根據前述的分析結果提出本研究的結論，並對於往後相關研究與發展提出建議，以期獲得更完備之救災架構。



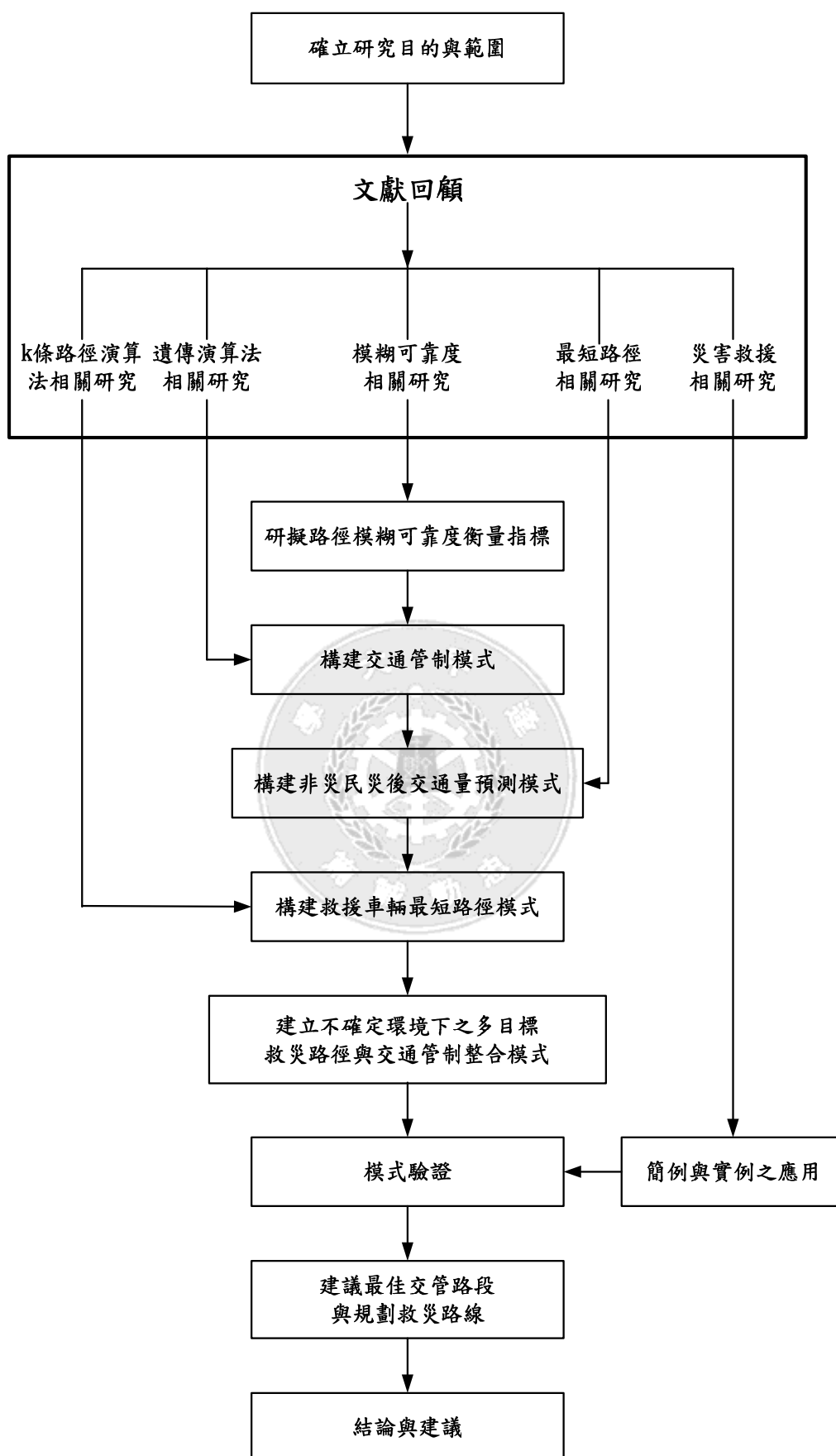


圖 1.2 研究流程圖

## 1.4 研究架構

本研究係以「不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式」為研究中心，期望達到救災路徑旅行時間最小化、交通管制警力最少化，以及非災民干擾程度最小化等三大目標。本研究之研究架構如圖 1.3 所示：

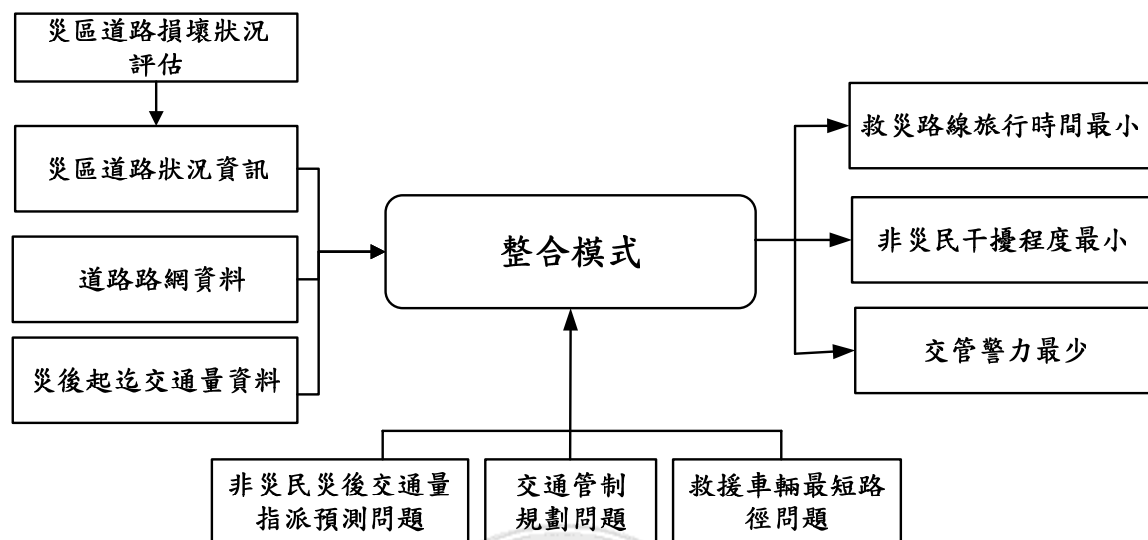


圖 1.3 模式架構圖

## 第二章 文獻回顧

故本研究將相關文獻區分為以下四類進行說明：2.1 災害救援相關文獻彙析；2.2 可靠度工程理論相關文獻彙析；2.3 遺傳演算法相關文獻彙析；2.4 最短路徑演算法相關文獻彙析。

### 2.1 災害救援相關文獻彙析

Fiedrich *et al.* (2000) 開發一套適合強震後搜救時期(search-and-rescue, SAR)的最佳化資源配置決策支援系統。由於目前常見之災難管理決策系統較屬被動性資訊管理系統，缺乏主動性決策輔助資訊，對於實際救災之功能發揮有限。因此，其系統主要以資源配置最佳化為主要決策目的，具有不同策略模擬與數學規劃基礎之資源配置排程核心模式等兩項主要特色。整體救援策略目標設定為SAR時期死傷人數最小化，該文中死傷存活與二次災害機率則根據歷史統計與專家資料進行模擬。模式中區分出傷患受困區、二次災害高風險區及需立即搶修之道路設施區等三類災後救援作業區域；資源配置排程時間則考慮機具設備旅行時間以及工作區作業時間；旅行時間計算係以最短路徑演算法(shortest path algorithm)進行動態計算，因此整體排程模式定義為一動態組合最佳化模式。在驗證方面，作者選擇模擬退火法(Simulated Annealing, SA)、禁忌搜尋法(Tabu Search, TS)與爬坡法(hill-climbing)進行測試與分析比較，結果顯示以模擬退火法的表現最佳。

呂獎慧(1999)在探討救災路線選擇模式中，構建都市震災救災路線選擇模式，於震災來臨時，能立即提供救災車輛所能行駛之路線。依其分析，適用於震災後安全行駛之路線，必須具備兩種特性：安全性與效率性。在安全性考量方面，由地震災害經驗分析中找出道路阻斷因子，結合地震危害度分析與結構耐震度設計，加入風險評估觀念，構建路段阻斷風險評估模式，以評估道路風險值；在效率考量方面，以交通量分析來取得效率評估所需參數，進一步掌握對道路系統路網之衝擊，作為效率評估之基礎。結合安全與效率兩項指標，來決定最適救災路線。在路線選擇模式構建上，為顧及救災人員及車輛免受二次災害，因而考量到「安全」，但由於救災行動為分秒必爭，故亦需顧及「效率」。然而安全與效率兩因子屬性不同，難以有效區分，故作者以效用理論作為判斷優先次序之依據，以效用值最大之路線作為最適救災路線。

陳亮全等人(2004)該研究主要目的，在收集與整理系統性的路網評估方法，建立具實務操作性的評估模式。由於道路系統在地震災害後之避難與救災過程中，扮演最基本的功能，道路系統的功能發揮正常與否，直接影響避難與救災的功效，相對也就減低災害傷亡的可能性。整體路網系統的效能在救援的評估上，亦是重點。可分三類討論(Du, 1997; Iida, 1999; Pirie, 1979; Chen, 1999)：

(1) 連接性可靠度(connectivity reliability)：其可靠度分析，係指路網節點

仍可連通的機率分析。

- (2) 旅行時間可靠度 (travel time reliability): 其可靠度分析, 係指在特定的起訖點中, 在特定時間內, 可順利連通的機率分析。
- (3) 容量可靠度 (capacity reliability): 其可靠度分析, 係指在一特定服務水準, 估計交通路網的最大容量。

由於連接性功能在救援路網上是最基本的, 該研究利用連續性變動指標來分析整體路網連接性可靠度。

徐淵靜、侯鵬曦 (2003) 該文獻主要目的在於構建出適合於災害發生時可供救災活動使用之有效率的道路路網。防災路網的特性在於有多個救災單位、多個潛在災害地, 因此本文獻提出一套適合於規劃防災路網之方法, 並探討由多個出發點所展開而交錯之最短路徑問題, 稱之「多根最短路徑樹問題」(multiple rooted shortest path tree problem)。防災路網是注重時效性的路網, 因此, 每一個供給點將會以最快速之時間來服務任一潛在需求點。由於災害的特性, 會使供給點有供不應求之可能性, 因此防災路網應讓供給點與供給點之間的相互支援性提高。其所提出之「多根最短路徑樹」, 其隱含有多個起點及最短路徑, 並具有下列兩項特性:

- (1) 權責界限: 在防災路網中, 每個需求點都有特定之供給點服務, 因此權責界限便可規範清楚。
- (2) 交互供給: 在防災路網中, 任一供給點皆可服務任一需求點。在權責界限內之供給點, 保證比其他供給點能更快到達需求點; 權責界限外, 可透過支援路線相互供給。

曾國雄、鄭欣蓉 (2003) 該文獻主要目的在於探討如何有效且公平地配送救災物資, 以避免造成浪費或堆置無用等現象。文中提到「防災」、「救災」及「重建」是防救災體系的三大系統, 救災的部份是指災難發生後所採取的措施, 而緊急物資的配送是救災系統中重要的一個子項目。因此, 針對此主題加以研究, 以統籌運用各地救援物資的觀點, 設計一個整合的配送系統, 以避免各區自行運送救援物資反而造成資源分配不當, 或因運送車輛過多造成災區交通癱瘓, 而延緩救援物資送達之時間。由於救災物資配送所需考量的目標兼具效率和公平性, 因此採用多目標構建模式, 並利用模糊多目標線性規劃進行求解, 以期在最短的時間內將物資作公平地分配, 並快速地送達災區以使之能充分有效地利用。

吳水威、連振盛 (2001) 指出在災害防救體系中, 交通系統在對應災害發生之時序, 是屬於第一個開始運作的系統, 而交通系統的防救成效, 會因交通管制緊急應變計畫的完備與否有直接的影響。故該研究建立交通管制措施實施之「時間區隔設計」與「空間區隔設計」, 再以人、車、路三要素做分類, 探討各要素所需的交通系統配合防救災工作之各階段主要任務, 及其對應之緊急應變管制方案與事前規劃項目, 以確保在災害發生時, 避難行動與緊急運送之交通順暢, 提高救災應變體系之功能性與時效性。

茲將上述有關救災相關研究彙整如表 2.1 所示。由表 2.1 可知，目前已有不少學者針對災後疏散路徑、搶修工程排程與賑災物資配送等問題進行研究。在災後緊急搶修作業排程之相關文獻，以往學術界多利用車輛繞經問題（Vehicle Routing Problem）以定式此搶修作業排程問題，然傳統上此等模式中需包含甚多的次迴圈限制(sub-tour constraints)，會造成求解最佳解之困難。在賑災物資配送相關文獻，則著重於物資轉運中心區位選擇及物資配送公平性問題。故以往未曾有研究針對救災最短路線與道路可靠度做一整合性的規劃。故本研究將以可靠度工程理論、模糊理論，結合最短路徑演算法題與遺傳演算法理論，希望能在不確定的環境下，以最快速的方式搶救災民。

表 2.1 災害救援相關研究彙整表

| 作者<br>年期                    | 目標式   | 考慮因素   | 求解方法  |
|-----------------------------|---|--|---|
| Fiedrich<br>et al<br>(2000) | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Min 緊急救援時期總死傷人數</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 傷患受困區、二次災害高風險區及需立即搶修之道路設施區</li> <li>● 搜救人員隊伍</li> <li>● 最短路徑演算法</li> <li>● 標準機具與搶修工法</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Simulation</li> <li>● SA</li> <li>● TS</li> </ul>    |
| 吳水威<br>連振盛<br>(2001)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 順暢緊急運輸道路</li> <li>● 提高整體救災應變系統之功能與時效</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 危機管理理論</li> <li>● 時間區隔設計</li> <li>● 空間區隔設計</li> <li>● 人、車、路三要素</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 系統分析法</li> <li>● 文獻收集評析法</li> <li>● 情境模擬法</li> </ul> |
| 曾國雄<br>鄭欣蓉<br>(2003)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Min 總成本</li> <li>● Min 總時間</li> <li>● Max 滿意度</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 統籌各地救援物資</li> <li>● 避免自行運送救援物資造成資源分配不當</li> <li>● 避免運送車輛過多造成災區交通癱瘓</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 模糊多目標線性規劃</li> </ul>                                 |
| 徐淵靜<br>侯鵬曦<br>(2003)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 多個供給點到達多個需求點</li> <li>● Min 總旅行時間</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 權責界線</li> <li>● 交互供給</li> <li>● 聯外路段原則</li> <li>● 需供轉換原則</li> <li>● 涵蓋總距離原則</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 多根最短路徑樹</li> </ul>                                   |
| 呂獎慧<br>(1999)               | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Max 路線效用值</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 道路安全性</li> <li>● 道路效率性</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 風險評估</li> <li>● 交通量分析</li> <li>● 效用理論</li> </ul>     |

表 2.1 (續) 災害救援相關研究彙整表

| 作者<br>年期        | 目標式                       | 考慮因素   | 求解方法                             |
|-----------------|---------------------------|--|----------------------------------|
| 陳亮全等<br>人(2004) | ● Max 震災緊急<br>路網系統有效<br>性 | ● 街道調和比<br>● 街道建築物比<br>● 路段人口負荷比<br>● 道路損壞機率模式 | ● 連續性變動指<br>標<br>● 最短路徑成本<br>變動比 |

## 2.2 可靠度工程理論相關文獻彙析

Hong and Do(1996)將 L-R 型模糊數應用  $T_w$ (the weakest t-norm) 方法為基礎作模糊數加法與乘法運算。 $T_w$  方法與  $T_M$ (sup-min) 方法在作模糊數加法運算時，仍會保持 L-R 型的模糊數，但實際應用上，常常要用到模糊數乘法的運算， $T_M$  方法在模糊數乘法運算後無法保持 L-R 型的模糊數，故作者提出  $T_w$  方法，其在乘法運算後依然能夠保持 L-R 型的模糊數，並應用此方法分析系統的可靠度。作者並發現以  $T_w$  與  $T_M$  在做模糊數乘法運算時， $T_w$  方法所算出之模糊數，具有模糊度較低、能夠得到較精確的解及運算複雜度較低等優點。該研究中提出，串聯系統(serial system)的可靠度以下式計算之：

$$\begin{aligned} \tilde{R}_1 \otimes \tilde{R}_2 \otimes \dots \otimes \tilde{R}_n &= (a_1, \alpha_1, \beta_1)_{LR} \otimes (a_2, \alpha_2, \beta_2)_{LR} \otimes \dots \otimes (a_n, \alpha_n, \beta_n)_{LR} \\ &= \left( \prod_{i=1}^n a_i, \max \left\{ \alpha_i \prod_{j=1, j \neq i}^n a_j \mid i=1, 2, \dots, n \right\}, \max \left\{ \beta_i \prod_{j=1, j \neq i}^n a_j \mid i=1, 2, \dots, n \right\} \right)_{LR} \end{aligned}$$

並聯系統(parallel system)的可靠度則以下式計算之：

$$\begin{aligned} 1 \ominus \prod_{i=1}^n (1 \ominus \tilde{R}_i) &= 1 \ominus \prod_{i=1}^n [1 \ominus (a_i, \alpha_i, \beta_i)_{LR}] = 1 \ominus \prod_{i=1}^n [(1 - a_i), \beta_i, \alpha_i]_{LR} \\ &= \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - a_i), \max \left\{ \alpha_i \prod_{j=1, j \neq i}^n (1 - a_j) \mid i=1, 2, \dots, n \right\}, \max \left\{ \beta_i \prod_{j=1, j \neq i}^n (1 - a_j) \mid i=1, 2, \dots, n \right\} \right)_{LR} \end{aligned}$$

其中， $\tilde{R}_i$  代表第  $i$  個元件之模糊可靠度， $(a_i, \alpha_i, \beta_i)_{LR}$  為其三角模糊數， $a_i$  為中心點， $a_i - \alpha_i$  及  $a_i + \beta_i$  分別為左右兩底角(anchor)。

Being *et al.* (1999) 以渦輪增壓器之葉片為例，探討結構應力與材料強度之可靠度關係。在其他文獻中提到，材料強度( $\delta$ )之統計分配通常為標準常態分配：結構應力( $\tilde{S}$ )通常與其他因素相關，如結構物大小、材料特性及額外的負擔等因素，故難以數學式表示，而這些相關因素具有模糊及隨機等特性。故作者以模糊迴歸方法算出結構應力模糊迴歸式之參

數值，且假設模糊數為三角模糊數，再利用 FEM (Finite Element Analysis) 得到材料強度值。當材料強度小於結構應力時，發生不可靠之情形 (Unreliability)。故利用 Zadeh 學者所提出的模糊機率，可得不可靠之機率為  $\tilde{F} = \int \mu_{\tilde{F}}(x) \times f_{\delta}(x) dx$ ，因此模糊可靠度  $\tilde{R} = 1 - \tilde{F}$ 。作者同時探討在不同  $\alpha$  值下，對於模糊可靠度之影響。依結果得知，當  $\alpha$  值變大時，其展度會變小，故模糊可靠度會增加。作者並建議  $\alpha$  值應大於 0.5，如此模糊可靠度才會比較合理。

Abdelaziz (1998) 介紹一套演算法來估計系統的可靠度。演算法中以  $R_s = \sum_{i=0}^n a_i \binom{n}{i} p^i q^{n-i}$  來表示系統的可靠度，其中， $n$  為組成數； $p$ 、 $q$  為要素成功或失敗的機率； $a_i$  為第  $i$  個係數，其值在 0 到 1 之間。根據上式， $a_i$  的值將會對系統可靠度有很大的影響，故其提出模糊推論方法 (fuzzy reasoning approach) 來估計  $a_i$  的值。但由於  $a_i$  會受到系統結構 (tie set 及 cut set) 的影響，故以此兩模糊數之隸屬函數來估計  $a_i$  的值。最後以簡例驗證，假設有九條路徑聯絡六個公車站，本文獻提出之演算法所估計系統可靠度的值與其他演算法所估計出之值，兩者誤差為 0.176%；在運算時間的比較上，其所提出演算法的運算時間較短。

Huang (1996) 指出在現實的生活中，提高可靠度是非常複雜的，因為各目標彼此之間會互相起衝突，如欲減少成本的支出，同時又想提高系統的可靠度。傳統的最佳化方法，通常是「假設所有的資料是明確的」、「限制式明確限定合理解集合」且「目標式有明確的定義並容易架構其方程式」。但在現實中，往往存在許多不明確的資訊，故本篇文獻提出模糊多目標最佳化方法來解決此特性的問題。

Chen *et al.* (2002) 將容量可靠度導入研究中，做為路網績效之評估指標，同時結合了可靠度分析、不確定性分析、網路均衡模式、敏感度分析和蒙地卡羅理論等方法，發展了一套「整體性可靠度評估程序」，以評估路網績效。

王清正、王韞清 (2000) 指出由於防災運輸路網需要計算其可靠性，因此其利用布林代數符號運算法，來評估節點與節點之間之網路可靠度的演算公式。經由符號運算所得的可靠度演算公式，可以迅速地評估出各節點間斷路危機之概似機率。在實際操作與決策參考時，只需要將節點的可靠度機率值帶入演算公式中，即可求得節點與節點之間的可靠度機率值。

馮正民等人 (2003) 利用系統可靠度觀念，來分析捷運乘客對於行車延誤之可忍受程度。由於長期以來，運輸的研究多以運輸系統的角度為出發點，欠缺以乘客角度分析。本文以乘客角度來作分析，將有助於改善捷運行車控制及管理之基礎。除了分析捷運乘客對於行車延誤之可忍受程度，同時探討以補償方式之效果。結果發現，有補償措施可提高乘客之忍受度，但提升程度有限。且在尖峰時乘客轉移運具之機率比非尖峰和假日

高，乘客產生較高轉移運具之比率，通常發生於最初延誤與延誤較久之時段。

許添本、江文聲（2001）表示在選擇路徑時，道路使用者不僅關心旅行時間的長短，同時也在乎是否能夠及時到達目的地之機率，而及時的機率即涉及可靠度問題。因此，該研究利用可靠度工程評估方法，以可靠度指標為進行路徑選擇時之依據，故可提供用路者兩條路徑，一為時間最短路徑，另一為預設旅行時間下及時到達機率最高之路徑。在求解方面，自行構建雙目標演算法，此演算法可同時求解最短路徑及最可靠路徑，並解決 K 條路徑演算法求解時間過長之問題。

張桂琥（2000）針對新研發的產品、或是新購買的武器裝備，提出在訊息不完全的狀況下，藉由專家、學者的知識、經驗，科學、合理地給出事件故障隸屬函數的可能性範圍，並運用模糊集合之  $\alpha$ -cut 及模糊集合之區間算術運算，進而求得系統之故障區間、可靠度區間，並應用 Tanaka *et al.* 在模糊故障樹中，所提出每一個底事件對於頂事件之影響程度之定義，進而找出影響系統可靠度最重要的因素。

王保丹（2000）根據具有三角模糊數的 Zadeh 擴展原理，將探討模糊狀態結構函數和它的可能性可靠度，並提出具有三角模糊數的共生系統和它們的串並聯模糊可靠度系統。另外，該研究也建立串並聯模糊系統的可能性可靠度函數及其特性。

魏偉傑（1997）利用擴張可靠度評估架構對串聯系統的演算法，發展出模糊可靠度系統，以過濾出受控制系統具有顯著意義的操作行為、避免反覆微調控制所造成的巨額成本。在對總體生產規劃的模擬實驗中，模糊可靠度系統不但發揮了減少勞動力變動的作用、提供管理者彈性的決策空間，也增加了模糊控制在類似問題上的應用彈性。

郭儒洋（2000）發展一模糊網圖可靠度評估模式，結合模糊集合與可靠度理論，以解決資料獲得的不易，再運用網圖評核術(GERT)處理複雜的可靠度迴路問題，以求得整個系統或某枝路的模糊可靠度。該研究所建構模式之運算步驟如下：（1）運用模糊理論中的 DSW 方法，計算出各元件的模糊可靠度，（2）採用三角模糊數的直接運算與  $\alpha$ -cut 區間運算兩種方法，推導不同的可靠度迴路簡化模式(如串聯迴路、並聯迴路等)，（3）將元件個別的模糊可靠度代入逐步運算法中並運用迴路簡化模式，求得整個系統或某枝路之模糊可靠度。最後將以數值範例與案例解釋模糊網圖可靠度模式之建立與分析。

茲將上述有關可靠度工程理論相關研究彙整如表 2.2 所示。由表 2.2 可知，雖然可靠度工程理論之觀念應用於各種不同的問題上，但是其概念卻是一致的。有鑑於此，本研究將依循此基本觀念，考量如何將可靠度工程理論有意義地應用在救災最短路徑模式上。

表 2.2 可靠度工程理論相關研究彙整表

| 作者<br>年期                      | 目標                      | 求解方法  | 評析   |
|-------------------------------|-------------------------|---|--|
| Hong and Do<br>(1996)         | ● 分析系統的可靠度              | 將 $T_w$ 方法應用在 L-R 型模糊數的加法及乘法運算上，所得出之解仍為 L-R 型模糊數，易於評估分析系統的可靠度   | 此方法算出之模糊數，其模糊度較低、較精準的解及運算複雜度較低等優點。                                   |
| Being <i>et al.</i><br>(1999) | ● 評估機械結構的可靠度            | 以模糊回歸方法算出結構應力之隸屬函數 $\mu_s(x)$ 。再利用 FEM 方法得到材料強度函數 $f_\delta(x)$ 。當材料強度小於結構應力時，發生不可靠之情形。利用 Zadeh 提出的模糊機率，不可靠機率為 $\tilde{F} = \int \mu_s(x) \times f_\delta(x) dx$ ，因此模糊可靠度 $\tilde{R} = 1 - \tilde{F}$ | 作者同時探討在不同 $\alpha$ 值下，對於模糊可靠度之影響，並建議 $\alpha$ 值應大於 0.5，如此模糊可靠度才會比較合理 |
| Huang<br>(1996)               | ● Min 成本支出<br>● Max 可靠度 | 以模糊多目標最佳化方法來解決不明確資訊的問題  | 此方法有效解決「含糊不清」及「主觀主義」等型態之問題   |
| Chen <i>et al.</i><br>(2002)  | ● 將容量可靠度導入，做為路網績效評估指標   | 結合了可靠度分析、不確定性分析、網路均衡模式、敏感度分析和蒙地卡羅理論等方法，以評估路網績效  | 有考量到交通量狀況及其他因素，較為周詳  |
| Abdelaziz<br>(1998)           | ● 估計系統的可靠度              | 以 $R_s = \sum_{i=0}^n a_i \binom{n}{i} p^i q^{n-i}$ 來表示系統的可靠度，由於 $a_i$ 的值將會對系統可靠度有很大的影響，故提出模糊推論方法來估計 $a_i$ 的值   | 與其他演算法比較，估計值誤差為 0.18%；運算時間的比較上，本演算法運算時間較短                            |
| 王清正<br>王韞清<br>(2000)          | ● 評估節點與節點之間之網路可靠度       | 先以累增連接矩陣法計算網路路徑集合，在應用 Fratta 和 Montanari 所提出之集合操作法，得到的結果即為可靠度演算公式   | 可迅速評估在不同的考量情況下，各節點間之斷路危機概似機率   |

表 2.2 (續) 可靠度工程理論相關研究彙整表

| 作者<br>年期             | 目標  | 求解方法  | 評析                                      |
|----------------------|---|---|---|
| 馮正民等<br>人 (2003)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>以可靠度觀念分析捷運乘客對行車延誤之可忍受度</li> </ul>        | 假設行車事故延誤時間與乘客感受之可忍受延誤時間均為指數分配，並以經濟理論之彈性公式，進行乘客移轉運具彈性分析                                  | 可靠度求解方面皆假設系統為獨立，較不合理，應考慮串聯與並聯系統         |
| 許添本<br>江文聲<br>(2001) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Min 旅行者旅行時間</li> <li>Max 到達機率</li> </ul> | 利用 K 條路徑演算法及所研發之雙目標演算法，求解最短路徑及最可靠路徑之問題  | 可解決 K 條路徑演算法求解時間過長之問題                   |
| 張桂琥<br>(2000)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>不完全訊息下之可靠度分析</li> </ul>                  | 藉由專家及學者的知識、經驗，合理地給出事件故障隸屬函數的可能性範圍，並運用模糊集合之 $\alpha$ -cut 及模糊集合之區間算術運算，進而求得系統之故障區間、可靠度區間 | 提出每一個底事件對於頂事件之影響程度之定義，進而找出影響系統可靠度最重要的因素 |

## 2.3 遺傳演算法相關文獻彙析

吳心琪 (1997) 針對工程搶修的緊急應變及調度程序作探討，並構建工作排程模式，以規劃大型震災後待搶修災點之搶修優先次序與時程，作為決策單位之參考依據。該研究主要以公路局工程單位為對象，研究範圍以高速公路及其週邊替代道路路網為主，在研究內容上，由於震災後公路路網多處受損，交通中斷使得旅行者旅行時間增加，搶修單位不易進行搶修工作，為求路網早日恢復暢通，搶修工作需儘早完成，但負責搶修之工程單位，其搶修能力亦有限，因此使得此搶修問題轉變成有資源限制的計畫排程問題，重點在依據路網受損情形下，擬定工程單位搶修災點之順序與工作排程，將搶通工作以最佳化問題，並利用遺傳演算法求解。

張立偉 (2001) 於災後工程緊急搶修作業排程研究中建立一套緊急應變指派方法，考慮之因素為搶修單位之總花費時間最小化、搶修時間最小化及災點之搶修風險最小化，並以此三項目標來構建目標式，以車輛繞徑問題 (Vehicle Routing Problem) 為解題架構，配合時窗限制之考量，期望在有限時間內找出最大搶修效用之計畫排程。求解上以遺傳演算法求解此問題，並以模糊滿意解 (fuzzy satisfying method) 求解多目標問題。方案比較上，則與整數線性規劃 (王擴為, 1993) 測試實例相互比較，發現應用遺

傳演算法能夠快速地求到問題之最佳解。

陳郁文（1999）提出以模糊多目標規劃結合遺傳演算法，應用於大規模災害下提昇運輸效率之研究。在問題定義上，首先提出以多目標式作為應變效率之量測值，藉由各災點處理時間與安全特性質的乘積來定義效率之指標。因此，其目的在於運輸安全原則與災後運輸系統受損狀況下求取一平衡。另外，亦提供災後運輸系統之應變依據。研究範圍係以路網狀況作探討重點，在個案研究中亦對震災後路網搶修排程進行深入探討。在目標式之構建上，提出模糊規劃方法作為目標式構建依據，期能符合災後實際狀況及多方考量。

廖雯慈（1997）該研究指出遺傳演算法適合應用於大規模搜尋問題，並具有下列幾項優點。

1. 遺傳演算法是將問題的控制變數或決策變數，編碼成染色體形式的字串後，直接在染色體上演化求解。對於問題本身在求解空間上是否連續，可否微分皆無影響。
2. 遺傳演算法運用電腦的平行處理能力，可同時搜尋多個最佳點，最後得到一整個族群的解。
3. 遺傳演算法採隨機的搜尋法則，可於求解空間內任意跳動而不受限制，不會像一般傳統方法容易陷入局部解而無法跳出，且較容易得到全域最佳解。
4. 遺傳演算法適應力強，只要能將求解的問題明確地轉換為基因的形式，即可作最佳解的逼近運算。

田村等人（1994）應用遺傳演算法於災後道路復建順序問題上，其決策變數為各災點編號之順序，若有  $n$  個災點則共有  $n!$  種可能解，為一組合最佳化之問題，其適合度係以目標式定義之績效值（ $F$ ）最大為主，績效值之計算為：

$$F = \sum_{k=1}^n \frac{\{ \text{修復前之旅行時間費用} \} - (k \text{ 年度之旅行時間費用} )}{\text{總修復經費}}$$

其染色體係以各災點編號之順序作為編碼方式，作者對一 8 個災點之路網簡例使用二種交配方法，各用二種突變方式及四種突變機率（共 16 種求解組合）求解之，並與嚴密法比較，發現在 16 種求解組合中有 6 個可得最佳解，其餘解與最佳解之誤差亦不超過 1%。

佐藤等人（1996）則對田村等人之研究予以深入探討，不但處理災後道路復建順序問題，更加入工作隊指派，成為一多場站之 VRP 問題。決策變數為「工作隊數\*災點數」大小的矩陣，可決定每一工作隊個別的巡迴修復順序，其目標式定義為累積非復原率最小。在應用遺傳演算法求解上，染色體型式為「工作隊數\*災點數」大小的矩陣，此種編碼方式一次決定一組染色體，不易設定合理之交配方式，故作者以單體遺傳演算法（Single Populated GA, SPGA）進行求解。作者以伊豆大島 1978 年地震

後之受災路網為例，並與最大斜率法做比較，發現遺傳演算法可較快速地得到較佳解。

茲將上述有關最短路徑相關研究彙整如表 2.3 所示。由表 2.3 可知，遺傳演算法應用在災害救援上，都有不錯的表現。

表 2.3 遺傳演算法相關研究彙整表

| 作者<br>年期           | 目標式   | 考慮因素  | 求解方法                         |
|--------------------|---|---|------------------------------|
| 田村<br>等人<br>(1994) | ● MAX 定義之<br>績效值 (F)  | ● 災後道路復建順序問題<br>● 組合最佳化之問題<br>● 二種交配方法                                    | ● 遺傳演算<br>法                  |
| 佐藤<br>等人<br>(1996) | ● MIN 累積非<br>復原率  | ● 災後道路復建順序問題<br>● 工作隊指派<br>● 多場站之VRP 問題                                   | ● SPGA                       |
| 吳心琪<br>(1997)      | ● Max 搶修效益<br>● Min 搶修工程<br>總時程   | ● 考慮前置災點條件<br>● 單一災點僅由單一工程隊負<br>責之硬限制<br>● 車巡迴完不回場站之多場站<br>車輛排程問題         | ● 遺傳演算<br>法                  |
| 張立偉<br>(2001)      | ● Min 總排程時<br>間成本<br>● Min 緊急程度<br>加權之完工時<br>間總和<br>● Min 旅行時間<br>與風險值乘積<br>之總和 | ● 單一災點僅由單一工程隊負<br>責之硬限制<br>● 靜態性旅行時間成本<br>● 固定值之預估搶修時間<br>● 災點間空間順序性限制    | ● 遺傳演算<br>法                  |
| 陳郁文<br>(1999)      | ● Min 旅行者旅<br>行時間<br>● Min 總工作時<br>間  | ● 針對吳心琪研究予以深入探<br>討<br>● 提出兩階段遺傳演算法求解<br>架構<br>● 各災點處理時間與安全特性<br>的乘積為效率指標 | ● 模糊多目<br>標規劃<br>● 遺傳演算<br>法 |

## 2.4 最短路徑相關文獻彙析

由於救災路線不同於一般車輛排程問題，應以快速、優先為設計理念，因此，在路線的設計上，應以各救災相關地點間之最短路徑為主。最短路徑之相關研究甚多，茲將與災害救援相關之文獻整理如下：

Okada and Soper (1998) 其發展一套演算法，用來解決路網中路段模糊長度之最短路徑問題。其演算法可以將所指定之特定點至其他點之路線全部導出，再依據模糊數之間的順序（大小）關係來找尋最合適之路線。但在大規模路網中，所求解之路線將會過多，而使得決策者無法從中挑選最合適之路線。有鑑於此，本文獻再將演算法所導出之路線做某一程度之挑選，藉由挑選機制，將可控制求解路線之數量。並可考慮將所獲得之路線，依據路線之共享路段作一分類區隔，如此將會幫助決策者挑選最合適之路線。

Hall (1986) 利用結合分枝定限法 (branch-and-bound) 與  $k$  條最短路徑演算法，找到一條期望旅行時間最小之最短路徑。文中將旅行時間設為隨機且時間相依之最小期望旅行時間路徑問題，並分為『定性』與『隨機變數』兩種。前者的旅行時間為歷史資料以統計分析所得的定性資料；後者的旅行時間是利用到達節線時間與滿足統計分配的隨機變數為依據。旅行時間為『定性』，可得最小可能旅行時間，即最短路徑總旅行時間下限值之依據；旅行時間為『隨機變數』，可得最小期望旅行時間，即最短路徑總旅行時間上限值之根據。

Yen (1971) 年提出找尋第  $K$  條最短路徑演算法，因此  $K$  條最短路徑演算法也逐漸廣泛地被應用，如人員的緊急救援與疏散。最短路徑問題為一般路網問題求解的基礎，但是在實際交通的應用上，最短路徑卻會因許多外部問題而無法達到最佳化，因此  $K$  條最短路徑演算法便因應而生， $K$  條最短路徑演算法之主要觀念，在於產生成本略多於最短路徑的次佳路徑。故 Yen's Algorithm 的基本概念是：第 2 條最短路徑與第 1 條最短路徑有部分相同，因此第 2 條最短路徑必須經由第 1 條最短路徑來尋找，而第 3 條最短路徑則必須經由第 1 條最短路徑與第  $k-1$  條最短路徑來尋找，依此程序而找出第  $K$  條最短路徑。

顏應明 (1988) 以  $K$  條最短路徑演算法作為災後救援路線選擇之參考依據，主要針對災後救援車輛從  $K$  條最短路徑中選擇最適行駛路線，但僅以距離作為主要決定因素，並不考慮路網上車流的影響。

陳慧琪 (1999) 期望透過時間相依最短路徑問題演算方法之研究，提出一套完善的最短路徑演算法，於使用者出發之前給予其一條適當的行進路線建議，提供有效的『行前資訊』服務。文中將旅行時間視為一個滿足威伯分配 (Weibull distribution,  $W(1, \beta)$ ) 之連續型隨機變數，令  $\beta$  為隨著出發時間而改變的時間函數，並將每一天分為數個時段，自行假設每條節線在各個不同時段所相對應之期望值函數，透過模擬方法，得到滿足該分配的旅行時間模擬值，再以 Label setting Algorithm 為基礎進行修正求解。最後，以六個網路進行演算法準確性與有效性之驗證，測試結果驗證本研究提出之方法確實可行且具有效率。

林育生 (2002) 主要建構一考量旅行時間特性之路徑搜尋模式，此模式須考慮旅行時間隨機且依時變動的性質，可分為四部分。1. 以旅行時間

實際調查的方式，分析旅行時間分布型態及依時變動特性。2.問卷調查駕駛者主觀預設旅行時間，分析預設旅行時間性質。3.結合實際調查資料，尋求合理之最短路徑搜尋模式，以建立旅行時間資料與路徑搜尋模式之結合方式。4.改善路徑搜尋模式中之可靠度分析方法，以建立更準確之可靠路徑搜尋模式。

賴冠宏(2002)研究如何於具有走道及出入口的多部門廠房空間，有效地安排消防裝置、及增加消防設備使用的效能，在火災發生時，能將人員傷亡及財產損失降到最低。其結合類神經網路模型中的自我組織映射，及圖學演算法中的最短路徑的概念，來建議人員逃生的最適模式，以及消防設備配置的最佳位置。並使用Floyd-Warshall Algorithm求解人員避難逃生的路徑，最後以人員傷亡、及財物損失為評估函數，探討自我組織映射學習的結果。

林蔚明(2002)主要目的為考慮路口的成本下，發展最短路徑、K條最短路徑與依時性最短路徑演算法，並探討其合理性。三種演算法配合路口的延滯計算，可進一步反應交通相關的動態特性。研究使用台中市路網進行實驗分析，結果顯示在考慮路口延滯後，不論採用何種路口延滯成本，其所獲得之路徑結果皆比不考慮路口延滯成本的路徑結果來的接近實際情形，顯示若在路徑計算中加入路口延滯成本的考量，將能提供用路人更為可靠的路徑資訊。

卓訓榮、陳信雄(1993)在CONVEX C240 超級電腦下，利用FORTRAN程式語言撰寫Yen's Algorithm，用以比較純量最佳化、向量最佳化、平行最佳化和起迄點的平行演算，並比較其執行速度。其結果顯示，利用平行處理的方式確實可以縮短時間。

茲將上述有關最短路徑相關研究彙整如表2.4所示。由表2.4可知，最短路徑問題 (Shortest Path Problem)是路網研究中極為重要的一部份，在給定一起點及迄點之路網，並考慮所有可能影響因素，以求得最低成本或是最快時間到達目的之路徑。最短路徑在交通運輸方面的應用，如目前最熱門之物流運輸和旅客的運輸。另外，在重大災難發生時，最短路徑的應用是最為重要的。因此，本研究將以最短路徑之觀念結合救災及可靠度觀念，建構「不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式」，期能在緊急救難時，提供人員疏散或緊急救難之最佳決策方案。

表 2.4 最短路徑相關研究彙整表

| 作者<br>年期                     | 目標                                   | 求解方法  | 評析   |
|------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| Okada<br>and Soper<br>(1998) | ● 解決路網<br>中路段模<br>糊長度之<br>最短路徑<br>問題 | 利用所發展之演算法，將所<br>指定之特定點至其他點之<br>路線全部導出，在依據模糊<br>數之間的順大小關係來找<br>尋最合適之路線 | 藉由 h-level，可控制<br>求解路線之數量，並<br>依據路線之共享路段<br>作分類區隔，幫助決<br>策者挑選最合適路線 |

表 2.4 (續) 最短路徑相關研究彙整表

| 作者<br>年期             | 目標                      | 求解方法  | 評析  |
|----------------------|-------------------------|---|---|
| Hall<br>(1986)       | ● 期望旅行時間為最小之最短路徑        | 結合分枝定限法 (branch-and-bound) 與 k 條最短路徑演算法，並將旅行時間分為『定性』與『隨機變數』兩種         | 旅行時間為『定性』，得最小可能旅行時間，為旅行時間下限值之依據；旅行時間為『隨機變數』，得最小期望旅行時間，為旅行時間上限值之根據 |
| Yen<br>(1971)        | ● 產生成本略多於最短路徑的次佳路徑      | 第 2 條最短路徑與第 1 條最短路徑有部分相同，因此第 2 條最短路徑必須經由第 1 條最短路徑來尋找，依此程序而找出第 K 條最短路徑 | 必須搭配最短路徑演算法才能進行求解，故最短路徑演算法的效率將會是一重要的因素                            |
| 林育生<br>(2002)        | ● 建立更準確之可靠路徑搜尋模式        | 建構一考量旅行時間特性之路徑搜尋模式，並考慮旅行時間隨機且依時變動的性質                                  | 藉由分析旅行時間分布型態、依時變動特性及預設旅行時間性質，以建立旅行時間資料與路徑搜尋模式之結合方式                |
| 陳慧琪<br>(1999)        | ● 旅行者出發前給予最適當的行進路線      | 透過模擬方法，得到旅行時間模擬值，再以 Label setting Algorithm 為基礎進行求解                   | 以六個網路進行演算法準確性與有效性之驗證，測試結果驗證其所提出之方法確實可行且具有效率                       |
| 顏應明<br>(1988)        | ● 災後救援車輛最適行駛路線          | 以 K 條最短路徑演算法作為災後救援路線選擇之參考依據   | 僅以距離作為主要決定因素，沒有考慮路網上車流的影響   |
| 卓訓榮<br>陳信雄<br>(1993) | ● 比較 KSP 執行速度           | 利用 FORTRAN 撰寫，以比較純量最佳化、向量最佳化、平行最佳化和起迄點的平行演算                           | 結果顯示，利用平行處理的方式確實可以縮短時間  |
| 賴冠宏<br>(2002)        | ● 火災發生時，能將人員傷亡及財產損失降到最低 | 結合類神經網路模型中的自我組織映射與佛洛依德最短路徑，建議人員逃生的最適模式，以及消防設備配置的最佳位置                  | 未考慮走道內人員流量與容量之關係  |

表 2.4 (續) 最短路徑相關研究彙整表

| 作者<br>年期      | 目標               | 求解方法                              | 評析   |
|---------------|------------------|-----------------------------------|--|
| 林蔚明<br>(2002) | ● 提供用路人更為可靠的路徑資訊 | 考慮路口成本下，發展最短路徑、K 條最短路徑與依時性最短路徑演算法 | 三種演算法配合路口的延滯計算，可進一步反應交通相關的動態特性，且模擬結果接近實際情形 |



## 第三章 問題定義與模式構建

本研究將構建在不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式，此整合模式包括三個子模式與三項目標。以下針對各模式所需用到之求解方法加以說明。

### 3.1 不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式

#### 3.1.1 問題說明

大規模災害剛發生時，由於路網及通訊系統之破壞，災區道路損壞程度之判斷資訊具有相當之不確定性，但救災決策者又不能等資訊蒐集齊全後，再進行救援之決策。因此，如何在此不確定環境下，進行有效率之救援決策，確需一套有效率之規劃模式以資因應。

在災害發生後，主要目標即是讓救援人員及救災物資於第一時間到達災區，以降低災情衝擊。因此，除了仰賴正確有效之救災路徑規劃外，而為避免一般車輛干擾救援之進行，亦需配合實施必要之交通管制。故整合模式中之第一個子模式即是探討「交通管制規劃問題」。

因災害發生後，用路人會因應道路損壞程度資訊與發佈之交通管制路徑，而改變原先的路徑選擇行為。而這些正常旅次之改變，會對道路形成負荷，進而影響救災成效與交管路段之選擇，因此有必要在規劃救災路徑時予以一併考量。故整合模式中之第二個子模式即是探討「非災民災後交通量指派預測問題」。

救災網路的規劃應以單點往返式服務為主，避免巡迴服務的網路，亦即最短路徑問題（shortest path problem, SPP）。在經過前兩個子模式運算後，可得到交通管制路段及非管制路段之旅行成本矩陣，藉由此矩陣，可在災區路網中尋找救災之最短路線。故整合模式中之第三個子模式即是探討「救援車輛最短路徑問題」。

至於在路段破壞資訊之不確定性處理方式，則利用模糊理論加以模化，即將各路段能否通行之資訊，以路段之模糊連接可靠度表示，結合  $T_w$ （the weakest t-norm）模糊數相乘運算方法，綜整成為路徑之模糊連接可靠度。並利用模糊數得分排序法來判斷各最短路徑之連接可靠度是否大於所要求之水準。

最後，本研究模式欲求解問題之目標分別為下所示：

1. 「交通管制警力最少化」：

假設管制一條路段所需警力為兩名，即路段進入及離開處各設置一名警員。因此，將所求解之交通管制路段數乘二，即可計算實施交通管制所需之警力。

2. 「非災民干擾程度最小化」：

欲計算非災民干擾程度可將其分為下列兩大類：

①各起迄對因為實施交通管制後所增加之旅行成本：

係將實施交通管制後之各起迄對旅行成本，減掉交通管制前之各起迄對旅行成本。

②各起迄對因為實施交通管制後無法到達目的地之旅次：

係將實施交通管制後無法到達目的地之旅次乘上一懲罰值。

3. 「救災路徑旅行時間最小化」：

係求解出符合決策者要求水準上之規劃救災最短路徑旅行時間。

### 3.1.2 問題架構

由於上述三個問題具有關連性，故必須加以整合，同時求解。不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式之求解架構如圖 3.1 所示：

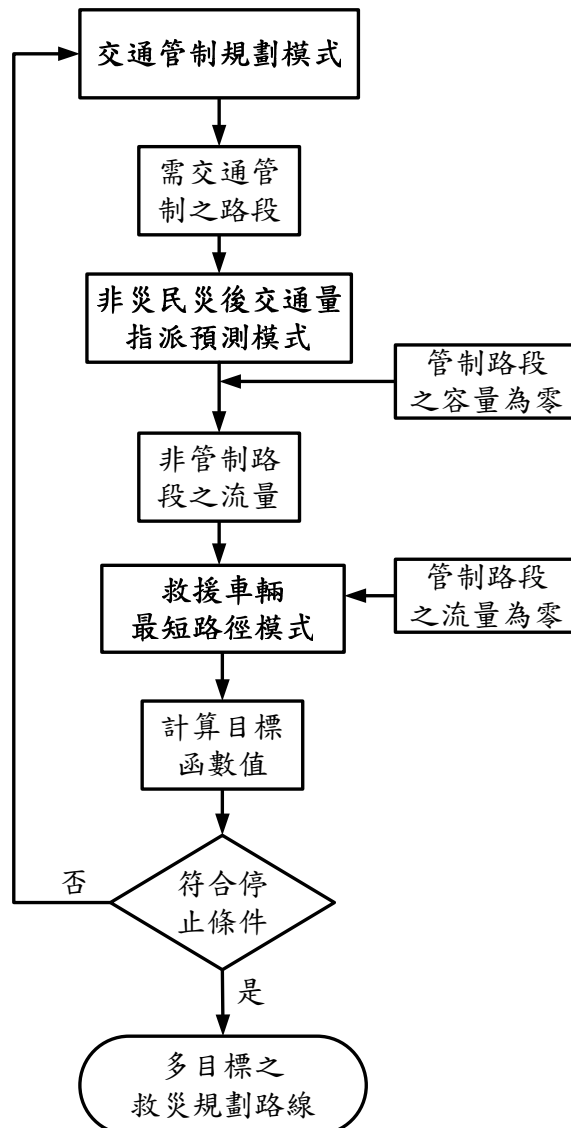


圖 3.1 不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式求解架構

根據圖 3.1，本研究模式之求解過程，可分為下列步驟說明：

步驟 1：

利用交通管制模式求解出路網中需要實施交通管制之路段，而所需交管警力等於管制路段數乘二。

步驟 2：

利用非災民災後交通量指派預測模式求解出非管制路段之旅行成本，其限制條件為將管制路段之旅行成本設為無限大（即不連通）。而各起迄對因為實施交通管制後所增加之旅行成本，等於將實施交通管制後之各起迄對旅行成本，減掉交通管制前之各起迄對旅行成本；各起迄對因為實施交通管制後無法到達目的之旅次，等於災後交通量指派預測模式求解過程中，若有起迄對無法連通，則將此起迄對之旅次量乘上一懲罰值。

步驟 3：

利用救援車輛最短路徑模式，求解路徑模糊連接可靠度符合決策者所要求等級以上之救災路線，其限制條件為將管制路段之旅行成本設為自由行車下之旅行時間。求解出之路徑即為在交通管制警力最少與非災民干擾程度最小下，旅行時間最小之規劃救援路徑。

步驟 4：

未符合停止條件時，回到 step1。停止條件之設定為，在連續 100 個迭代中，無法改善其最佳解。

## 3.2 交通管制規劃問題

### 3.2.1 交通管制規劃問題說明

在災害發生後，主要目標即是讓救援人員及救災物資於第一時間到達災區，以降低災情衝擊。因此，除了仰賴正確有效之救災路徑規劃外，而為避免一般車輛干擾救援之進行，亦需配合實施必要之交通管制，但交通管制措施又不能過度嚴苛或管制範圍過度放大，以免嚴重影響一般居民（非災民）之正常生活，進而衝擊整體民生經濟運作。

因此，「交通管制規劃問題」係以路段為管制單元，求解方法係利用遺傳演算法（genetic algorithms），以 0,1 編碼方式選擇管制路段。0 代表此路段沒有管制，1 代表此路段有管制。交通管制規劃問題主要是希望能夠求解出，在路網上選擇部份路段實施交通管制，管制非救援車輛之使用，此管制路段為救援車輛專用。

### 3.2.2 交通管制規劃問題模式

交通管制規劃問題模式為 0 或 1 整數數學規劃，其目標式為管制警力最少化，表示如下：

$$\begin{aligned} \min \quad & Z(R) = \sum_i \sum_j R_{ij} \times P_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & R_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if 路段實施交通管制} \\ 0, & \text{if 路段不實施交通管制} \end{cases} \end{aligned}$$

式中， $R_{ij}$  為節點  $i, j$  相連接之路段， $P_{ij}$  為管制路段  $R_{ij}$  所需之警力。

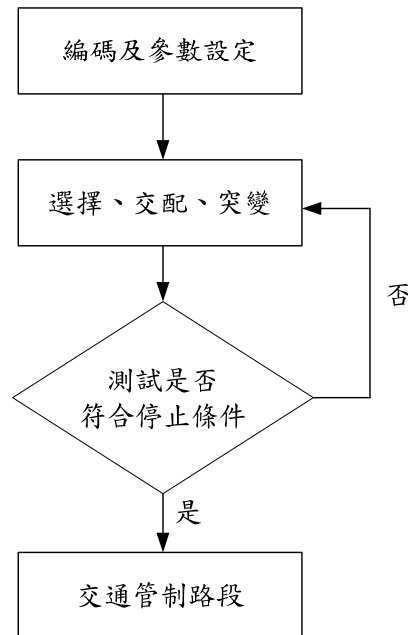


圖 3.2 交通管制規劃問題之求解流程圖

(1) 編碼：

表 3.1 即為遺傳演算法專有名詞與本研究所設定之名詞對照表。

表 3.1 遺傳演算法應用於本研究之專有名詞對照表

| 遺傳演算法           | 本研究所設定之名詞      |
|-----------------|----------------|
| 基因(Gene)        | 各路段是否實施交通管制措施  |
| 染色體(Chromosome) | 路網中需要實施交通管制之路段 |
| 族群(Population)  | 路段需交通管制之組合     |

本研究所使用之編碼方式係利用二元型編碼方式，將路段以 0 或 1 表示。0 代表此路段不實施交通管制；1 代表此路段要實施交通管制。而染

色體則是將各路段之基因編碼組合起來。

(2) 初始族群：

初始族群係為遺傳演算法中之父代演化基礎，故初始解之好壞將會影響其改善幅度及尋優效率。在初始族群數之設定，過去研究中，謝國倫（2000）建議族群數大小在 30 至 200 間，較能兼顧求解效率及求解時間。

因此，本研究所應用之初始族群數目，係以 100 群進行模式求解，並以隨機產生之方式產生初始族群，並可能使初始解呈現隨機分佈狀態，其主要目的則在於增加搜尋的廣度，以避免侷限在局部解中。

(3) 交配率：

交配率的高低將會影響母代是否能繼續生存於下一世代的機率。故交配率愈高，母代會被以子代取代；交配率愈低，則產生子代的比率則會較低。在馮正民與邱裕鈞（2004）一書中提到，交配率一般都建議設定在 0.7~0.9 之間。

(4) 突變率

突變率之設定，影響遺傳演算法尋優之程度甚大。若突變率過小，將無法發揮突變之功能，可能發生族群僵化之現象；若突變率過大，則可能破壞子代繼承母代之優良基因，使其無法獲得較佳之解。在馮正民與邱裕鈞（2004）一書中提到，突變率一般都建議設定在 0.01~0.03 之間。

### 3.2.3 交通管制規劃求解方法

#### 1. 遺傳演算法敘述

遺傳演算法係由美國密西根大學教授 John Holland (1989) 於 1975 年時所提出，利用達爾文進化論作為原理所發展出來的，進化論的原理即為所謂「物競天擇、適者生存」，正如同大自然間的生物一般，不適合生存的品種將會慢慢消失，最後留下來的都是適合生存的。因此，遺傳演算法利用適者生存的原理，每次篩選後複製出一批較適合生存的基因組合族群，而每一個基因組合即為每一個生存者的染色體，而這批適合生存的染色體族群則互相的交配產生出新的一批族群與新的染色體。原來的染色體稱為父代，新產生出的染色體則稱為子代，子代係由父代衍生出來，因此經過長時間的演化，染色體的基因將會越來越像。但若自然界的環境驟變，這群趨於緩和的基因可能無法再適應整個環境，而面臨滅亡的威脅。為求跳脫困境而重新適應環境，因此有了突變的發生，突變能跳脫趨於穩定的染色體，使族群可適應環境而繼續繁延。至於「適者生存、不適者淘汰」的篩選工作則是利用適合度函數來構建生存的環境，適合度高的代表生存機率高；適合度低的生存機會則較低。

總而言之，遺傳演算法係根據進化理論之精神而來，雖然是隨機的搜尋，但並非盲目的搜尋，每一代的搜尋皆依據前一代的資訊而來，如此反覆的搜尋，進而不斷的修正，最後產生一個較合理的解。

## 2. 遺傳演算法

### 1. 編碼 (Encoding)

遺傳演算法結構中最基本且最重要的就是用來表示問題變數的編碼。而編碼的方式依問題特性之不同而各異，而每一種編碼方式，都一定將每個問題的解答都能夠對應到一個特定的二元字串，由於在最佳化問題的求解幾乎都有固定數目的變數，因此最普遍的編碼方式即是將這些變數對應到某個固定範圍內的整數，再以固定數目的位元即可表示問題，而這些位元的組合即為基因演算法中的主軸—染色體字串。編碼完成後，即以隨機產生的方式產生初始的族群，作為衍生下一代的基礎，如此生生不息，直至達到演化停止條件後而告終止。

編碼後的解即為染色體，而每一個染色體是由數個基因組成，每一個基因代表其問題的特徵質 (Feature Value)。一般使用的編碼方式有二種，包括二元型編碼及字串型編碼。二元型編碼，簡單的說，係以二進位的方式替染色體編碼，多利用在數值型的問題中；字串型編碼，係直接以數字的排列作為染色體表示方式，多應用於具順序型的組合問題中。

### 2. 母體 (Population)

母體即為群體中所含的染色體數目；母體的多寡對求解的效率有直接的影響 (廖雯慈, 1997)，若母體過大會耗費過多的搜尋時間；母體過小則會產生提早收斂之窘境。初始母體即為第一代染色體，多半以隨機方式設計產生，亦有配合啟發解法而產生者。依過去文獻結果 (謝國倫, 2000)，一般母體大小以 30 至 200，較能兼顧求解效率及求解時間。

### 3. 目標函數 (Fitness Function)

目標函數決定了每一個染色體適應環境的能力，亦即評斷其生存與否之依據，好的目標函數往往可以將染色體的優劣比較出來，故目標函數通常依系統者針對求解問題的要求而設計。

目標函數值範圍可能會因為問題的不同而有所差別，當每個染色體其目標函數值差距不明顯時可能會影響到判斷條件，因此，有時在處理上並不會以計算所得的目標函數作為衡量染色體適應性之依據，而是經過一些正規化的處理以凸顯染色體間的差距，再利用處理後的值作為判斷的標準。一般文獻中常使用之目標函數調整方法如表 3.2 所示。

表 3.2 遺傳演算法中目標函數值調整方式

| 目標函數                           | 方法敘述                            |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 線性調整<br>(Linear scaling)       | 將各群體中的染色體之目標函數值差異，以線性關係擴大       |
| Sigma 截取<br>(Sigma truncation) | 利用群體的平均目標函數值對標準差之差異來修飾原群體之目標函數值 |
| 乘冪調整<br>(Power law scaling)    | 將目標函數值以級數倍成長來擴大群體中間差距           |

資料來源：[ 蘇木春等，1997 ]

#### 4. 複製、交配與突變

複製、交配與突變為遺傳演算法運作之三大法則，亦為求解結果之精確程度與效率高低之決定性因素。茲就簡單遺傳演算法（simple genetic algorithms）之三法則運作方式說明如下：

##### (1)複製或稱選擇

複製(選擇)係依據每一染色體之適合度高低，決定其繁衍子代多寡之機制。其處理方式多以蒙地卡羅轉盤(Monte Carlo wheel)之概念加以篩選，即每一染色體被選中進行繁衍後代之機率為該染色體之適合度值占族群每一染色體之適合度值總和之比例：

$$P(M_j) = \frac{f_j}{\sum_{i=1}^p f_i}$$

其中， $M_j$ 表第  $j$  個染色體， $P(M_j)$ 表第  $j$  個染色體被選中之機率， $f_i$ 表第  $i$  個染色體之適合度值， $P$  為族群數。因此，適合度高之染色體被選中，用以產生下一代之機率亦較高，使得較「優良」之遺傳因子得以流傳與繼承，如圖 3.3 所示。

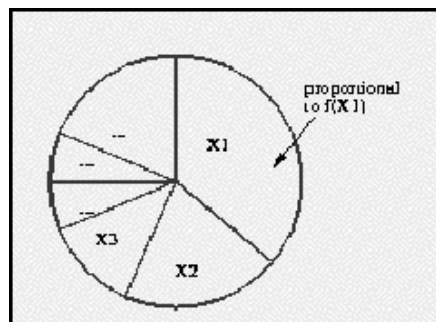


圖 3.3 蒙地卡羅轉盤之選擇方式

資料來源：【21】

## (2) 交配

交配乃是將經過複製過程篩選出之染色體予以配對，再經由彼此間所進行之基因交換行為產生子代。藉此，子代可同時具有父母雙方部份之優良基因，合組成更具適應能力之染色體。其處理方式主要有兩步驟：a. 進行篩選後族群之隨機配對；b. 隨機產生成對染色體之配對點，再依配對點之位置，進行基因互換。交配之方法亦有數種，較常採用之方法有三，即單點交配、雙點交配以及均勻交配，如圖 3.4 所示。

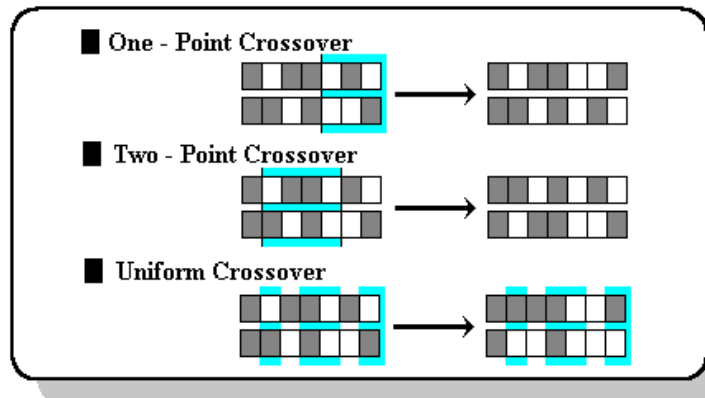


圖 3.4 單點、雙點及均勻交配方法

資料來源：【21】

## (3) 突變

突變乃是針對子代之遺傳基因以一定機率（通常很低），更動某一基因值（0→1 或 1→0），以防止染色體於複製及交配過程中，遺漏重要訊息或落入局部最佳解，亦即預防族群內各染色體之僵化。一般而言，突變之處理方式有二：a. 基因突變，即當產生之亂數低於設定之突變率時，即隨機更動某一基因值；b. 移轉突變，即變動同一染色體內各基因之位置，而不改變其值，如圖 3.5 所示。

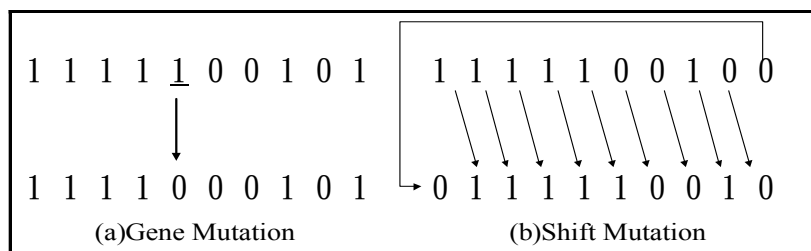


圖 3.5 基因及移轉突變

資料來源：【21】

惟在不同編解碼技術下，為能進一步提高模式之尋優效度及效率，或使產生之後代染色體能符合模式限制，上述三法則所採取之方法亦會隨之因應變化。本研究將會依所研擬演算法之特性，研提此三法則有效之運作方式。

## 5. 結束法則

運用遺傳演算法搜尋終止的條件是當所有染色體趨向一致，不再有更好的適應函數值出現時停止，但實際應用上，多半以四種情況作為搜尋終止的條件：

- (1) 已達到原來設定的最大演化世代數。
- (2) 已無法出現更優秀的解。
- (3) 已達到最大運算時間。
- (4) 已達到符合原需求的解。

根據以往研究，在探討組合最佳化的問題中，有相當多的研究，皆以遺傳演算法作為搜尋方法；在過去探討到有關救援救災的文獻中，由於大規模災害發生後，受災面積往往相當廣大，災點散佈於範圍內，如何能從散佈的災點中搜尋出最佳的規劃救援路徑，與遺傳演算法搜尋之情形十分類似，因此，只要目標式設定正確，轉換為適應值函數後，即可適用遺傳演算法作為求解方法。遺傳演算法具有幾項優點，因此適合應用於大規模搜尋問題（廖雯慈，1997）：

- (1) 遺傳演算法是將問題的控制變數或決策變數編碼成染色體形式的字串後，直接在染色體上演化求解。對於問題本身在求解空間上是否連續，可否微分皆無影響。
- (2) 遺傳演算法運用電腦的平行處理能力，可同時搜尋多個最佳點，最後得到一整個族群的解。
- (3) 遺傳演算法採隨機的搜尋法則，可於求解空間內任意跳動而不受限制，不易如一般傳統方法般陷入局部解而無法跳出，較容易得到全域最佳解。
- (4) 遺傳演算法適應力強，只要能將求解的問題明確地轉換為基因的形式，即可作最佳解的逼近運算。

## 6. 遺傳演算法流程

利用遺傳演算法求解組合最佳化問題時，包含了以下五個步驟：

Sept 1：設計問題解的編碼方式。

Sept 2：設定群體數目（Population Size）之大小及產生初始群體（Initial Solution）。

Sept 3：擬定評估問題解的目標函數（Fitness Function）。

Sept 4：以複製、交配及突變等運算方式產生具競爭性的子代。

Sept 5：決定結束遺傳演算法之法則。

一般遺傳演算法應用於求解組合最佳化問題時，運作流程如圖 3.6 所示。

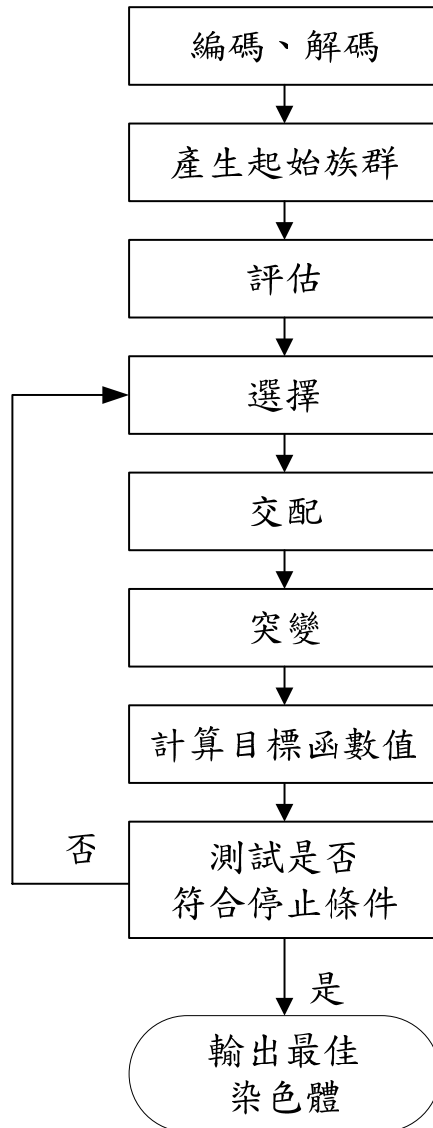


圖 3.6 遺傳演算法之求解流程圖

### 3.3 非災民災後交通量指派預測問題

#### 3.3.1 非災民災後交通量指派預測問題說明

因災害發生後，用路人會因應道路損壞程度資訊與發佈之交通管制路徑，而改變原先的路徑選擇行為。而這些正常旅次之改變，也對道路形成負荷，進而影響衝擊救災與交管路段之選擇，因此有必要在規劃救災路徑予以一併考量。故「非災民災後交通量指派預測問題」係探討在災害發生後，路網結構的改變對各路段旅行成本之影響，其求解方法係以逐次增量指派法結合路段的模糊可靠度加以指派。

#### 3.3.2 非災民災後交通量指派預測問題模式

非災民災後交通量指派預測問題模式係利用逐次增量指派法及 Floyd-Warshall Algorithm，並結合路段的模糊連接可靠度，對於路網中各

點至各點之旅次量進行交通量指派。在逐次增量指派法中，由於增量愈小（即指派次數愈多），路網指派的結果愈佳，指派的次數愈多，所需的電腦運算時間加長，故本研究所設定之交通量指派次數為八次，分別為 40%、20%、15%、10%、5%、5%、3%及 2%【22】。

進行非災民災後交通量指派預測時，係先將交通管制規劃問題所求出之管制路段成本設為無限大（即相鄰兩節點假設不連通），根據修改後之新的旅行成本矩陣，求解出其他非管制路段之流量。在求解的過程中，由於考量到路段模糊連接可靠度與路段旅行時間之關連性，本研究係假設路段模糊連接可靠度與路段旅行時間，兩者為負相關，即先將路段模糊連接可靠度解模糊化，在將其反應至道路容量上，故路段模糊連接可靠度越低，其道路容量越低，所對應之路段旅行時間越長。

因此，在進行第一次至第七次逐次增量指派時，BPR 模式中的容量為路段原容量乘上路段模糊連接可靠度解模糊化後之值。當逐次增量指派第八次指派結束後，可得到各路段之最終流量，依據此最終流量利用 BPR 模式重新計算各路段之旅行成本，而此時之 BPR 模式中的容量為路段原容量。

此作法是考量用路人會因為道路損壞程度資訊與發佈之交通管制路徑，而改變原先的路徑選擇行為，故在進行逐次增量指派時，將 BPR 模式中的容量改變為路段原容量乘上路段模糊連接可靠度解模糊化後之值。指派完後，所求得各路段之流量為大規模災害後，用路人改變原先的路徑選擇行為而產生的路網結構變化。之後，求解救災最短路徑時，會利用指派後之旅行成本矩陣進行求解，再根據決策者所要求的路徑模糊連接可靠度等級進行評選。為了避免路段模糊連接可靠度被重複考慮，故在第八次指派結束後，要利用 BPR 模式計算各路段之旅行成本時，BPR 模式中的容量就為路段原容量。災後交通量指派預測問題模式如下所示【11】；災後交通量指派預測問題之求解流程如圖 3.7 所示。

$$\begin{aligned}
 \min \quad & Z(w) = \sum_a w^a t_a(w^a) \\
 \text{s.t} \quad & \sum_k f_{ijk} = f_{ij}, \forall i, j \\
 & f_{ijk} \geq 0, \forall i, j, k \\
 & w^a = \sum_i \sum_j \sum_k f_{ijk} \delta_{ijk}^a, \forall a
 \end{aligned}$$

式中， $w$  代表路段流量之值； $w^a$  為路段  $a$  上的流量； $t_a(\cdot)$  代表路段之時間函數，或稱績效函數（link performance function）， $t_a(\cdot)$  一般是正、遞增，且為凸形函數。 $f_{ij}$  代表由起點  $i$  至迄點  $j$  的指派量， $f_{ijk}$  為（ $i$

~j)間第 k 路徑的流量，靜態路段一路徑指標以  $\delta$  代表，可用於路徑流量 (path flow) 與路段流量 (link flow) 的換算。

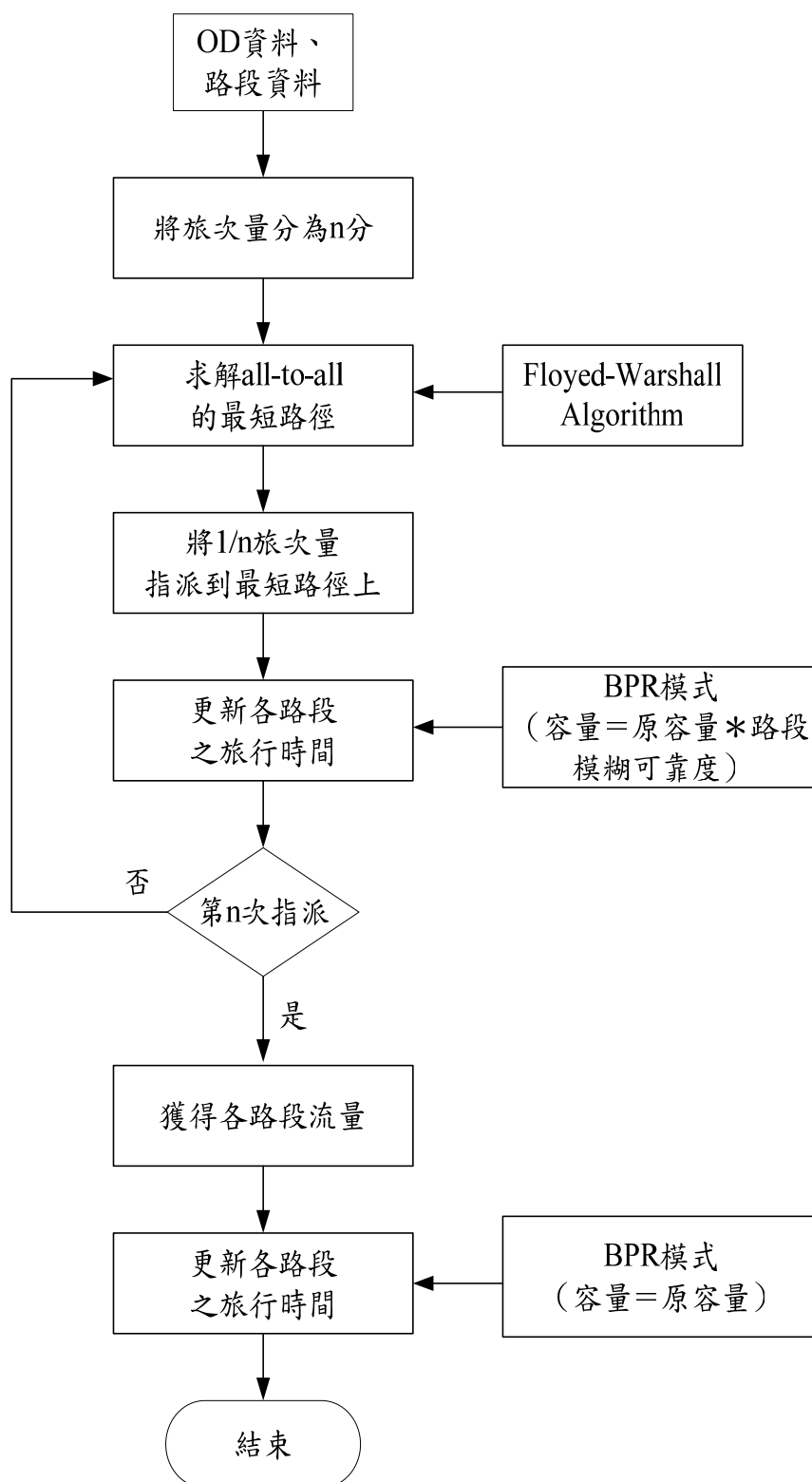


圖 3.7 非災民災後交通量指派預測問題之求解流程圖

### 3.3.3 非災民災後交通量指派預測問題求解方法

#### 1. 模糊連接可靠度模化方法

惟以機率統計理論為基礎的傳統可靠度理論需要大量的事件失敗資料，才可運用統計推論方法，計算出各元件的可靠度，因此較適合用於都市道路常態狀況下之路線選擇，因為其路網中各路段的交通擁塞狀況，可透過歷史路況資料之蒐集統計加以預測或推論。但若用於大規模災害之救災路線選擇時，則因缺乏足供推論之樣本資料或經驗，難以建立救援車輛順利通過各路段之機率分配與模型或預測各受災路段之損壞狀況，故其合理性似較受質疑。

因此，比較合理的作法是利用處理人類判斷與認知的模糊理論，進行各路段損壞狀況之評估，再配合預定實施的交通管制措施，提出各路段順利通過的可能性，以作為最短路徑選擇之依據。此種可靠度衡量方法稱為模糊可靠度理論（Fuzzy reliability theory）。在災害剛發生之際，有關災區的道路損壞狀況及災區交通管制資源等相關資訊可能極為有限，故各路段可順利通過之模糊度較高。但隨著救災時間之推移，將會有愈來愈多且愈來愈精確的災區道路狀況及交通管制資源的回報資訊，故各路段可順利通過的模糊度會降低。

Hong and Do (1997) 提出模糊數之  $T_w$  (the weakest t-norm) 運算元，進行模糊系統可靠度之分析。該研究將可靠度分析分為四種：

1. 傳統可靠度理論：系統行為以機率理論為基礎，系統狀態為明確二元（例如，成功或失敗、正常或故障）。
2. 模糊機率可靠度理論：系統行為以機率理論為基礎，系統狀態為模糊（例如，很可能故障）。
3. 可能性二元可靠度理論：系統行為以可能性理論為基礎，系統狀態為明確二元。
4. 模糊可能性可靠度理論：系統行為以可能性理論為基礎，系統狀態為模糊。

其中，第 2、3 及 4 即所謂的模糊可靠度理論。而該研究中，串聯系統（serial system）的可靠度以下式計算之：

$$\begin{aligned}\tilde{R}_1 \otimes \tilde{R}_2 \otimes \dots \otimes \tilde{R}_n &= (a_1, \alpha_1, \beta_1)_{LR} \otimes (a_2, \alpha_2, \beta_2)_{LR} \otimes \dots \otimes (a_n, \alpha_n, \beta_n)_{LR} \\ &= \left( \prod_{i=1}^n a_i, \max \left\{ \alpha_i \prod_{j=1, j \neq i}^n a_j \mid i=1, 2, \dots, n \right\}, \max \left\{ \beta_i \prod_{j=1, j \neq i}^n a_j \mid i=1, 2, \dots, n \right\} \right)_{LR}\end{aligned}$$

並聯系統（parallel system）的可靠度則以下式計算之：

$$1 \ominus \prod_{i=1}^n (1 \ominus \tilde{R}_i) = 1 \ominus \prod_{i=1}^n [1 \ominus (a_i, \alpha_i, \beta_i)_{LR}] = 1 \ominus \prod_{i=1}^n [(1 - a_i), \beta_i, \alpha_i]_{LR}$$

$$= \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - a_i), \max \left\{ \alpha_i \prod_{j=1, j \neq i}^n (1 - a_j) \mid i=1, 2, \dots, n \right\}, \max \left\{ \beta_i \prod_{j=1, j \neq i}^n (1 - a_j) \mid i=1, 2, \dots, n \right\} \right)_{LR}$$

其中， $\tilde{R}_i$  代表第  $i$  個元件之模糊可靠度， $(a_i, \alpha_i, \beta_i)_{LR}$  為其三角模糊數， $a_i$  為中心點， $a_i - \alpha_i$  及  $a_i + \beta_i$  分別為左右兩底角（anchor）。

基本上，以單一路徑之可靠度而言，其類似串聯系統，整條路徑的可靠度係由各路段可靠度「綜整」而成，至於「綜整」的方式各研究均不甚相同。而本研究將利用  $T_w$ （the weakest t-norm）模糊數相乘運算方法，綜整成為路徑之模糊連接可靠度。

## 2. 交通量指派 (Traffic Assignment)

交通量指派 (Traffic Assignment) 主要是將人旅次轉換為車旅次之區間交通量，依據使用汽車或大眾運輸旅客對路線的選擇行為評準，而將車旅次指派於最適選擇路線上，構成交通流量之實質空間分布型態，為道路設計之基礎。交通量指派是將兩交通區間的交通旅次分配到運輸系統的路網上的作業程序，主要的交通量指派方法可歸納為下列四種，如下圖所示：

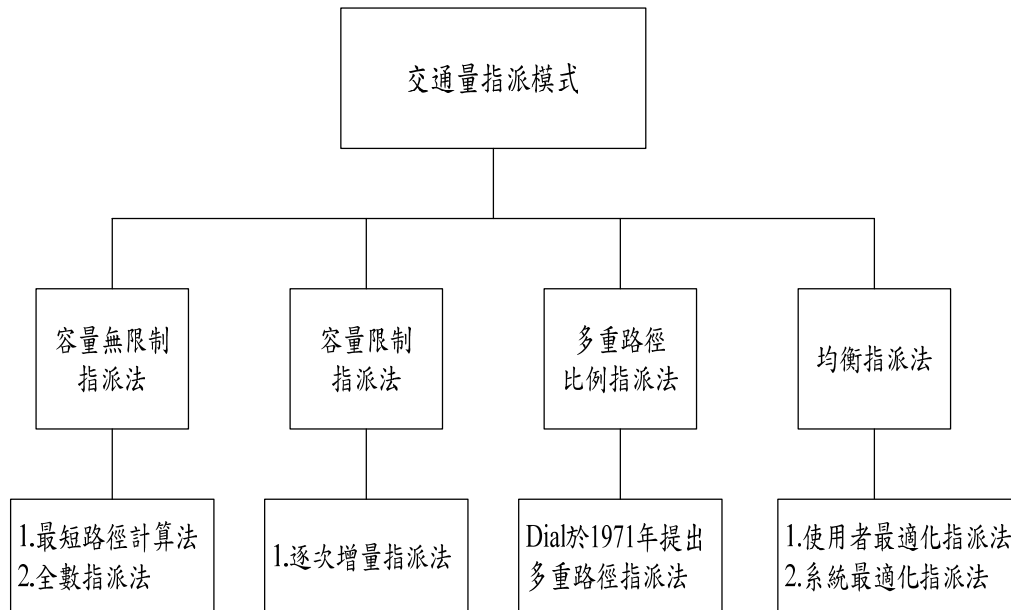


圖 3.8 交通量指派方法之歸納圖

交通量指派方法選用方面，由於本研究主要是探討在大規模災害發生後，路網結構之變化，故選用較為簡單的逐次增量指派法。逐次增量指派法的優點在於，當路段呈現擁擠時，後來之車輛會轉入其他路段，此與實際情況較為符合，且比較穩定。

## 3. 逐次增量指派法

逐次增量指派法主要基於道路交通流特性，當交通流量增大時，行車速率隨之減小，行駛時間延長，所能通過的車輛亦隨之減少。因此交通量指派的結果應力求使路網上各路段之車輛，均能在均一速率條件下行駛，

逐次增量指派法即依此平衡狀態進行交通量指派。逐步增量指派法之操作流程如圖3.9所示，其求解步驟如下所示：

1. 將所有車旅次分成 $n$ 分。
2. 求路網中零流量之旅行時間矩陣。
3. 求路網中各節點之最小成本路徑。
4. 以全數指派法指派 $1/n$ 旅次量。
5. 以旅行時間和流量之函數關係，重新計算各路段之旅行時間。
6. 求第二次路網中各節點之最小成本路徑。
7. 再以 $1/n$ 旅次量加入做全數指派法指派。
8. 持續做到第 $n$ 次指派完為止。

在逐次增量指派的方法中，每次指派之總車旅次需求百分比，並不一定需要採用固定比率，如果分為十次指派，每次可以 $1/10$ 旅次量進行指派，亦可以採用不同之比例進行指派。起初指派時，因路段之行駛時間，隨流量與容量比值的調整較不敏感，所以初次的指派比例可加以調高，然後逐步減少指派比例，亦即路段之行車時間，隨著交通量的增加，敏感度愈高，指派的比例須愈來愈小。在逐步指派的增量愈小（即指派次數愈多），路網指派的結果愈佳。因為較大的增量，接近全數指派法，可能使某些路段之流量負荷過大，但若增量小，造成指派的次數增加，所需的電腦運算時間加長，故應依據實際情況及經驗加以抉擇。

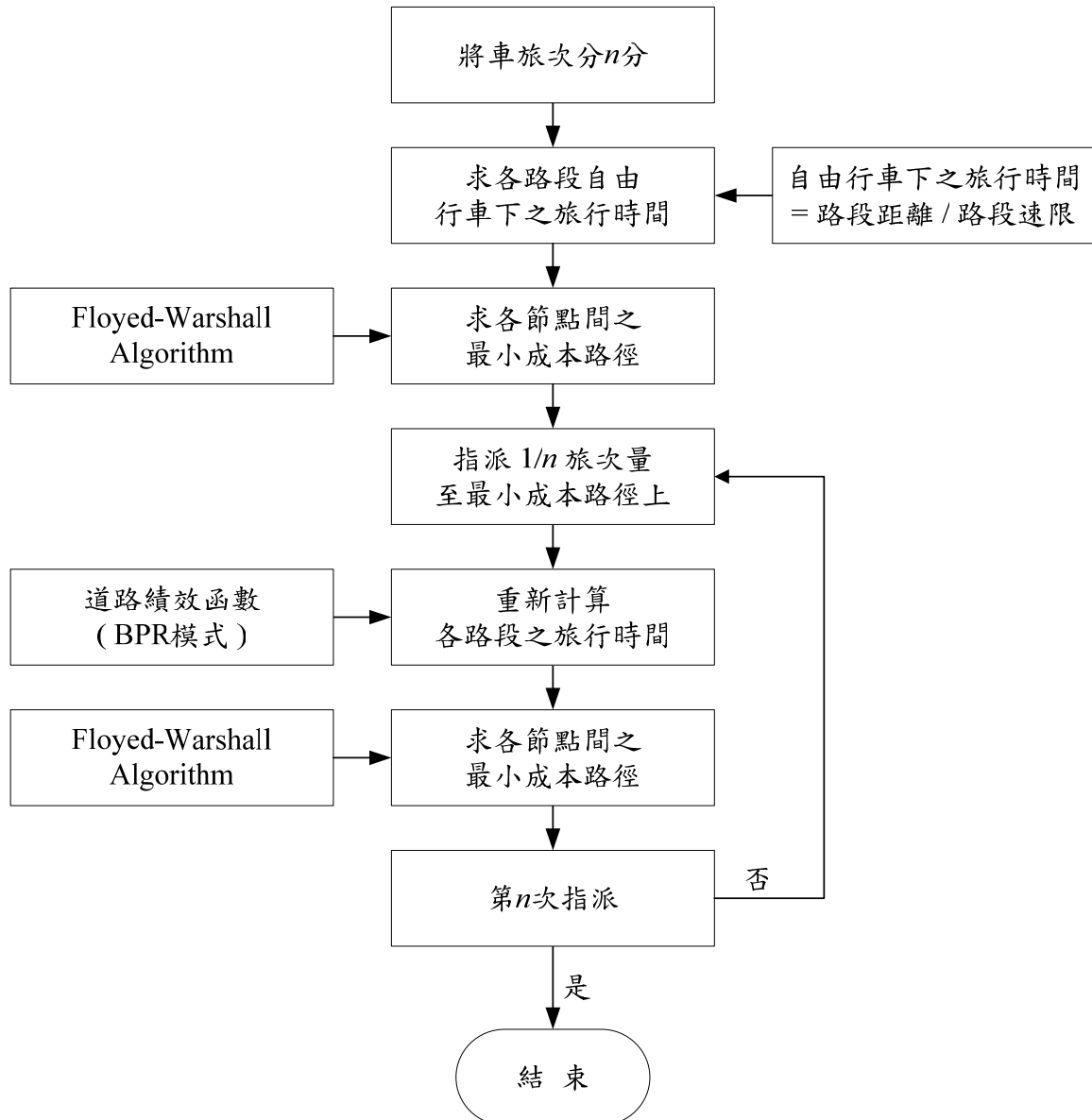


圖 3.9 逐次增量指派法之操作流程圖

#### 4. 道路績效函數 (Performance Function)

在於描述車輛在各種交通及道路狀況下，運行所可能發生的績效，如旅行時間。由於道路績效函數可決定一路網中各路段上每單位時間流量與平均速度之關係，所以若要反應道路擁擠狀況對行車之影響，則必須使用道路績效函數以進行分析工作。因為道路績效函數可決定一路網中各路段上每單位時間流量與平均速度之關係，而此種關係為將流量指派到各路段時容量的限制，因此又稱為路段容量函數 (Link Capacity Function)。本研究係採用國內與美國最常採用之BPR模式進行運算，故以下對BPR模式進行說明。

利用BPR模式所求得之路段容量函數，概念上常將旅行時間分為兩部分，一為車輛於路段之平均行駛時間，另一為車輛在路口處於等候車隊中所花費之平均旅行時間。此方法所求得之路段容量函數複雜度較高，不只

是流量－旅行時間關係，故運用於交通量指派模式時，必須化費較多的運算時間。此外，BPR模式需輸入較多的路網特性資料。因此其優點在於輸入路網特性變數，使其更具一般化型態與行為基礎。BPR模式如下所示：

$$T = t_f \left[ 1 + \alpha \left( \frac{V}{C} \right)^\beta \right]$$

式中，T：路段旅行時間

$t_f$ ：自由行車下之旅行時間

V：路段之流量

C：路段之容量

$\alpha$ 、 $\beta$ ：參數，本研究採用 $\alpha = 0.777$ ， $\beta = 1.897$

## 5. Floyed-Warshall Algorithm

Floyed-Warshall Algorithm 主要是用來處理路網上任意兩點之最短路徑。在作逐次增量指派時，每一次增量指派都需要知道任意兩點之最短路徑，以將交通量指派到任意兩點間之最短路徑上。

Floyed-Warshall Algorithm 是利用矩陣算出 all-to-all 最短路徑演算法。其操作流程如圖 3.10 所示，演算步驟如下：

Step 1：定義  $d_0$  與  $P_0$  的初始值。若  $\text{arc}(i,j)$  屬於 A 集合中，則  $d_0$  矩陣中的元素  $d_{ij}$  等於  $(i,j)$  所給於的值，否則  $d_0 = \infty$ ，而  $P_0$  矩陣中的元素皆等於  $i$ 。令  $k=1$ 。

Step 2：根據下列運算式計算  $D^k$  的元素  $d_k(i,j)$

$$d_k(i,j) = \min \left[ d_{k-1}(i,j), d_{k-1}(i,k) + d_{k-1}(k,j) \right]$$

Step 3：根據下列運算式計算  $P^k$  的元素  $P_k(i,j)$

$$P_k(i,j) = \begin{cases} P_{k-1}(k,j) & , \quad d_k(i,j) \neq d_{k-1}(i,j) \\ P_{k-1}(i,j) & , \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

Step 4：當  $k = n$  時，停止運算，否則令  $k = k+1$ ，然後回到 step 2。

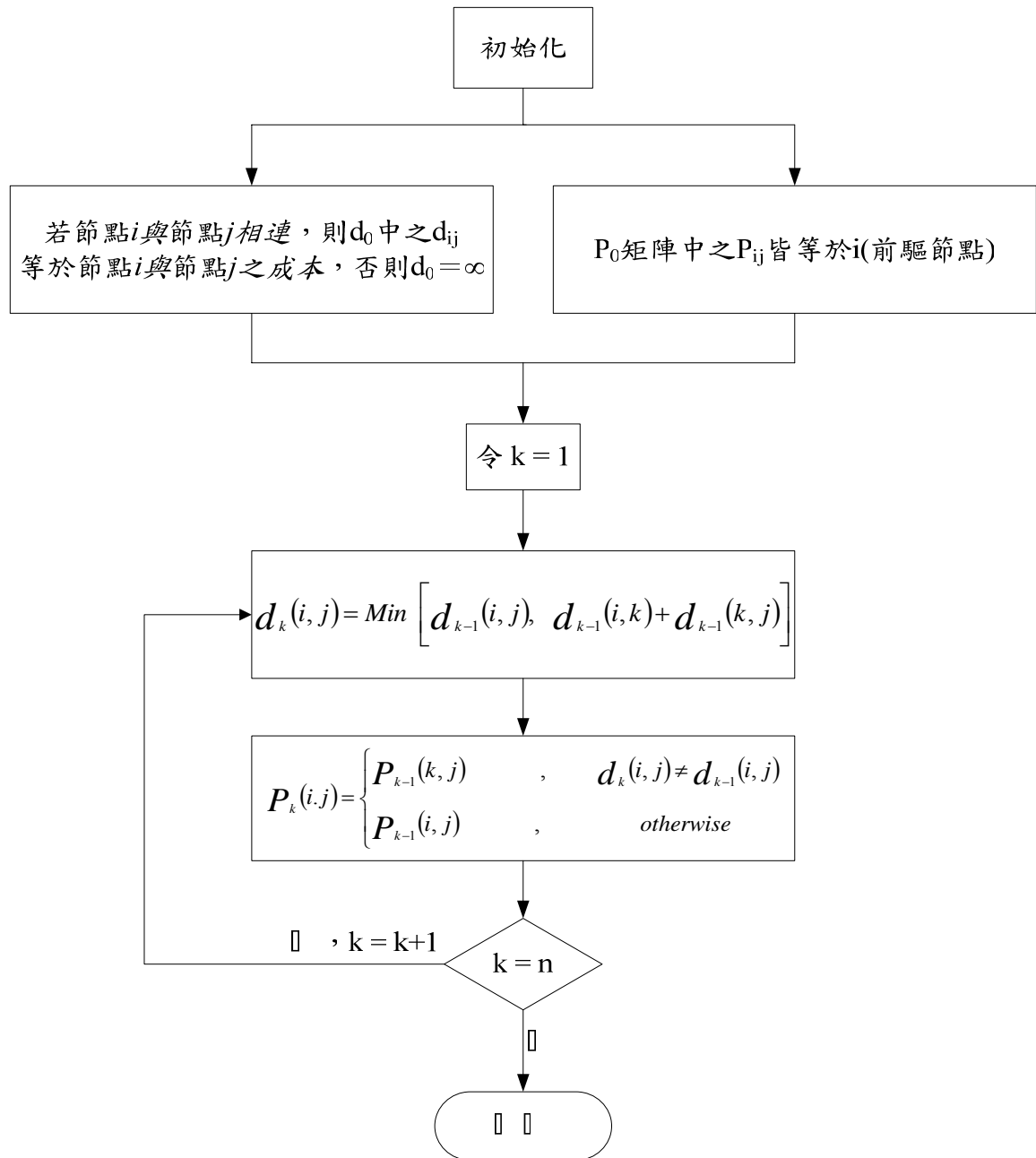


圖 3.10 Floyd-Warshall Algorithm 之操作流程圖

### 3.4 救援車輛最短路徑問題

#### 3.4.1 救援車輛最短路徑問題說明

救災首重迅速，原則上在救災網路的規劃應以單點往返式服務為主，避免巡迴服務的網路。因此，在路網的設計上，通常是救援物資提供地點（supply node）至集結點（depot），集結點至災區（救援物資運送），以及災區至醫療院所（傷患後送）之最短路線問題（Shortest path problem, SPP）為主。其數學式如下【21】：

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{if } i = s \\ 0 & \text{for all } i \in N - \{s, t\} \\ -1 & \text{if } i = t \end{cases} \quad (2)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad \text{for } (i, j) \in A \quad (3)$$

其中， $A$  為本網路所有節線的集合， $N$  表本網路所有節線的集合， $(i, j) \in A$  代表屬於  $A$  集合之節線  $(i, j)$ ， $j: (i, j) \in A$  代表屬於  $A$  集合之節線  $(i, j)$  的節點  $j$ 。(1)式的目的求解總距離或總時間成本最小化。(2)式是流量守恆限制式，皆令起點淨流量(該節點流出量減去流入量)為 1、迄點淨流量為-1，其他節點淨流量為 0，主要目的係將一個單位的人或物由起點送至迄點。

本研究之「救援車輛最短路徑問題」，其求解方法係利用  $K$  條最短路徑演算法加以求解。利用  $K$  條最短路徑演算法求解之原因，是由於路網受到災害的破壞，其路段連通性具有相當之不確定性，故在求解時先給定之路徑模糊連接可靠度要求水準，再利用  $K$  條最短路徑演算法結合模糊數得分排序法，找出符合水準值以上之救援路徑。

### 3.4.2 救援車輛最短路徑問題模式

救援車輛最短路徑問題需依據相鄰各節點之旅行成本矩陣，來求解起迄點間之最短路徑。因此需要用到非災民災後交通量指派預測模式最終所得到之各路段旅行時間結果，來建構相鄰各節點的旅行成本矩陣。

另外，本研究將各路段之模糊連接可靠度假設為三角函數，依照路段的損壞程度劃分為五個等級，分別為「很差」、「差」、「普通」、「好」及「很好」等。其隸屬函數如下所示，隸屬函數圖如圖 3.11 所示【21】：

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 - \frac{|x - c|}{\delta} & c - \delta \leq x \leq c + \delta \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases}$$

$i = \text{很差, 差, 普通, 好, 很好}$

其中， $c$  為中心值， $\delta$  為展度。

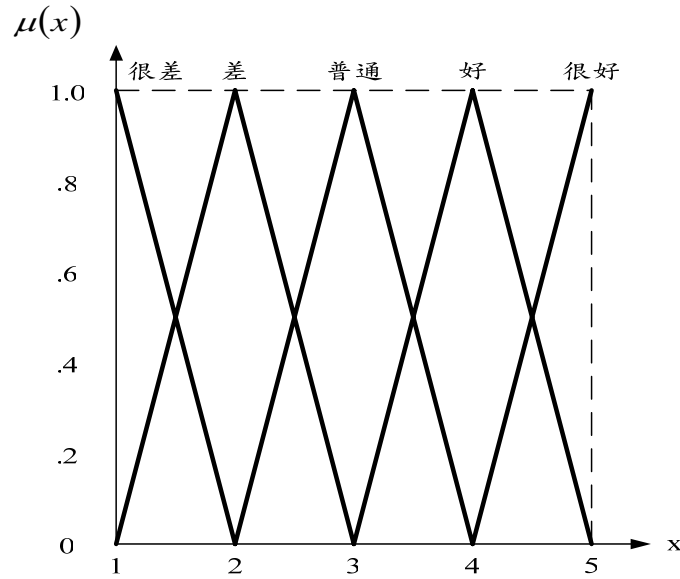


圖 3.11 路段模糊連接可靠度之隸屬函數圖

救援車輛最短路徑模式主要是考量路徑模糊連接可靠度在一定要求水準上，求取旅行成本最小之救災路徑，其目標式為旅行成本最小，限制式為路徑的模糊連接可靠度需大決策者所要求之等級。

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{j:(i,j) \in A} x_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{if } i = s \\ 0 & \text{for all } i \in N - \{s, t\} \\ -1 & \text{if } i = t \end{cases} \quad (2)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad \text{for } (i, j) \in A \quad (3)$$

$$\tilde{p}_R \geq \tilde{R} \quad (4)$$

其中，(1)、(2) 及 (3) 之定義與前面相同；(4) 為規劃救援路徑之路徑模糊連接可靠度需大於決策者所要求規劃救援路徑模糊連接可靠度之水準。依照路段損壞等級的劃分，若決策者要求規劃救災路徑模糊連接可靠度之水準為『好』，則為模糊數 (0.2, 0.7, 0.2) 的 n 次方，n 為路徑中路段的個數；若決策者要求規劃救災路徑模糊連接可靠度之水準為『普通』，則為模糊數 (0.2, 0.5, 0.2) 的 n 次方。

救援車輛最短路徑問題之求解，在判斷是否繼續找第 k+1 條最短路徑時的限制條件為，若找到之第 k 條最短路徑其路徑模糊連接可靠度小於決策者所要求之水準，則繼續找第 k+1 條最短路徑；反之，若找到之第 k 條最短路徑其路徑模糊連接可靠度大於或等於決策者所要求之水準，則輸出其結果。救援車輛最短路徑問題之求解流程如圖 3.12 所示。

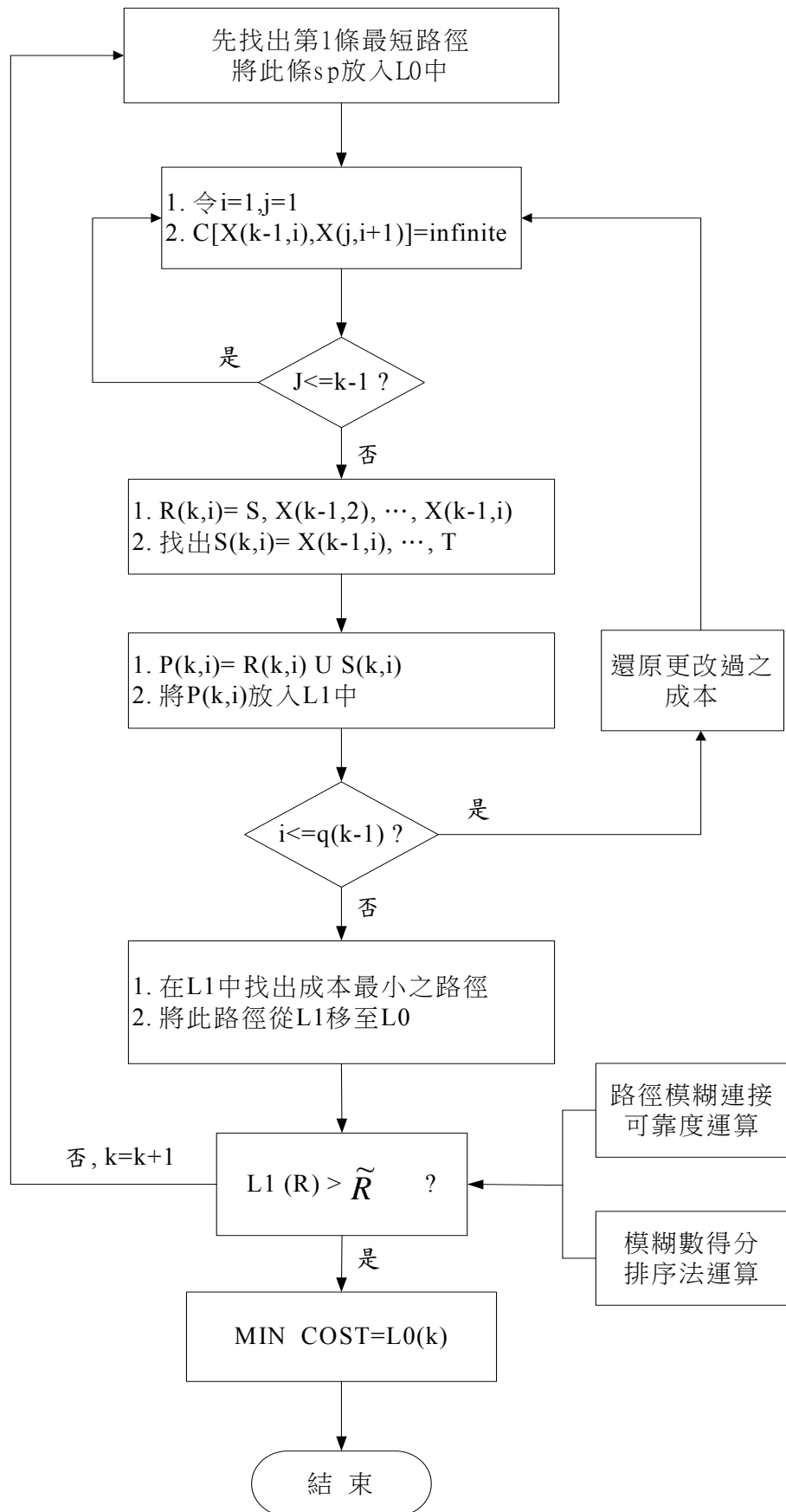


圖 3.12 救援車輛最短路徑問題之求解流程圖

### 3.4.3 救援車輛最短路徑問題求解方法

#### 1. K條最短路徑演算法 (The Kth Shortest Path, KSP)

##### (1) K條最短路徑演算法敘述：

在實際交通的應用上最短路徑卻會因許多外部問題而無法達到最佳化，例如緊急事故時造成路線中斷、戰爭中軍資運送的路線遭到破壞或者當大多數用路人都選擇最短路徑而使其造成壅塞等等，因此 k 條最短路徑問題便因應而生。K 條最短路徑演算法主要是在產生成本略多於最短路徑的次佳路徑，此次佳路徑可以是第二條、第三條或第 k 條最短路徑，以提供用路人更多的選擇，並將所求出之次佳路徑依成本大小排列。YEN 於 1971 年提出找尋第 k 條最短路徑之方法，因此 K 條最短路徑演算法也逐漸被引用至各項研究和系統中。在緊急救援及疏散時，亦可以藉由 K 條路徑演算法來讓救難人員迅速到達救援地點，或者降低分散人群疏散時所造成某些路段的擁擠車流現象。

在求解第 k 條最短路徑的方法中，本研究採用最常見的 Yen's Algorithm，這個方法的基本概念是：第二條最短路徑與第一條最短路徑有部分相同，因此第二條最短路徑必須經由第一條最短路徑來尋找，而第三條最短路徑則必須經由第一條最短路徑與第 k-1 條最短路徑來尋找，依此程序而找出第 k 條最短路徑。

其中令  $P(k) = S, X(k, 2), \dots, X(k, q_k), T$ ，代表 S 到 T 的最短路徑； $X(k, 2), X(k, 3), \dots, X(k, q_k)$  為此路徑的第二點、第三點、...，第 q 點； $P(k, i)$  表示一條路徑，此路徑從 S 到第 i 點與  $P(k-1)$  相同，而從第 i 點分離出來先前所產生的任何第 (i+1) 點不同的點，此指先前所產生的，意即  $P(j)$  ( $j=1, 2, \dots, k-1$ )； $P(k, i)$  經過一條子路徑後終究抵達 T，此子路徑不包含  $S, X(k-1, 2), X(k-1, 3), \dots, X(k-1, i)$ ，而此子路徑稱為  $P(k, i)$  的根 (root)，以  $R(k, i)$  表示；令一部分  $x(k-1, i), X(k-1, i+1), \dots, T$ ，則稱為  $P(k, i)$  的枝，以  $S(k, i)$  表示。

將已選取之第 1, ..., k-1 條最短路徑放入  $L_0$  集合中，利用  $L_0$  集合可再找出新的次佳路徑，並連同之前產生且尚未選取之舊的次佳路徑致入  $L_1$  集合，再由  $L_1$  集合中挑選最短路徑，重複執行，即可產生第 k 條最短路徑。

YEN 之 K 條最短路徑演算法如下所示：

##### 【起始】

Step 1：找到  $P(1)$ ，令  $k=2$ ，將  $P(1)$  致入  $L_0$  集合。假設找到第 k-1 條最短路徑，根據  $P(k-1)$  找到所有分離路徑。

Step 2：對所有  $i=1, 2, 3, \dots, q(k-1)$  執行 Step 3~6 以找出  $P(k-1)$  的所有所有分離路徑。

##### 【求解所有分離路徑】

不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式

Step 3：檢查由  $P(k-1)$  的第  $i$  點所成的子路徑是否由任何  $P(j)$  ( $j=1, 2, \dots, k-1$ ) 的前  $i$  點所組成的子路徑結合成一條，如此則令  $C[X(k-1, i), X(j, i+1)] = \infty$ ，否則不改變其成本。

Step 4：找出不經過  $S, X(k-1, 2), \dots, X(k-1, i)$  各點之最短路徑。

Step 5：將  $R(k, i)$  ( $\equiv S, X(k-1, 2), \dots, X(k-1, i)$ ) 和  $S(k, i)$  結合成  $P(k, i)$  並放入  $L1$  集合中

Step 6：將在 Step 3 中之成本陣列還原，回到 Step 3。

【選出最短的分離路徑】

Step 7：由  $L1$  集合中找出最短路徑，此路徑即為  $P(k)$ ，將其置入  $L0$  集合，並從  $L1$  集合中清除此路徑。繼續  $k = k+1$ ，若  $k > K$  則停止，否則回到 Step 2。如果  $L1$  集合中有  $n$  ( $n > 1$ ) 條相同的最短路徑，則任選一條放到  $L0$  集合中。

(2)  $K$  條最短路徑演算法流程：

$K$  條最短路徑演算法之求解流程如圖 3.13 所示。

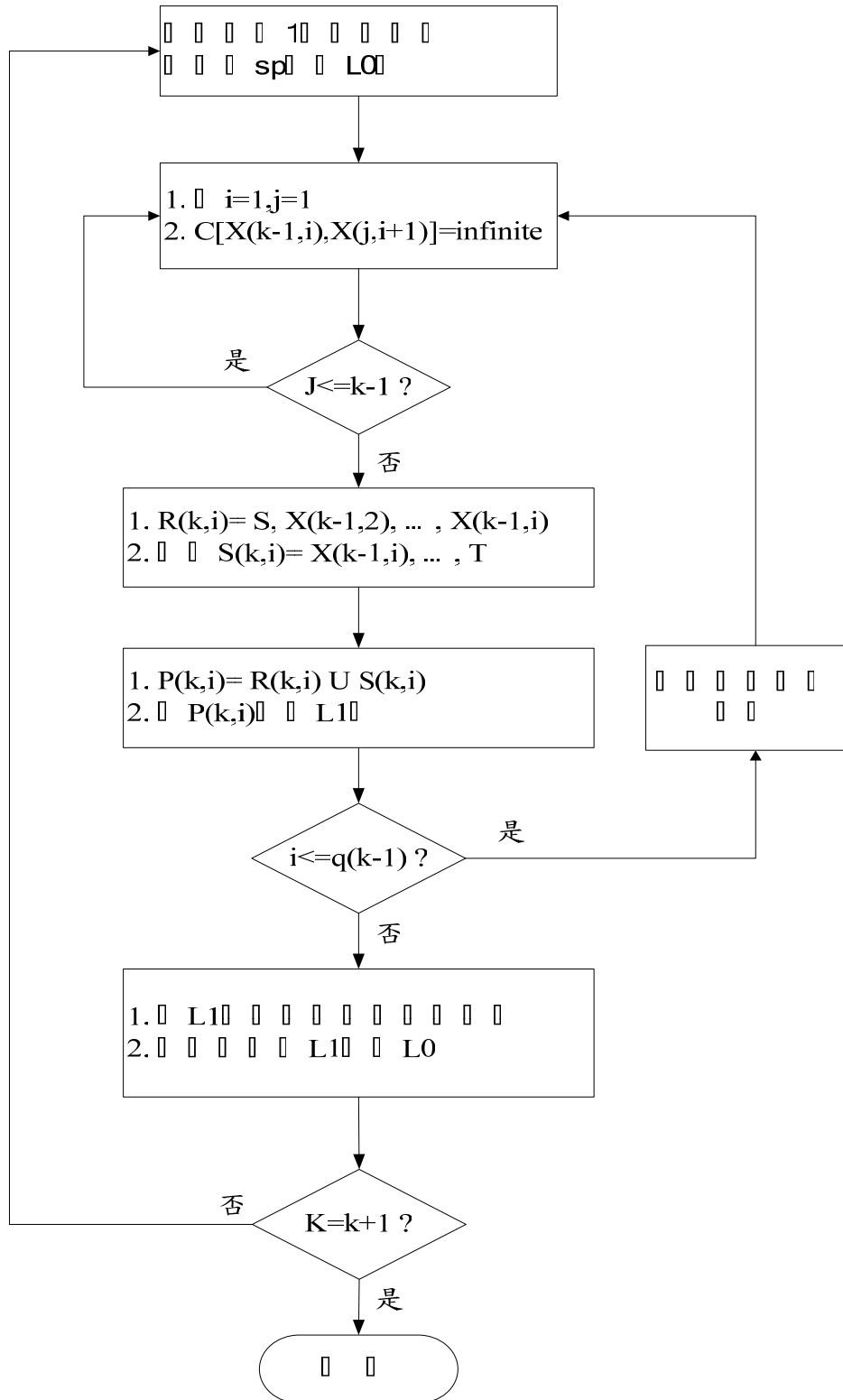


圖3.13 Yen's Algorithm演算法流程圖

## 2. 標記設定法 (Label Setting Algorithm)

Label Setting Algorithm 主要是用來處理路網上兩點間之最短路徑。在 Yen's Algorithm 中，須特別注意的是以此演算法進行求解 K 條最短路徑

時，在每一段的路徑求解時，仍必須搭配使用最短路徑演算法才能進行運算。因此，最短路徑演算法的效率將仍會是一重要的因素。

在計算的時間複雜度上 Label setting Algorithm 為  $O(n^2)$ ，比 Floyd-Warshall Algorithm 的  $O(n^3)$  為佳，因此 Label setting Algorithm 和 Label correcting Algorithm 常被應用在  $K$  條最短路徑和依時性最短路徑的計算上【7】。

Label Setting Algorithm 的演算法中最具代表性的就是 Dijkstra's Algorithm。這個方法的基本概念是給節點暫時標號，這個標號表示由起點  $S$  到此節點路徑之長度上限，這些標號將隨著重複之演算步驟而增大，而且每個循環將有暫時性標號被轉換成永久性標號。而永久性標號代表起點  $S$  到該節點之最短路徑。

其演算法流程如下：令  $L(X_i)$  為  $X_i$  的標號

【起始】

Step 1：令起點  $S$  為永久標號， $L(S) = 0$ ，且所有不等於  $S$  之  $X_i$  設為暫時標號， $L(X_i) = \infty$ ，令  $P = S$ ， $\Gamma(P)$  為點  $P$  以一個節點相連之所有點集合。

【改變標號】

Step 2：對所有  $\Gamma(P)$  且為暫時標號之  $X_i$ ，更新標號值：

$$L(X_i) = \min [L(X_i), L(P) + C(P, X_i)]$$

Step 3：於所有暫時性標號中找出  $L(X_i') = \min [L(X_i)]$  及  $X_i'$

Step 4：定  $X_i'$  的標號為永久性且令  $P = X_i'$

Step 5：(1) (若只找  $S$  到  $T$  之最短路徑)

① 如果  $P = T$ ，即為所求。

② 如果  $P \neq T$ ，則重複 step2。

(2) (若找  $S$  到所有點之最短路徑)

當所有點皆為永久標號，則該標號即為該點之最短路徑，若標號仍為暫時標號，則重複 step2。

根據上述演算法步驟，Dijkstra's Algorithm 流程圖如下所示：

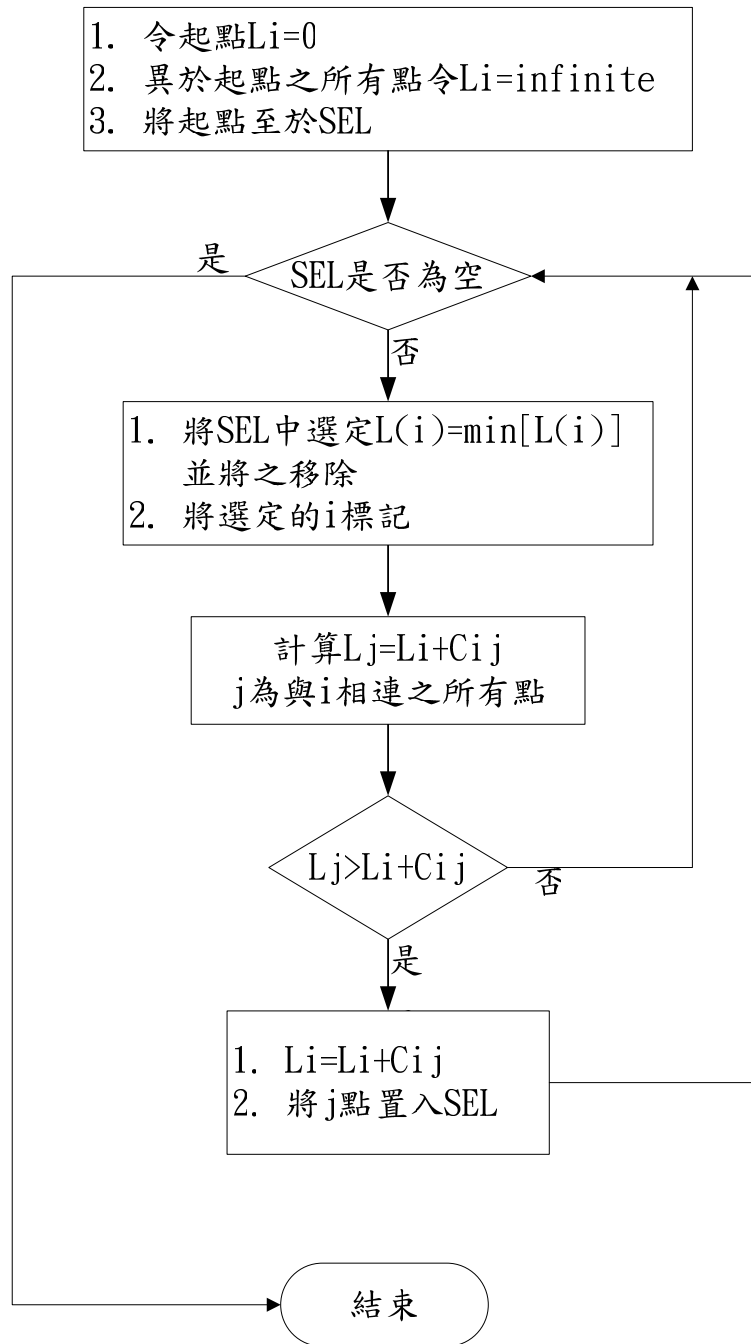


圖3.14 Dijkstra's Algorithm 流程圖

### 3. 模糊數得分排序法

在將模糊數進行排序之前，須先定義模糊最大數  $\mu_{max}(x)$  與模糊最小數  $\mu_{min}(x)$ ，其表示如下[Chen and Hwang, 1989]：

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x & , 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$

$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} 1 - x & , 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$

因此，根據模糊數  $M_1$ 、 $M_2$  與  $\mu_{\max}(x)$ 、 $\mu_{\min}(x)$ ，可求取模糊數  $M_1$ 、 $M_2$  的左評分值 (left score)  $\mu_L(1)$ 、 $\mu_L(2)$  與右評分值 (right score)  $\mu_R(1)$ 、 $\mu_R(2)$ ，其表示如下：

$$\mu_L(i) = \sup_x \min[\mu_{\min}(x), \mu_{M_i}(x)] \quad for \ i = 1, 2$$

$$\mu_R(i) = \sup_x \min[\mu_{\max}(x), \mu_{M_i}(x)]$$

此時， $\mu_L(1)$ 、 $\mu_L(2)$ 、 $\mu_R(1)$  及  $\mu_R(2)$  這四個值為唯一且明確之數值，此數值並介於  $[0, 1]$  之間。有關左評分值與右評分值之關係，詳如圖 3.2 所示。Cheng and Hwang (1989) 建議將左評分值與右評分值這兩個評分值加以平均，即可得到模糊數  $M_1$ 、 $M_2$  的總評分值 (total score)，分別表示為  $\mu_T(1)$  及  $\mu_T(2)$ ，其表示如下：

$$\mu_T(i) = \frac{[\mu_R(i) + 1 - \mu_L(i)]}{2}$$

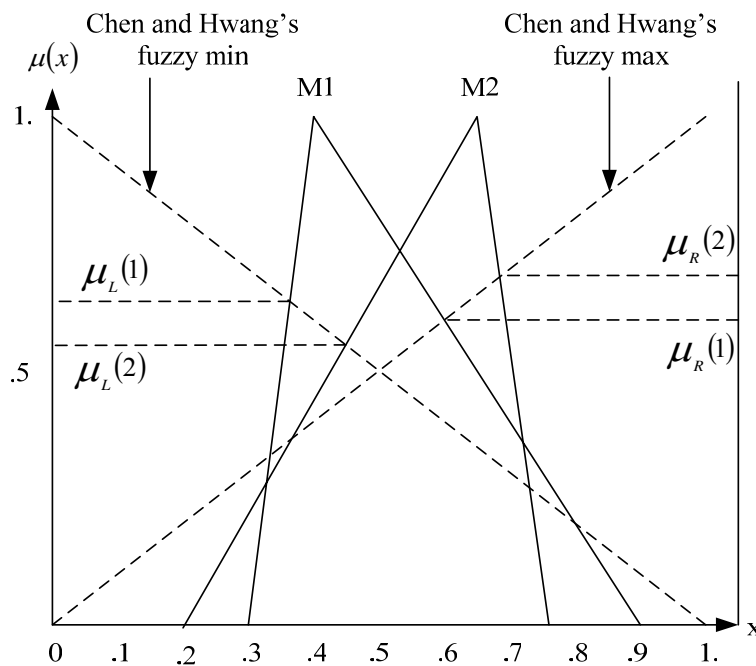


圖3.15 左評分值與右評分值之關係圖

## 第四章 模式測試與分析

本章節將探討如何將本研究之不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式，應用於當災害發生後，求解最佳規劃救援路線，包括模式之參數設定及其運算動作。此外，本研究以遺傳演算法作為求解架構，並結合最短路徑演算法及 K 條路徑演算法，以 FORTRAN 程式語言自行撰寫執行程式，作為本研究求取符合問題假設之多個目標下之最佳權衡解工具。

### 4.1 簡例說明

假設一路網由 50 個節點和 85 條路段所構成，如圖 4.1 所示，圖中節點 1 為出發點；節點 50 為救援點。

各路段之道路容量之假設，本研究假設兩種道路容量型態，一為道路容量較大之路段，其道路容量為 3500 pcu/hr；另一種為道路容量較小之路段，其道路容量為 2500 pcu/hr。

各路段之模糊連接可靠度之假設，係以距離災害發生點越近，則其路段模糊連接可靠度中心值越低及左右展度越大為原則下，假設各路段之模糊連接可靠度。

各路段在自由行車下之旅行時間，本研究係假設自由行車下之行車速度為 60 km/hr，因此根據路段的長度，以路段長度除以自由行車下之行車速度，即可求出各路段在自由行車下之旅行時間。

表 4.1 為路網之基本資料假設，包括各路段之道路容量、各路段之模糊連接可靠度解模糊化後之路段明確連接可靠度值，及各路段在自由行車下之旅行時間。

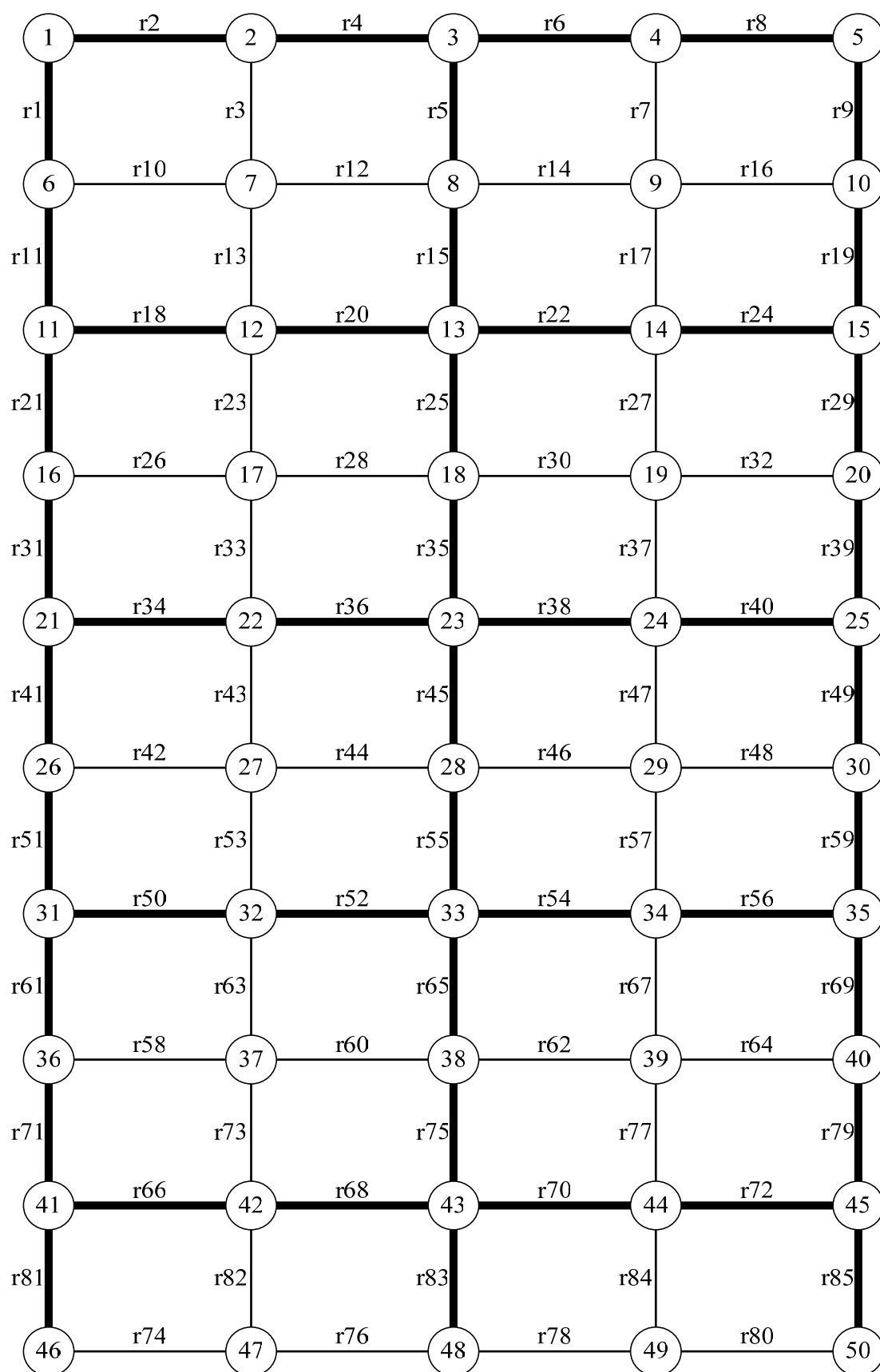


圖 4.1 簡例之路網結構

表 4.1 路網資料

| 編號  | 容量   | 解模     | 自由旅行時間(m) | 編號   | 容量   | 解模     | 自由旅行時間(m) |
|-----|------|--------|-----------|------|------|--------|-----------|
| r1  | 3500 | 0.8586 | 7.6       | r44  | 2500 | 0.5573 | 3.9       |
| r2  | 3500 | 0.9276 | 6.7       | r45  | 3500 | 0.7137 | 9.2       |
| r3  | 2500 | 0.9665 | 8.9       | r46  | 2500 | 0.6759 | 5.8       |
| r4  | 3500 | 0.9027 | 2.2       | r47  | 2500 | 0.6559 | 5.4       |
| r5  | 3500 | 0.8288 | 5.5       | r48  | 2500 | 0.6798 | 5.1       |
| r6  | 3500 | 0.8308 | 9.8       | r49  | 3500 | 0.5553 | 1.2       |
| r7  | 2500 | 0.7793 | 4.8       | r50  | 3500 | 0.6761 | 3.6       |
| r8  | 3500 | 0.8888 | 2.8       | r51  | 3500 | 0.7669 | 8.8       |
| r9  | 3500 | 0.8851 | 7.7       | r52  | 3500 | 0.5458 | 9.8       |
| r10 | 2500 | 0.8734 | 4.0       | r53  | 2500 | 0.7598 | 8.1       |
| r11 | 3500 | 0.8604 | 5.6       | r54  | 3500 | 0.5252 | 7.8       |
| r12 | 2500 | 0.8377 | 2.4       | r55  | 3500 | 0.7671 | 1.9       |
| r13 | 2500 | 0.8473 | 3.4       | r56  | 3500 | 0.6296 | 6.7       |
| r14 | 2500 | 0.9128 | 2.5       | r57  | 2500 | 0.5230 | 7.4       |
| r15 | 3500 | 0.9047 | 1.5       | r58  | 2500 | 0.8143 | 7.1       |
| r16 | 2500 | 0.8245 | 8.7       | r59  | 3500 | 0.6105 | 3.6       |
| r17 | 2500 | 0.8162 | 2.0       | r60  | 2500 | 0.6193 | 5.0       |
| r18 | 3500 | 0.9525 | 9.0       | r61  | 3500 | 0.1541 | 8.4       |
| r19 | 3500 | 0.8405 | 3.4       | r62  | 2500 | 0.7316 | 7.2       |
| r20 | 3500 | 0.9317 | 8.3       | r63  | 2500 | 0.9035 | 3.3       |
| r21 | 3500 | 0.8598 | 1.2       | r64  | 2500 | 0.5813 | 3.8       |
| r22 | 3500 | 0.9387 | 3.3       | r65  | 3500 | 0.4451 | 8.7       |
| r23 | 2500 | 0.8051 | 4.3       | r66  | 3500 | 0.2827 | 4.2       |
| r24 | 3500 | 0.9525 | 1.2       | r67  | 2500 | 0.2314 | 6.5       |
| r25 | 3500 | 0.8424 | 5.8       | r68  | 3500 | 0.5378 | 1.5       |
| r26 | 2500 | 0.9078 | 7.5       | r69  | 3500 | 0.8348 | 1.5       |
| r27 | 2500 | 0.9185 | 6.7       | r70  | 3500 | 0.6782 | 2.4       |
| r28 | 2500 | 0.9276 | 3.9       | r 71 | 3500 | 0.1929 | 6.3       |
| r29 | 3500 | 0.7711 | 6.2       | r72  | 3500 | 0.1944 | 2.2       |
| r30 | 2500 | 0.8506 | 4.6       | r73  | 2500 | 0.4705 | 3.7       |
| r31 | 3500 | 0.8956 | 4.1       | r74  | 2500 | 0.8336 | 2.8       |
| r32 | 2500 | 0.8783 | 4.5       | r75  | 3500 | 0.6220 | 3.7       |
| r33 | 2500 | 0.9277 | 4.4       | r76  | 2500 | 0.2587 | 6.7       |

表 4.1 (續) 路網資料

| 編號  | 容量   | 解模     | 自由旅行時間(m) | 編號  | 容量   | 解模     | 自由旅行時間(m) |
|-----|------|--------|-----------|-----|------|--------|-----------|
| r34 | 3500 | 0.9054 | 9.4       | r77 | 2500 | 0.5492 | 3.3       |
| r35 | 3500 | 0.8922 | 2.3       | r78 | 2500 | 0.5101 | 6.8       |
| r36 | 3500 | 0.8169 | 3.0       | r79 | 3500 | 0.6935 | 2.8       |
| r37 | 2500 | 0.8766 | 5.9       | r80 | 2500 | 0.3839 | 6.3       |
| r38 | 3500 | 0.8672 | 4.5       | r81 | 3500 | 0.2343 | 7.8       |
| r39 | 3500 | 0.9054 | 9.4       | r82 | 2500 | 0.8527 | 7.1       |
| r40 | 3500 | 0.8434 | 8.0       | r83 | 3500 | 0.5552 | 5.1       |
| r41 | 3500 | 0.5372 | 6.1       | r84 | 2500 | 0.5408 | 2.0       |
| r42 | 2500 | 0.7836 | 1.5       | r85 | 3500 | 0.2072 | 4.3       |
| r43 | 2500 | 0.7647 | 7.2       | —   | —    | —      | —         |

#### 4.1.1 目標函數值

本研究模式之目標函數是由三項目標所組成，並以線性調整（Linear scaling）方式進行目標含數值之計算，即將各群體中的染色體之目標函數值差異，以線性關係擴大。在進行目標含數值計算前，先將三項目標之值做正規化（normalization）的處理，以凸顯染色體間之差距，再利用處理後的值作為判斷的標準。正規化處理作法如下所示：

$$R_{ij} = \frac{i \text{ 目標中第 } j \text{ 條染色體之目標值} - i \text{ 目標中所有染色體之最小目標值}}{i \text{ 目標中所有染色體之最大目標值} - i \text{ 目標中所有染色體之最小目標值}}$$

其中， $R_{ij}$  介於[0,1]之間，為第  $j$  條染色體在第  $i$  個目標之正規化數值。

目標含數之線性調整（Linear scaling）方式如下所示：

$$OBJ = (0.6 \times T) + (0.1 \times P) + (0.1 \times I_1) + (0.2 \times I_2)$$

其中， $OBJ$ ：為目標函數值，其值介於[0,1]之間；

$T$ ：為規劃救援路線之成本；

$P$ ：為實施交通管制所需警力；

$I_1$ ：「各起迄對因為實施交通管制後無法到達目的地之旅次」；

$I_2$ ：「各起迄對因為實施交通管制後所增加之旅行成本」

由於救災首重迅速，因此，救援路線成本目標相較於其他目標，對於救災決策者為最優先考量之因素，故其權重值為最高。而為了避免對非災民之正常作息過度干擾，故其權重值為次高。而在大規模災害後，政府必須極盡所能來搶救災民，故所需交管警力與其他目標相較下，其重要性較

小，故其權重值為最小。然各目標之權重值可因當時情況，作一調整，使其更符合實際救災所需。當各目標之權重值改變時，其所求解出之結果亦有所不同。

## 4.2 求解結果

利用整合模式求解時，須先定義遺傳演算法中交配率及突變率之參數值。本研究參考馮正民與邱裕鈞（民 93）一書，交配率設為 0.7~0.9，突變率設為 0.01~0.03。在這九種參數組合中，找出求解結果最佳之參數組合，並將最佳求解結果做一探討。表 4.2 為參數組合之求解結果比較表。根據表 1 所示，當交配率 0.8 與突變率 0.01 時，可求解出最佳解。

表 4.2 不同參數組合之求解結果比較表

| 參數名稱 |      | 求解結果    | 順序 |
|------|------|---------|----|
| 交配率  | 突變率  | 目標函數值   |    |
| 0.7  | 0.01 | 0.01648 | 3  |
| 0.7  | 0.02 | 0.01648 | 3  |
| 0.7  | 0.03 | 0.01563 | 2  |
| 0.8  | 0.01 | 0.01554 | 1  |
| 0.8  | 0.02 | 0.01675 | 5  |
| 0.8  | 0.03 | 0.01563 | 2  |
| 0.9  | 0.01 | 0.01741 | 6  |
| 0.9  | 0.02 | 0.01792 | 7  |
| 0.9  | 0.03 | 0.01651 | 4  |

模式求解輸出結果為交管路段與規劃救援路線。茲將不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式之最佳求解結果，詳述如下：

### 1. 救災路徑旅行時間

規劃救援路線之成本為 49.5233 分鐘，如圖 4.2 所示。規劃救援路線為：節點 1→節點 2→節點 3→節點 8→節點 9→節點 14→節點 15→節點 20→節點 25→節點 30→節點 35→節點 40→節點 45→節點 50，其相關位置如圖 4.5 所示。

### 2. 交通管制警力

需要實施交管路段為路段 4、路段 5、路段 14、路段 17、路段 24、路段 29、路段 49、路段 59 及路段 69 等，共 9 條路段，其相關位置如圖 4.5 所示。所需交管警力為 18 位，如圖 4.3 所示。

### 3. 非災民干擾程度

各起迄對 在實施交管後無法到達目的地之旅次為 0，即所有旅次皆能到達其目的地，如圖 4.4(a)所示。各起迄對因實施交管後所增加之旅行成本總共為 418.81 車小時，如圖 4.4(b)所示。

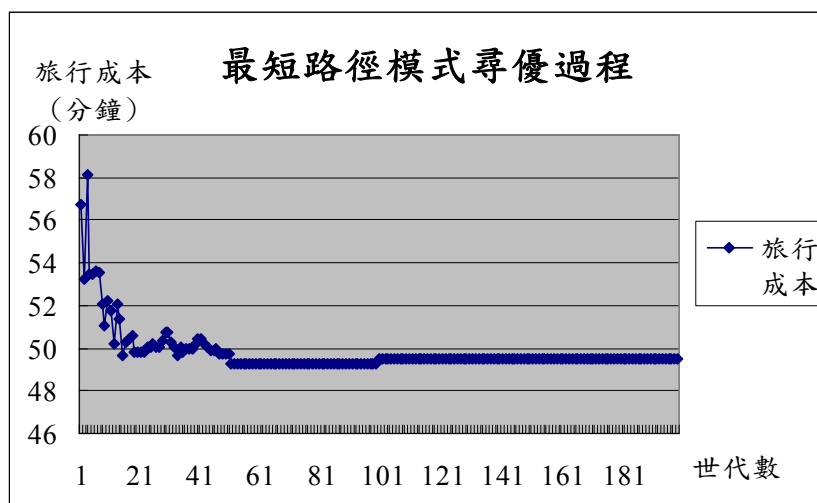


圖 4.2 救援車輛最短路徑模式尋優過程圖

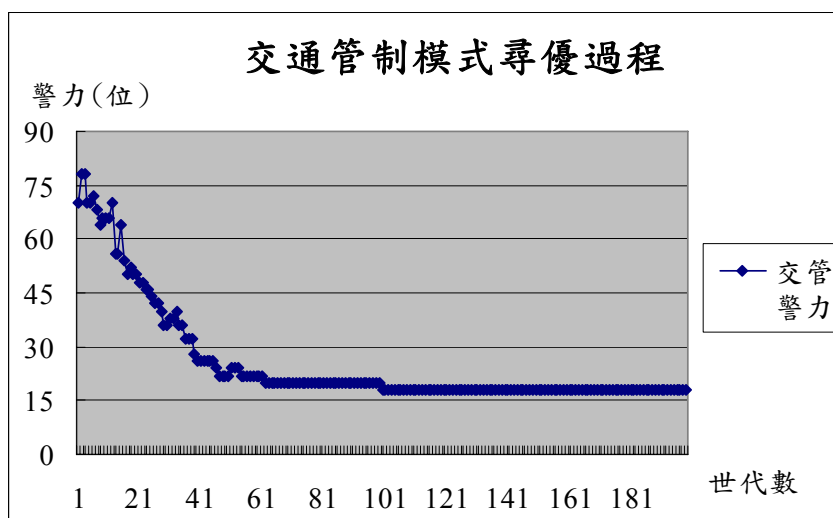


圖 4.3 交通管制模式尋優過程圖

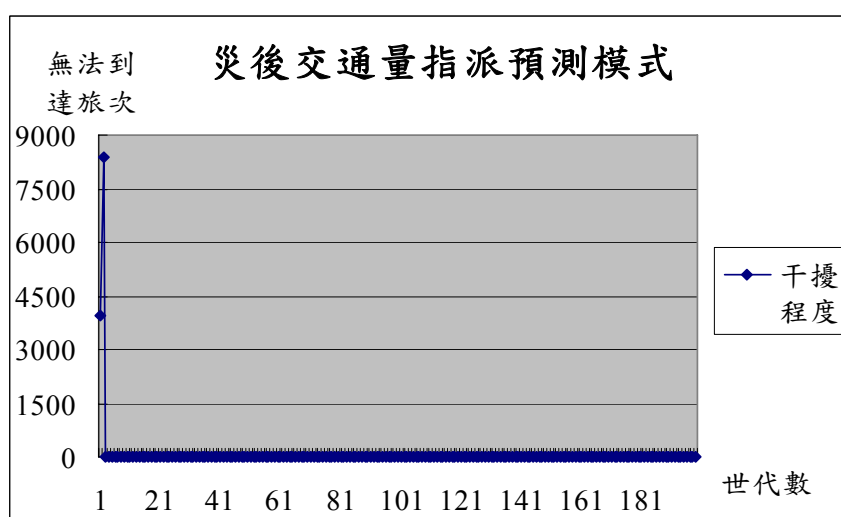


圖 4.4(a) 非災民災後交通量指派預測模式尋優過程圖

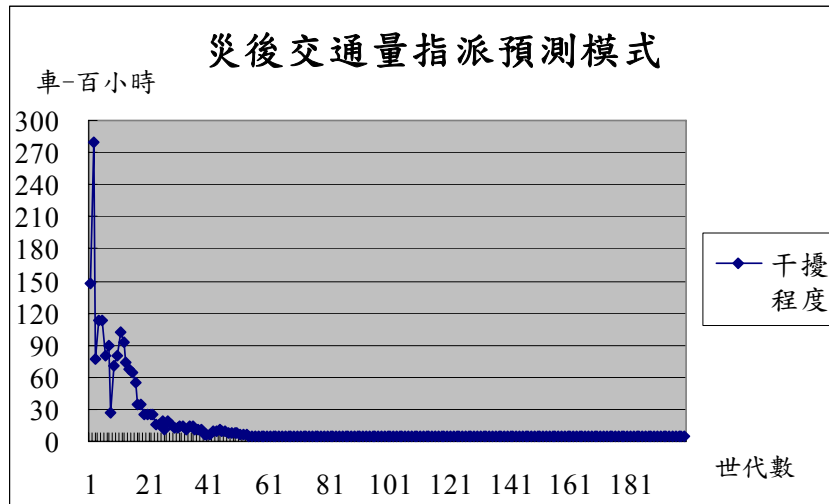


圖 4.4(b) 非災民災後交通量指派預測模式尋優過程圖

表 4.3 整合模式求解結果

| 模式績效     | 整合模式求解結果   |
|----------|--|
| 管制路段     | 路段 4、路段 5、路段 14、路段 17、路段 24、路段 29、路段 49、路段 59、路段 69                            |
| 規劃救援路線   | 節點 1→節點 2→節點 3→節點 8→節點 9→節點 14→節點 15→節點 20→節點 25→節點 30→節點 35→節點 40→節點 45→節點 50 |
| 管制路段數    | 共 9 條路段  |
| 交管人力     | 18 位   |
| 非災民干擾程度  | 418.81 車小時   |
| 規劃救援路線成本 | 49.5233 分鐘   |
| 目標函數值    | 0.0155   |

表 4.4 為是否實施交通管制之規劃救援路線與規劃救援路線之成本比較表。根據表 4.4 可得知，實施交通管制措施，其規劃救援路線旅行時間明顯比不實施交通管制小很多。因此，可證明於震災發生後，欲使救援車輛及物資在第一時間到達災區，實施交通管制措施有其必要性。

表 4.4 實施交管與否比較表

| 交管決策           | 結果  |
|----------------|---|
| 不實施交管之規劃救援路線   | 節點 1→節點 2→節點 3→節點 8→節點 13→節點 18→節點 23→節點 24→節點 25→節點 30→節點 35→節點 40→節點 45→節點 50 |
| 不實施交管之規劃救援路線成本 | 110.4699 分鐘   |
| 實施交管之規劃救援路線    | 節點 1→節點 2→節點 3→節點 8→節點 9→節點 14→節點 15→節點 20→節點 25→節點 30→節點 35→節點 40→節點 45→節點 50  |
| 實施交管之規劃救援路線成本  | 49.5233 分鐘  |

圖 4.5 為實施交管路段與規劃救援路線示意圖。由圖 4.5 可得知，實施交通管制之路段皆在規劃救援路線上。且根據求解過程得知，實施交通管制路段不宜過多，因為若交管路段過多，會讓非災民受到許多的干擾，而使得目標函數變大。

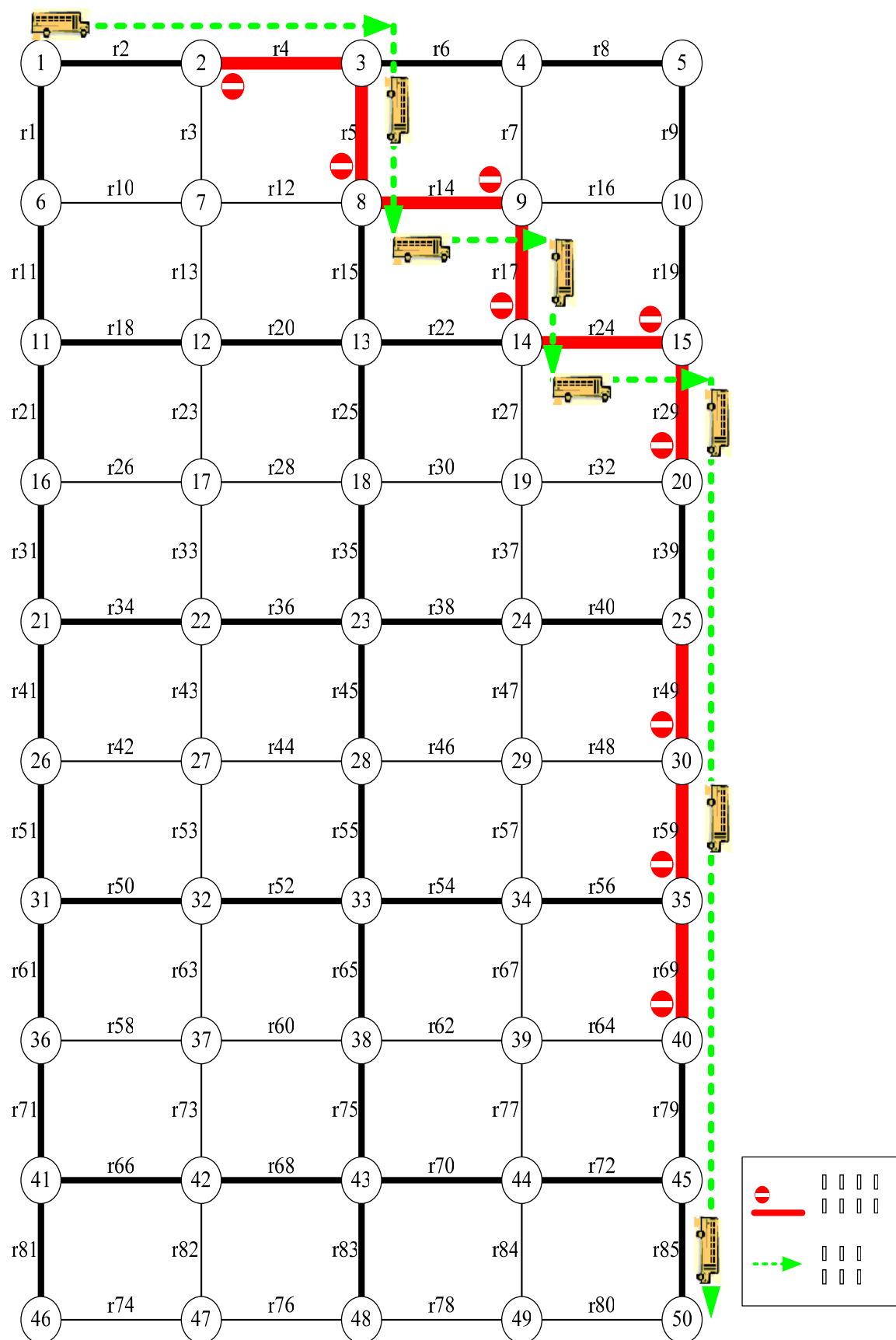


圖 4.5 實施交管路段與規劃救援路線示意圖

此外，本研究進一步將救災行動依地震發生時間，區分為兩個時期，不同的時期擬定不同的交通管制策略。

第一時期為地震發生至緊急救援行動結束，災區路網於此期間內，對於部分路段實施交通管制，除救災車輛外，一律不得進入災區，以免妨礙救災之進行。此時期可利用本研究之模式，進行規劃救援路線之求解。

第二時期為緊急救援行動結束至重建完成，此時期由於經過前一時期之緊急動員，災情已逐漸趨於穩定，此時期主要任務為搶救尚未脫困之民眾與運送救援物資，由於災情大致底定，因此交通可完全開放，災區不需再實施交通管制措施。此時期可利用本研究之災後交通量指派預測模式及最短路徑模式，進行規劃救援路線之求解。

地震救災主要時期之界定如圖 4.6 所示。

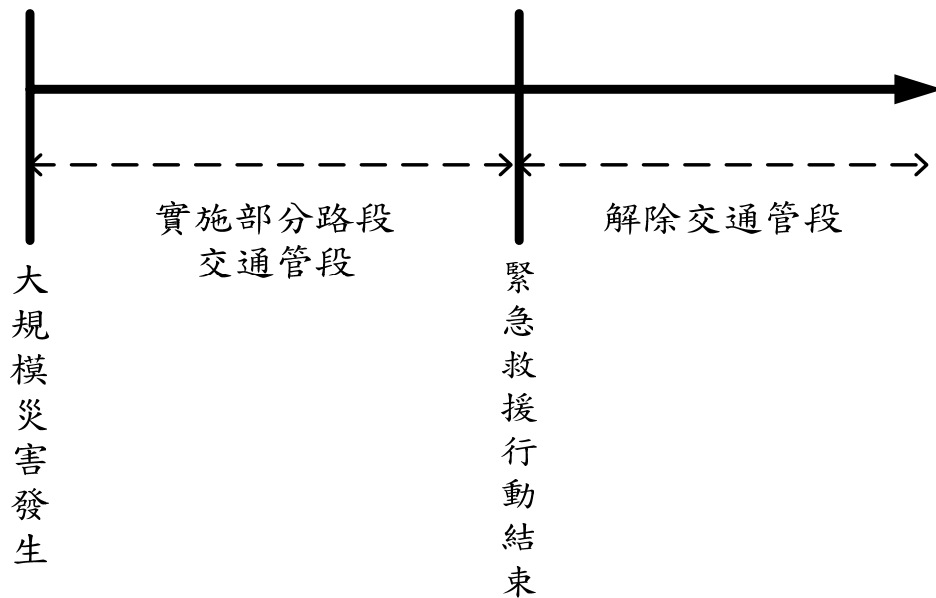


圖 4.6 地震救災時程圖

圖 4.7 為兩時期之規劃救援路線示意圖。第一時期之規劃救援路線需搭配部分路段實施交通管制；第二時期之規劃救援路線為解除交通管制措施。

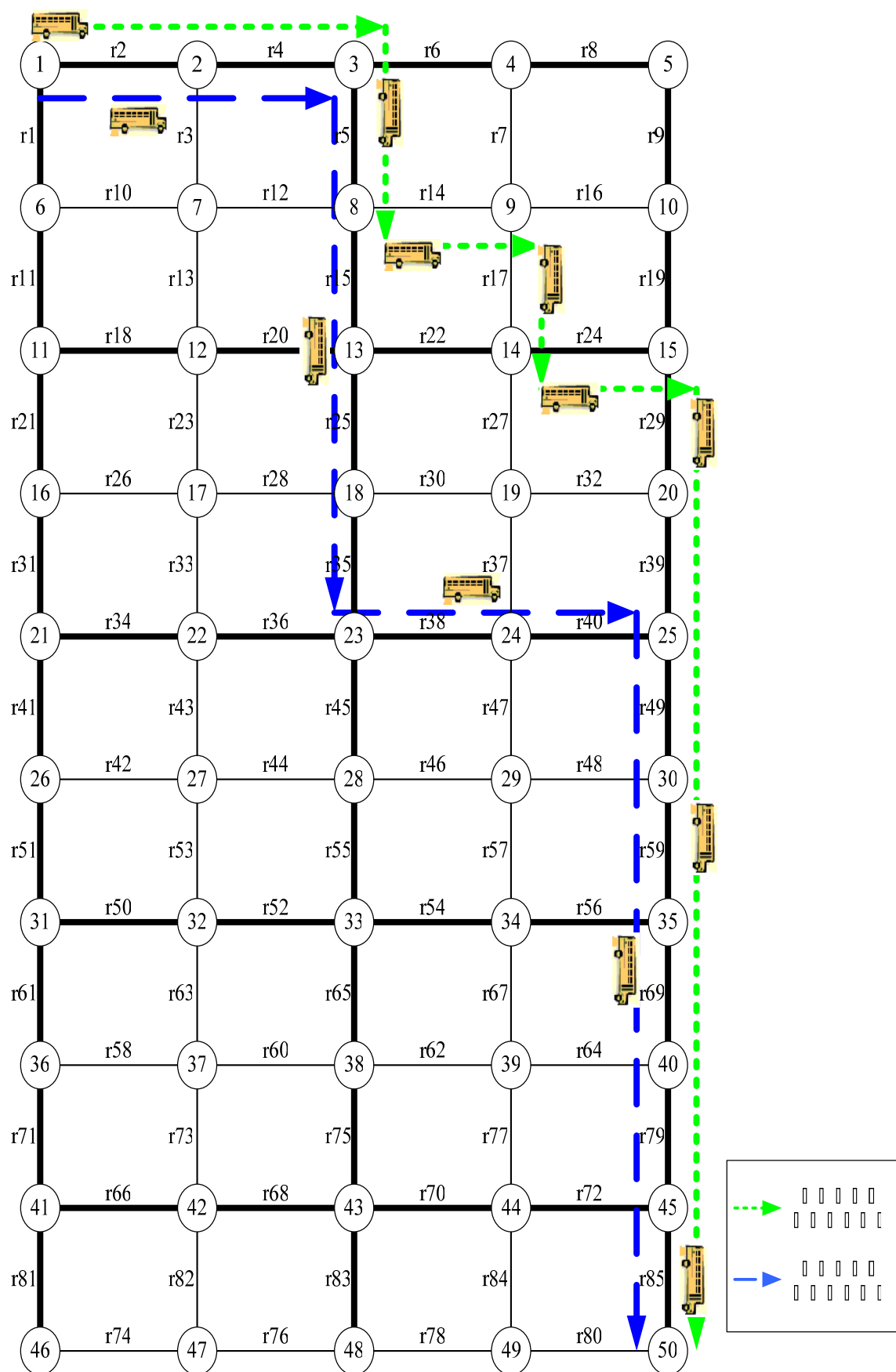


圖 4.7 救災前後期之救災路徑示意圖

### 4.3 模式比較分析

為了進一步瞭解本研究模式求解結果之有效性，故將設計三種策略進行結果比較，此三種策略分別為：策略一、不實施交通管制，即不進行任何路段之交通管制，僅依據災後非災民交通量指派結果，選擇最短救災路徑。策略二、選擇性實施交通管制，即利用本文所構建模式，求解最佳交管路段。策略三、全線實施交通管制，即在救災路徑全線每一路段均實施交通管制，但其他路段均不加以管制。茲將各情境之求解結果敘述如下：

策略一：『災區不實施交通管制』

當災區不實施交通管制時，如表 4.5 所示。當災區不實施交通管制時，其所需交通管制路段數為 0 條、所需交管警力為 0 位。規劃救援路線之成本為 110.4699 分鐘，非災民干擾程度為 0 車小時。透過線性調整，所計算出之目標函數值為 0.1856。

策略二：『災區實施部分路段交通管制』

當災區實施部分路段交通管制時，如表 4.5 所示。當災區實施部分路段交通管制時，其所需交通管制路段數為 9 條、所需交管警力為 18 位。規劃救援路線之成本為 49.5233 分鐘，非災民干擾程度為 418.81 車小時。透過線性調整，所計算出之目標函數值為 0.0155。

策略三：『規劃救援路線實施全線交通管制』

當規劃救援路線實施全線交通管制時，如表 4.5 所示。當規劃救援路線實施全線交通管制時，其所需交通管制路段數為 13 條、所需交管警力為 26 位。規劃救援路線之成本為 49.1000 分鐘，非災民干擾程度為 432.00 車小時。透過線性調整，所計算出之目標函數值為 0.0190。

求解結果如表 4.5 所示。由表知，以救援到達時間而言，以策略三最佳，僅需 49.10 分鐘，其次為策略二，也僅需 49.52 分鐘，但策略一因未實施交管，救援到達時間則高達 110.47 分鐘。三種策略雖然救援路徑總長相差不大，但策略三之救援到達時間卻高達一倍以上，顯示交通管制之重要性。另就對非災民之干擾程度及交管警力需求而言，由於策略一不實施交管，故不會造成非災民之干擾，也不需要交管警力。策略三因全線均實施交管，故造成之非災民旅行時間增加及所需交管警力最大，分別為 432.00 車小時以及 26 位警力。其次為策略二，其造成之非災民旅行時間增加及所需交管警力分別為 418.81 車小時以及 18 位警力。雖然策略二相較於策略三，其對非災民旅行時間增加之減少僅 3.05%，但警力需求卻可大幅降低 30.77%。顯示在採用本模式所構建之策略二，可選擇有效路段加以管制，而對救災車輛通行不致造成太大影響的路段，則不實施管制，以減輕警力負荷。另外，值得注意的是，即便之實施交通管制之策略一及策略二，也都不會導致部份起迄對旅次無法通達之情況。最後，以總目標而言，以策略二最佳，其適合度值為 64.52，其次為策略三，其適合度值為 52.63。表現最差之策略為策略一，其適合度值僅 5.39。因此，透過三種策略之求解結果比較，可知本研究模式其有效性相當高，可提供給救災決策者在

不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式

規劃救援路線時當作參考依據。

表 4.5 三種策略之簡例測試績效

| 模式績效               | 策略一                    | 策略二                   | 策略三                   |
|--------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 救援到達時間<br>(救援路線長度) | 110.47 分鐘<br>(54.3 公里) | 49.52 分鐘<br>(49.1 公里) | 49.10 分鐘<br>(49.1 公里) |
| 非災民增加旅行時間          | 0.00 車小時               | 418.81 車小時            | 432.00 車小時            |
| 非災民不通達旅次數          | 0 旅次                   | 0 旅次                  | 0 旅次                  |
| 交管人力<br>(管制路段數)    | 0 位<br>(0 條路段)         | 18 位<br>(9 條路段)       | 26 位<br>(13 條路段)      |
| 適合度值<br>(目標函數值)    | 5.39<br>(0.1856)       | 64.52<br>(0.0155)     | 52.63<br>(0.0190)     |

## 第五章 實例應用與分析

### 5.1 案例說明

在 921 地震後，政府與民間均投入大量的人力及物力，極力搶救災區。故當各種救援物資及救援車輛大量進出災區時，由於道路損壞阻斷且沒有明確的替代道路資訊及指引系統，再加上救難人員對災區路況不熟，以致於各地湧入的人員及車輛迷失或受困於災區路段中，不但會損失寶貴的搶救時間，進而影響救災之效率，同時也會造成各路段擁擠嚴重，降低道路的運送功能及延誤搶救之時效。

以往在進行救援路徑指派或決定最短路徑時，往往只考慮起迄點間之最短距離或起迄點間之最短旅行時間。其中，最短旅行時間的決定通常是以路段的速限當作平均旅行速率，以路段的長度除以路段的速限所得到之時間，當作路段的旅行時間，如此的作法不但簡化了路段平均旅行速率不易獲得的困難，也同時忽略了路段上交通量對旅行時間之衝擊，因此所得的結果往往與真實的情形有極大的落差。

本研究在取得各交通分區的 O-D 資料後，利用逐次增量指派法對於災害後之路網進行交通量指派，求得災區路網上各路段的旅行時間，再配合各路段之模糊連接可靠度，作為救援路線選擇的依據，所得結果較符合實際的情況。並可作為日後地震發生時，相關單位規劃救援路線之參考。

本研究所探討之案例，將參考呂獎慧（2000）一文中之 921 大地震中受損較為嚴重的南投災區，其範圍包括草屯鎮及南投市，並蒐集區域內地震前後的交通基本資料，作為本研究的實例探討分析。

案例分析範圍之西北方為台中縣市、西邊為彰化縣市、南邊為竹山、名間、東邊為國姓、埔里。本研究案例分析範圍之基本路網圖，如圖 5.1 所示。聯外主要幹道有台三線、台三甲線、台十四線、台十四乙線、台十四丁線、139 線、148 線、150 線等八條路線，如表 5.1 所示。

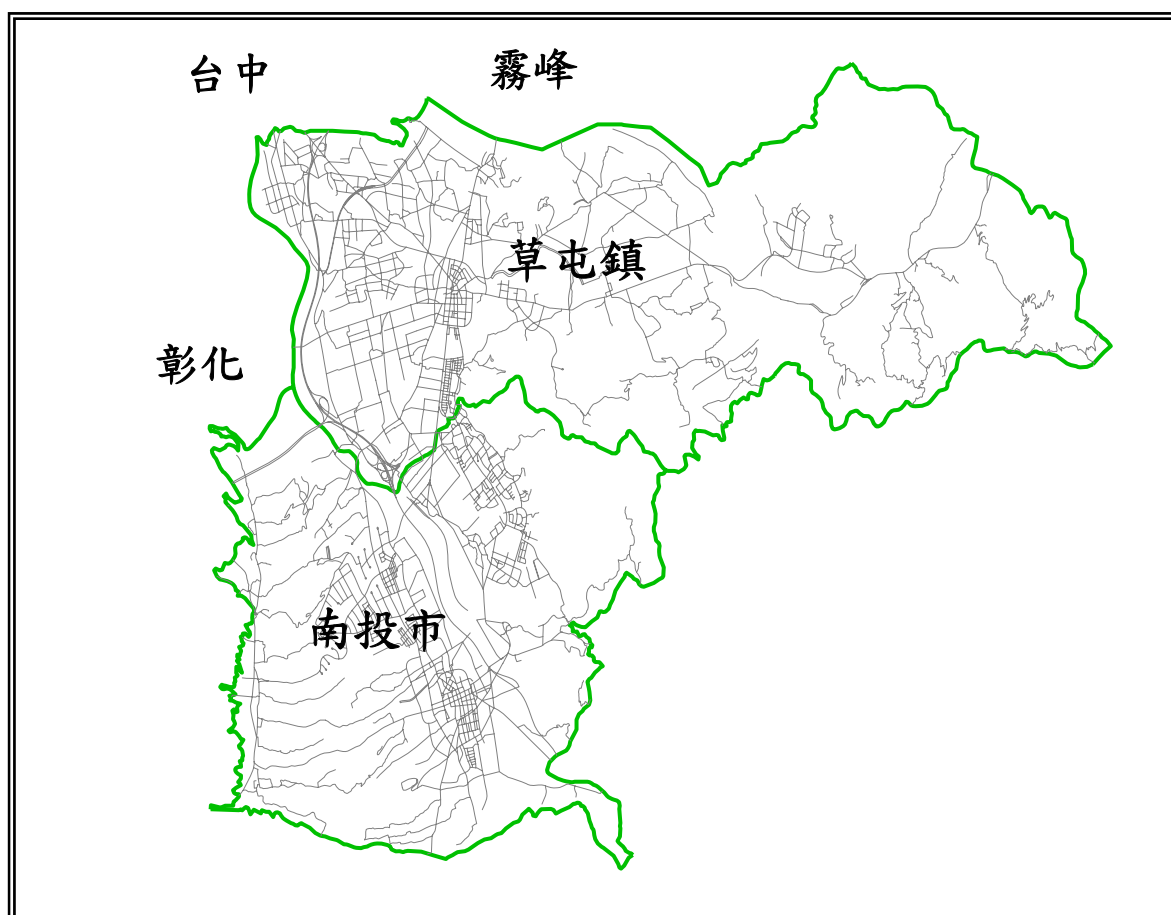


圖 5.1 實例分析範圍圖

表 5.1 案例分析範圍之主要連外幹道

| 聯外地區  | 路線名稱                 | 道路等級 |
|-------|----------------------|------|
| 草屯－霧峰 | 台三線                  | 省道   |
| 草屯－芬園 | 台十四線                 | 省道   |
| 草屯－南投 | 台三線<br>台三甲線<br>台十四乙線 | 省道   |
| 草屯－埔里 | 台十四線                 | 省道   |
| 南投－芬園 | 台十四丁線                | 省道   |
| 南投－名間 | 台三線                  | 省道   |
| 南投－員林 | 台十四乙線                | 省道   |
| 草屯－員林 | 148 線                | 縣道   |
| 南投－社頭 | 139 線                | 縣道   |
| 南投－田中 | 150 線                | 縣道   |
| 南投－中寮 | 139 線                | 縣道   |

而在案例分析之範圍內，聯絡草屯鎮及南投市之主要幹道有下列條：草溪路、南崗路、太平路、東閔路、彰南路、中華路、中正路、中興路等道路。

## 5.2 應用結果

本模式中之路段之模糊連接可靠度，主要是以 1 減去呂獎慧（2000）一文中之路段阻斷風險作為模糊連接可靠度之中心值，左右展度則以災區距離為依據，即距離災區越近，其展度越大；反之，其展度越小。而路段阻斷風險則是以建築物破壞機率、阻斷嚴重性與曝光量等三項因素作為考量之依據，其中，除建築物破壞機率不具地區性外，其餘兩項因子均會因所處之地區而產生相當程度之差異。一般而言，不論嚴重性或曝光量，市區（鬧區）均比郊區高，相對地，除非郊區路段有通過橋樑、土壤液化或環境敏感地帶外，否則，市區路段發生阻斷機率將高於郊區。

茲將案例分析範圍內之路段阻斷風險值【3】整理如表 5.2 與表 5.3 所示。

表 5.2 南投市主要道路阻斷風險值

| 南投市主要道路 | 路段阻斷機率 | 南投市主要道路 | 路段阻斷機率 |
|---------|--------|---------|--------|
| 南崗路一段   | 0.05   | 中山街     | 0.32   |
| 南崗路二段   | 0.05   | 民權路     | 0.14   |
| 南崗路三段   | 0.02   | 大同路     | 0.17   |
| 彰南路一段   | 0.22   | 建國路     | 0.1    |
| 彰南路二段   | 0.05   | 集賢路     | 0.15   |
| 民族路     | 0.17   | 三和三路    | 0.27   |
| 復興路     | 0.2    | 芳美路     | 0.05   |
| 南陽路     | 0.16   | 大庄路     | 0.13   |
| 中興路     | 0.06   | 漳南路     | 0.06   |
| 祖祠路     | 0.04   | —       | —      |

表 5.3 草屯鎮主要道路阻斷風險值

| 草屯鎮主要道路 | 路段阻斷機率 | 草屯鎮主要道路    | 路段阻斷機率 |
|---------|--------|------------|--------|
| 台三線     | 0.03   | 草溪路        | 0.11   |
| 成功路     | 0.07   | 草溪路（台 3 線） | 0.04   |
| 博愛路     | 0.06   | 芬草路（市區）    | 0.17   |
| 中興路     | 0.04   | 芬草路（郊區）    | 0.09   |
| 中正路（1）  | 0.07   | 虎山路（市區）    | 0.13   |
| 中正路（2）  | 0.13   | 虎山路（郊區）    | 0.09   |
| 中正路（3）  | 0.28   | 炎峰街        | 0.17   |
| 太平路一段   | 0.11   | 玉峰街        | 0.17   |

表 5.3 (續) 草屯鎮主要道路阻斷風險值

| 草屯鎮主要道路 | 路段阻斷機率 | 草屯鎮主要道路 | 路段阻斷機率 |
|---------|--------|---------|--------|
| 太平路二段   | 0.20   | 省府路     | 0.03   |
| 碧山路     | 0.24   | 東閩路     | 0.03   |
| 碧山南路    | 0.17   | 中華路     | 0.02   |
| 中興路     | 0.04   | —       | —      |

根據表 5.2 與表 5.3，本研究將案例分析之道路結構作一調整，其路網圖如圖 5.2 所示，其中此路網包括 55 個節點與 91 條路段。

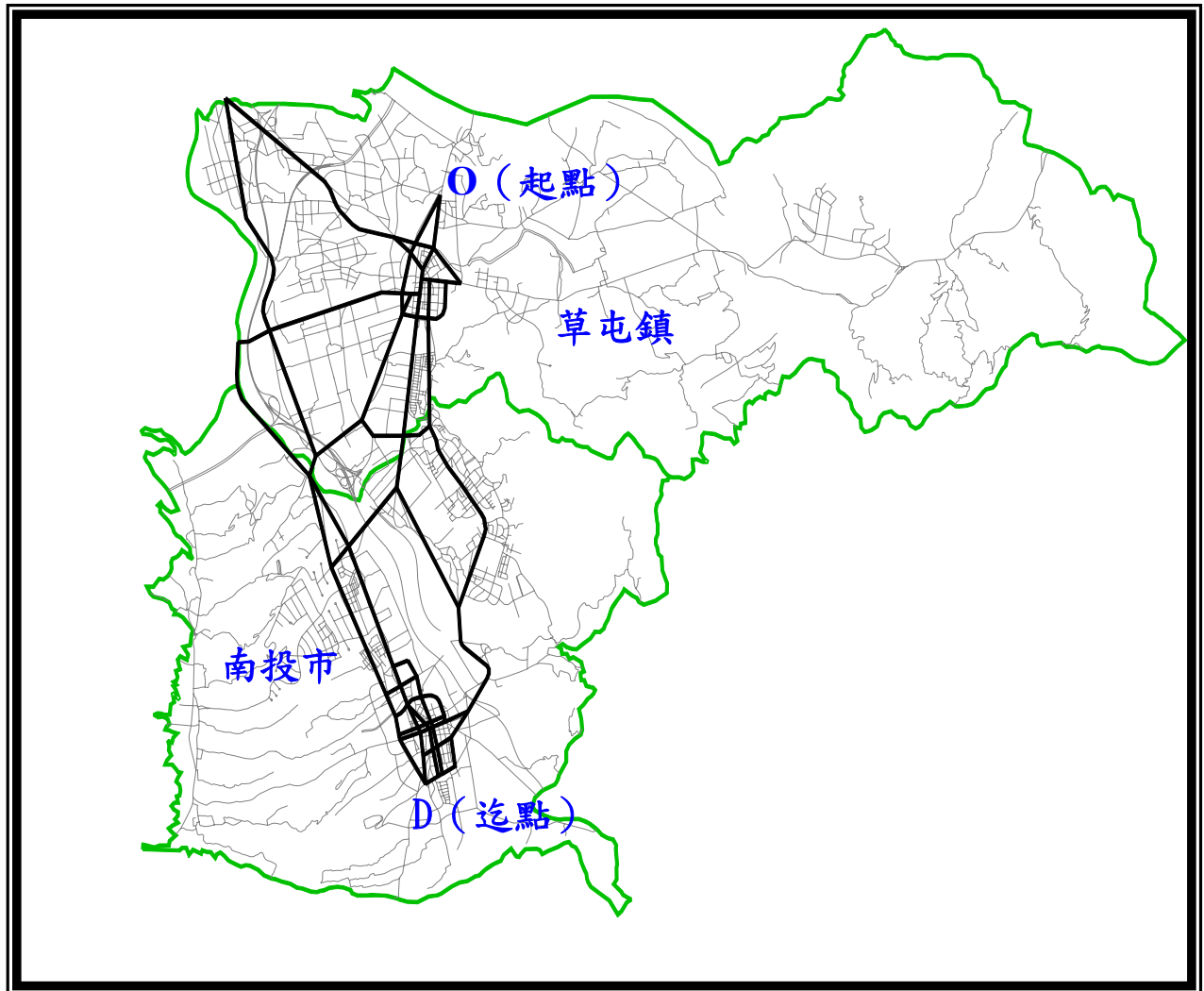


圖 5.2 實例分析路網圖

本研究之案例係假設災害發生地點位於研究範圍內之南投市（迄點），而救災車輛由台中霧峰方向走台三線進入災區進行救災。當救援車輛進入災區範圍內時（起點），即開始面臨路線選擇問題，故以本研究所提出之「不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式」，來決定最適之規劃救援路線，以作為救災車輛路線選擇參考之依據。

## 不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式

根據表 5.4 所示，有三種參數組合可求解出最佳解，分別為為：交配率 0.7 與突變率 0.02、交配率 0.8 與突變率 0.01 及交配率 0.9 與突變率 0.02 等三種組合。

表 5.4 不同交配率與突變率參數組合之求解結果

| 參數名稱 |      | 求解結果    | 順序 |
|------|------|---------|----|
| 交配率  | 突變率  | 目標函數值   |    |
| 0.7  | 0.01 | 0.02040 | 7  |
| 0.7  | 0.02 | 0.01365 | 1  |
| 0.7  | 0.03 | 0.01441 | 3  |
| 0.8  | 0.01 | 0.01365 | 1  |
| 0.8  | 0.02 | 0.01971 | 6  |
| 0.8  | 0.03 | 0.01948 | 5  |
| 0.9  | 0.01 | 0.01448 | 4  |
| 0.9  | 0.02 | 0.01365 | 1  |
| 0.9  | 0.03 | 0.01431 | 2  |

茲將不確定環境下多目標救災路徑與交通管制整合模式之求解結果，詳述如下：

### 1. 救災路徑旅行時間

規劃救援路線之成本為 7.0791 分鐘，如圖 5.3 所示。規劃救援路線如圖 5.6 所示。

### 2. 交通管制警力

需要實施交通管制路段共 11 條路段，如圖 5.6 所示。所需交管警力為 22 位，如圖 5.4 所示。

### 3. 非災民干擾程度

各起迄對因為實施交通管制後無法到達目的地之旅次為 0，即實施交通管制後，所有起迄對之旅次皆能到達其目的地，如圖 5.5(a)所示。各起迄對因為實施交通管制後所增加之旅行成本總共為 425.42 車小時，如圖 5.5(b)所示。

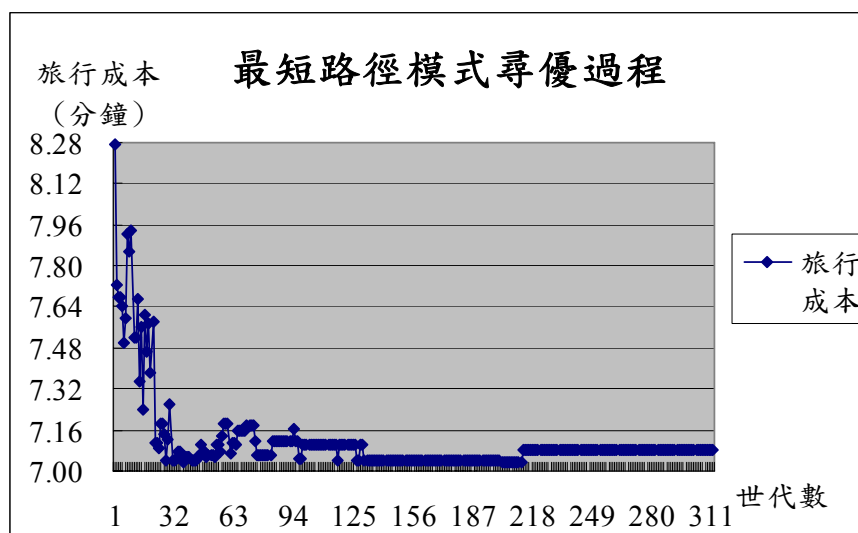


圖 5.3 最短路徑模式尋優過程圖

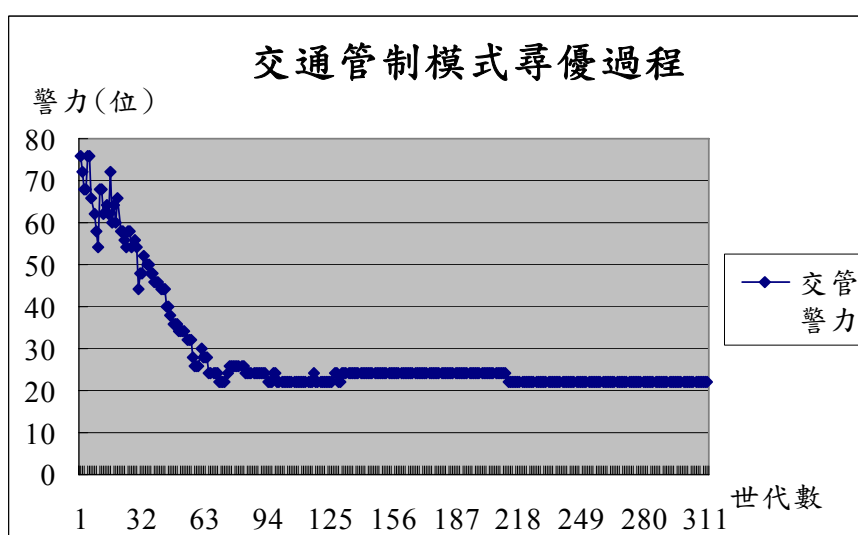


圖 5.4 交通管制模式尋優過程圖

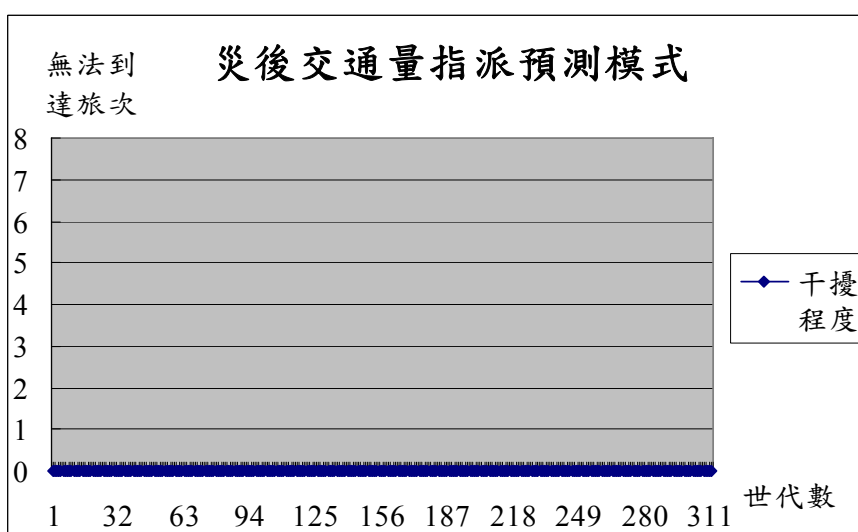


圖 5.5(a) 災後交通量指派預測模式尋優過程圖

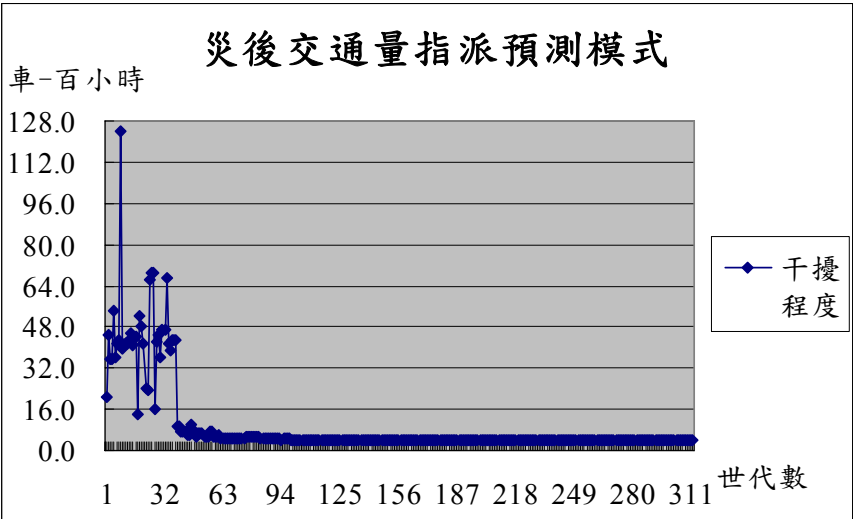


圖 5.5(b) 災後交通量指派預測模式尋優過程圖

表 5.5 整合模式求解結果

| 模式績效     | 整合模式求解結果   |
|----------|------------|
| 管制路段數    | 共 11 條路段   |
| 交管人力     | 22 位       |
| 非災民干擾程度  | 425.42 車小時 |
| 規劃救援路線成本 | 7.0791 分鐘  |
| 目標函數值    | 0.0137     |

表 5.6 為是否實施交通管制之規劃救援路線成本比較表。故在災害發生後，緊急救援物資與車輛若要在第一時間到達災區，實施部分路段交通管制有其必要性。圖 5.6 為實施交管路段示意圖；圖 5.7 為規劃救援路線示意圖。圖 5.8 為救災不同時期之規劃救援路線示意圖。

表 5.6 實施交管與否比較表

| 交管決策            | 結果         |
|-----------------|------------|
| 不實施交管之規劃救援路線之成本 | 36.5826 分鐘 |
| 實施交管之規劃救援路線之成本  | 7.0791 分鐘  |

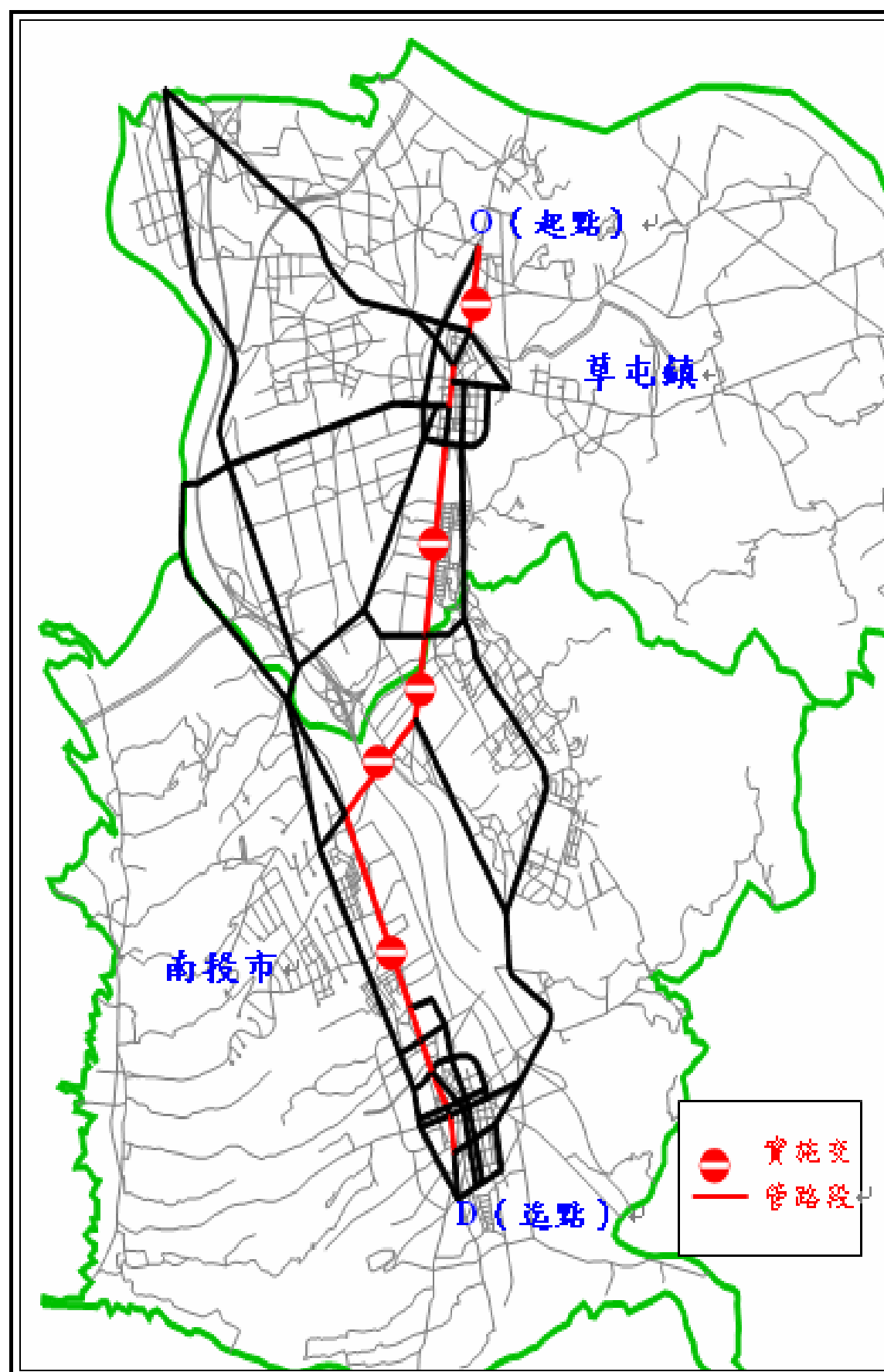


圖 5.6 交管路段圖

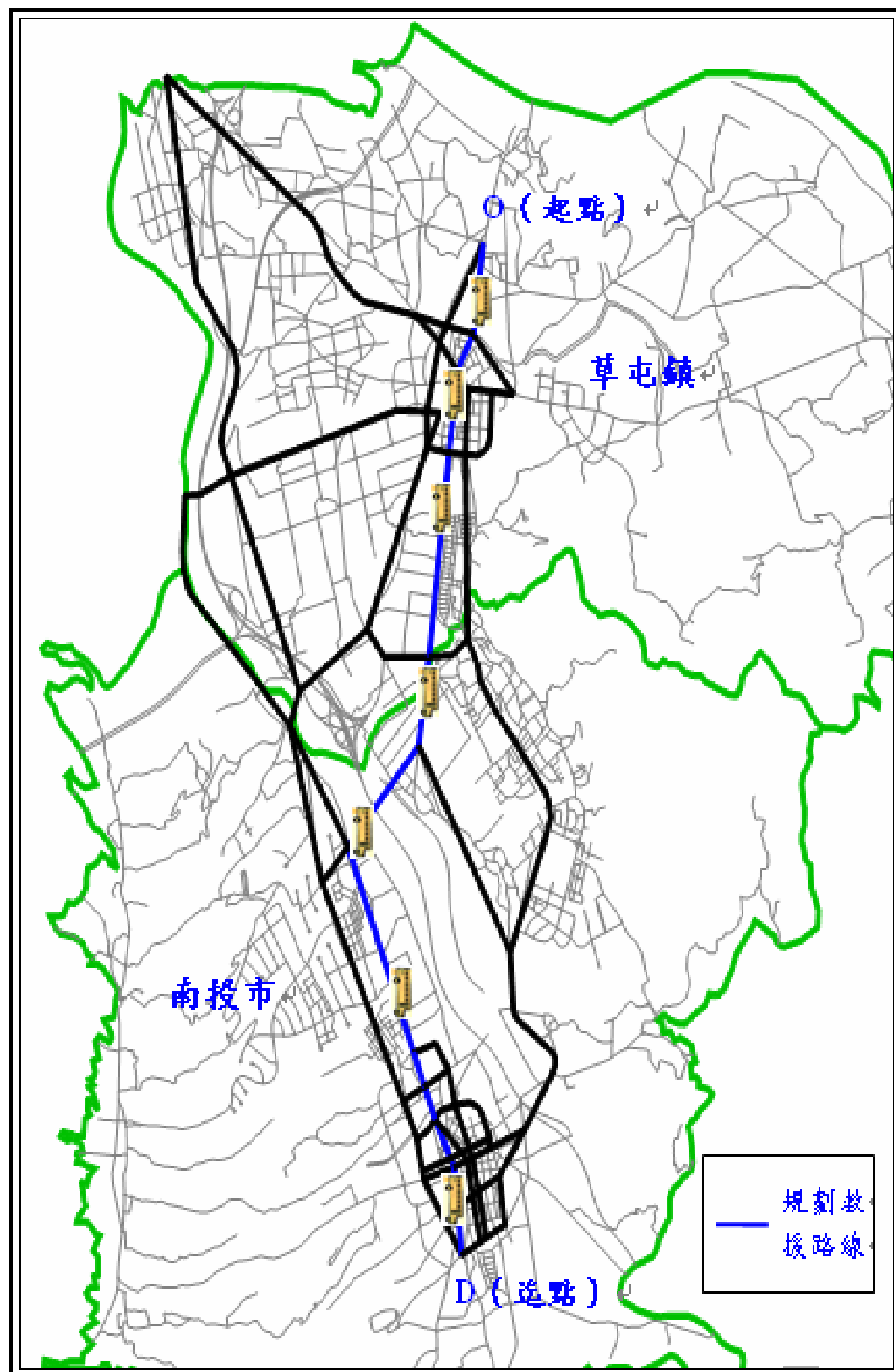


圖 5.7 救災路徑圖

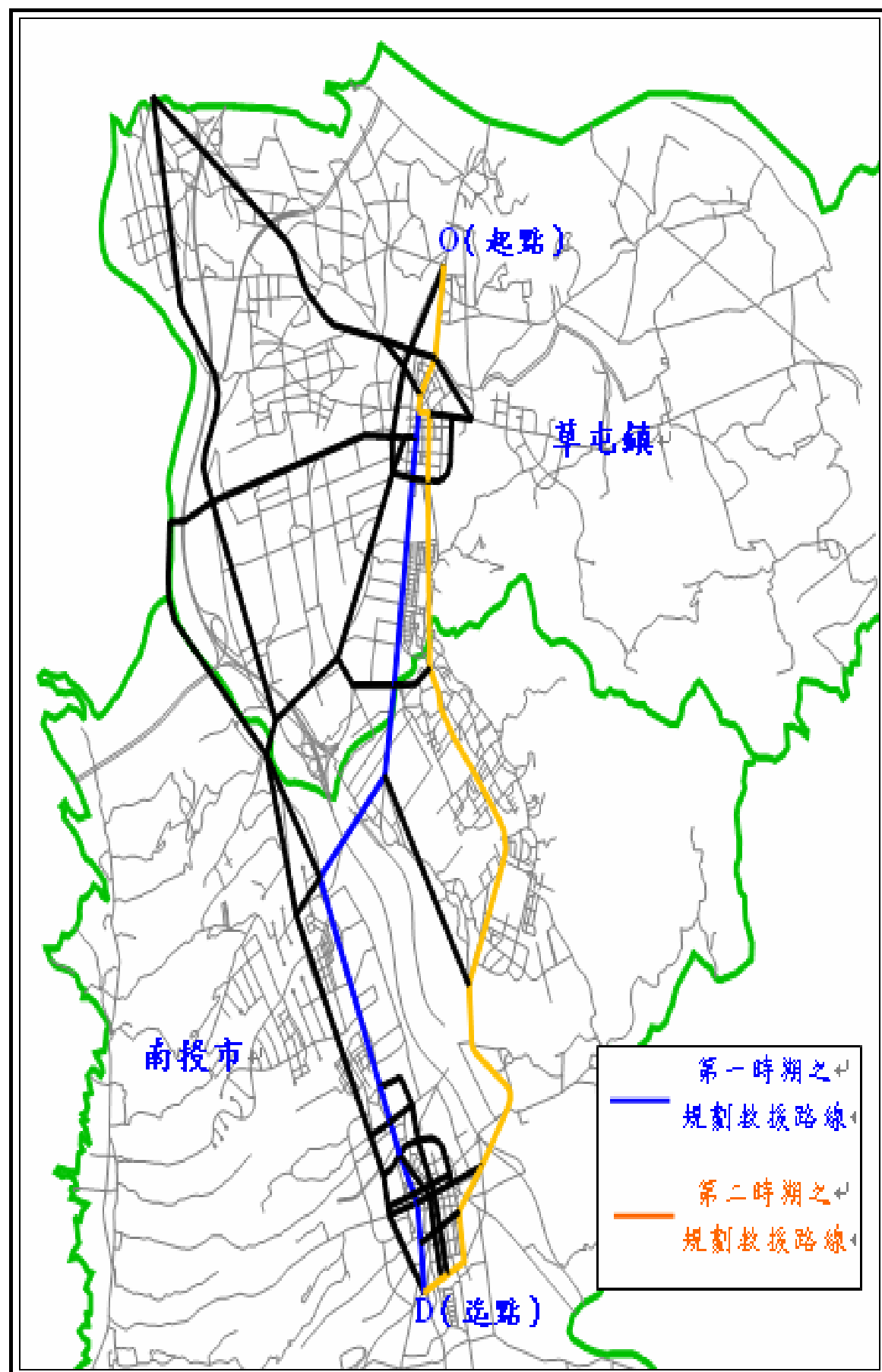


圖 5.8 救災前後期之救災路徑示意圖

### 5.3 比較分析

為了解模式應用績效，以下也同樣進行三種策略之績效評比，茲將各情境之求解結果敘述如下：

策略一：『災區不實施交通管制』

當災區不實施交通管制時，如表 5.7 所示。當災區不實施交通管制時，其所需交通管制路段數為 0 條、所需交管警力為 0 位。規劃救援路線之成本為 36.58 分鐘。非災民干擾程度為 0 分鐘。透過線性調整，所計算出之目標函數值為 0.5726。

策略二：『災區實施部分路段交通管制』

當災區實施部分路段交通管制時，如表 5.7 所示。當災區實施部分路段交通管制時，其所需交通管制路段數為 11 條、所需交管警力為 22 位。規劃救援路線之成本為 7.08 分鐘；非災民干擾程度為 425.42 車小時。透過線性調整，所計算出之目標函數值為 0.0137。

策略三：『規劃救援路線實施全線交通管制』

當規劃救援路線實施全線交通管制時，如表 5.7 所示。當規劃救援路線實施全線交通管制時，其所需交通管制路段數為 13 條、所需交管警力為 26 位。規劃救援路線之成本為 7.02 分鐘；非災民干擾程度為 424.75 車小時。透過線性調整，所計算出之目標函數值為 0.0170。

茲將結果整理如表 5.7 所示。由表知，以救援到達時間而言，以策略三最佳，僅需 7.02 分鐘，其次為策略二，也僅需 7.08 分鐘，兩者相距甚小。但策略一因未實施交管，救援到達時間則高達 36.58 分鐘。三種策略雖然救援路徑總長相差不大，但策略三之救援到達時間卻高達一倍以上，顯示交通管制之重要性。另就對非災民之干擾程度及交管警力需求而言，由於策略一不實施交管，故不會造成非災民之干擾，也不需要交管警力。策略三因全線均實施交管，故造成之非災民旅行時間增加及所需交管警力最大，分別為 424.75 車小時以及 26 位警力。其次為策略二，其造成之非災民旅行時間增加及所需交管警力分別為 425.42 車小時以及 22 位警力。雖然策略二相較於策略三，警力需求可降低 15.38%，且與簡例結果不同的是其管制路段雖然較少，但造成非災民旅行時間之增加卻又略多於策略三。顯示，部份路段之旅次分佈確會因實施交管而改變。所以即使策略二管制路段較少，但卻使非災民增加更多之旅行時間。另外，值得注意的是，即便之實施交通管制之策略一及策略二，也都不會導致部份起迄對旅次無法通達之情況。最後，以總目標而言，以策略二最佳，其適合度值為 72.99，其次為策略三，其適合度值為 58.82。表現最差之策略為策略一，其適合度值僅 1.75。

由此可知，實施交通管制與否，對於規劃救援路線、所需警力、非災民干擾程度以及規劃救援路線成本都有所影響。然策略一與策略三之目標函數值都較策略二為大，即表示策略一與策略三所求解出結果皆沒有比策

略二（本研究模式）好。因此，透過簡例及實例之三種策略求解結果比較，可知本研究模式其有效性及實用性相當高，可提供給救災決策者在規劃救援路線時當作參考依據。

表 5.7 三種策略之實例測試績效

| 模式績效               | 策略一                  | 策略二                  | 策略三                  |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 救援到達時間<br>(救援路線長度) | 36.58 分鐘<br>(8.4 公里) | 7.08 分鐘<br>(7.02 公里) | 7.02 分鐘<br>(7.02 公里) |
| 非災民增加旅行時間          | 0.00 車小時             | 425.42 車小時           | 424.75 車小時           |
| 非災民不通達旅次數          | 0 旅次                 | 0 旅次                 | 0 旅次                 |
| 交管人力<br>(管制路段數)    | 0 位<br>(0 條路段)       | 22 位<br>(11 條路段)     | 26 位<br>(13 條路段)     |
| 適合度值<br>(目標函數值)    | 1.75<br>(0.5726)     | 72.99<br>(0.0137)    | 58.82<br>(0.0170)    |

## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

1. 本研究利用災後交通量指派預測模式，用以預測災後路段交通量的變化。因為災害發生後，用路人會因應道路損壞程度資訊與發佈之交通管制路徑，而改變原先的路徑選擇行為。而這些正常旅次之改變，也對道路形成負荷，進而影響衝擊救災與交管路段之選擇，因此有必要在規劃救災路徑予以一併考量。其求解方法係以逐次增量指派法結合路段的模糊可靠度加以指派。
2. 本研究利用交通管制模式模式，求解災區路網中，需要實施交通管制之路段。因為災害發生後，必須讓救援車輛及物資於第一時間到達災區，以減少災害衝擊，而欲達到此目的，就必須依賴交通管制，但其管制範圍不宜過大，以避免影響非災民之正常作息。其求解方法係以遺傳演算法加以求解。
3. 本研究利用最短路徑模式，求解旅行時間最小之規劃救援路線。其求解方法係先給定路線模糊連接可靠度水準，利用 K 條最短路徑演算法求解符合此水準之最短路線。
4. 在過去的研究中，救災規劃路線往往是利用最短路徑演算法，找出兩點間旅行時間最小或距離最短之路徑，且沒有考慮交通量對旅行時間之影響，然而此方法未顧及到路段通達的可靠度，會造成無法到達目的地之窘境及與現實狀況有極大之出入。因此，本研究彙整相關求解方法，並加以整合求解。
5. 透過模式運算的結果，發現實施路段交通管制措施，其規劃救援路線旅行時間明顯比不實施交通管制來的小許多。因此，可證明於震災發生後，欲使救援車輛及物資於第一時間到達災區，實施交通管制措施有其必要性。
6. 根據求解過程得知，實施交通管制路段不宜過多，因為若交管路段過多，會讓非災民受到許多的干擾，而使目標函數值變大。
7. 本研究透過用三種策略的比較，發現實施交通管制與否及實施交通管制範圍大小，都會對於規劃救援路線、所需警力、非災民干擾程度以及規劃救援路線成本有所影響。在三種策略中，以本研究模式所求解出之結果最好。因此，可知本研究模式其有效性相當高，可提供給救災決策者在規劃救援路線時當作參考。

### 6.2 建議

1. 本研究於案例分析時所採用之 O-D 資料並非震災發生時之 O-D 資料，若未來能掌握震災發生時之 O-D 資料，則模式輸出之結果將會更符合現實實際情況。

2. 目前國內尚無相關研究對道路績效函數參數進行校估，所以本文採用日本學者所建議之參數值，後續研究可針對此部分加以修正。
3. 路段模糊連接可靠度的考慮方式，亦可搭配實際路況來衡量，例如考慮兩側土地使用型態、路寬、道路結構型式(橋樑、高架橋等)、地質狀況、地震規模等因素，給予不同條件之路段個別的模糊連接可靠度，此種考慮方式將更符合現實震災狀況的破壞情形，而更有利於了解地震破壞之情況，期待後人能繼續研究探討。
4. 本研究之路段模糊連接可靠度反應至路段旅行時間，採用路段模糊連接可靠度與道路容量成負相關方式運算，即先將路段模糊連接可靠度解模糊化，在將其反應至道路容量上，故路段模糊連接可靠度越低，其道路容量越低，所對應之路段旅行時間越長。此考慮方式或許不夠周詳，有賴後續研究對於此問題加以研究探討。
5. 為了避免管制路段不連續，而造成民眾及管制人員之不便利性，後續研究可將管制路段連續條件納入考量，使模式更加周詳。如此不但能使交管人員更容易管制路段，且民眾之困惑程度會大大降低。

## 參考文獻

### 1. 中文部份

- 【1】王清正、王韞清（2000），「評估網路站對間之通路可靠度的布林代數符號演算法」，中華民國第五屆運輸網路研討會，頁 441~454。
- 【2】王保丹（2000），「模糊可靠度分析」，私立中原大學數學研究所碩士論文。
- 【3】呂獎慧（2000），「都市震災救災路線選擇模式之構建」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 【4】吳心琪（1997），「震災後工程搶修作業排程之研究」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
- 【5】吳水威、連振盛（2001），「都市地區地震災害交通管制緊急應變之研究」，中華民國運輸學會第十六屆論文研討會，頁 153~161。
- 【6】林育生（2002），「動態隨機路網可靠路徑模擬分析」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 【7】林蔚明（2004），「路口延滯下路徑演算法之研究」，私立逢甲大學交通工程與管理學系碩士班碩士論文。
- 【8】卓訓榮、林文斌（1991），「YEN 第 K 條最短路徑演算法及其應用」，交通運輸，第十三期，頁 201~215。
- 【9】卓訓榮、陳信雄（1993），「電腦平行處理技術在 YEN 第 K 條最短路徑演算法之運用」，土木水利，第 19 卷，第 4 期，頁 21~33。
- 【10】胡大瀛、江鴻昇、林蔚明、陳顥文（2002），「K 條最短路徑演算法之效率比較」，現代交通，第 29 期，頁 16~27。
- 【11】胡大瀛（2001），「模擬式動態交通指派模式之研究」，運輸計劃季刊，第三十卷，第一期，頁 1~32。
- 【12】徐淵靜、侯鵬曦（2003），「防災路網模式構建」，中華民國運輸學會第十八屆，第五冊，頁 1004~1011。
- 【13】許添本、江文聲（2001），「動態隨機時間相依路網可靠路徑選擇」，中華民國運輸學會第十六屆論文研討會，頁 173~180。
- 【14】陳亮全、詹士樑、洪鴻智（2004），「都市地區震災緊急路網評估方法之研究」，都市與計畫，第三十一卷，第一期，頁 47~64。
- 【15】陳郁文（1999），「模糊多目標組合規劃基因演算法應用於提升運輸系統災後應變效率之研究」，國立交通大學交通運輸研究所博士論文。
- 【16】陳慧琪（2000），「時間相依最短路徑問題演算方法之研究」，國立

交通大學運輸工程與管理所碩士論文。

- 【17】郭儒洋（2000），「模糊可靠度運用網圖評核術之研究」，私立義守大學管理科學研究所碩士論文。
- 【18】張桂琥（2000），「不完全訊息下之系統可靠度分析—以含糊集運算方法」，國防管理學院資源管理研究所碩士論文。
- 【19】張立偉（2001），「災後工程緊急搶修作業排程之研究」，私立淡江大學運輸管理科學系運輸科學碩士班碩士論文。
- 【20】馮正民、王基洲、康熙宗（2003），「以可靠度觀念分析捷運乘客對行車延誤之可忍受度」，運輸計劃季刊，第三十二卷，第二期，頁249~260。
- 【21】馮正民、邱裕鈞（2004），「研究分析方法」，建都文化事業股份有限公司。
- 【22】凌瑞賢（2001），「運輸規劃原理與實務」，鼎漢國際工程顧問股份有限公司。
- 【23】彭國倫（2001），「FORTRAN 95 程式設計」，基峰資訊股份有限公司。
- 【24】曾國雄、鄭欣蓉（2003），「賑災物資配送系統之多目標最適規劃」，運輸計劃季刊，第三十二卷，第三期，頁561~580。
- 【25】廖雯慈（1997），「應用基因演算法求解優先順序旅行推銷員問題之研究」，私立元智大學工業工程研究所碩士論文。
- 【26】賴冠宏（2002），「多部門廠房最適消防裝置配置系統之研究」，華梵大學工業管理研究所碩士論文。
- 【27】鄧振源（2000），「模糊多目標路網最短路徑決定之研究」，中華民國第五屆運輸網路研討會，頁107~116。
- 【28】魏偉傑（1997），「模糊可靠度系統在總體生產規劃上的應用」，私立中華工學院工業工程與管理研究所碩士論文。

## 2. 英文部分

- 【1】A. R. Abdelaziz (1998), "A fuzzy-based power system reliability evaluation", Electric Power Systems Research, Vol.50, pp.1~5.
- 【2】A. Chen、H. Yang、H. K. Lo and W. H. Tang (2002), "Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results", Transportation Research Part B, Vol.36, pp.225~252.
- 【3】Chen, S. J.、Hwang, C. L. (1989), "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making", Springer-Verlag.

- 【4】D. H. Hong 、H. Y. Do ( 1996 ) , ” Fuzzy system reliability by the use of  $T_w$  ( the weakest t-norm ) on fuzzy number arithmetic operations” , Fuzzy Sets and Systems , Vol.90 , pp.307~316.
- 【5】F. Fiedrich 、F. Gehbauer and U. Rickers ( 2000 ) , ”Optimized Resource Allocation for Emergency Response after Earthquake Disasters” , Safety Science , Vol.35 , pp.41-57.
- 【 6 】 H. Z. Huang ( 1996 ) , ” Fuzzy multi-objective optimization decision-making of reliability of series system” , Microelectronic Reliability , Vol.31 , No.3 , pp.447~449.
- 【7】L. Bing 、Z. Meilin and X. Kai ( 1999 ) , ” A practical engineering method for fuzzy reliability analysis of mechanical structures” , Reliability Engineering and System Safety , Vol.67 , pp.311~315.
- 【8】R. W. Hall ( 1986 ) , “The Fastest Path through a Network with Random Time-Dependent Travel Times” , Transportation Science , Vol.20 , No.3 , pp.182-188.
- 【9】S. Okada 、T. Soper ( 1998 ) , ”A shortest path problem on a network with fuzzy arc lengths” , Fuzzy Sets and Systems , Vol.109 , pp.129~140.
- 【10】J. Y. Yen ( 1971 ) , “Finding The K Shortest Loopless Paths in a Network” , Management Science , Vol.17 , No.11 , pp.712~716.
- 【11】田村 亨。山本博之、山前孝之 ( 1994 ) , ”Application of genetic algorithms to determining priority of urban road improvement” , 日本土木學會論文集 , No.482/IV-22 , pp.37~46.
- 【12】佐藤忠信 , 一井康二 ( 1996 ) , ”Optimization of post-earthquake restoration of lifeline networks using genetic algorithms” , 日本土木學會論文集 , No.537/I-25 , pp.245~256.