

非都會區公路之震災緊急搶修排程

SEISMIC EMERGENCY REHABILITATION SCHEDULING FOR RURAL HIGHWAYS

馮正民 Cheng-Min Feng¹

王在莒 Tsai-Chu Wang²

(93 年 5 月 12 日收稿，93 年 8 月 19 日第一次修改，93 年 12 月 28 日
第二次修改，94 年 3 月 25 日定稿)

摘 要

過去，多數以防救災工作為主的文獻研究，重點集中在市區及都會區之醫療、防火及警力派遣工作，而在非都會區之公路緊急搶修工作較少涉獵。惟地震災害對非都會區之運輸系統造成廣泛且嚴重之損壞，由於過去搶修目標的不適宜及搶修工作受限於搶修責任區的限制，所以緊急搶修效果不彰。本研究界定震災緊急搶修之目標為黃金 72 小時內追求紓困最多之受困人員及搶修最多的道路里程，並對公路總局及所屬曾參與九二一震災公路緊急搶修單位之人員進行問卷調查，以輔證本緊急搶修模式。另外，本研究對影響緊急搶修因素做不同的組合，推算及建議一組可因應不同情境之簡易緊急搶修時間調整係數，以供分析者計算災點搶修所需時間。本研究先以簡易災害路網進行分析，再以南投縣實例進行演算，以傳統一般重大災害公路緊急搶修排程 72 小時之緊急搶修績效為基礎，進而以本研究所定義之緊急搶修目標，分別在責任區制及不分

-
1. 交通大學交通運輸研究所教授 (聯絡地址：100 臺北市忠孝西路 1 段 114 號 4 樓交通大學交通運輸研究所；電話：02-23494356；E-mail：cmfeng@cc.nctu.edu.tw)。
 2. 交通大學交通運輸研究所博士 (聯絡地址：100 臺北市忠孝西路 1 段 114 號 4 樓交通大學交通運輸研究所；電話：02-23494366；E-mail：tcwang@thb.gov.tw)。

區制情境下之緊急搶修排程績效進行比較。

關鍵詞：震災緊急搶修排程；非都會區公路；責任區；不分區；時間調整係數

ABSTRACT

Most of the previous studies on disaster countermeasure focused on disaster prevention, such as the allocation/dispatching of medical resources, fire fighter and police forces in urban areas. Only a few studies provided better ways of emergency rehabilitation after disasters in non-urban areas. Since the objectives chosen in the previous studies were inappropriate for the construction of disaster rehabilitation, and their assumed rehabilitation constructions were constrained by the predefined duty areas, the proposed solutions' performance has been affected significantly. The goals of seismic emergency rehabilitation in this study are to reduce the maximum number of suffered people and to repair the maximum kilometers of open roads. We surveyed workers of the Directorate General of Highways whose units have participated in Chi-Chi earthquake rehabilitation. Surveys are conducted to examine if there are differences between their preferred objectives and the issues concluded in the discussion after operation. The findings will be used to support the construction of scheduling models. The study has also defined different sets of possible factors affecting emergency rehabilitation time. Based on that, we have calculated and recommended a set of simple time adjustment parameters to expedite analysis. In the study, a simple disaster network was used for analysis. Then, an empirical case has been used to test the feasibility of the proposed algorithm. The performances of a traditional emergency rehabilitation scheduling method in 72 hours post-earthquake have been treated as a basic comparing group. The rehabilitation performances associated with the objective function proposed in the study under the scenario of duty zone system and non-duty zone system are measured. Finally, the environment scenario collected from Nan-Tou County were used to verify the feasibility of the proposed scheduling model.

Key Words: Seismic emergency rehabilitation scheduling; Rural highways; Duty zone; Non-duty zone; Time adjustment parameters

一、前言

民國 88 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分，於集集東北方 4.51 公里處，發生規模芮氏 7.3 的大地震，地表產生長達 105 公里的地表斷層，斷層帶二側產生之地表垂直落差最高可達 11 公尺，水平錯動達 10 公尺。地震帶來之地表搖動、山崩、錯動、液化及破裂等地理效果，對臺灣中部地區（臺中縣市、彰化、南投及其臨接縣市）造成重創，逾二千四百人死亡，一萬餘人受傷，十萬人無家可歸。地震同時對運輸系統造成重大衝擊，在公路部分，

由公路總局轄養道路之災情資料顯示公路損壞 711 處，造成 44 條路線受損，並造成 33 條路線（省道 14 條，縣道及代養鄉道 19 條）交通中斷；在橋梁部分，臺 3 線沿線橋梁受損嚴重損害，損壞統計共 9 座橋梁重度損壞、7 座橋梁中度損壞、73 座橋梁輕度損壞，影響中部地區交通甚鉅。由震災搶修績效分析，集集地震發生後，公路總局立即進行搶修工作，在震災發生後 72 小時內，公路總局完成災點搶修 451 處（占 63.43%），完成道路搶通 19 條（57.58%），以如此高的搶修績效，地震卻仍造成大量的人員傷亡，究其原因，可以歸納為三項：

1. 搶修目標的訂定會影響緊急搶修的方向及績效

九二一地震中建物損壞之位置分布及道路損壞之位置分布不同。比對發現車籠埔斷層與臺三線平行，建物及橋梁的損壞係沿臺 3 線沿線分布（南投縣西側），由於九二一地震發生在凌晨，民眾受困與傷亡的分布與建物毀損密切相關。至於道路之損壞則遍布在南投縣中部山區。故緊急搶修目標之訂定會影響緊急搶修的方向，進而影響緊急搶修作業績效。

2. 過去所採用的緊急搶修排程非為最適排程

3. 工務段位置、人力與設備也會影響救災的績效

檢討上述原因認為由於地震具不確定性，地震發生之時間、地點及其強度無法事先預知，故不像其他天然災害，道路養護單位可以預先調度機具在可能發生之災點暫駐，並於災後即刻進行搶修。另工務段之位置係屬常設，無法事先因應地震可能發生地點而遷駐。至於在救災人力的運用上，緊急命令第七條第二項雖有：「衛生醫療體系人員為救災所需而進用者，不受公務人員任用法之限制」。惟行政院人事局表示交通工程專業人員未在緊急命令之適用範圍，故從事震災搶修之人力資源受到限制，僅能以現有人力作調度。綜上，在震災的防治上，工務段位置、人力與設備的數量非屬道路養護單位可以事先作為，以預防減輕災害。故道路養護單位僅能在震災緊急搶修目標的訂定及其排程做進一步的研究，以減輕震災所帶來之損壞。

由於震災緊急搶修目標之訂定會影響搶修方向及搶修成果，惟文獻^[2,4-13]在震災緊急搶修目標之認知不同且差異甚大。另氣候、地形及道路屬性等因素會影響緊急搶修工作所需之時間。搶修時間估算之精確與否，將影響實際震災搶修績效成果。由於現行公路總局對一般重大災害公路緊急搶修之清運標準為單一標準，無法反映前述不同組合情境對災點緊急搶修所需時間的影響，故會高估預期搶修效果。有鑑於此，本文透過專家問卷的方式來界定緊急搶修目標與建立震災緊急搶修時間調整係數，以反映在排程模式之建構上。

另在災害搶修的方式上，現行公路總局之搶修方式係採責任區制，即工務段負責其轄養區內之災點搶修（或搶通）工作，不做跨區搶修行為。由於九二一地震造成之災情分布廣且嚴重，現行責任區制之搶修方式多遭質疑，葉昭雄^[1]於九二一中橫搶通檢討報告中指出，震災後之搶修（險）工作，公路單位在任務之派遣上打破傳統道路養護責任區之觀念及範圍限制，以整體搶修為任務規劃及派遣為原則，有些道路之損壞非單一工務段獨立所

能完成搶修(險)工作,各養護工務段應相互支援。綜上,本研究在案例分析上,以一般重大災害公路緊急搶修排程在震災發生後 72 小時內之搶修績效為比較基準,再以責任區制及不分區制之震災緊急搶修排程績效做相互比較,據以驗證九二一震災檢討事項。

以九二一地震及 2003 年土耳其地震之災情資料顯示地震對非都會區造成之損壞並不亞於都會區。回顧過去在震災方面的研究,由國家圖書館的典藏資料分析發現多數的研究針對城市或都市地區之防救災工作上,如都市地震災害之成因探討、救災路線選擇、避難疏散最適路線之選擇與規劃、交通動線及防救據點、震災後之火災防治策略規劃及震災物資配送規劃等。而在非都會區之防救災研究多著重在結構物之防震設計、震災後邊坡穩定之探討及處理、公共設施復建工作之排程及土石流的影響,對震災後之公路緊急搶修工作則較少涉獵^[2]。

二、文獻回顧

有關震災緊急搶修排程在文獻整理上主要歸納為多目標規劃及車輛繞經問題二大部分,茲說明如後。

2.1 多目標規劃

多目標規劃模型基本上為單目標線性規劃之擴充,其差異處在於多目標規劃可以同時處理二個(含)以上之目標。單目標規劃在強調方案之最適性,而多目標規劃則在強調選擇的彈性與可行方案間彼此的替代性,其目的在協助決策者於有限資源及目標衝突的限制下,尋求較佳之行動方案^[3]。

震災緊急搶修工作具多目標的特性。Chang 和 Nojima^[4]以道路通行 (road open) 之總長度、以距離為基礎之總可及性及以距離為基礎之區域可及性來做績效評估;Chen 和 Tzeng^[5]以路網修復時間最少,修復期間路網壅塞最小為績效考量;Fiedrich^[6]認為救災主要目標為損害最小及傷亡最小;交通部^[7]研究報告指出震災後之緊急搶修應變以儘速恢復交通為首要目標;吳心琪^[8]以高速公路及其周邊替代道路路網作為研究範圍,以搶修效益最大化(以路網累積節省旅行時間)及搶修工程總時間最小化為任務目標。當累積時間相同時,再以總搶修時間最小者為佳,以決定搶修順序的績效值;鄭欣蓉^[9]從最佳化的觀點規劃震災物資配送系統,以多目標規劃構建震災物流系統之配送模式,其考慮的目標有總成本最小、總旅行時間最短以及最大化最小滿意度;張立偉^[10]認為災後工程緊急搶修作業排程為一組合最佳化之問題,其考量目標以搶修單位之旅行時間最小化、搶修時間最小化及災點搶修風險最小化來構建多目標式;馮正民等^[11]以最大道路搶通長度(可及性)、最大搶救人數及最低搶修風險來構建震災後 72 小時道路緊急搶修模式。Feng 和 Wang^[12]演算前述模式後指出搶修目標中之追求最多救援人數及追求搶修最多里程長度間具抵換

(trade off) 關係，並指出追求搶救風險最低的目標，則因各組合排程所面臨之風險值相近，且無法避免，可以忽略。交通部^[13]及九二一災後重建推動委員會於事後的檢討認為災害之搶救應以搶救生命為優先考量。

綜上說明，震災緊急搶修工作具多目標性，搶修目標的訂定將影響道路搶修之工作進行方向的設定，並影響整體搶修績效。

2.2 車輛繞徑問題

震災後 72 小時之公路緊急搶修作業為多目標數學規劃問題，其與車輛繞境問題類似但不同。吳旻樵^[14]認為車輛繞徑問題 (vehicle routing and scheduling problems; VRP) 為考慮車輛容量限制而衍生成為多條路線節點服務組合的問題，乃是研究如何將貨車指派到顧客端，以決定最佳化的顧客服務順序及車輛行駛路線的過程。韓復華^[15]對車輛繞徑問題定義為給予一群客戶之位置與其需求量，及一固定相同數目且具載重限制之車輛，在符合車輛載重限制下，尋求一最小之配送車輛與成本，將貨物送到各個顧客。其在規劃上假設每台車輛在具容量限制下，尋找出一條由場站出發，經過所有顧客點後回到原場站的一條最短路徑，其限制有四：1. 每一顧客點只由一部車輛服務一次；2. 每輛車由場站出發後再回到原場站；3. 每輛車所服務的顧客點需求量總和，不得超過車輛容量及每個顧客點的需求量均需被滿足。

近年來，對車輛繞徑問題的應用方面更為廣泛，除原有車輛容量的限制外，更加入對時間限制的考量，產生具時窗限制之車輛繞徑問題 (vehicle routing problem with time windows; VRPTW)。張立偉^[10]認為 VRP 問題多半應用在貨物運送之情況，其應用環境與災後工程緊急搶修排程不同。故在問題的定義上緊急搶修排程會較 VRP 來得複雜，歸納原因有四，一為在災點搶修之考量下，某些災點之搶修需於預定時間內完成，故有時窗的考量；二為災點距工作隊之空間距離並非唯一考量因素，災點之緊急程度亦是一項重要參考指標，即災點搶修之風險度亦需考量；三為繞徑問題，即旅行推銷員問題 (traveling salesman problem; TSP) 及 VRP 問題，運送車輛終需返回原場站，但在工程緊急搶修中，工作隊出發後係以完成災點搶修為考量，並無對是否需返回原工作站做限制；工作隊所能擔負之搶修能量有限，為考量災點規模過大，必須以多個工作隊同時進行搶修。

綜上說明，車輛繞徑問題 (VRP) 之定義為給予一群顧客之位置與其需求量，及一固定相同數目且具載重限制之車輛，在符合車輛載重限制下，尋找一最小配送車輛及成本，將貨物送到各顧客。而公路緊急搶修排程之定義為給予一群災點之位置，災點受困人數與完成搶修所需之工作時間為已知，在 72 小時之時間限制下，追求緊急搶修之效果最佳。其雖類似 VRP 問題，在災點廣布及黃金救援時間的限制下，其排程與 VRP 不同。另文獻^[10]雖有比較工程緊急搶修與 VRP 間的差異，然其對工程緊急搶修實務工作之假設過於理想化，將影響緊急搶修排程之效果。

綜上，本研究以分析者之立場進行研究，無涉決策者之偏好及效用函數，故不宜以硬時窗及軟時窗來做限制或規範，並歸納震災緊急搶修排程與 VRP 間之差異如下：

1. 震災搶修工作係以災區現地資源應用為原則，不考量外援及多工作業的情形。
2. 在黃金救援時間的限制下，緊急搶修小組（後稱工作隊）無法完成所有災點之搶修（或搶通）工作，故震災緊急搶修排程具供不應求的情形。
3. 從事緊急搶修工作的人員、車輛及機具無需考量再回到原點。
4. VRP 考量的為車輛容量，震災緊急搶修排程考量的為清運能量。

三、模式構建

馮正民、王在莒^[2]對「緊急搶修」賦予定義為「震災發生後 72 小時為緊急搶修期程，對已受損之道路、橋梁以最簡單有效的方式進行搶通、設施強固或修復，或搭建臨時便道以供工程與救援車輛可以進出災區從事救援相關之工作」。本研究以該定義為基礎做進一步的問卷調查以界定震災緊急搶修目標與建立震災緊急搶修時間調整係數，據以修正一般重大災害公路搶修排程模式為震災緊急搶修排程模式。

3.1 界定震災緊急搶修目標

在模式構建前，應先界定震災緊急搶修工作之目標。鑑於前述文獻^[2,4-13]對公路災害緊急搶修目標之認定差異甚大，本節歸納文獻中常見之緊急搶修目標有六種，分別為：

- A 目標：追求在最短的時間內完成災點搶修或道路搶通（績效單位：時間）；
- B 目標：追求紓困最多受困人員（單位：人）；
- C 目標：追求最長的道路搶通（單位：公里）；
- D 目標：追求恢復最大交通量（單位：車當量／小時）；
- E 目標：追求優先完成主要道路之搶通（如省道之搶通優於縣道，單位：完成搶通之主要道路數）；
- F 目標：災點之搶修以搶修風險最低為考量（單位：從事緊急搶修人員之傷亡數）。

為了解工程人員對上述目標在震災緊急搶修工作之重要性，本研究透過專家問卷來進行分析。以九二一從事搶修之工程單位其工程人員為問卷對象（包含公路總局工程事件緊急應變小組、第二區及第五區養護工程處暨所屬工務段之工程人員）。在主管人員問卷方面，係以前述工程處及所轄工務段與災害搶修工作有關之正副主管為問卷對象。非主管人員部分則委由工程處對所屬工程人員為問卷對象。問卷設計以順序尺度量表供受調者填寫，並分整體、主管及非主管三個群體來探討，據以了解主管與非主管間對震災後之道路緊急搶修目標重要性認知偏好的差異性。

本問卷發放 97 份，回收 91 份，有效問卷 87 份。分析受調人員背景如表 1，其中主管 41 人 (47.13%)，非主管 46 人 (52.87%)。具九二一震災搶修經驗者計 50 人 (57.48%)，不具九二一震災搶修經驗者計 37 人 (42.52%)。具十年 (含) 以上工作經驗者計 65 人 (74.71%)，十年以下工作經驗者 22 人 (25.29%)。

表 1 受調人員組成背景

年資與 經驗 階級	工作經驗					
	十年以上 (含)			十年以下		
	有九二一震災 搶修經驗	無九二一震災 搶修經驗	小計 %	有九二一震災 搶修經驗	無九二一震災 搶修經驗	小計 %
主管 (%)	23 (26.44%)	11 (12.64%)	34 (39.08%)	4 (4.6%)	3 (3.45%)	7 (8.05%)
非主管 (%)	15 (17.24%)	16 (18.39%)	31 (35.63%)	8 (9.2%)	7 (8.04%)	15 (17.24%)
小計 (%)	38 (43.68%)	27 (31.03%)	65 (74.71%)	12 (13.80%)	10 (11.49%)	22 (25.29%)

圖 1 至圖 3 之橫座標代表目標之重要性，數字符號愈大者，其重要性愈高。圖 1 顯示整體受調者對震災緊急搶修目標偏好以 A 目標及 B 目標最為重要。圖 2 顯示主管人員認為 A 目標優於 B 目標，圖 3 則無法明確區分非主管人員對 A 目標及 B 目標間之認知偏好程度。有鑑於此，本研究採配對比較法^[16](method of paired comparison) 將受測目標以兩兩比對方式來判定其目標偏好排序。配對比較的結果，以遞移法加以排序，判定的方法是將比較的結果加總，以其累積值作為各分類的分數，其結果如表 2、表 3 及表 4。

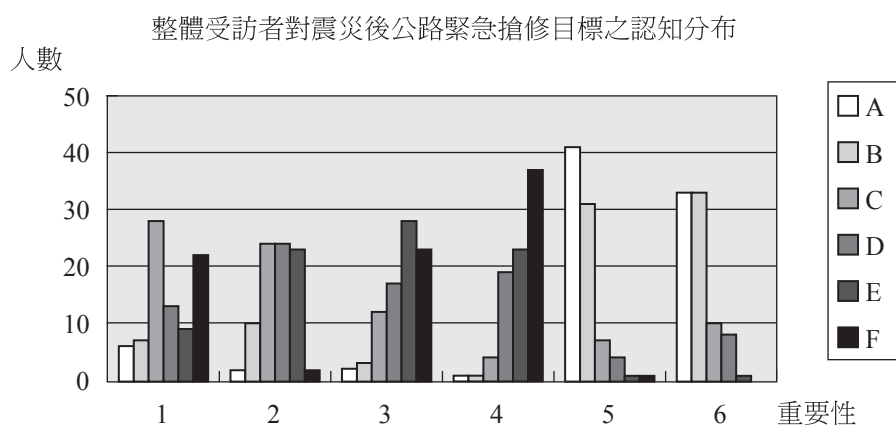


圖 1 受調者對震災後公路緊急搶修目標重要性之認知偏好分布

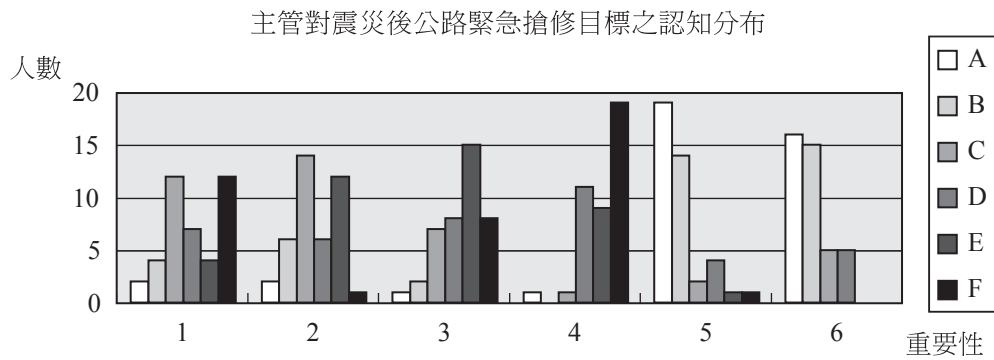


圖 2 主管對震災後公路緊急搶修目標之認知偏好分布

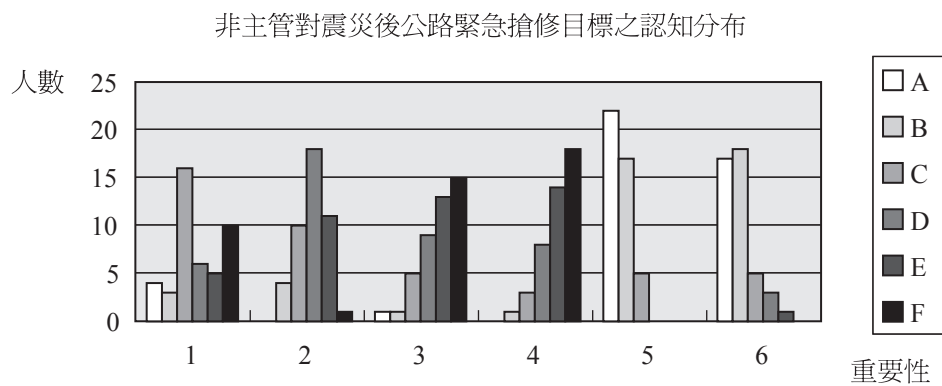


圖 3 非主管對震災後公路緊急搶修目標之認知偏好分布

表 2 係對受調人員進行整體分析，由 R_i 值辨別受測人員對道路緊急搶修目標間重要性之認知偏好程度依序為 B 目標 > A 目標 > F 目標 > E 目標 > D 目標 > C 目標。整體而言，僅 A 目標及 B 目標之 R_i 值大於 1，餘目標之 R_i 值均小於 1。以 R_i 值第三高之 F 目標分析，其 R_i 值業降為 0.64，不及 A、B 目標 R_i 值的二分之一，顯示全體受調人員對震災緊急搶修目標之認知偏好為以 A 目標與 B 目標為主。

表 3 顯示主管人員對 A 目標之偏好 ($R_i = 1.38$) 高於 B 目標 ($R_i = 1.34$)。表 4 顯示非主管人員對 B 目標之偏好 ($R_i = 1.41$) 高於 A 目標 ($R_i = 1.34$)。二表顯示主管人員與非主管人員在 A 目標與 B 目標間之重要性認知上具有差異，究其原因在於主管人員需掌控搶修進度及擔負成敗的責任，故一般重大災害公路緊急搶修觀念已深植在主管人員的心中，不易轉換為震災緊急搶修之人員紓困目標上，該等情形較容易顯現在資深主管的問卷中。

表 2 受調人員對公路緊急搶修目標重要性之認知偏好

	A 目標	B 目標	C 目標	D 目標	E 目標	F 目標
A 目標	-----	44*	3	7	13	18
B 目標	41**	-----	2	3	11	15
C 目標	82	83	-----	48	65	62
D 目標	78	82	37	-----	59	61
E 目標	72	74	20	26	-----	50
F 目標	67	70	23	23	24	-----

累積值	340	353	85	107	172	206
排序	2	1	6	5	4	3
M_p	0.750000	0.775490	0.250000	0.293137	0.420588	0.487255
Z_i	0.68	0.76	-0.67	-0.54	-0.20	-0.03
R_i	1.35	1.42	0	0.13	0.47	0.64

註：1. *處 44 代表認為 B 目標較 A 目標為佳的人數。

2. **處 41 代表認為 A 目標較 B 目標為佳的人數。

3. $M_p^{[16]} = \frac{C + 0.5N}{n(N)}$ ，其中，

M_p ：標準常態機率值；

C ：累積值（選擇該項目標之總次數）；

N ：總樣本數；

n ：目標數（計畫案的個數）。

4. Z_i ：標準化常態變數。

5. R_i ：對方案或目標的偏好程度。

表 3 主管人員對公路緊急搶修目標重要性之認知偏好

	A 目標	B 目標	C 目標	D 目標	E 目標	F 目標
A 目標	-----	23	2	2	3	9
B 目標	18	-----	2	1	5	7
C 目標	39	39	-----	22	33	32
D 目標	39	40	19	-----	31	35
E 目標	37	26	8	10	-----	26
F 目標	32	34	9	6	15	-----

累積值	165	162	40	41	87	109
排序	1	2	6	5	4	3
M_p	0.754065	0.741870	0.245935	0.250000	0.436992	0.526423
Z_i	0.69	0.65	-0.69	-0.67	-0.16	0.07
R_i	1.38	1.34	0	0.02	0.53	0.76

表 4 非主管人員對緊急搶修目標認定偏好比較

	A 目標	B 目標	C 目標	D 目標	E 目標	F 目標
A 目標	-----	21	1	4	9	9
B 目標	23	-----	0	2	5	8
C 目標	43	44	-----	26	32	30
D 目標	40	42	18	-----	28	26
E 目標	35	39	12	16	-----	25
F 目標	35	36	14	18	19	-----

累積值	176	182	45	66	93	98
排序	2	1	6	5	4	3
M_p	0.750000	0.772727	0.253788	0.333333	0.435605	0.454545
Z_i	0.68	0.75	-0.66	-0.43	-0.16	-0.11
R_i	1.34	1.41	0	0.23	0.5	0.55

由前述分析發現九二一震災後的檢討結論以生命救援為優先的觀念業已深植在工程人員的心中，反映在追求紓困最多受困人員的目標上。另告知受調者在黃金救援時間之限制下，工作隊無法完成所有災點之搶修（或搶通）工作，此時有 85% 的受調者會將 A 目標轉換為 C 目標。綜上，公路之震災緊急搶修目標應為雙目標，分別為紓困最多受困人員及搶修（或搶通）最多道路里程。

3.2 模式構建

3.2.1 基本模式

本研究所稱基本模式係指一般重大災害公路搶修排程模式，其觀念緣起於公路總局在民國 89 年推動「公務車輛派遣、追蹤、救援系統通信設備測試評估」計畫，本研究以該計畫研討內容據以構建基本模式。在一般重大災害之公路緊急搶修作業，工作隊之任務目標在追求於最短的時間內完成其轄養區內所有災點之搶修（或搶通）工作，其限制條件為工作隊必須完成其轄養路段範圍內所有災點之搶修（或搶通）、前置條件及各災點僅容許一個工作隊負責搶修等之限制。

後述模式之符號說明如下：

i, p, j 代表節點（本研究節點係表示各道路之交會、分歧處及災點）；

n 代表災點數；

m 代表非災點數；

- r 代表工作隊數；
 d_{ij} 代表節點 i 與節點 j 之距離；
 P_j 代表災點 j 之受困人數；
 v 代表工作隊；
 T 緊急搶修之時間限制；
 TT_{ij} 代表節點 i 至 j 之旅行時間；
 TW_j 代表節點 j 搶通所需工作時間，
 其為坍方量 (立方公尺) / 清運能量 (立方公尺 / 小時)；
 α 代表緊急搶修工作之前置作業時間，指災害通報確認、討論、決策、派遣、
 出發等作業所耗費之時間；
 β_j 代表在災點 j 工作時間之搶修時間調整係數；
 $N = \{1, 2, \dots, m, m+1, m+2, m+3, m+4, \dots, m+n\}$ ，代表節點集合；
 $M = \{m+1, m+2, m+3, m+4, \dots, m+n\}$ ，代表災點集合；
 $V = \{1, 2, \dots, r\}$ ，代表工作隊集合。

基本模式在構建前，先做下述假設：

1. 旅行時間³、工作時間⁴為已知；
2. 工作隊在完成災點搶修工作後，假設該等災點不會受餘震之影響而再次中斷，即假設各災點不會產生二次緊急搶修工作；
3. 任一災點僅允許由轄養工作隊進行緊急搶修工作；
4. 每一工作隊之搶修能量均相等；
5. 災點之定義為道路阻斷致車輛無法通行。

在前述假設、任務目標及限制條件下，一般重大災害公路搶修排程模式公式化如下：

目標函數

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{m+n} \sum_{j=1}^{m+n} TT_{ij} X_{ij}^v + \sum_{j=m+1}^{m+n} TW_j Y_j^v, \quad \forall v \in V \quad (1)$$

$$\text{受限於} \quad \sum_{i=1}^{m+n} X_{ij}^v = 1, \quad \forall j \in M, \quad \forall v \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j=m+1}^{m+n} X_{ij}^v = 1, \quad \forall i \in N, \quad \forall v \in V \quad (3)$$

3. 旅行時間：為道路長度除以平均行駛速度。本研究設定平均行駛速率為 20 公里 / 小時。
4. 工作時間：為坍方量除以清運能量。本研究設定清運能量為 250 立方公尺 / 小時，該數值係依據公路總局開口契約所載清運數量換算而得。

$$Y_j^v = \sum_{i=1}^{m+n} X_{ij}^v, \quad \forall j \in M, \quad \forall v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{m+n} X_{ip}^v - \sum_{j=m+1}^{m+n} X_{pj}^v = 0, \quad \forall p \in N, \quad \forall v \in V, \quad p \neq j, \quad p \neq i \quad (5)$$

此時，

$$X_{ij}^v \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j, v \quad (6)$$

$$Y_j^v \in \{0, 1\}, \quad \forall j, v \quad (7)$$

其中，

式(1)各工作隊在追求於最短的時間內完成其轄養區內災點之搶修 (或搶通)；

式(2)與式(3)確保每一災點只被搶修一次；

式(4)代表所有的災點皆會被所屬之轄養工作隊完成搶修；

式(5)代表前置條件，有出必有進，即工作隊需先經過現行所在節點的前置節點，方能到達現行所在節點；

式(6)與式(7)為決策變數，其定義如下：

$$X_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{節點 } j \text{ 係由工作隊 } v \text{ 自節點 } i \text{ 進行搶修} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$Y_j^v = \begin{cases} 1, & \text{災點 } j \text{ 係由工作隊 } v \text{ 完成搶通} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

3.2.2 震災緊急搶修排程模式

基本模式係反映一般重大災害之公路緊急搶修工作而構建，故反映在震災緊急搶修作業之特性時，無論在假設上、目標式及限制式中皆有未盡之處，茲檢討說明如後：

1. 假設部分：

(1) 集集震災發生後，由於聯外道路受損，震災後 72 小時內，災區外之人員、機具及物資無法進入，故在道路災害之緊急搶修上，應以現地資源應用為考量，排除外援問題。

(2) 未考量受困人員的問題，包含對受困人員需公平對待，不能差別待遇。

2. 目標式部分：

在基本模式中，工作隊僅追求在最短時間內完成其轄養區內之災點搶修 (或搶通)，未考量黃金救援時間對震災緊急搶修目標之影響。

3. 限制式部分：

- (1) 緊急搶修工作未納入緊急搶修之時間限制。
- (2) 基本模式係以工作隊需完成其轄養區內所有災點搶修為限制，為供需平衡或供過於求的情形。惟震災之災情嚴重，工作隊無法在黃金救援時間內完成所有災點之搶修(或搶通)工作，故震災緊急搶修工作為供不應求(或供需平衡)的情形。
- (3) 未考量震災緊急搶修工作之前置作業時間。
- (4) 未考量災點特性(路寬、地形及氣候的影響)對震災緊急搶修時間所造成之差異。

本研究針對前述模式缺點辦理修正，修正後之震災緊急搶修排程模式如後：

模式假設

1. 旅行時間、工作時間及災點受困人數為已知。
2. 工作隊在完成災點搶修工作後，假設該等災點不會受餘震之影響而再次中斷。即假設各災點不會產生二次緊急搶修工作。
3. 受災民眾之生命為同質的，不會因性別、職業、年齡、教育程度之不同，而影響緊急搶修工作之優先順序。
4. 任一災點僅允許由一個工作隊進行緊急搶修工作。
5. 每一工作隊之搶修能量相等。

震災緊急搶修排程模式如後：

目標函數

$$\text{Max } Z_1 = \sum_{j=m+1}^{m+n} \sum_{v=1}^r P_j Y_j^v \quad (8)$$

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{i=1}^{m+n} \sum_{j=m+1}^{m+n} \sum_{v=1}^r d_{ij} X_{ij}^v \quad (9)$$

$$\text{受限於} \quad \sum_{v=1}^r Y_j^v \leq \sum_{v=1}^r \sum_{i=1}^{m+n} X_{ij}^v, \quad \forall j \in M \quad (10)$$

$$\alpha + \sum_{i=1}^{m+n} \sum_{j=1}^{m+n} TT_{ij} X_{ij}^v + \sum_{j=m+1}^{m+n} 60 \times TW_j Y_j^v \beta_j \leq T, \quad \forall v \in V \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{m+n} X_{ip}^v - \sum_{j=m+1}^{m+n} X_{pj}^v \geq 0, \quad \forall p \in N, \quad \forall v \in V, \quad p \neq j, \quad p \neq i \quad (12)$$

$$\sum_v Y_j^v \leq 1, \quad \forall j \in M, \quad \forall v \in V \quad (13)$$

此時，

$$X_{ij}^v \in \{0,1\}, \forall i, j, v \quad (14)$$

$$Y_j^v \in \{0,1\}, \forall j, v \quad (15)$$

其中，

式(8)在追求紓困最多之受困人員，當災點 j 被完成搶修（或搶通）時，該災點受困人員即被視為獲救；

式(9)在追求完成搶修之道路里程最多，即當災點 j 被完成搶修（或搶通）時，其臨接節點 i 至該災點 j 之距離視為完成搶修里程；

式(10)代表在緊急搶修期間，並非所有的災點皆會被完成搶修。即震災後之緊急搶修為供不應求（或供需平衡）的情形；

式(11)代表工作隊之緊急搶修時間限制為 T 。在式中所示之整體耗用時間為旅行時間（ TT_{ij} ）加上工作時間（ TW_j ），因二者間之單位不一致，本式將單位統一為分鐘，故將工作時間乘以 60。又本文設定震災緊急搶修時間為黃金救援期間，此時 T 值為 4320 分鐘，未來 T 值可依需求調整；另 α 反映緊急搶修工作之前置作業時間，為一常數。 β_j 為對災點 j 進行緊急搶修工作時之時間調整係數；

式(12)代表前置條件，有出必有進，即工作隊需先經過前置節點，方能到達現行所在節點。然在緊急搶修之時間限制下時，有進卻未必有出，即工作隊進入災點從事搶修卻未必代表能完成災點之搶修（或搶通）；

式(13)代表任一災點僅能由一工作隊完成緊急搶修；

式(14)與式(15)為決策變數，其定義如前述。

3.3 建立公路震災緊急搶修之時間調整係數

本節對前述緊急搶修時間調整係數（ β_j ）做進一步探討。影響道路緊急搶修時間之因素有坍方之石材種類、道路因素（如路寬）、氣候因素（如晴天、雨天）及地形因素（如山坡地、丘陵區、平原區）。由於地震造成坍方之石材類型因素，不易掌握，故本研究係針對氣候、地形及路寬因素進行探討。本研究以順序尺度量表供受調者填寫，並分整體、主管及非主管、有九二一震災搶修經驗及無九二一震災搶修經驗等五個群體進行比較，以審視不同群體對該等影響因素之看法。經分析發現各子群對影響因素之認知偏好均相同，為氣候因素 > 地形因素 > 路寬因素。

另檢視現行開口契約（open contract）對清運容量規範之標準是否合宜，能否應用在震災後災點緊急搶修之時間推估。本研究分析發現逾 76% 的受調者認為現行開口契約對清運容量之規範過於嚴格，其中逾 82% 之主管人員認為前述規範標準過於嚴格，如表 5。故該標準應用在震災後災點緊急搶修之時間預測上，會有低估的現象。

表 5 受調群體對現行開口契約規範清運標準之時間鬆緊認定

	非常充裕 %	充裕 %	剛好 %	緊湊 %	非常緊湊 %
全體人員	0 (0%)	7 (8.24%)	13 (15.29%)	46 (54.12%)	19 (22.35%)
主管	0 (0%)	0 (0%)	7 (17.07%)	22 (53.66%)	12 (29.27%)
非主管	0 (0%)	7 (15.91%)	6 (13.64%)	24 (54.54%)	7 (15.91%)

本研究設計三維量表，以平原區、晴天在八公尺以上道路進行搶修，每清運 1000 立方公尺需時 4 小時為計算基準，對氣候、地形及路寬等因素組合情境下，讓受測者填具震災緊急搶修所需增加的時間。表 6 顯示在 95% 信賴區間下之震災緊急搶修所需時間，並換算成時間調整係數。另為方便分析者估算災點緊急搶修之作業時間，建議以其平均值作為調整係數，如表 7。

表 6 震災後公路緊急搶修時間調整係數

緊急搶修時間調整係數 (β_j)				
平原區				
路寬			道路寬度在 5 公尺 (含) 以下	道路寬度在 5 ~ 8 公尺間
氣候	晴天	信賴區間	[0.196578, 2.089137]	[0.923127, 1.362587]
		調整係數	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.3
	雨天	信賴區間	[2.089794, 2.529254]	[1.946937, 2.386396]
		調整係數	1.5 ~ 1.6	1.5 ~ 1.6
丘陵區				
路寬			道路寬度在 5 公尺 (含) 以下	道路寬度在 5 ~ 8 公尺間
氣候	晴天	信賴區間	[1.756464, 2.195920]	[1.494556, 1.934016]
		調整係數	1.4 ~ 1.5	1.4 ~ 1.6
	雨天	信賴區間	[2.994556, 3.434016]	[2.685032, 3.124492]
		調整係數	1.7 ~ 1.8	1.7 ~ 1.8
山嶺區				
路寬			道路寬度在 5 公尺 (含) 以下	道路寬度在 5 ~ 8 公尺間
氣候	晴天	信賴區間	[2.565948, 3.005444]	[2.232651, 2.672111]
		調整係數	1.7 ~ 1.8	1.6 ~ 1.7
	雨天	信賴區間	[4.006461, 4.445920]	[3.601699, 4.041158]
		調整係數	2.0 ~ 2.1	1.9 ~ 2.0

表 7 簡化震災後公路緊急搶修時間調整係數

緊急搶修時間調整係數 (β_i)				
平原區				
路寬			道路寬度在 5 公尺 (含) 以下	道路寬度在 5 ~ 8 公尺間
氣候	晴天	調整係數	1.30	1.15
	雨天	調整係數	1.55	1.55
丘陵區				
路寬			道路寬度在 5 公尺 (含) 以下	道路寬度在 5 ~ 8 公尺間
氣候	晴天	調整係數	1.45	1.50
	雨天	調整係數	1.75	1.75
山嶺區				
路寬			道路寬度在 5 公尺 (含) 以下	道路寬度在 5 ~ 8 公尺間
氣候	晴天	調整係數	1.75	1.65
	雨天	調整係數	2.05	1.95

四、案例分析

交通部研究報告^[13]指出依目前公路之組織架構，在緊急搶通之作業制度上以公路總局所養護之路線為主，因此，省、縣道通過地點較易納入救援路線中被考慮，而各村里間之替代路線運輸問題較難以掌握，產業道路或專用道路則無法納入交通管理體系中。故震災發生後之運輸功能則端賴省道及縣道之修復情形，其搶修順序將決定整體績效及未來地方經濟之復甦速度，故省、縣道之緊急搶修工作有其急迫性，亦影響後續搶修及復建工作。

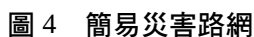
本研究先以簡易災害路網進行排程測試分析，再以公路總局第二區養護工程處座落於南投縣之工務段進行實例研究，以工務段所轄養之區域為行政分區，並以省道及縣道為研究對象。另本研究以分析者的立場提供震災緊急搶修排程供決策者參考，屬無偏好多目標規劃。在考量目標單位的不一致，本研究採權重法 (weighting method)，藉由設定不同權數的變動，將斜率範圍含括由 0 至 $-\infty$ 以求得真正非劣解集合，以供決策者選擇。另本研究以 Avenue 撰寫程式以進行演算，以一般重大災害公路緊急搶修排程在 72 小時內之搶修績效為比較基準，分以責任區制及不分區制之震災緊急搶修排程績效進行比較。

4.1 簡例分析

本節以小規模災區為簡例進行探討。圖 4 模擬九二一災區特性繪製，假設斷層所在位置沿節點 14、28、15、29、1、3、18、4、19、2、22、7 至節點 8 (比照車籠埔斷層沿臺 3 線沿線)，該路段之災點多 (節點 28、29、18、19 及節點 22)，受困人數多 (70 人)，但節

圖 4 上之節點所示座標 (X, Y)，其中 X 代表受困於該災點之人員數目，Y 代表完成

另以災點受損情形分析，在不考量行駛時間所耗用之旅行時間下，工作隊 1 要完成其轄養區域之所有災點搶修工作，其工作時間需時 95 小時 (不含行車時間)。工作隊 2 完成轄養區域內之災點搶修工作需工作時間 153 小時 (不含行車時間)。顯示在震災發生後 72 小時內，災區工作隊皆無法於黃金救援時間內完成所有災點之搶修 (或搶通) 工作，即無法完成所有受困民眾之紓困。故震災緊急搶修排程之訂定方式將會影響受困民眾之生存機會。



4.1.1 一般重大災害公路緊急搶修排程

一般重大災害公路緊急搶修排程係過去公路養護單位在公路災害發生後，各自以其轄養之道路養護區域進行道路搶修工作，彼此間並不相互支援。此時，道路搶修目標係要求各工作隊在最短的時間內完成道路災點之搶修（或搶通）工作。此時，工作隊 1 之搶修排程為 1→**29**→15→**28**→14→**27**→14→**30**→16→**31**；工作隊 2 之搶修排程為 2→**22**→2→**19**→4→**18**→4→10→**25**→10→**26**→10→**24**→9→**23**→8→7→6→**21**→5→**32**→5→**20**。前述排程粗體所示數字為災點。

由搶修效率分析，工作隊 1 完成所有災點搶修花費時間為 99.2 小時，工作隊 2 完成所有災點搶修花費時間為 161.8 小時，其總計花費時間為 261 小時，完成災區搶通所需時間為 161.8 小時；再以紓困最多受困人員的目標來看，工作隊 1 可完成搶通之災點為節點 29、28 及節點 27 等三處，可救援受困人數為 32 人；工作隊 2 可完成搶通之災點為節點 22 及節點 19 等二處，可救援受困人數為 28 人。綜上，在黃金救援時間內總計紓困人數為 60 人；以搶修最大道路里程目標來看，工作隊 1 完成搶修（或搶通）的道路長度為 44 公里，工作隊 2 完成搶修（或搶通）的道路長度為 16 公里，總計於黃金救援時間內完成搶修道路里程為 60 公里。

4.1.2 震災緊急搶修排程

本節假設在震災發生的同時，各主管機關能在最短的時間內完成災害資訊蒐集、災情研判並完成通報之理想情況下（即假設前置作業時間 α 為 0），各緊急搶修排程如表 8 及表 9。

表 8 責任區制^[2]震災緊急搶修排程

權重 (人數：里程)		排程	
		工作隊 1	工作隊 2
0	10	1→ 29 →15→ 28 →14→ 27	2→ 22 →7→8→ 23 →8→7→ 22 →2→ 20 →5→ 32
1	9	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
2	8	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
3	7	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
4	6	同權重 (0:10)	2→ 22 →7→8→ 23 →9→ 24 →10→ 26
5	5	同權重 (0:10)	同權重 (4:6)
6	4	同權重 (0:10)	2→ 22 →7→8→ 23 →8→7→ 22 →2→ 19
7	3	1→ 29 →15→ 28 →14→ 30	同權重 (6:4)
8	2	同權重 (7:3)	2→ 19 →2→ 22 →7→8→ 23
9	1	同權重 (7:3)	2→ 19 →2→ 22
10	0	同權重 (7:3)	2→ 22 →2→ 19

註：粗體數字所示者為災點。

表 9 不分區制^[2]震災緊急搶修排程

權重 (人數：里程)		排程	
		工作隊 1	工作隊 2
0	10	1→ 29 →15→ 28 →14→ 27	2→ 22 →7→8→ 23 →8→7→22→2→ 20 →5→ 32
1	9	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
2	8	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
3	7	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
4	6	同權重 (0:10)	2→ 22 →7→8→ 23 →9→ 24 →10→ 26
5	5	同權重 (0:10)	同權重 (4:6)
6	4	同權重 (0:10)	2→ 22 →7→8→ 23 →8→7→22→2→ 19
7	3	1→ 29 →15→ 28 →14→ 30	同權重 (6:4)
8	2	1→ 29 →15→ 28 →15→ 29 →1→3→ 18	2→ 19 →2→22→7→8→ 23
9	1	同權重 (8:2)	同權重 (8:2)
10	0	同權重 (8:2)	2→ 22 →2→ 19

註：粗體數字所示者為災點。

由於權重法係藉由設定不同權數的變動，將斜率範圍含括由 0 至 $-\infty$ 以求得真正非劣解集合，供決策者選擇。然權重法有其缺陷，即可能產生跳躍 (skip) 的情形，故本研究曾做加點處理，並未發現有異常情事。

4.1.3 績效分析

震災緊急搶修排程之績效如表 10 及表 11。表 10 所示為責任區制緊急搶修排程績效，表 11 所示為不分區制緊急搶修排程績效。各區制下之整體搶修績效係由工作隊 1 及工作隊 2 之搶修績效加總而得。以表 10 為例，在權重 (10:0) 下，工作隊 1 之搶修排程績效為紓困 37 人，搶修里程 34 公里，工作隊 2 之搶修排程績效為紓困 28 人，搶修里程 16 公里，故整體搶修績效為紓困 65 人，搶修里程 50 公里。

圖 5 顯示震災緊急搶修目標具抵換關係，其效率前緣線上座標 (53, 120) 所示為責任區制及不分區制震災緊急搶修排程之整體搶修績效相同，其可紓困之最少人數為 53 人，此時之最大搶修里程為 120 公里。座標 (72, 80) 所示為責任區制之震災緊急搶修排程最多可紓困人數為 72 人，此時搶修里程最少，為 80 公里。座標 (77, 66) 所示為不分區制之震災緊急搶修排程績效，其最多紓困人數為 77 人，此時搶修里程最少，為 66 公里。圖 6 及圖 7 係比較震災緊急搶修排程 (在責任區制與不分區制下之震災排程) 與一般重大災害公路緊急搶修排程間之績效。圖 6 所示責任區制震災緊急搶修排程在人員紓困績效的表現，相較一般重大公路災害黃金救援時間內之緊急搶修績效，其變動範圍在 $-11.67\% \sim 20\%$ 。不分區制在人員紓困之績效變動範圍在 $-11.67\% \sim 28.33\%$ 之間。圖 7 所示責任區制在道路

表 10 責任區制緊急搶修排程成果

權 重		工作隊 1 成果		工作隊 2 成果		整體搶修成果	
(人數：里程)		紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程
10	0	37	34	28	16	65	50
9	1	37	34	28	16	65	50
8	2	37	34	35	46	72	80
7	3	37	34	35	46	72	80
6	4	32	44	35	46	67	90
5	5	32	44	27	70	59	114
4	6	32	44	27	70	59	114
3	7	32	44	21	76	53	120
2	8	32	44	21	76	53	120
1	9	32	44	21	76	53	120
0	10	32	44	21	76	53	120

表 11 不分區制震災緊急搶修排程成果

權 重		工作隊 1 成果		工作隊 2 成果		整體搶修成果	
(人數：里程)		紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程
10	0	42	20	28	16	70	36
9	1	42	20	28	16	70	36
8	2	42	20	35	46	77	66
7	3	37	34	35	46	72	80
6	4	32	44	35	46	67	90
5	5	32	44	27	70	59	114
4	6	32	44	27	70	59	114
3	7	32	44	21	76	53	120
2	8	32	44	21	76	53	120
1	9	32	44	21	76	53	120
0	10	32	44	21	76	53	120

搶修里程績效的表現，相較一般重大公路災害在黃金救援時間內之緊急搶修績效，其變動範圍在 $-16.67\% \sim 100\%$ 。而不分區制在道路搶修里程績效之變動範圍在 $-40\% \sim 100\%$ 之間。綜上分析，不分區制震災緊急搶修排程在人員紓困之績效上表現較責任區制之排程績效為佳，而責任區制震災緊急搶修排程在道路搶修（或搶通）之績效較不分區制之排程績效為佳。

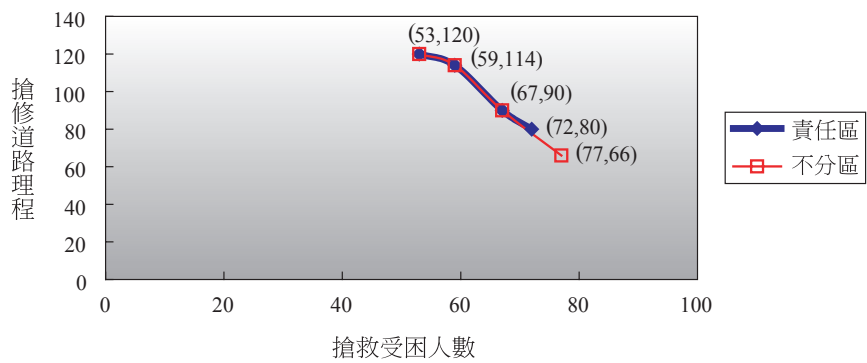


圖 5 不同區制震災緊急搶修排程效率前緣

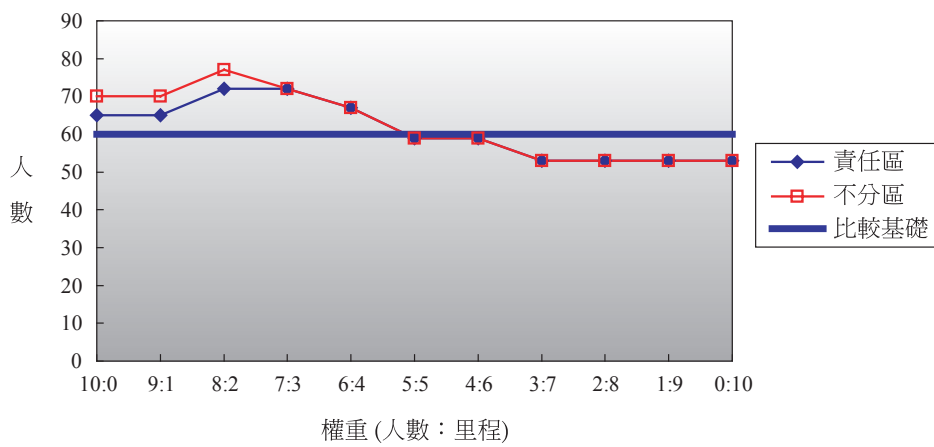


圖 6 不同區制震災緊急搶修排程績效之比較—紓困人數

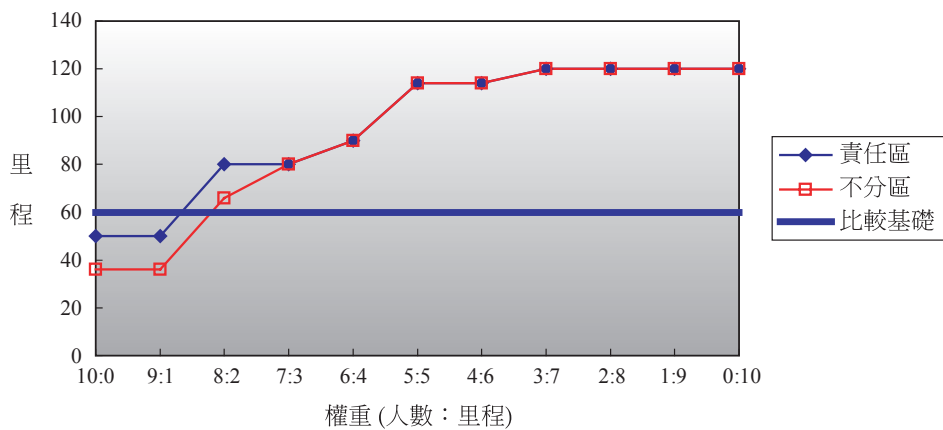


圖 7 不同區制震災緊急搶修排程績效之比較—搶修里程

在權重 (6:4) ~ (8:2) 間之震災緊急搶修排程績效，無論在紓困受困人員及搶修 (或搶通) 道路里程之績效均較傳統一般重大公路災害緊急搶修效果為佳。而在目標權重為 5:5 (含) 以下之緊急搶修排程，其紓困受困人員為 53 ~ 59 人，完成搶通之道路里程為 114 ~ 120 公里。就紓困最多受困人員之觀點而言，該等緊急搶修效果不彰，相較一般重大災害公路緊急搶修排程可紓困 60 人，其績效較差，不符合九二一震災搶救檢討事項之精神。

4.1.4 敏感度分析

氣候、地形及路寬均會影響災點搶修之工作時間，本節以不分區制權重在 10:0 時之緊急搶修排程為例，將緊急搶修時間調整係數 (β_j) 反映在災點 j 上，進行探討。

圖 4 之簡易災害路網係假設位於平原區，全區道路皆為 8 公尺以上之雙車道道路。工作隊於晴天進行緊急搶修工作時，工作隊 1 之緊急搶修排程為 1→29→15→28→15→29→1→3→18，可以完成搶修 (或搶通) 之里程為 20 公里，紓困人數達 42 人，此時耗用之時間為 71.6 小時。工作隊 2 之緊急搶修排程為 2→22→2→19，當完成災點 19 之搶修 (或搶通) 時，計完成搶修 (或搶通) 之里程為 16 公里，紓困人數達 28 人，共耗用時間為 46.5 小時。

假設圖 4 節點 28→15→29→1→3→18→4→19→2→22→7 之沿線道路屬路寬 7 公尺之丘陵區道路，其餘地方皆為路寬 8 公尺以上之平原區道路。當工作隊在晴天進行緊急搶修工作時，對照表 7 之時間調整係數為 1.5，表示災點搶修時間預估將增加 1.5 倍，即從原先之 60 小時增加至 90 小時。此時，工作隊 1 之緊急搶修排程為 1→29→15→28。當工作隊 1 完成災點 28 之搶修 (或搶通) 時，已耗用 53.5 小時，無法跨區完成災點 18 之搶修 (或搶通)。修正後之排程搶修績效將會降低，計可以完成搶修 (或搶通) 之里程為 14 公里 (降幅 35%)，紓困人數減為 29 人 (降幅約 31%)。同時，工作隊 2 完成災點 19 之搶修工作需時 72.5 小時，代表工作隊 2 無法在黃金救援時間內完成災點 19 之搶修工作。此時，工作隊之績效為搶通里程 6 公里，人員紓困 14 人。整體而言，在反映緊急搶修時間調整係數後之震災緊急搶修排程，其績效值在人員紓困部分減少 50%，在道路搶通部分減少 62.5%。

綜上發現緊急搶修時間調整係數 (β_j) 納入排程模式不會影響目標災點之設定及選擇，但會影響工作隊對目標災點間之路徑選擇，而直接影響災點搶修之工作時間，影響搶修績效。一般而言，當路網愈綿密時，其對工作隊績效的衝擊會較少，否則，反之。

4.2 實例分析

在實例分析上，本研究以南投縣之省道及縣道為研究範圍。南投縣為臺灣之地理中心，全縣土地面積為 4,106.4360 平方公里，多位於山區，地質破碎，人口約 54 萬人，地廣人稀。運輸主要靠公路，以省、縣道為主，省道為主要幹道，負責城際間之運輸，計有臺 14、14 甲、14 乙、16、21 及臺 21 甲等線，縣道負責城鎮間之地方運輸計有縣 131、

133、139 乙、147、150 及縣 151 等。其中臺 3 線及 21 線為貫通南投縣南北之幹線，臺 3 線位於南投縣之西側，沿線居民眾多，臺 21 線貫穿南投縣中部，沿線居民較少。

公路總局第二區養護工程處座落在南投縣之工務段有三，分別為南投工務段（後簡稱工作隊 1）、埔里工務段（後簡稱工作隊 2）及信義工務段（後簡稱工作隊 3），負責該縣省道及縣道之養護。其中，以工作隊 1 之養護責任區最大，工作隊 2 之養護責任區次之，工作隊 3 之責任養護區最小。各工務段座落位置及轄養道路之責任區，繪製如圖 8。

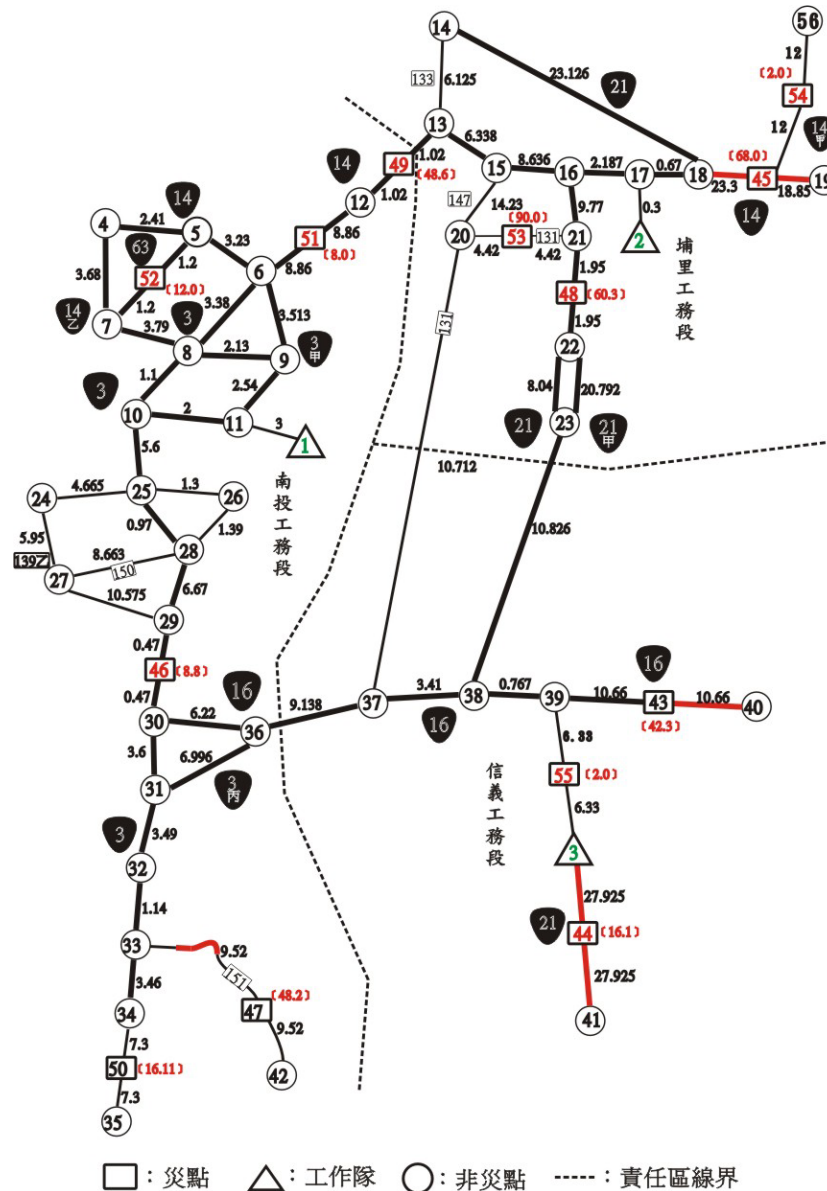


圖 8 南投縣公路路網及災點分布簡圖

圖 8 計有 56 個節點，68 條節線，其中節點編號 1 至 3 代表工作隊，節點編號 43 至 55 為災點。災點上標示數字 (X, Y)，X 代表搶通節點之工作時間，Y 表示該災點受困人數。節線上標示之數字為距離。其中，工作隊 1 之養護責任區制有 6 個災點，27 人受困，56.74 公里的道路阻斷；工作隊 2 之養護責任區制有 4 個災點，3 人受困，84.04 公里的道路阻斷；工作隊 3 之養護責任區制有 3 個災點，4 人受困，89.83 公里的道路阻斷。另以搶修之工作時間計算，除工作隊 3 可於 72 小時內完成其養護區內之災點搶修，餘二工作隊皆無法在 72 小時內完成所屬養護區之災點搶修。

本研究係假設在震災發生的同時，各主管機關能在最短的時間內完成災害資訊蒐集、災情研判並完成通報之理想情況下 (即假設前置作業時間 α 為 0) 進行。

4.2.1 一般重大災害公路緊急搶修排程

一般重大災害公路緊急搶修排程之目標在追求最短的時間內完成災點之搶修 (或搶通)。在此目標下，各工作隊之緊急搶修排程如下：

工作隊 1 (南投工務段)：1→11 →9 →6 →**51** →12 →**49** →12 →51 →6 →5 →**52** →7 →8 →10 →25 →28 →29 →**46** →30 →31 →32 →33 →**47**→33 →34 →**50**。其完成 6 個災點 (粗體所示者) 之搶修 (或搶通)，計 27 人紓困，56.74 公里完成搶修 (或搶通)，累計花費時間為 143.79 小時。

工作隊 2 (埔里工務段)：2→17 →16 →21 →**53** →21 →**48** →21 →16 →17 →**45** →**54**。其完成 4 個災點之搶修 (或搶通)，計 3 人紓困，84.04 公里完成搶修 (或搶通)，累計花費時間為 223.92 小時。

工作隊 3 (信義工務段)：3→**55**→39→**43**→39→**55**→3→**44**。其完成 3 災點之搶修 (或搶通)，計 4 人紓困，89.83 公里完成搶修 (或搶通)，累計花費時間為 62.52 小時。

綜上說明，工程處可於 224 小時內完成災區災點之搶修 (或搶通) 工作。然在黃金救援時間之限制下來探討，工作隊 1 完成 3 個災點之搶修 (或搶通)，紓困 6 人，搶修 22.16 公里；工作隊 2 完成 0 個災點之搶修 (或搶通)，紓困 0 人，搶修 0 公里；工作隊 3 完成 3 個災點之搶修 (或搶通)，紓困 4 人，搶修 89.83 公里。總計工程處在黃金救援時間內完成 10 人紓困，完成 111.99 公里之道路搶通。

4.2.2 震災緊急搶修排程

1. 責任區制之震災緊急搶修排程

在責任區下之緊急搶修排程，由於各工作隊僅能在其轄養區域進行災點搶修 (或搶通) 的工作，彼此間無法相互支援，故會產生搶修資源運用不佳及無效率的情形。責任區制不同權重下各工作隊之緊急搶修排程如表 12。

由於工作隊 1 負責之災區範圍大且路網綿密，故在不同權重下，其緊急搶修排程之變

異會較多。而工作隊 2 相對於工作隊 1 而言，其災區範圍小且路網較不綿密，故其緊急搶修排程變異性不大，僅在權重 (9:1) 及 (10:0) 時，方產生排程變動。工作隊 3 之災區最小，且無路網形成，災點均可於 72 小時內完成搶修 (或搶通)，故無替代路線。

表 12 責任區制震災緊急搶修排程

權重 (人數：里程)		排程		
		工作隊 1	工作隊 2	工作隊 3
0	10	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→31→32→33→ 47 →33→32→31→30→ 46 →29→28→25→10→8→6→ 51	2→17→18→ 45 → 54	3→ 44 →3→ 55 →39→ 43
1	9	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
2	8	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
3	7	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→31→32→33→ 47	2→17→18→ 45 → 54 同權重 (0:10)	3→ 44 →3→ 55 →39→ 43 同權重 (0:10)
4	6	同權重 (3:7)	同權重 (3:7)	同權重 (3:7)
5	5	同權重 (3:7)	同權重 (3:7)	同權重 (3:7)
6	4	同權重 (3:7)	同權重 (3:7)	同權重 (3:7)
7	3	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→31→32→33→34→ 50	2→17→18→ 45 → 54 同權重 (0:10)	3→ 44 →3→ 55 →39→ 43 同權重 (0:10)
8	2	同權重 (7:3)	同權重 (7:3)	同權重 (7:3)
9	1	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→31→32→33→34→ 50 →34→33→32→31→30→ 46 →29→28→25→10→8→6→ 51	2→17→18→ 45 → 54 同權重 (0:10)	3→ 44 →3→ 55 →39→ 43 同權重 (0:10)
10	0	同權重 (9:1)	2→17→16→21→ 48	3→ 55 →39→ 43

註：粗體所示者為災點。

2. 不分區制之震災緊急搶修排程

在不分區下之緊急搶修排程，由於各工作隊彼此間能跨區相互支援，故搶修資源可充分利用，緊急搶修排程會較具彈性。不分區制不同權重下各工作隊之緊急搶修排程如表 13。

表 13 顯示如在權重 (0:10) ~ (3:7)，工作隊 1 跨區搶修災點 43 (工作隊 3 轄養區)；在權重 (4:6) 時，工作隊 1 跨區搶修災點 43 (工作隊 3 轄養區)，工作隊 3 跨區搶修災點 50 (工作隊 1 轄養區)；在權重 (9:1) 及 (10:0) 時，工作隊 1 跨區搶修災點 43 及 44 (工作隊 3 轄

養區)，工作隊 2 跨區搶修災點 49 (工作隊 1 轄養區)，工作隊 3 跨區搶修災點 50 (工作隊 1 轄養區)。

表 13 不分區制震災緊急搶修排程

權重 (人數：里程)		排程		
		工作隊 1	工作隊 2	工作隊 3
0	10	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→36→37→38→39→ 43 *	2→17→18→ 45 → 54	3→ 44 →3→ 55
1	9	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
2	8	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
3	7	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)
4	6	同權重 (0:10)	同權重 (0:10)	3→ 44 →3→ 55 →39→38→37→36→31→32→33→34→ 50 *
5	5	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→31→32→33→34→ 50	同權重 (0:10)	3→ 44 →3→ 55 →39→ 43
6	4	同權重 (5:5)	同權重 (0:10)	同權重 (5:5)
7	3	同權重 (5:5)	同權重 (0:10)	同權重 (5:5)
8	2	同權重 (5:5)	同權重 (0:10)	同權重 (5:5)
9	1	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→36→37→38→39→ 55 *→3→ 44 *	2→17→16→15→13→ 49 *	3→ 55 →39→38→37→36→31→32→33→34→ 50 *
10	0	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→36→37→38→39→ 43 *	同權重 (9:1)	同權重 (9:1)

註：1. 粗體所示者為災點。

2. *所示者為跨區搶修之災點。

4.2.3 績效分析

表 14 所示為責任區制緊急搶修排程成果。在責任區制下，工作隊無法跨區進行搶修，故工作隊 3 雖能在 72 小時內完成其轄區內災點之搶修，卻無法支援其他工作隊。此時，責任區制之整體績效變動係依工作隊 1 及工作隊 2 之績效組合變動而變動。

責任區制下之緊急搶修排程，從人員紓困之目標來分析，可紓困人員數目在 14 人至 26 人間，均較一般重大災害之公路緊急搶修排程績效 10 人為佳，績效增加幅度為 40% ~ 160%；從搶修最大道路里程的目標分析，責任區制下之緊急搶修排程績效整體搶修 (或搶

通)之道路里程在 125.99 公里至 193.68 公里間，均較一般重大災害之公路緊急搶修排程績效 111.99 公里為佳，績效增加幅度為 12.5% ~ 72.94%。

表 15 所示為不分區制緊急搶修排程成果，不分區制之整體績效變動係依工作隊 1、工作隊 2 及工作隊 3 之績效組合變動而變動。從紓困最多受困人員之目標來分析，可紓困人員數目在 12 人至 28 人間，績效增加幅度為 20% ~ 180%，均較一般重大災害公路緊急搶修排程績效紓困 10 人為佳。另從搶修最大道路里程的目標分析，可搶修 (或搶通) 之道路里程在 51.56 公里至 171.52 公里間，績效變動幅度為 -46% ~ 53.16%。

表 14 責任區制震災緊急搶修排程成果

權 重		工作隊 1 南投工務段		工作隊 2 埔里工務段		工作隊 3 信義工務段		整體 搶修成果	
人數：里程		紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程
0	10	10	37.7	0	66.15	4	89.83	14	193.68
1	9	10	37.7	0	66.15	4	89.83	14	193.68
2	8	10	37.7	0	66.15	4	89.83	14	193.68
3	7	10	19.98	0	66.15	4	89.83	14	175.96
4	6	19	15.54	0	66.15	4	89.83	23	171.52
5	5	19	15.54	0	66.15	4	89.83	23	171.52
6	4	19	15.54	0	66.15	4	89.83	23	171.52
7	3	19	15.54	0	66.15	4	89.83	23	171.52
8	2	19	15.54	0	66.15	4	89.83	23	171.52
9	1	19	32.26	0	71.3	4	89.83	23	193.39
10	0	19	32.26	3	3.9	4	89.83	26	125.99

圖 9 所示為責任區制與不分區制之效率前緣，顯示震災緊急搶修之二目標間具抵換 (trade off) 關係，其中責任區制在搶修里程之目標表現較佳，不分區制在人員紓困的目標上表現較佳。

綜上分析，震災後公路緊急搶修目標設定在人員紓困及搶修最大道路里程的雙目標時，其緊急搶修排程績效無論在人員紓困及道路搶修上，均較一般重大災害公路搶修績效為佳，如圖 10 及圖 11。由於前述緊急搶修目標具抵換關係，當設定人員紓困目標之權重愈高時，工作隊愈易產生跨區搶修之行為。此時，人員紓困績效會呈現，然在搶修道路里程的績效會跌落，甚至會較一般重大公路災害緊急搶修排程之績效為差。

表 15 不分區制震災緊急搶修排程成果

權 重		工作隊 1 南投工務段		工作隊 2 埔里工務段		工作隊 3 信義工務段		整體 搶修成果	
人數：里程		紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶修 里程	紓困 人數	搶里 程修
0	10	11	22.26	0	66.15	1	68.51	12 [*]	156.92
1	9	11	22.26	0	66.15	1	68.51	12 [*]	156.92
2	8	11	22.26	0	66.15	1	68.51	12 [*]	156.92
3	7	11	22.26	0	66.15	1	68.51	12 [*]	156.92
4	6	11	22.26	0	66.15	12	83.11	23 ^{**}	171.52
5	5	19	15.54	0	66.15	1	68.51	20	150.2
6	4	19	15.54	0	66.15	1	68.51	20	150.2
7	3	19	15.54	0	66.15	1	68.51	20	150.2
8	2	19	15.54	0	66.15	1	68.51	20	150.2
9	1	9	56.79	6	2.04	11	27.26	26 ^{***}	86.09
10	0	11	22.26	6	2.04	11	27.26	28 ^{***}	51.56

註：1.^{*} 代表 1 個工作隊有跨區進行緊急搶修工作的行為。
 2.^{**} 代表 2 個工作隊有跨區進行緊急搶修工作的行為。
 3.^{***} 代表 3 個工作隊有跨區進行緊急搶修工作的行為。

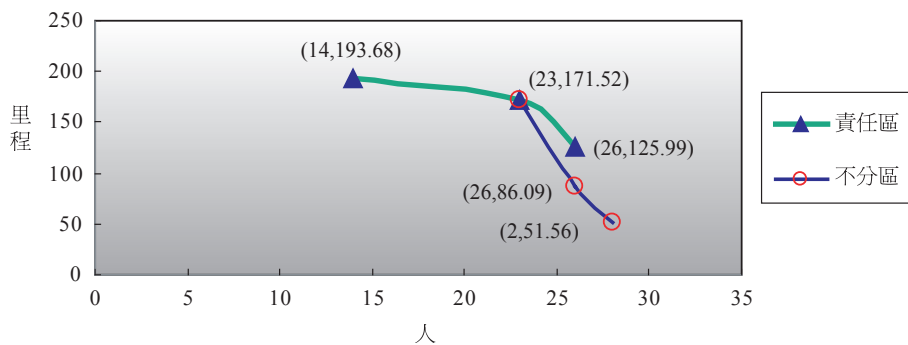


圖 9 效率前緣

另權重在 (6:4)、(7:3) 及 (8:2) 三處之震災後緊急搶修排程無論在人員紓困之目標及道路里程搶修之目標上，其績效均較傳統一般重大公路災害搶修排程績效為佳。震災緊急搶修目標權重 (人數：里程) 在 (9:1) 或 (10:0) 時，其緊急搶修排程最能符合九二一震災檢討事項，即工程處集中資源優先完成臺 3 線之搶修 (或搶通) 工作，惟其在道路搶修 (或搶通) 之績效表現會較差，對後續災害復建工作會有影響。

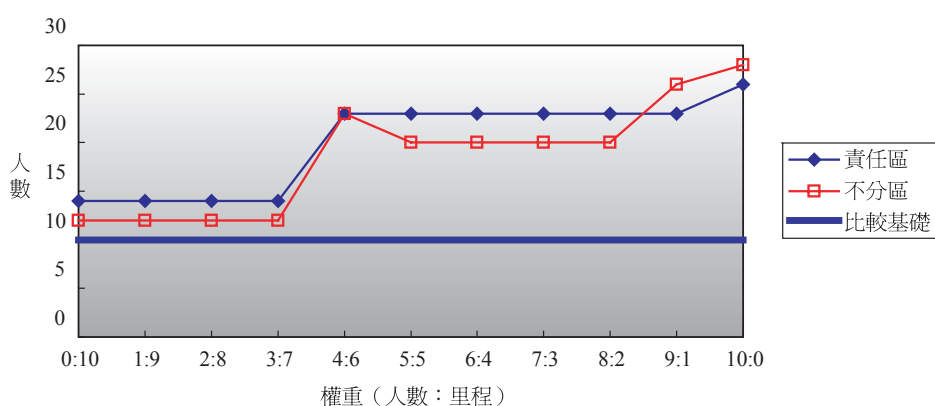


圖 10 責任區制 (分區制) 與不分區制之績效比較—人員紓困目標

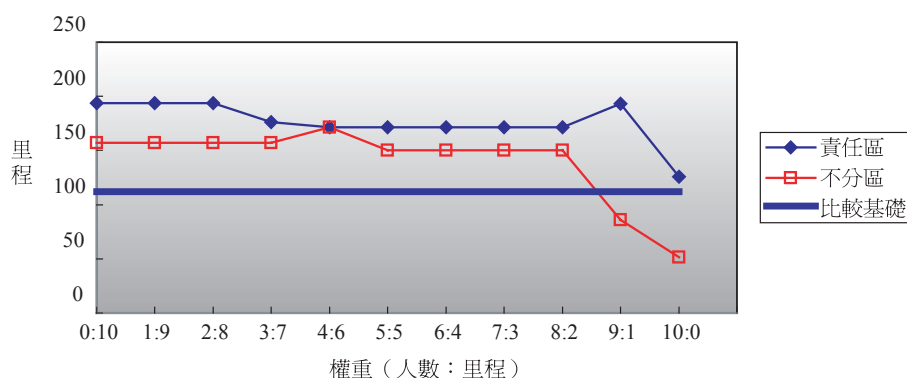


圖 11 責任區制 (分區制) 與不分區制之績效比較—搶修道路里程目標

4.2.4 敏感度分析

本節以權重為 9:1 時之震災緊急搶修排程為範例，進行敏感度分析。首先假設工作隊 1 所轄道路為平原區，路寬八公尺以上之道路，震災發生時為晴天。工作隊 2 所轄道路為山嶺區，路寬為五公尺之道路，震災發生時為雨天。工作隊 3 所轄道路為丘陵區，路寬七公尺以上之道路，震災發生時為晴天。

上述情境經查表 7 可知，工作隊 1 所轄養區域之災點，搶修時間調整係數值為 1.0，工作隊 2 所轄養區域之災點，搶修時間調整係數值為 2.05，工作隊 3 所轄養區域之災點，搶修時間調整係數值為 1.5。此即代表工作隊 1 所轄區域之災點搶修時間不變，工作隊 2 所轄區域之災點搶修時間增加 2.05 倍，工作隊 3 所轄區域之災點搶修時間增加 1.5 倍。反映時間調整係數之排程及其績效如表 16。

表 16 顯示在責任區制下，工作隊 2 所處之搶修環境最為惡劣。以一般重大公路災害緊急搶修之清運標準計算災點搶修時間，工作隊 2 可以完成災點 45 及災點 54 的搶修（或搶通）。在反映時間調整係數後，災點 45 的搶修時間由 68 小時增加一倍至 139.4 小時，致工作隊 2 在黃金救援時間內無法搶修任何災點，搶修績效為 0。

工作隊 3 所處之情境界於工作隊 1 與工作隊 2 之間。以一般重大公路災害緊急搶修之清運標準計算災點搶修時間，工作隊 3 可以完成災點 44、災點 55 及災點 43 等三處災點的搶修（或搶通）。在反映時間調整係數後，災點 43 的搶修時間由 42 小時增加至 63 小時，故在黃金救援時間內，僅能完成災點 44 及災點 55 的搶修。其排程在人員紓困的績效減少 75%，在道路搶修績效減少 25.18%。

表 16 反映時間調整係數後之震災緊急搶修排程及績效

原責任區制之震災緊急搶修排程	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→31→32→33→34→ 50 →34→33→32→31→30→ 46 →29→28→25→10→8→6→ 51		2→17→18→ 45 → 54		3→ 44 →3→ 55 →39→ 43	
績效	19 人	32.26 公里	0 人	71.3 公里	4 人	89.83 公里
	整體紓困 23 人，搶修 193.39 公里					
調整後責任區制之震災緊急搶修排程	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→31→32→33→34→ 50 →34→33→32→31→30→ 46 →29→28→25→10→8→6→ 51		無法搶通任何災點		3→ 44 →3→ 55	
績效	19 人	32.26 公里	0 人	0 公里	1 人	68.51 公里
	整體紓困 20 人，搶修 100.77 公里					
原不分區制之震災緊急搶修排程	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→36→37→38→39→ 55 *→3→ 44 *		2→17→16→15→13→ 49 *		3→ 55 →39→38→37→36→31→32→33→34→ 50 *	
績效	9 人	56.79 公里	6 人	2.04 公里	11 人	27.26 公里
	整體紓困 26 人，搶修 86.09 公里					
調整後不分區制之震災緊急搶修排程	1→11→10→25→28→29→ 46 →30→36→37→38→39→ 55 *→3→ 44 *		2→17→16→15→13→ 49 *		3→ 55 →39→38→37→36→31→32→33→34→ 50 *	
績效	9 人	56.79 公里	6 人	2.04 公里	11 人	27.26 公里
	整體紓困 26 人，搶修 86.09 公里					

註：1. 粗體所示者為災點。

2. * 所示者為跨區搶修之災點。

反觀不分區制之震災緊急搶修排程，三工作隊間相互跨區進行搶修。由於二區災點之受困人數最少，故工作隊將以搶修一區為主，三區次之。故時間調整係數對排程的影響會較輕微。

以本例而言，責任區制在反映時間調整係數後，其人員紓困績效減少 13%，道路搶修績效減少 47.89%。而不分區制則未受到影響。

五、結論與建議

5.1 結論

1. 文獻對緊急搶修目標之認定分歧，本研究將問卷資料以配對比較法辨識工程人員對震災後緊急搶修目標之認知偏好，並界定震災緊急搶修目標為追求紓困最多受困人員及追求搶修（或搶通）最大道路里程。
2. 本研究以數學規劃（0-1 整數規劃）構建基本模式（一般重大災害公路緊急搶修模式）及震災緊急搶修模式。其中基本模式以工務段為決策單位，追求於最短時間內完成轄區災點之搶修（或搶通）工作。而震災緊急搶修模式以災區工程處為決策單位，以追求紓困最多受困人員及追求搶修（或搶通）最大道路里程為緊急搶修目標。二模式皆以災點完成搶修（ Y_j^v ）及行經路段（ X_{ij}^v ）為決策變數。鑑於震災緊急搶修作業與一般重大災害公路緊急搶修作業之特性不同，本研究將九二一震災緊急搶修工作所面臨之課題，如時間限制 [同時考量緊急搶修工作之前置作業時間（ α ）及緊急搶修時間調整係數（ β_j ）、搶修派遣方式及清運能量的限制納入震災緊急搶修模式之限制式中，並比較二模式在黃金救援時間內之搶修績效。
3. 本研究對震災緊急搶修排程分以責任區制及不分區制進行簡例及實例的演算，發現緊急搶修目標間具抵換（trade off）關係。
4. 本研究反映氣候、地形及路寬等因素對道路緊急搶修時間之影響，建立震災緊急搶修時間調整係數。
5. 演算過程發現災區路網結構會影響不同區制之搶修績效。整體而言，路網愈綿密，可增加工作隊繞徑之選擇，會縮小責任區制與不分區制間在搶修績效上之差距；相對的，當路網愈稀疏，工作隊繞徑的選擇將受到限制，會拉大責任區制與不分區制間在搶修績效上之差距。
6. 問卷分析中發現主管與非主管間對震災後緊急搶修目標之認知偏好不同，其中主管人員對道路搶通目標之偏好優於人員紓困之目標，而非主管人員對紓困人員之目標偏好優於道路搶通之目標。經分析發現係因主管人員需擔負緊急搶修成敗責任所致。
7. 問卷分析發現工程人員認為現行「定期預約方式辦理查核金額以下經常性緊急搶修工程之契約」對清運標準之規定較為嚴格，該標準應用在震災緊急搶修工作上會低估災點緊

急搶修之作業時間。

8. 責任區制較適用在一般性災害公路的搶修工作，至於大型災害之緊急搶修工作，選擇採用不分區制會較責任區制為佳。尤其在災點廣泛、災情嚴重且分布不均時，跨區搶修之機會愈高，不分區制緊急搶修排程之績效愈能顯現。
9. 設定震災緊急搶修目標權重（人數：里程）在（9:1）或（10:0）時，其產生的績效可能並非最有效率，分析原因在於完全的目標導向會產生跨區行為，雖有助提高紓困人員的數目，相對的，工作隊當被指派對受創嚴重（搶修時間長）且遠距之災點進行緊急搶修工作時，會產生牽絆的影響，故產生之排程路線可能並非最有效率。本研究建議設定震災緊急搶修目標權重（人數：里程）在（6:4）、（7:3）或（8:2），在此權重下之緊急搶修績效無論在人員紓困或道路搶修（或搶通）上，均較一般重大災害公路緊急搶修排程績效為佳。

5.2 建議

1. 建議後續對不同的地質在地震災害所造成坍方之石材種類及數量，對震災緊急搶修時間之影響程度做進一步研究，並納入緊急搶修時間調整係數。
2. 建議道路養護機關對各路線崩塌、落石的次數及數量進行蒐集並建立資料庫，未來在搶修排程之風險因素上，以機率處理，以增加其可行性。
3. 建議公路養護單位未來在修訂「定期預約方式辦理查核金額以下經常性緊急搶修工程之契約」時，能參考緊急搶修彈性調整係數（ β_j ），並反映在清運能量之計算上。

參考文獻

1. 葉昭雄，「臺八線谷關（34K+500）～壩新路口（34K+500）段九二一震災搶修經過」，**臺灣公路工程**，第二十六卷，第八期，民國八十九年，頁 2-14。
2. 馮正民、王在莒，「非都會區公路緊急搶修作業之課題與系統架構」，**都市與計劃**，第三十卷，第四期，民國九十二年，頁 347-370。
3. 許志義，**多目標決策**，增訂版，五南圖書出版股份有限公司，民國九十二年。
4. Chang, S. E. and Nojima, N., "Measuring Post-Disaster Transportation System Performance: The 1995 Kobe Earthquake in Comparative Perspective", *Transportation Research*, 2001, Vol. 35A, pp. 475-494.
5. Chen, W. Y. and Tzeng, G. H., "A Fuzzy Multi-Objective Model for Reconstructing Post-Earthquake Road-Network by Genetic Algorithm", *International Journal of Fuzzy Systems*, 1999, Vol. 2, pp. 85-95.
6. Friedrich, F., Gehbauer, F., and Ricker, U., "Optimized Resource Allocation for Emergency Response after Earthquake Disasters", *Safety Science*, Vol. 35, 2000, pp. 41-57.

7. 交通部，**大規模災變之公路系統防救災規劃與修復策略研究 (1/3)**，民國九十年。
8. 吳心琪，「震災後工程搶修作業排程之研究」，國立交通大學碩士論文，民國八十六年。
9. 鄭欣蓉，「震災物資配送系統之最適規劃」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十九年。
10. 張立偉，「災後工程緊急搶修作業排程之研究」，淡江大學碩士論文，民國九十年。
11. 馮正民、林楨家、王在莒、溫杰炤，**地震災區交通之評估與決策分析 (二) 永續發展式的災區重建：921 災區重建發展之研究**，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，民國九十一年。
12. Feng, C. M. and Wang, T. C., "Highway Emergency Rehabilitation Scheduling in Post-Earthquake 72 Hours", *Journal of the 5th Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2003, pp. 3276-3285.
13. 交通部，**大規模災變之公路系統防救災規劃與修復策略研究 (二)**，民國九十二年。
14. 吳旻樵，「新 VRP 啟發式解法之開發」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十一年。
15. 韓復華、卓裕仁，「網路節點服務 TSP 與 VRP 問題回顧」，**運輸網路分析**，民國八十三年，頁 202-223。
16. 古永嘉譯，**企業研究方法**，華泰書局，民國八十五年。

