

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

地震災區交通之評估與決策(一)

The Evaluation and Decision Analysis for the Transportation of Earthquake
Disaster Area (1)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC90-2621-Z-009-001

執行期間：89年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：馮正民教授

共同主持人：林楨家助理教授

研究人員：黃亦琇

陳信宇

處理方式：可立即對外提供參考

執行單位：國立交通大學交通運輸研究所

中華民國 九十 年 七 月

摘要

地震對於人們的威脅在於發生突然，很難事先做好預防工作，而且其破壞往往是難以預測且瞬間即造成，尤其是大地震的破壞更是慘重。在民國 88 年 921 集集大地震對台灣地區造成嚴重的傷亡，而政府花費了許多時間與金錢仍無法完全彌補地震所造成的破壞，因此更值得我們去重視地震的發生以及如何去因應地震可能帶來的傷害。

在地震發生之後，為配合救災工作的執行，救災方面的交通需求在瞬間急遽增加，然而交通運輸系統由於受到地震侵襲，造成全面性的破壞，使得災區部分道路一度中斷，影響後續整個救援行動之效率，也使得災情更加慘重。因此我們發現：災後的應變、處置、復原以及事先預防災害的發生同等重要，尤其台灣處於地震帶上，對於預防地震災害的發生及震災發生後的應變處理更需重視。

本研究將地震發生時期分為四個階段，分別為：災前、搶救、維生、復舊，整理各個階段所必須完成的工作任務，更進一步探討為配合工作任務的完成，所必須掌握的相關資訊，根據這些資訊需求及其間之相互關係來構建一套適用於國內且符合各項防災、救災與復原工作所需之道路系統評估指標，除了可評估災後的損害情形之外，也可對於災後的救災工作進行評估。同時，本研究也提出一套配合評估指標所需的資訊收集方法，以改善目前資料普遍嚴重不足的缺失，並期望未來在資料收集方面有所助益。最後，則針對 921 集集大地震災區進行實例分析，除檢證評估指標之實用性外，並就分析結果對當地防救災工作提出建議。

關鍵詞：評估指標、地震災害、道路系統。

Abstract

The threats of earthquakes for people are the sudden occurrence, and hard to do the preparations in advance; besides, the destruction is always difficult to estimate and is made all of a sudden, especially big earthquakes. In 1999, Chi-Chi earthquake did a harmful damage to Taiwan; our government spent lots of time and money trying to recover but still inefficiency. Therefore, it makes us to emphasize the occurrence of earthquakes and to prevent the possible harm which is brought by earthquakes.

After the earthquake's coming, in order to proceed with the rescue, the demand for traffic will increase sharply in a very short time. But the transportation system was totally destructed because of the earthquake, part of the disaster area's roads were interrupted. It affected the whole rescue's efficiency, and made the disaster more serious. Therefore, we realize that the response, arrangement, recovery after the earthquake are as important as the prevention before the earthquake.

First of all, we divided the period of the earthquake into four steps: beforehand, rescue, maintenance, and recovery, and then discussed the necessary jobs and relative information in the four steps. Based on those needed information, we constructed the evaluation indicators for road system. After the construction of the evaluation indicators, we can adapt those evaluation indicators to our country and coincide with the demand of prevention, rescue and recovery. Besides evaluating the harm brought by the earthquake, the system can evaluate the performance of the rescue. This research also provides some useful methods to collect information to construct the evaluation system. The goal is to improve the problem of the lack of information to do further research, and make some contribution for the future. Finally, the case study on Chi-Chi earthquake disaster area is proceeded to put the evaluation system into practice. The results of the case study not only verify the application feasibility of the developed evaluation indicators, but also provide some recommendations for the recovery tasks in the disaster area.

Key words: evaluation indicators, earthquake disaster, road system.

目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vii

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究對象與範疇.....	2
1.3 研究流程與內容.....	4

第二章 文獻回顧與評析

2.1 震災之交通評估指標.....	6
2.2 921 集集大地震交通系統緊急應變相關研究.....	9
2.3 交通資料調查與收集.....	10
2.4 小結.....	11

第三章 震災交通評估指標體系之建立

3.1 問題分析與指標架構.....	13
3.2 資訊導向之對應指標.....	15
3.3 任務導向之對應指標.....	23
3.4 資料之收集方法.....	35
3.4.1 災害調查的基本概念.....	35
3.4.2 進行調查需注意的項目.....	38

第四章 實例分析

4.1 實例範圍與指標項目之界定.....	40
4.1.1 921 集集大地震災損概述.....	40
4.1.2 研究範圍.....	40
4.1.3 指標項目之界定.....	41
4.2 實例研究之指標建立.....	44
4.2.1 災前階段.....	44
4.2.2 搶救階段.....	48
4.2.3 維生階段.....	52
4.2.4 復舊階段.....	54
4.3 發展課題與對策.....	56

第五章 結論與建議

5.1 結論.....	59
5.2 建議.....	60
參考文獻.....	62

圖目錄

圖 1.1 研究流程.....	4
圖 3.1 指標構建之系統架構圖.....	15
圖 4.1 研究範圍.....	41
圖 4.2 地震潛在危險度.....	44
圖 4.3 避難危險度.....	45
圖 4.4 救援困難度.....	46
圖 4.5 道路危險度.....	47
圖 4.6 醫療資源服務能力.....	47
圖 4.7 人口密度圖.....	48
圖 4.8 人員搶救率.....	49
圖 4.9 人員受損程度.....	49
圖 4.10 醫療資源服務民眾率.....	50
圖 4.11 避難所收容密度.....	51
圖 4.12 需注意倒塌建物面積比.....	51
圖 4.13 危險建物面積比.....	52
圖 4.14 避難所收容密度.....	53
圖 4.15 維生線修復情形.....	54
圖 4.16 災情回報準確度.....	55
圖 4.17 受損程度.....	55
圖 4.18 地震潛在危險度.....	56
圖 4.19 災前災後醫療資源服務能力比較圖.....	58

表 目 錄

表 2.1 地震災害風險度評估要因分類.....	7
表 2.2 東京都區部（23 區）地震危險度評估指標.....	8
表 3.1 各階段之工作任務與所需資訊對應表.....	16
表 3.2 工作任務與任務導向指標對應表.....	24
表 3.3 資訊導向指標及其變數對應表.....	32
表 3.4 任務導向指標之公式.....	33
表 3.5 任務導向指標值的意義.....	34
表 3.6 資訊蒐集方法.....	39
表 4.1 已掌握資訊導向指標說明表.....	42
表 4.2 已進行分析之任務導向指標說明表.....	43
表 5.1 各階段評估指標.....	59

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

民國 88 年 921 集集大地震為台灣百年來規模最大的地震，除了對台灣中部地區造成相當嚴重的破壞，也帶走了許多無辜的生命。在地震發生之後，為配合救災工作的執行，救災方面的交通需求在瞬間急遽增加，然而交通運輸系統又遭到地震侵襲，造成全面性的破壞，災區部分道路甚至一度中斷，其中以東勢、中寮、集集、竹山等最為嚴重，以致於影響到後續整個救援行動之效率，也使得災情更加慘重。由這次的教訓告訴我們，災後的應變、處置、復原以及事先預防災害的發生同等重要，尤其台灣處於地震帶上，對於預防地震災害的發生及震災發生後的應變處理更需重視。

地震發生之後必須採取之緊急措施包括：疏散人民、醫療救援、運送物資、重要設施搶修等，每一環節皆與交通部門息息相關，無一不需交通運輸部門之協助方能順利完成，但就在災後分秒必爭的情況中，如何在有限的資源限制下，作出合理且有效的決策，便成為相當關鍵的課題。

合理有效的決策首賴於對災損情況的掌握，然而過去對於災損情況的描述方式常常無法滿足救災工作的需要；例如：著重於對個別運輸設施災損的統計，無法說明該設施對救災或復原的重要性與影響力，亦即尚須搭配地區發展特性之資訊，方能有效進行決策判斷。因此，如何建立一套符合交通運輸部門在救災工作上需要的災損指標，是未來努力的目標。另外，衡量交通運輸部門在救災與復原作為之績效，也有其重要性存在，此績效不僅可評估國內災後復原工作之效率，同時也說明災區復原繼續發展的速度與能力；因此，建立救災與復原績效之評估指標，作為對 921 集集大地震救災工作績效檢討之依據，以及設定未來改進之目標，亦是另一個重要的課題。

因此，若能依據 921 集集大地震救災過程之經驗，構建一套完整又有用的指標系統，輔助救災人員在有限的時間內掌握狀況並做出最佳決策，對災區緊急處置以及復原工作將有很大的幫助。

基於以上說明，為能降低地震災區之損失，並於災後迅速有效地重建，本研究之目的如下：

1. 建立適用於國內且符合各項防災、救災復原工作所需之震災道路系統評估指標，並提出指標所需資料之蒐集調查方法，供爾後應用之參考。
2. 災前重點為規劃未來防災時所需工作，目標為提高整個災後救災之工作效率；災後則藉由指標描述整個災損情況、判定救急工作之效率。

3. 以 921 集集大地震為實例，進行災情與復原工作比較之檢討，除驗證所建立指標系統之適用性外，並可提供相關救災與復原單位參考。

1.2 研究對象與範疇

研究對象分別針對地震災害與道路系統作介紹；地震災害可了解地震之發生成因以及地震災害之類型。研究範疇則分為內容範疇、空間範疇及時間範疇三部分。

(一) 地震災害

1. 地震的成因

根據國家地震工程中心網站資料顯示，地震可分為自然地震與人工地震（例如：核爆）。一般所稱之地震為自然地震，依其發生之原因又可分為：(1)構造性地震；(2)火山地震；(3)衝擊性地震（例如，隕石撞擊）。其中又以板塊運動所造成的地殼變動（構造性地震）為主。

由於地球內有一種推動岩層的應力，當應力大於岩層所能承受的強度時，岩層會發生錯動（dislocation），而這種錯動會突然釋放巨大的能量，並產生一種彈性波（elastic waves），我們稱之為地震波（seismic waves），當它到達地表時，引起大地的震盪，這就是地震。

2. 地震災害

大型地震所造成的影響與災害可分為三類（鄭欣蓉，2000）：

(1) 一次災害

在地震發生的同時引起的災害，稱為一次災害，如地盤隆起、陷落、土壤液化、建築物崩壞、瓦斯管破裂及建築物火災等。

(2) 二次災害

由於一次災害的擴大，波及而造成之災害，稱為二次災害。例如由於建築物倒塌、殘礫阻塞道路，以致影響交通，造成避難及救災的困難。另外，如初期建築個體的火災發生延燒而形成市區大火等。

(3) 三次災害

一次災害或二次災害，經過一段長時間仍無法解除或因這些災害的破壞而醞釀形成大範疇、長期性、複合性的災害，諸如都市機

能的低落而導致經濟衰微、社會不安，或是大量人畜傷亡處理不當而引發傳染病。

陳亮全、邱昌平（1988）將地震引起之災害依時間區分為直接災害、間接災害及後續災害；而對象則分為「物」、及「人」的受害兩類來介紹地震帶來的災害內容。

（二）道路系統

防救災之交通系統包括公路系統、鐵路系統、大眾運輸系統等，但不論是災後搶救或復原工作，道路系統均被視為是最具彈性與效率之運輸設施，因此本文所探討的範疇僅侷限於道路系統。

（三）內容範疇

- ◆ 構建震災道路系統評估指標。
- ◆ 建立資料之收集方法。
- ◆ 針對 921 集集大地震之災區進行評估指標之實例研究。

（四）空間範疇

本研究之空間範疇是以「鄉鎮市」來探討研究範疇之災損情形及救急工作，但未來在防災及減災的應用上可視規劃工作情形調整，將空間範疇訂為介於「村里」或「鄉鎮市」等行政區。

（五）時間範疇

在時間範疇上，本研究共分為災前、搶救、維生及復舊四個階段。在地震發生前即做好事前規劃，將地震可能造成的傷害降至最低，因此災前即有防災工作；而地震發生後，欲降低大型震災可能導致的損害，在規劃上可分為搶救、維生、及復舊三階段，也就是以時間點將工作流程作區隔，由於不同時間點需考量的工作任務不同，評估指標項目也有因工作任務的不同而有所變化。

- （1） 災前：在地震發生之前，主要是針對防災與減災兩項工作。
- （2） 搶救：地震發生後的一星期內，主要是搶救人員、設施。
- （3） 維生：地震發生後一星期後至三個月內為維生階段，主要工作為維持災區民眾的生活。
- （4） 復舊：地震發生的三個月之後為復舊階段，主要工作為儘速恢復災區災民的生活及各種復原行動。

1.3 研究流程與內容

各項工作之研究流程如圖 1.1 所示：

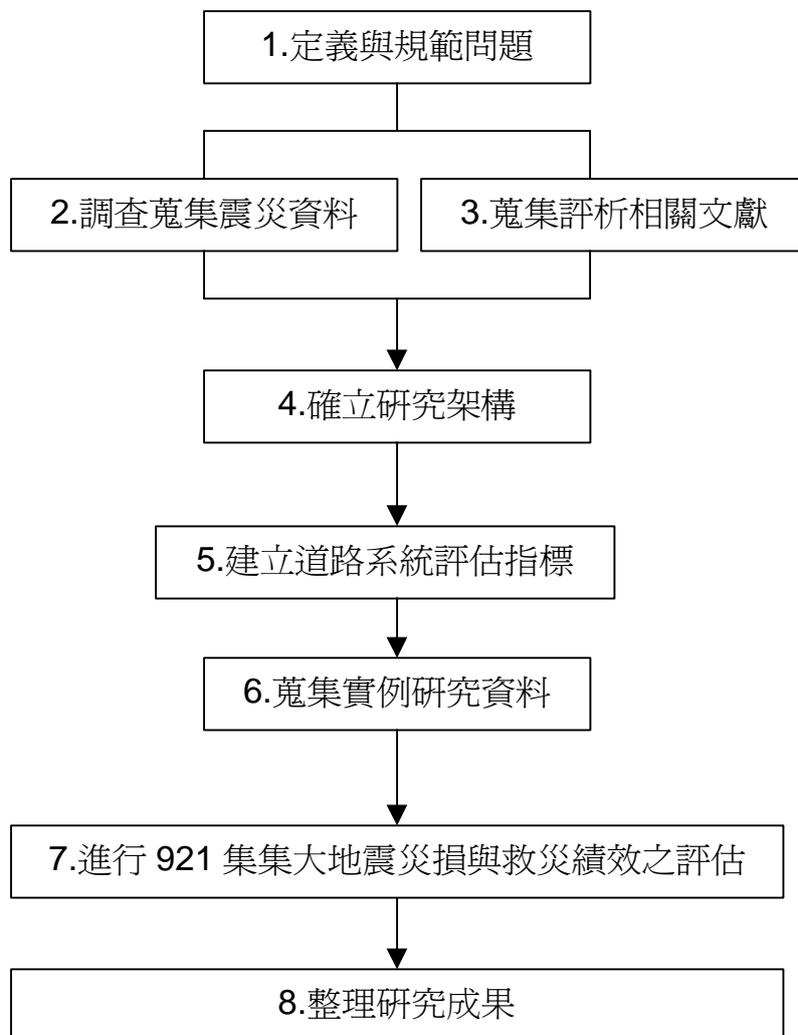


圖 1.1 研究流程

本研究之工作內容主要分為八個部分，說明如下：

1. 定義與規範問題

將所欲研究之題目定義清楚，界定研究目的，擬定研究範疇及研究方法。

2. 調查蒐集震災資料

蒐集國內外大地震之相關資料，瞭解震災對災區造成之傷害，以及交通系統所應配合之工作項目，作為建立道路系統評估指標之參考。

3. 蒐集評析相關文獻

分別從地震災害、道路系統、交通評估指標等各個不同角度去蒐集國內外相關文獻，以作為研究基礎。

4. 確立研究架構

從蒐集之資料與相關文獻中確立本研究架構。

5. 建立道路系統評估指標

從相關災情、國內外文獻，以及對救災與復原之工作單位的訪談調查，確認所需交通運輸部門資訊後，整理建立一套有效評估道路系統效率之指標，以供相關救災與復舊單位參考。

6. 蒐集實例研究資料

本研究欲以 921 集集大地震做為實例研究對象，因此將蒐集 921 集集大地震相關資料來進行實例研究。

7. 進行 921 集集大地震災損與救災績效之評估

利用所建立之道路系統評估指標，評估 921 集集大地震的災損與救災績效。

8. 整理研究成果

最後整理出研究成果，期望對 921 集集大地震所進行之救災復原工作有所貢獻，也期望對於未來有類似災害發生時之各項復救工作得以順利進行。

第二章 文獻回顧與評析

2.1 震災之交通評估指標

由於本研究重點在建立震災的道路系統評估指標，因此藉由探討國內、外相關文獻，來構建本研究的研究架構。

一、國內部分

陳亮全、邱昌平（1989）提出評估地震災害危險度之指標項目如下：

- (1) 山坡地之崩落、破壞；
- (2) 各種建築物之龜裂、倒塌；
- (3) 橋樑或高架橋之斷落、傾倒；
- (4) 圍牆或水塔等的破壞；
- (5) 工地鷹架或模版支撐之震倒；
- (6) 道路破壞；
- (7) 各種建築物之火災；
- (8) 室外落下物引起之災害；
- (9) 救災活動無法展開引起之災害擴大（著重實質空間因素）；
- (10) 大量人群集中引起之恐慌、擠壓（著重實質空間因素）。

在避難空地配置評估方法方面，林峰田（1999）提出了三個評估指標分別為：平均服務水準、服務涵蓋範圍、服務密度，但對於其他救災、搶救、復建等工作則未討論。

林峰田、李佳昀（2000）嘗試將地震相關研究報告歸納成 13 個屬性，並透過專家訪談的方式，選定查詢之關鍵指標及一般指標，同時以 Caspian 軟體進行實例測驗其可行性。雖然這一套系統是用來查詢資料的資料庫系統，但若廣義來看，這對於應用在建立交通系統之指標上，也有相當的貢獻度。透過相似的研究方法找出關鍵指標，將建立之指標又區分成一般指標與關鍵指標，讓建立的指標更有代表性，更能增進防災的工作效率。

張祺堂（1998）提出地震災害危險評估模式概略可分為：地震發生、地層破壞、建築體破壞及其附屬災害三大項；評估對象則包括：(1) 地表震動之破壞評估；(2) 劣質地層引起之建築物破壞評估；(3) 地層滑動引起之建築物破壞評估；

(4) 斷層破裂之破壞評估；(5) 水災之破壞評估；(6) 火災之破壞評估，以及(7) 經濟損失及人員傷亡評估。其中前四項偏重於地質之探討，第五、第六為附屬災害評估，第七項則未進行深入的評估，致對於震災過程各項工作實際之工作效率仍無法做出較具體的說明，或提供設定救災工作之目標及進行工作檢討。

王玟潔(2000)利用風險管理的概念來分析地震災害之風險，並研究都市地區之地震災害風險區之劃設方法，其地震災害風險度評估指標分類如表 2.1 所示：

表 2.1 地震災害風險度評估要因分類

主資料庫	中分類	細分類 (指標)
災害物理特性	自然環境資料庫	地質圖
損失敏感	社會經濟資料庫	人口數
		地震災害經濟損失
	都市計畫	都市計畫圖
		都市土地使用現況圖
	公共設施管線資料	各項設施之空間分布 (管線圖)
	交通網路資料庫	道路寬度及長度
		交通量
	火災資料庫	空地面積比
		街廓內危險 (建) 物分佈
	建築物資料庫	結構類別
樓層數		
建物老舊程度		
防救災/ 風險管理	消防績效資料庫	平均旅行時間
		離消防隊距離
		消防水源 (栓) 分佈
		消防救災設備數
	避難空地配置評估方法	醫院
		學校、公共設施
		公園、綠地

資料來源：王玟潔 (2000)

二、國外部分

東京都都市計畫局(1984)所提出的地震災害危險度評估方法的基本概念如表 2.2 所示，除了有各種危險度評估項目與指標之外，尚有評估各危險要因，亦即危險程度評估指標之「評估基準」，以及進行某地區之評估與比較時，作為基本範圍之「評估單位」三項因素。

表 2.2 東京都區部（23 區）地震危險度評估指標

評估大項目	評估小項目		評估指標	
建築物危險度	木造建築物 被害	--	木造建築物棟數（以耐震性加以分類）	
			地盤分類（反應特性）	
			過去的地震被害狀況	
			地盤液化的可能性	
	中低層 RC 建 築物被害	--	中低層 RC 的建物棟數	
			地盤分類（反應特性）	
地盤液化的可能性				
人的危險度	人的危險度 （夜間）	--	夜間人口	
			地盤分類（地表最大加速度）	
	人的危險度 （白天）	--	白天人口	
			地盤分類（地表最大加速度）	
火災危險度	起火危險值	火器的起火 危險值	火器數量、分布場所及起火危險	
			建築物與地盤的關係	
		危險物品的 起火危險值	危險物品設施之數量、分布場所及起火 危險	
			危險物品設施與地盤的關係	
	建築物的燒 失面積	--	木造建築物與特殊可燃物（延燒要因）	
			危險物品、可燃性瓦斯或氣體（增加延 燒要因）	
			空地、耐火建築物群（阻止延燒要因）	
			消防水利、消防隊等（滅火要因）	
避難危險度	避難所需時 間	--	到達避難所的距離	
			因避難混亂 引起的減速	道路上障礙物的數量（停車數量、圍牆、 電線桿等）
				道路面積
				道路汽車交通量
				建築物的燒失面積
				避難人口
			因路面狀況 引起的減速	窗戶破損玻璃之落下
	地盤（破損狀況）			
	因淹水引起 的減速	--	淹水	
			--	
--	--	避難人口		

資料來源：東京都都市計畫局（1984）

Kennedy(1999)提到建立以風險為基礎之震災指標需考量以下四點因素：(1) 由地震引發之傷害每年可接受發生機率是多少？(2) 最小地震界限為何？(3) 在前兩項狀態下，安全地震（safe-shutdown-earthquake）發生頻率為何是可接受狀態？(4) 在第二狀態下，為合理達到地震界限，該建立哪些地震指標？

Gilbert(1996)則提出一個簡單的結構來構建永續發展指標，考量因素有二：

一為環境壓力指標，一為衝擊狀態。環境壓力指標是指自然環境造成的改變；衝擊指標是指隨著時間經過，環境品質之改變。永續指標的發展須隨環境的改變而有所變動，並不是固定不變，所以研究中藉由三個實例來解釋指標的設計與環境改變的關係，從其中也暗示著標準的設定會使指標更確定。

由國內外相關之研究中發現，以往的研究大多針對災前進行防災規劃的原則探討，或是針對災前進行地震可能發生之危險度做探討，甚少針對地震發生後之後續工作進行研究。因此，本研究除了針對災前進行防災與減災工作之討論之外，對於地震發生之後的情形也將予以討論。在災後的階段，本研究將以實際地震發生後可能發生之工作任務進行討論，討論之層面分為兩大方向：一為災損情形之描述，以提供決策者進行決策分析；一為後續工作之評估，以瞭解搶救工作之效率是否達到要求。

在防災的規劃原則設定上，以往的研究或相關法令雖然探討的層面相當廣泛，但並不是每個層面都相當地適用；有些原則僅概略地提出大方向，對於災害進行救災工作，並無法很具體地提供政策制訂之參考，而這對於決策者在地震發生後分秒必爭的情形下，要儘速決定執行政策之需要，並無任何幫助。因此本研究期望可建立一套系統化且相當明確之指標體系，可協助決策者於第一時間進行災區災損情形之掌握，以決定如何進行搶救工作；在搶救階段也可利用指標體系來評估搶救工作之工作效率之好壞，或決定災區資源是否有不足之現象。

2.2 921 集集大地震交通系統緊急應變相關研究

林豐正（2000）提出政府在九二一集集大地震發生後，交通部所進行的各項作業，包括：（1）對地震資訊的掌握、（2）各項緊急因應與搶救措施、（3）各項配合救災、重建措施，以及（4）未來防範措施及強化課題。在地震發生之後，不論是政府或民間均相當積極地投入各項災後搶救作業，但在這些作業的背後，我們無法得知政府的作為是否對於民眾真的有效？因此需要一套評估指標系統，協助民眾判定各項後續工作的效率。

陳亮全、郭俊欽（2000），提出公部門應變面臨之四大問題：（1）災害防救中心成立及動員過程並非立即與主動；（2）災害防救中心組織架構不夠明確、細緻，與實際參與有落差；（3）事前規範的應變工作項目、措施與實際落差大；（4）災害防救中心的空間與進駐人員無法如事先規劃，順利運作。

台中縣消防局（1999）提出消防搶救實際情形產生的問題如下：（1）常備救災人力嚴重不足；（2）通訊機制不良；（3）交通打結；（4）救濟物資過量；（5）少數公務員危機意識不足。這五點問題在在顯示我們的防救體系及實際的搶救體系有很大的漏洞。

馮正民（2000）提出將地震發生後分為「急救」、「維生」及「復建」三個階

段，針對人、車、時間及空間向度，進行不同目的的交通管制。規劃受災區救援物資輸送據點，研訂人員、機具與物資之配送計畫；建立緊急時的資訊通報系統，提供及傳播各種適時的交通管制資訊；研訂災區交通維持之作業手冊，進行交通維持之模擬；檢討未來道路路網規劃、空間配設，檢討改善未來的作業內容與程序，以備未來不時之需。

許添本(2000)提出一般地震會造成的交通阻斷原因包括：(1)橋樑斷裂、(2)道路路基塌陷、(3)建築物倒塌阻斷、(4)地表變動道路隆起、(5)落石坍方阻斷等項目。而交通阻斷將會嚴重影響救災之效率，並改變交通需求。在研究中指出，921集集大地震發生後，原本為觀光地區之災區，平常日之交通量卻與災前相反地較假日來的高，而主要的聯外公路交通量則明顯減少了約20~60%左右。本文的主要貢獻在於藉由實際前往災區訪談調查，瞭解當時之交通狀況及交通應變所面臨的問題，對於未來建立救災交通管理系統上有相當大的幫助。

藍武王、陳郁文(1999)提出由於交通主管單位對於大型震災發生前、發生時、與發生後的道路系統應變與復建措施仍缺乏深入之先期模擬與規劃，以致於921集集大地震後，雖然政府與民間皆投入全力救災，仍造成了慘重的傷亡。因此便根據國內外之震災經驗，歸納出震災前、震災時與震災後之道路系統管理策略。文中所提之管理策略可供交通部門於日後震災發生時一個相當好的運作方向，但是好的管理策略仍待一套完整又有效之評估指標來判定其效率。

內政部建築研究所(1999^a)透過大規模人力進行實地調查，提供了許多相當珍貴的第一手資料。將日本與台灣相比較，便發現兩國人民之避難行為及避難據點選擇特性並不相同：台灣由於921集集大地震時並未發生大火，因此民眾多以面前道路作為第一避難地，待尋找搶救親人告一段落後才就近尋求臨時安置地點；日本之民眾則為逃離大火現場後先到鄰近公園等過渡性避難地，第二階段則是到可防止都市大火延燒的大型避難地點。因此我國未來都市防災對於面前道路規劃應將第一階段道路臨時避難行為納入考量。本報告之調查結果說明國內防救災目前亟需補強之處，可作為後續進一步規劃改善之重要依據。

2.3 交通資料調查與收集

塚口博司(1997)利用航照圖來調查地震發生之後的道路交通情形，調查項目包括：道路的受損情形、道路利用狀況(行駛中的車輛數、交通密度、平均速度)、停車情形。而利用平均速度與交通密度可推得交通量，所收集到的資訊可作以下利用：

- (1) 路網連接、可用道路寬度之定義；
- (2) 推斷道路障礙物阻塞情形；
- (3) 資料庫的建立。

而日本土木計畫學研究委員會提出了災害調查的體系化可概分為四類(災害調查班, 西元 2000 年), 包括:(1) 移動、傳達;(2) 居住、生活;(3) 產業、流通、消費;(4) 造街四種不同特性。各個體系中又分為應急、復舊、復興三個不同階段, 六大類調查方法進行調查, 此六類調查方法分別為: 調查員的觀測、問卷調查或訪談調查、活用行政資料、活用航照圖的判讀、現場儀器的自動測定或其他方式等。通常土木計畫所處理的多半是日常的現象或具規模性的現象為主, 至於非日常性且較具規模性的現象(亦即現象的發生要加以預測)較少有人討論, 因此在應變方法與體系的建立上仍相當貧乏。

2.4 小結

- 一、國內過去並沒有太多特別針對震災提出系統化或復舊指標建立之文獻, 許文科(1992)建立了地震危害評估系統, 張祺堂(1998)發展地震防災策略與推動, 而這類文獻大多只針對災前從事危險度評估, 並不能充分地詮釋所有相關部門之工作效率。所以本研究除了希望對於災前的防災工作提出規劃方針之外, 一旦地震發生後, 也期望可以有效地評估整個搶救、復救的效率, 在災後將以實際地震發生後可能發生之工作任務進行討論, 討論之層面分為兩大方向: 一為災損情形之描述, 以提供決策者進行決策分析; 一為後續工作之評估, 以瞭解搶救工作之效率是否達到要求。
- 二、國外雖然對於地震災害也相當重視, 但是大多著重於探討某一主題, 例如: 地震學、地震工程或結構物耐震等; 除此之外, 對於具危險性或大型之公共設施, 例如: 核能電廠, Ravindra(1997)、輸送石油或瓦斯之管線、醫院。Monti and Nuti, (1996)、橋樑, Roberts(1995)等有較多著墨; 不過由於日本也飽受地震之苦, 近年來在震災管理方面也有許多文獻, 例如: 緊急道路的指定系統,(飯田恭敬, 1998^a)、地震發生時道路交通管理系統,(飯田恭敬, 1998^b)。
- 三、從文獻整理中發現, 過去專家學者大多著重在震災造成道路無法使用之原因, 或對道路之功能分級進行探討, 但其實交通部門在地震發生之後, 尚可提供協助其他許多救災工作的進行, 例如: 搶救生命、物資運送或維生系統之維護等。因此本研究嘗試以不同的觀點來探討道路系統評估指標的建立, 在研究中除了討論道路系統之外, 也進行災情評估、救災工作、醫療服務、避難等各方面的探討。

- 四、由我國之防救災體系中可以體認，政府努力想做的工作任務很多，但缺乏一套可以有效評估整個防災、搶救、維修、復舊工作的評估系統，以致於無法得知評估標準。因此，本研究嘗試建立出一套符合各項防災、救災、復舊任務需要之震災評估指標，以描述整個搶救效率與災損情形，判定救急工作之有效性。
- 五、交通運輸部門過去對於地震災害處置作為之研究，較偏向工程設計方面，而這次 921 集集大地震之教訓，喚起了政府部門對於整體系統管理與管制作為之重視，也證明了所造成的災損程度。而過去對災損的描述指標尚無法滿足交通運輸部門進行決策或檢討之需要，有待予以完整地建立與分析。因此本研究之目的便在於建立一套適用於國內且符合各項救災復原工作所需之震災道路系統評估指標。在災前規範未來防災時所需工作，提高整個災後之工作效率；災後則藉由指標描述整個災損情況並判定救急工作之效率。

第三章 評估指標之建立

3.1 問題分析與構建架構

以往的研究大多是於防災階段進行事先規劃，或針對地震危險度做分析，對於地震發生後的後續工作甚少著墨。但在地震發生之後，一切救災、維生、疏散及復舊工作均與交通運輸部門息息相關，除了儲運、疏散與管制等作為之外，尚須對受損設施進行搶救與復原，以利各項救災工作之進行，由此可知交通運輸部門在震災發生後極具重要性。然而由本次 921 集集大地震的經驗得知，由於缺乏有效且正確的即時資訊，使得災後之搶救及復舊工作受到了影響，例如：(1) 災前由於並未事先指定避難據點，因此避難據點的形成都是災害發生後，由居民自行前往位於自宅附近之開放空間聚集而成，避難據點皆無完善之防災避難空間與良好之設施規劃，並且由於事先並未規劃，導致區位過於分散，造成救濟物資發放與管理維護上之困難；(2) 防災指揮中心的行政、消防單位除了建築物耐震能力不足外，電力及通訊中斷阻礙救災指揮工作甚鉅；(3) 災區內物資集散地點多以靠近救災指揮中心，臨時尋找圖書館、活動中心或搭帳棚臨時設置，多半管理失序，交通阻滯；(4) 醫療資源區位有過度集中現象，不僅容易阻塞救災路線，也容易造成偏遠地區醫療資源不足的問題（內政部建築研究所，1999^a）。因此，為協助交通運輸部門在地震災害發生後，於第一時間能迅速且正確地掌握災情，並有效地做出各項救災與復原工作之決策與規劃，本研究擬建立地震災區道路系統評估指標，以掌握在地震發生時及發生後可能需要之災損資訊，並嘗試評量救災與復原工作之績效，使得災後之搶救、復舊工作得以順利進行。基於這樣的目的，必須先對以下幾項課題進行探討：

1. 為何需要構建震災之道路系統評估指標？

本研究欲建立之道路系統評估指標主要可提供兩種功能：一是評估災損情形，讓相關人員可於第一時間內掌握災情，以順利進行災後的搶救、物資運送等救災工作；二是衡量工作效率，以評估整個救災工作的進度。由這次 921 集集大地震經驗中，我們發現許多救災工作因為沒有掌握確切的資訊，因而使得整個救災工作的成效受到或多或少的影響；在物資方面，則由於沒有完善的管理，導致有某些物資即使已經足夠，仍大量地湧入災區，而造成災區在物資管理上的問題。基於此，瞭解到構建一套完整的道路系統評估指標之重要性與迫切性，以防範未來在因應重大災害時，又發生同樣的問題。

2. 如何構建道路系統評估指標？

本研究構建道路系統評估指標的方法是先將時間範疇分成災前、搶救、維生、復舊四個階段，利用各階段必須完成之工作任務與各個工作任務所需之

相關資訊間的關係，配合空間系統的概念，找出道路系統評估指標。本研究之評估指標共分為兩個層級，第一個層級為資訊導向之指標，主要是用來代表工作任務所需之相關資訊。由於工作任務所需之相關資訊並不一定相當地明確，因此便以較明確之資訊來代替，由這些資訊構建第一層的資訊導向指標；第二個層級則為任務導向之指標，透過資訊導向指標間的相互關係構建而得，而此層級的指標並可與我們各階段之工作任務相呼應。

3. 道路系統評估指標的涵義為何？

道路系統評估指標最主要是用來衡量各個階段工作任務之表現，而每個工作任務便是震災發生前與發生後必須進行之防災、搶救、維生、復舊各項工作，因此道路系統評估指標是用來進行災損描述及工作績效的衡量。

4. 如何收集震災相關交通資訊？

國內外鮮少對於收集震災相關交通資訊有所研究，因此本研究希望可以提出有效的方法來收集震災相關交通資訊，以免許多寶貴的資料因為收集不當而流失。因為地震發生之後，掌握寶貴的資訊除了可以檢討本次地震災害發生的情況之外，也可以作為應對下次地震來臨的準備工作，因此資料收集的方法也相當重要。從本次 921 集集大地震之經驗得知，雖然相關單位做了不少的資料收集工作，但是在資料的可信度與可使用度上仍有相當的問題，甚至也有發現資料遺失的現象，因此這部分還需要努力加強。

5. 如何應用指標於震災之各項工作？

指標建立之後，希望可以實際應用在各項工作任務上，因此本研究將會嘗試以本次 921 集集大地震相關資料進行實例分析，以實際應用指標於各項工作上，作為本次 921 集集大地震各項工作的檢討。

將地震發生時期分為災前、及災後的搶救、維生、復舊四個階段，每個階段皆有應達成之工作任務。災前的工作任務主要是針對防災及減災，所謂的防災即是預防災害之發生；而減災則是無法避免其發生，但透過事先的預備工作來減少其帶來之傷害。各階段內的工作任務有所需之相關資訊，以協助工作任務的完成。但由於這些資訊並不一定都屬於相當明確的資訊，因此藉由資訊導向的對應指標，來代表所需的交通資訊，也就是說，資訊導向之對應指標是用來代表交通資訊，以協助我們掌握狀況。另外，再由這些資訊導向的指標間的關係，配合空間系統的概念，找出工作任務相關的任務導向的指標，而這些任務導向之指標必須可回應最初的工作任務之需要。空間系統是將資訊導向指標與地區的關係用空間的概念表達，具體地呈現資訊導向指標與地區的關係，由各資訊導向指標的相互關係中，更明確地掌握任務導向指標的概念。指標構建方法之系統架構如圖

3.1 所示。

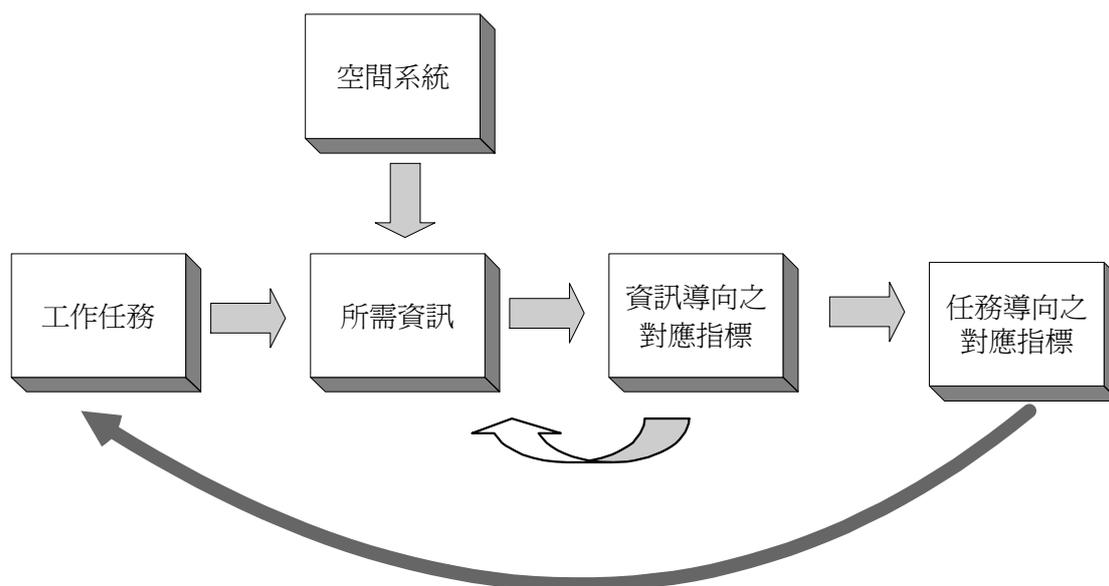


圖 3.1 指標構建之系統架構圖

3.2 資訊導向之對應指標

根據前一節之構想，首先羅列各階段之工作任務，繼而檢討各個工作任務所需資訊，然後為每項資訊研擬合適之指標，視為資訊導向指標如表 3.1 所示。

1. 災前階段

災前主要之工作任務為防災與減災，因此災前即需掌握與防災、減災之相關資訊；於災前所需掌握之資訊如圖 3.2 所示共有 8 項，說明如下：

1-1 各區與斷層之距離— DL_i

變數涵義：以第 i 區之市集中心為計算原點，尋找最近斷層帶之直線最短距離(單位：公尺)

根據目前相關研究的了解，發生地震最主要之原因為斷層錯動，由於斷層錯動所造成之地震發生次數最頻繁，造成災害的機會也最大。因此各區與斷層之距離若愈遠，地震發生時之危險度就會愈低，受損程度相對地也會降低。

1-2 各區至避難所最短距離— DSI_i

變數涵義：以第 i 區之市集中心為計算原點，尋找最近避難所之最短路徑距離(單位：公尺)

由各區與避難所之最短距離可判斷地震發生時的避難能力，也就是距離

避難所愈近，地震發生時可愈快速地到達避難所尋求避難，以減少人員損傷。

表 3.1 各階段之工作任務與所需資訊對應表

階段	工作任務	所需資訊 (交通相關)	資訊導向指標
災前	災害預警 救災演習與教育 災害易發生區劃定 防災設施整備 防災救濟、救急物資儲備	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 災害潛在位置 ◇ 避難路線 ◇ 搶救路線 ◇ 人口分布情形 ◇ 建物耐震度評估 ◇ 醫療資源分布 ◇ 儲備物資分布 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 各區與斷層之距離 ◇ 各區至避難所最短距離 ◇ 各區至醫療資源最短距離 ◇ 活動人口數 ◇ 存有危險建物數目 ◇ 醫療資源數目 ◇ 救急物資數目 ◇ 地區面積
搶救	災害搶救 消防滅火 二次災害防止 危險建築物判定 維生線搶修 緊急救援物資與藥品配送 災情蒐集與通報 災區交通管制與交通管理計畫 避難疏散 醫療資源分派 救災動線規劃 災民疏散安置	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 搶救生命 ◇ 修復道路 ◇ 火災資訊 ◇ 維生線損失情形 ◇ 可能倒塌建物 ◇ 建築物損毀情形 ◇ 救援物資、藥品分布 ◇ 道路管制 ◇ 各區災損情形 ◇ 道路系統狀況 ◇ 避難可行路線 ◇ 搶救、救援可行路線 ◇ 醫療資源分布 ◇ 避難所位置 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 救出人數 ◇ 道路毀損數目 ◇ 火災數目 ◇ 維生線毀損數 ◇ 需注意建物面積 ◇ 危險建物面積 ◇ 各區至醫療資源最短距離 ◇ 各區至避難所最短距離 ◇ 建物總數目 ◇ 道路 V/C 值 ◇ 救急物資數目 ◇ 災民人口數 ◇ 地區面積 ◇ 醫療資源數目 ◇ 避難所面積 ◇ 救出總人數 ◇ 火災總數 ◇ 死亡、失蹤總人數 ◇ 道路毀損總數 ◇ 維生線毀損總數 ◇ 道路總數目 ◇ 維生線總數
維生	醫療與維生物資配送 交通設施搶修 維生線繼續搶修 居民之暫時安置	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 醫療資源分布 ◇ 道路修護情形 ◇ 維生線修護情形 ◇ 避難所位置 ◇ 災民人數 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 救急物資數目 ◇ 道路毀損開始時間 ◇ 道路復原時間 ◇ 維生線停止時間 ◇ 維生線復原時間 ◇ 避難所面積 ◇ 災民人口數

復 舊	災情彙整及復舊 災民救助、救濟 復建建設材料輸送	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 災損情形 ◇ 資源之數量與分布 ◇ 設施復建所需資源 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 回報人員損失數目 ◇ 實際人員損失數目 ◇ 回報設施損失數目 ◇ 實際設施損失數目 ◇ 設施復原成本 ◇ 可用資源數量
--------	--------------------------------	--	--

1-3 各區至醫療資源之最短距離— DR_i

變數涵義：以第 i 區之市集中心為計算原點，尋找距離最近醫療資源之平均最短路徑距離(單位：公尺)

各區與醫療資源的距離會影響救援工作的進行，若距離醫療資源距離愈近，地震發生後的搶救、救援工作便可愈順利進行。

1-4 活動人口數— NP_i

變數涵義：第 i 區之活動人口數(單位：人)

依活動人口數來進行災前的救災計畫，並規劃救災演習與教育。此地區之活動人口數愈高代表若發生地震災害，會有愈多的人可能受到地震波及；由於不同時間各區的活動人口數也會有所不同，因此白天的活動人口建議以日間活動人口來計算，夜間則以戶籍人口來計算。

1-5 救急物資數目-- NE_i

變數涵義：第 i 區之救急物資數目(單位：車)

主要的救急物資包括食物、飲料、衛生用品、燃料、衣服、藥品、電池等。由相關研究中發現，食物及飲料在兩星期後其需求比例會比其它來的大，衛生用品及衣服會呈現一定比例，至於其他物品的需求則隨時間增加而需求逐漸降低。因此，本研究指標建議只針對食物、飲料及衛生用品做為救急物資的主要需求物品；其餘物品在災後會經由外界陸續運至災區，因此於災前儲備之救急物資可暫且不予討論。

1-6 醫療資源數目-- NR_i

變數涵意：第 i 區之醫院數目(單位：個)

醫療資源數目以地區擁有之醫療設施醫院數為單位，各區的醫療資源數目可用來評估地震發生時可服務民眾數目。若服務民眾數過高，可於事先做好增加醫療設施的工作，以免屆時發生醫療資源不足的情形。

1-7 地區面積-- AZ_i

變數涵意：第 i 區之地區面積(單位：平方公里)

由地區面積與人口數之搭配可知道地區的人口密度；由地區面積與建物面積之搭配可取得建物密度；由地區面積與其他指標之配合可得知其他相關之指標。

1-8 危險建物數目 NB_i

變數涵義：第 i 區之危險建物棟數(單位：棟)

2. 搶救階段

搶救階段主要工作為搶救人員、設施，以及於最短時間內掌握災損情形，因此搶救階段所需掌握之資訊如圖 3.3 所示共有 23 項，說明如下：

2-1 救出人數-- NW_{it}

變數涵義：第 i 區在地震發生 t 時間後累積的救出人數(單位：人)

此處的救出人數意指災後被救出之居民數目，由不同時間點救出人數之變化可反應人員的搶救效率。

2-2 火災數目-- NF_{it}

變數涵義：第 i 區在地震發生 t 時間後累計發生火災之處所數目(單位：處)

由火災數目可知因火災所引起的災損情形。

2-3 道路毀損數目-- NX_{it}

變數涵義：第 i 區在地震發生 t 時間後累計總道路毀損之加權長度(單位：公尺)

根據日本阪神震災之經驗，將道路的服務能力分為四個等級，分別為：人車皆可通行、車勉強可通行、僅有人可同行、完全不可通行四類，以道路寬度作為區分的準則，而地震發生後，需再針對每條道路的毀損情形重新分類道路服務能力等級，因為地震發生後，可能受到倒塌建築物或其他物品阻礙道路，以致於道路寬度受到變化。

在第一時間掌握道路的可用寬度，可用來搭配搶救及配送物資的工作，使之順利進行。此外，道路毀損數目也關係到道路搶通之效率，因為道路於災後扮演相當重要之角色，所以災後急需迅速修復。由道路毀損數目之改變可判斷受地震影響造成之受損程度，以及道路搶修之效率。

2-4 維生線毀損數-- NM_{it}

變數涵義：第 i 區在災後於 t 時間後之受影響戶數(單位：戶)

維生線包括了水管、電、瓦斯、電話及下水道，但本研究僅討論水、電及瓦斯的供應狀況，主要是因為在災後這三者為最迫切需要的維生物品。

維生線關係到地區內人民災後生活的維持，因為維生線於災後會受到或多或少的破壞，使得災民生活受到影響，因此需儘速搶修。從受影響戶數可知道維生線的毀損情形，而從維生線毀損數的改變可看出維生線的搶救效率。

2-5 救出總人數-- NW_{i0}

變數涵義：第 i 區在災後的總救出人數(單位：人)

由救出總人數與不同時間點救出人數的變化可得知地區人員之救援效率。

2-6 道路毀損總數-- NX_{i0}

變數涵義：第 i 區在災後一開始的道路總毀損長度(單位：公尺)

由道路毀損總數與不同時間之道路毀損數目的變化可以得知道路之搶救效率。

2-7 維生線毀損總數-- NM_{i0}

變數涵義：第 i 區維生線阻斷之總受影響戶數(單位：戶)

由維生線毀損總數與不同時間之維生線毀損數目的變化可以得知維生線之救援效率。

2-8 道路總數目— NX_i

變數涵義：第 i 區的總道路長度(單位：公尺)

由道路毀損總數與道路總長度可判斷地區道路方面之受損情形。

2-9 維生線總數-- NM_i

變數涵義：第 i 區的維生線供應總戶數(單位：戶)

由維生線毀損總數與維生線總數可判斷地區在維生線之受損情形。

2-10 各區至醫療資源之最短距離— $DR2_i$

變數涵義：第 i 區距離醫療資源之最短路徑距離(單位：公尺)

在防災階段將最佳路徑先設定為最短路徑。搶救階段各區與醫療資源的距離會影響救援工作的進行，而災前規劃的最短路徑於災後也許會因為道路受到倒塌建築物的阻斷，使得最短路徑受到改變，因此於災後須根據道路的實際狀況找出災後的最短路徑。

2-11 各區至避難所最短距離— $DS2_i$

變數涵義：第 i 區距離避難所之最短路徑距離(單位：公尺)

在搶救階段各區與避難所之最短路徑距離關係到災民逃生的避難效率，而災前規劃的最短路徑於災後也許會因為道路受到倒塌建築物的阻斷，使得最短路徑受到改變，因此於災後須根據道路的實際狀況找出災後的最短路徑。。

2-12 需注意建物面積-- NBI_i

變數涵義：第 i 區需注意建物的土地面積(單位：平方公里)

地震發生後，有些建物會於地震發生一段時間之後才倒塌，因此須注意這些建物的位置與數目，以避免二次災害的發生。依據內政部營建署（1999）對於需注意建物之定義為：(1)由地方政府勘訂為危險建物、(2)半倒之建築物、(3)外觀已毀損之建築物、(4)內部發生龜裂、坍塌及下陷等建築物。

2-13 危險建物面積-- $NB2_i$

變數涵義：第 i 區之倒塌建物之土地面積(單位：平方公里)

由危險建物之數目可以得知此地區受到地震侵襲的受損程度，倒塌建物之數目之數目愈高，代表此地區之受損程度愈嚴重。

2-14 建物總面積-- $NBT2_i$

變數涵義：第 i 區之總建物之土地面積(單位：平方公里)

由危險建物數目與需注意建物數目佔建物總數目之比例可預測地區受地震侵襲在建物方面的受損情形。

2-15 道路流量/容量 (V/C) 值-- VR_i

變數涵義：第 i 區的道路路段之平均 V/C 值(單位：%)

道路 V/C 值會關係到道路的使用度，V/C 值愈高，代表道路的擁擠度越高，因此從 V/C 值可知道道路的擁擠度。而透過道路寬度與 V/C 值的配合來規劃災後的避難路線、物資運送路線，以提高災後搶救工作效率。

2-16 救急物資數目-- NR_i

變數涵義：第 i 區之救急物資數目(單位：車)

本研究針對食物、飲料及衛生用品做為救急物資的主要需求物品。救急物資的配送為維生階段的主要工作之一，因此須掌握救急物資的數目。

2-17 災民人口數-- NS_i

變數涵義：第 i 區之災民人口數(單位：人)

災民人口數與災後救援物資之配送有關，災民人口數愈多，代表此地區需要愈多的救援物資；而災民人口數與避難所面積的比例可得知避難所收容人數之密度是否符合避難原則。

2-18 死亡、失蹤總人數-- NL_{i0}

變數涵義：第 i 區之死亡、失蹤總人數(單位：人)

由死亡、失蹤總人數可了解各地區在人員方面之災損情形。

2-19 火災總數-- NF_{i0}

變數涵義：第 i 區之火災總處所數(單位：處)

由各地區之火災總數目與不同時間點之火災數目相配合，可了解各地區在火災方面之搶救效率。

2-20 醫療資源數目-- NR_i

變數涵義：第 i 區之醫療資源數目(單位：個)

醫療資源之數目關係到各地區醫療設施是否足以提供各區居民進行救援，因此災前便應知道缺乏醫療資源的區位，以便於災後儘速進行醫療設施資源之補強工作，而災後也應掌握哪些地區的醫療資源受地震侵襲導致無法使用，儘速設立臨時急救站以服務受傷民眾。

2-21 避難所面積-- AS_i

變數涵義：第 i 區之避難所面積(單位：公頃)

避難所是民眾於地震發生後臨時避難之主要場所，但避難所之容量有限，因此在選取避難所時，須配合當地居民人口，以及避難所之容量及區位，於災前便做好規劃工作，以防地震發生時民眾無足夠避難空間以供避難。

3. 維生階段

維生階段的主要工作任務為受損設施之繼續搶修以及災民生活的維持，因此維生階段所需掌握之資訊如圖 3.4 所示共有 7 項，說明如下：

3-1 救急物資數目-- NR_i

變數涵義：第 i 區之救急物資數目(單位：車)

在維生階段除了居民的暫時安置之外，維生物資的繼續配送也是主要的工作之一，因此須掌握救急物資的數目，來評估維生物資是否足夠維持災區居民的生活。

3-2 道路毀損開始時間-- TX_{ij}

變數涵義：第 i 區道路無法使用之開始時間(單位：日期)

道路毀損開始時間通常為地震發生的時候，或是因為餘震而導致道路毀損，可用來計算道路修復完成所需時間。

3-3 道路復原時間-- TX_{i2}

變數涵義：第 i 區之毀損道路需修復完成之時間(單位：日期)

從道路復原時間與道路毀損開始時間之配合來判斷道路修復所需總時間。

3-4 維生線停止時間-- TM_{ij}

變數涵義：第 i 區在災後維生線停止之時間(單位：日期)

於維生階段的主要工作任務之一為繼續維修維生線，因此從維生線停止時間開始計算修復所需時間。

3-5 維生線復原時間-- TM_{i2}

變數涵義：第 i 區在災後維生線復原之時間(單位：日期)

於維生階段的主要工作任務之一為繼續維修維生線，因此從維生線停止時間與復原時間來計算修復所需總時間。

3-6 避難所面積-- VS_i

變數涵義：第 i 區之避難所面積(單位：公頃)

避難所提供居民於災後有棲身之地，由於避難所容量有限，因此災民進駐避難所時需要考量避難所容量是否能負荷。

3-7 災民人口數-- NS_i

變數涵義：第 i 區之災民人口數(單位：人)

災民人口數於維生階段與救援物資之配送有關，災民人口數愈多，代表此地區需要愈多的救援物資，且每一避難所內之災民數目不得超過避難所最大容量。

4. 復舊階段

復舊階段的主要工作任務為災情彙整及協助災區復原，因此復舊階段所需掌握之資訊如圖 3.5 所示共有 7 項，說明如下：

4-1 回報人員損失數目-- ND_{it}

變數涵義：第 i 區之人員於 t 時間回報的累積損失數目(單位：人)

人員損失包括了受傷送醫、失蹤及死亡人數。

4-2 實際人員損失數目-- ND_{i0}

變數涵義：第 i 區之實際人員損失數目(單位：人)

人員損失包括了受傷、失蹤及死亡人數，由回報人員損失與實際人員損失數據的差異可瞭解災情回報的準確度。

4-3 回報設施損失數目-- NI_t

變數涵義：第 i 區之設施於 t 時間回報的損失面積(單位：公頃)

設施於此包括了兩個部分，分別是：公共建築物與其他建築物。

4-4 實際設施損失數目-- NI_{i0}

變數涵義：第 i 區之實際設施損失數目(單位：公頃)

設施於此包括了兩個部分，分別是：公共建築物與其他建築物。由回報設施與實際設施的損失差異可瞭解災前回報的準確度。

4-5 設施復原成本-- C_i

變數涵義：第 i 區之公部門復原成本(單位：元)

於復舊階段受到毀壞的建設政府會盡快進行復原工作，而由於私部門會自行進行其復舊工作，詳細之復原成本無法得知，因此此階段僅討論公部門的復原成本。

4-6 可用資源數量-- NR_i

變數涵義：第 i 區之可用復建資源數量(單位：元)

可用資源數量在這裡指的是進行設施重建時需要之資源的數量。

3.3 任務導向之對應指標

任務導向之對應指標是利用上述資訊導向指標間的相互關係而進一步構建之指標，主要是為了反應各階段最初之工作任務，透過指標構建的程序，希望利用任務導向指標來協助各階段工作任務之評量。指標建立如表 3.2 所示，各指標之定義與公式分別說明如下：

表 3.2 工作任務與任務導向指標對應表

階段	工作任務	資訊導向指標	任務導向指標
災前	災害預警 救災計畫 救災演習與教育 災害易發生區劃定 防災設施整備 都市防災規劃 防災救濟、救急物資儲備	◇ 各區與斷層之距離 ◇ 各區至避難所最短距離 ◇ 各區至醫療資源最短距離 ◇ 活動人口數 ◇ 存有危險建物數目 ◇ 醫療資源數目 ◇ 救急物資數目 ◇ 地區面積	◇ 地震潛在危險度 ◇ 避難危險度 ◇ 救援困難度 ◇ 人口密度 ◇ 地區危險度 ◇ 道路危險度 ◇ 救災物資服務能力 ◇ 醫療資源有效性 ◇ 醫療資源服務民眾數
搶救	災害搶救 消防滅火 危險建築物判定 維生線搶修 緊急救援物資與藥品配送 災情蒐集與通報 災區交通管制與交通管理計畫 避難疏散 醫療資源分派 救災動線規劃 災民疏散安置	◇ 救出人數 ◇ 道路毀損數目 ◇ 火災數目 ◇ 維生線毀損數 ◇ 需注意建物面積 ◇ 危險建物面積 ◇ 各區至醫療資源最短距離 ◇ 各區至避難所最短距離 ◇ 建物總面積 ◇ 道路 V/C 值 ◇ 救急物資數目 ◇ 災民人口數 ◇ 地區面積 ◇ 醫療資源數目 ◇ 避難所面積 ◇ 救出總人數 ◇ 火災總數 ◇ 死亡、失蹤總人數 ◇ 道路毀損總數 ◇ 維生線毀損總數 ◇ 道路總數目 ◇ 維生線總數	◇ 人員搶救率 ◇ 火災搶救率 ◇ 道路搶救率 ◇ 維生線搶救率 ◇ 搶救表現 ◇ 設施受損程度 ◇ 人員受損程度 ◇ 道路可靠度 ◇ 醫療延遲率 ◇ 避難延遲率 ◇ 需注意倒塌建物面積比 ◇ 危險建物面積比 ◇ 救災物資運送能力 ◇ 救災物資服務民眾數 ◇ 醫療資源服務民眾率
維生	醫療與維生物資配送 交通設施搶修 維生線繼續搶修 居民之暫時安置	◇ 救急物資數目 ◇ 道路毀損開始時間 ◇ 道路復原時間 ◇ 維生線停止時間 ◇ 維生線復原時間 ◇ 避難所面積 ◇ 災民人口數	◇ 救災物資服務民眾數 ◇ 道路修護情形 ◇ 維生線修護情形 ◇ 避難所收容密度
復舊	災情彙整及復舊 災民救助、救濟	◇ 回報人員損失數目 ◇ 實際人員損失數目	◇ 災情回報準確率 ◇ 受損程度

	復建建設材料輸送	◇ 回報設施損失數目 ◇ 實際設施損失數目 ◇ 設施復原成本 ◇ 可用資源數量	◇ 復建困難度
--	----------	--	---------

資料來源：本研究整理

◆ 災前階段

1. 地震潛在危險度(RI_i)

定義：地震潛在危險度係指地區本身在地震發生時，可能造成災損的可能性，以各區與斷層之最短距離、活動人口數、存有危險建物數目這三個指標來評估地區的地震潛在危險度。指標數值愈高，代表此區發生地震時，可能造成的傷害愈大，因此於災前即需做好災害預警，例如：災前掌握危險建物的位置與數目，儘速修復，以降低地區內危險建物的數目，避免地震發生時建築物倒塌，造成人員傷亡，以及道路因建築物倒塌無法使用；對於人口數較高的地區，尤其是靠近斷層帶的地區，道路於地震發生時可能會有隆起現象，而無法使用，因此需規劃完善的避難路線，以避免地震發生時因避難人數眾多而造成避難上的困難。

$$\text{公式： } \sqrt{NP_i + NB_i} - \sqrt{DL_i}$$

2. 避難危險度($R2_i$)

定義：避難危險度係指若地震發生時，地區居民進行避難行為時可能面臨危險的困難度，地震發生後，民眾會設法儘速移至安全場所尋求避難，但避難過程中會受到地區人口、至避難所的最短距離及當時道路的可靠度的影響。指標數值愈高，代表此區發生地震時，避難面臨危險的機會愈大。避難危險度與都市防災規劃有密切關係，因此若於災前即規劃好避難路線，可避免地震發生時主要避難道路壅塞，反而增加避難困難，尤其是人口密度高的地區更應做好災前規劃避難路線。

$$\text{公式： } NP_i \times DS_i \times X_i$$

3. 救援困難度($R3_i$)

定義：救援困難度係指若地震發生時，進行救援工作可能面臨困難的可能性，與活動人口數、各區至醫療資源之最短距離、醫療資源之數目及道路危險度來評估地區的救援困難度。指標數值愈高，代表此區發生地震時，救援面臨的困難愈多。地區人口數愈多，由於避難不易，相對於人口數少的地區，地震時會有愈多的人需要救援，因此救援困難度相對地會愈高；所以針對人

口數較多的地區，於災前即需規劃適當的防救資源，並適當的分配防救資源與，避免防救資源有過度集中的現象；並規劃救援路線，以免地震發生時，多數受傷民眾為前往救援而集中於某些道路上，而造成救援上的困難。

公式： $NP_i \times DR_i \div NR_i \times X_i$

4. 人口密度($R4$)

定義：人口密度為每單位面積佔有人口數之比例，表示地區的人口密集現象。人口密度愈高的地區，地震發生時進行避難行為發生意外的機率會愈高，因此人口密度也是評估地區危險度的一項重要指標。指標數值愈高，代表人口愈密集。本指標可用來進行替代路線的規劃、醫療資源的增設等工作；對於人口密度較高的地區，應加強救災演習與教育，規劃完善的避難路線及搶救路線，以免地震發生時因逃難人數眾多造成道路阻塞，無法順利抵達安全的避難場所。

公式： $NP_i \div AZ_i$

5. 地區危險度(R_i)

定義：地區危險度綜合了地震潛在危險度、避難危險度、救援困難度及人口密度等四項危險度加總來做評估，最主要是探討地區本身地理位置與斷層帶的關係、地區與避難所的關係、地區與救援物資的關係、以及地區本身的人口密度，來預測研究範圍於地震發生時的整體危險度。指標數值愈高，代表此區發生地震時，整體的危險度愈高。

公式： $w1 \times R1 + w2 \times R2 + w3 \times R3 + w4 \times R4$

6. 道路危險度(X_i)

定義：道路危險度是指地震發生可能會造成道路阻斷的情形，表示道路於地震發生後，是否仍可繼續使用的指標，與都市防災規劃及救災計畫有密切關係。道路危險度愈高，代表地震發生後道路之不可使用機率愈高，因此我們利用各區與斷層之距離與存有危險建物之數目來衡量此地區之道路危險度。由於道路可能受到鄰近建築物倒塌的影響或是因為接近斷層帶因地震而隆起無法使用，因此最好的策略仍是於災前便對於危險建物進行維修，減少地區的危險建物數目，尤其是靠近斷層帶區域的道路，於災前便需規劃好避難道路以及救援道路，以減少傷亡及救援困難。

公式： $NB_i \div DL_i$

7. 救災物資服務能力

定義：救災物資服務能力是以地區內每位民眾可分配到的救災物資數目

做為評估標準，與防災救濟、與救急物資儲備有關係。除了可知道各地區於地震後的救災物資服務能力外，並可掌握地震發生後可能發生物資短缺地區之可能位置，以加速地震發生後物資配送工作的進行。指標數值愈高，代表此區發生地震後，救災物資短缺的問題將愈慢發生。在災前即需儲備足夠的物資，以免地震發生時因為道路阻斷而無法接受其他地區的物資救援，尤其是靠近斷層帶的地區，地震發生後很可能會因為道路阻斷與外界完全隔絕，因此救急物資的儲備便相當的重要。目前規劃以便利商店作為救災物資集散點，主要是因為便利商店的數量及區位都很適合做為儲備物資集散點，並且商店內所販售的商品大多為民眾所需要的民生必需品，而且以便利商店做為集散點的另一好處是可以省去保存物資使用期限的問題。

$$\text{公式： } NE_i \div NP_i$$

8. 醫療資源有效性

定義：醫療資源有效性探討醫療資源與道路可靠度的關係，由於道路危險度關係到地震發生後地區內道路的可使用程度，而受傷民眾需透過道路前往醫療設施接受治療，因此醫療資源有效性可利用道路可靠度乘上醫療資源數目數目來評估。指標數值愈高，代表此區發生地震時，民眾前往醫療設施接受治療的困難度愈低。最根本的方法為提高道路可靠度，道路可靠度提高後，醫療資源有效性就會愈高。所以對於道路可靠度愈低的地區，應加強本身醫療資源的數目，以免因為地震後道路阻斷而無法接受其他地區的支援，造成受傷民眾無法即時進行搶救。

$$\text{公式： } NR_i \times X_i$$

9. 醫療資源服務民眾數

定義：醫療資源服務民眾數是指各醫療資源所能服務之人口數，與救災計畫有密切關係。由此指標可掌握每醫療資源平均需服務的民眾數目。若指標數值過高的地區，代表地震發生後可能有醫療設施不足的情形。若指標值過高，超過醫療設施所能負荷的範圍，就必須增加醫療資源，或臨時設立急救站支援，另外也可視周邊醫療資源的可及性進行醫療資源分配的工作。

$$\text{公式： } NP_i \div NR_i$$

◆ 搶救階段

1 人員搶救率(EI_{ii})

定義：人員搶救率是用來評估地震發生後人員的搶救情形，可由不同時間點的人員搶救率得知搶救情形之進度；不同地點也可做比較，以掌握各地區人員搶救率之差別，是否需加派人員協助搶救進度落後的地區。

$$\text{公式：}(NW_{i0} - NW_{it}) \div NW_{i0}$$

2 火災搶救率

定義：火災搶救率是用來評估地震發生後火災的搶救情形，若同時多處發生火災，此時便可從火災搶救率得知火災之搶救效率。

$$\text{公式：}(NF_{i0} - NF_{it}) \div NF_{i0}$$

3 道路搶救率($E2_i$)

定義：道路搶救率是用來評估地震後道路的搶救情形，可由不同時間點的道路搶救情形掌握道路搶救的進度；不同地區間的搶救效率比較下，可得知搶救進度落後地區的區位。

$$\text{公式：}(NX_{i0} - NX_{it}) \div NX_{i0}$$

4 維生線搶救率($E3_i$)

定義：維生線搶救率是用來評估地震後維生線的搶救情形，可由不同時間點的維生線搶救率掌握維生線的搶救進度；不同地區間之搶救效率比較可得知維生線搶救進度落後地區的區位。

$$\text{公式：}(NM_{i0} - NM_{it}) \div NM_{i0}$$

5 搶救表現(E_i)

定義：搶救效率便是將上述之人員、道路及維生線之搶救效率加總，以代表此地區之總搶救效率。因為在搶救階段最主要的工作便是盡力搶救人民、道路及維生線，以降低地震災害所造成之傷害，好讓民眾的傷亡降至最低。

$$\text{公式：} w1 \times E1_i + w2 \times E2_i + w3 \times E3_i$$

6 設施受損程度

定義：設施受損程度為評估地區之設施受損情形，這裡所指的設施包括：道路系統、維生線、建築物等。此數值可協助決策者評斷地區受地震侵襲所造成設施的災損嚴重程度。

$$\text{公式：} w1 \times (NX_{i0} \div NX_{it}) + w2 \times (NM_{i0} \div NM_{it}) + w3 \times (NB2_i \div NBT2_i)$$

7 人員受損程度

定義：人員受損程度是用來評估地區之人員受損情形，包括：死亡、失蹤、受傷民眾等。此數值可幫助評斷地區受地震侵襲所造成之人員災損情形。

$$\text{公式：}(NW_{i0} + NL_{i0}) \div NP_i$$

8 道路可靠度

定義：可用道路為整條路段於災後仍可使用的道路，若其中有某一部份因毀損而不可使用，即使其他部分可使用，仍不可納入可用道路。道路可靠度可用來瞭解道路系統狀況；搶救階段的道路可靠度與災前的道路可靠度略有不同，災前是利用可能造成道路阻斷的原因去預測地區的道路可靠度；災後則是以實際道路阻斷數目與實際道路數目比值來表示。災前只是預測結果，而搶救階段則是實際結果。由搶救階段地區道路可靠度的指標值可掌握地區在避難疏散、緊急救援物資與藥物配送上可能遇到的困難。道路可靠度愈低，則愈需藉助直昇機等機具的協助進行救援。災前的道路可靠度可規劃災後的替代道路，由道路兩旁之存有危險建物密度可將道路事先分級，將災後可能會阻斷之道路先行規劃替代道路，以便地震發生時可迅速前往安全場所。於災後第一時間知道地區內可使用道路所佔比例，以進行搶救工作，並且關係到替代道路之選取問題，因此道路可靠度愈高，代表道路受損狀況愈低。

$$\text{公式：} NX_{0} \div NX_{i}$$

9 醫療延遲率

定義：醫療延遲率是利用災前與災後前往醫療資源的最短距離的差距進行判斷，震災發生後可能會有道路受到地震侵襲而無法使用，因此道路損壞情形愈嚴重的地區醫療延遲率也相對地提高許多。若能即時修復道路，則儘速修復道路，降低醫療延遲率；針對道路受到嚴重破壞無法及時修復之地區，則加強臨時急救站的設立，或藉助鄰近地區可支援的醫療設施，以方便受傷民眾能利用災後可用道路前往就醫。

$$\text{公式：} (DR2_{i} - DR1_{i}) \div DR1_{i}$$

10 避難延遲率

定義：由於震災發生後，可能會有道路受到地震侵襲而無法使用，因此避難延遲率是利用災前與災後各區至避難所之最短路徑距離變化來衡量避難行為受到地震影響而造成之延遲率，道路損壞情形愈嚴重的地區避難延遲率也相對地提高許多。若能即時修復道路，則儘速修復道路，降低避難延遲率；針對道路受到嚴重破壞無法及時修復之地區，則尋找大型開放空間，例如：學校、體育館等，好讓民眾可儘速到達安全避難場所。

$$\text{公式：} (DS2_{i} - DS1_{i}) \div DS1_{i}$$

11 需注意倒塌建物面積比

定義：依據內政部營建署（1999）對於需注意建物之定義為：(1)由地方政府勘訂為危險建物；(2)半倒之建築物；(3)外觀已毀損之建築物；(4)內部發

生龜裂、坍塌及下陷等建築物。需注意倒塌建物面積比是用來評估地震後地區內仍有多少危險建物可能於地震後再次發生倒塌現象。利用需注意建物面積與地區面積之比值來衡量，此數值代表此地區於地震發生後可能會再發生倒塌現象之建物，針對需注意倒塌建物面積比數目高的地區，應儘速驅散民眾移往安全的避難場所，以避免建築物倒塌造成人員再次傷亡，因此若地區之數值愈高，需盡早疏散民眾，以免造成更多之傷亡。

$$\text{公式： } NB1_i \div AZ_i$$

12 危險建物面積比

定義：依據內政部營建署（1999 對於危險建物之定義為：(1)由地方政府勘訂為危險建物；(2)全倒之建築物等。危險建物面積比為評估地區內已倒塌的建物面積佔地區面積的比例，由危險建物面積比可得知此地區受地震侵襲造成之受損情形，針對危險建物面積比數目高的地區表示地區受地震侵襲造成建築物倒塌情形嚴重。

$$\text{公式： } NB2_i \div AZ_i$$

13 救災物資運送能力

定義：由於救災物資的運送與道路的可靠度有密切關係，因此利用道路可靠度與救急物資數目來代表救災物資之運送能力。若道路可靠度愈低的地區，在災前即需準備好足夠的儲備物資，以免地震發生時因為道路阻斷而無法接受其他地區的物資救援，而目前規劃以便利商店作為救災物資集散點，主要是因為便利商店的數量夠多，並且商店內所販售的商品大多為民生必需品，於地震發生時正好為民眾所需要的物品。

$$\text{公式： } NE_i \div X_i$$

14 救災物資服務能力

定義：救災物資服務能力是以地區內之災民人口數可分配之救災物資數目來表現救災物資的服務能力，本指標可反應救災物資是否有短缺現象，以及協助政府進行物資補給之工作。若指標數目過低，代表此地區需要物資上的援助；若指標數目過高，則代表此地區救災物資已達到需求標準，可防止物資繼續運入，而造成管理上的困難。

$$\text{公式： } NE_i \div NS_i$$

15 醫療資源服務民眾數

定義：醫療資源服務民眾數是以每醫療資源可服務之地區人口數來表現，在搶救階段與災前階段的醫療資源服務民眾率最大的差別在於，災前是

用來規劃每個醫療資源可服務多少民眾數，但在地震發生後，則是用來計算每個醫療資源可用來服務受傷民眾的數目，由此數值可反應醫療資源是否足夠來供應此地區之需求，以及醫療設施是否不足。若發現醫療資源服務民眾數過高，超過醫療資源所能負荷的數目時，應儘速協助受傷民眾至附近的醫療資源接受治療。

$$\text{公式： } NP_i \div NR_i$$

16 避難所收容密度

定義：避難所收容密度是以每單位之避難所面積可服務之災民來代表，若此數值過高，代表此地區之避難所不足，需要尋找大型開放空間做為臨時避難所。若地區內之避難所服務能力數值有明顯之差距，可將民眾適時的疏散至密度較低之避難所。

$$\text{公式： } NS_i \div AS_i$$

◆ 維生階段

1 道路修護情形

定義：利用道路毀損開始時間與修護時間來判斷道路修護的情形，修護時間愈長，民眾生活受到愈多的影響。

$$\text{公式： } TX_{i1} - TX_{i2}$$

2 維生線修護情形

定義：利用維生線毀損開始時間與修護時間來判斷維生線修護的情形。而由於維生系統共討論了水、電瓦斯等三類，而每個維生系統所需修護的時間也不相同，所以可分開討論。

$$\text{公式： } TM_{i1} - TM_{i2}$$

3 避難所收容密度

定義：由避難所收容密度可判斷維生階段避難所是否提供災民足夠的空間。根據相關防災法令規定，中長期（維生階段）之收容密度以每 2 平方公尺收容 1 人為原則。而維生階段與搶救階段的避難所收容密度會略有不同，最主要是因為搶救階段時的指標數目會比維生階段大的多，因為在地震發生時，多數民眾會因為安全考量而前往安全的避難場所尋求避難，但在地震發生後，若自家建築物相當安全，便會回到自己的住宅，留在避難所的民眾多為房屋受到地震影響倒塌或無法居住才會繼續留在避難所。

$$\text{公式： } NS_i \div AS_i$$

◆ 復舊階段

1 災情回報準確度

定義：災情回報準確率來看各地區災情的回報情形，利用回報數值與實際數值之差距來衡量災情回報之準確度，除了復舊階段也可以於地震發生之後的各階段中來檢視各地區的回報情形。回報準確度可以了解於各個時間點對於災情的掌握情形，以進行決策判斷。

$$\text{公式： } w1 \times (ND_{it} \div ND_{i0}) + w2 \times (NI_{it} \div NI_{i0})$$

2 受損程度

定義：受損程度在描述地震發生之後，地區的人員、設施受損程度，在人員受損方面，本研究考量了死亡、受傷人數；在設施受損程度則以危險建物做為設施受損的代表。由不同地區的受損程度可以比較各地區的災損情形嚴重程度

$$\text{公式： } ND_{i0} \times 0.5 + NI_{i0} \times 0.3 + NB2_i \times 0.2$$

3 復建困難度

定義：在復舊階段最主要工作為協助災區重建，因此復建困難度也是重要的指標之一，復建困難度為評估地區重新回復的困難度。以設施復原所需成本及地區可用資源的比值來判斷。指標數值愈高，代表復建的困難度愈高。對於需要大筆資金重建的地區，也許透過募捐的方式集資，以進行重建工作。

$$\text{公式： } C_i \div NC_i$$

將上述之資訊導向指標及其變數以表 3.3 表示，而任務導向指標之公式與指標值定義則分別以表 3.4 與表 3.5 呈現。

表 3.5 資訊導向指標及其變數對應表

編號	資訊導向之指標	代表變數
1-1	各區與斷層之距離	DL_i
1-2	各區至避難所最短距離	DSI_i
1-3	各區至防救資源之最短距離	DRI_i
1-4	活動人口數	NP_i
1-5	救急物資數目	NE_i
1-6	醫療資源數目	NR_i
1-7	地區面積	AZ_i
1-8	存有危險建物數目	NB_i
2-1	救出人數	NW_{it}
2-2	火災數目	NF_{it}

2-3	道路毀損數目	NX_{it}
2-4	維生線毀損數	NM_{it}
2-5	救出總人數	NW_{i0}
2-6	道路毀損總數	NX_{i0}
2-7	維生線毀損總數	NM_{i0}
2-8	道路總長度	NX_i
2-9	維生線總數	NM_i
2-10	災後各區至醫療資源之最短距離	$DR2_i$
2-11	災後各區至避難所最短距離	$DS2_i$
2-12	需注意建物面積	$NB1_i$
2-13	危險建物面積	$NB2_i$
2-14	建物總數目	$NBT2_i$
2-15	道路 V/C 值	VR_i
2-16	救急物資數目	NE_i
2-17	災民人口數	NS_i
2-18	死亡、失蹤總人數	NL_{i0}
2-19	火災總數目	NF_{i0}
2-20	醫療資源數目	NR_i
2-21	避難所面積	AS_i
3-1	救急物資數目	NE_i
3-2	道路毀損開始時間	TX_{i1}
3-3	道路復原時間	TX_{i2}
3-4	維生線停止時間	TM_{i1}
3-5	維生線復原時間	TM_{i2}
3-6	避難所面積	AS_i
3-7	災民人口數	NS_i
4-1	回報人員損失數目	ND_{it}
4-2	實際人員損失數目	ND_{i0}
4-3	回報設施損失數目	NI_{it}
4-4	實際設施損失數目	NI_{i0}
4-5	設施復原成本	C_i
4-6	可用資源數量	NC_i

資料來源：本研究整理

表 3.4 任務導向指標之公式

任務導向之指標	代表變數	公 式
地震潛在危險度	$R1_i$	$\sqrt{NP_i} + NB_i - \sqrt{DL_i}$
避難危險度	$R2_i$	$NP_i \times DS_i \times X_i$
救援困難度	$R3_i$	$NP_i \times DR_i \div NR_i \times X_i$

地區危險度	R_i	$w1R1 + w2R2 + w3R3 + w4R4$
道路危險度	X_i	$NB_i \div DL_i$
救災物資服務能力	FE_i	$NE_i \div NP_i$
醫療資源有效性	--	$NE_i \times X_i$
醫療資源服務能力	$FR1_i$	$NP_i \div NR_i$
人口密度	RA_i	$NP_i \div AZ_i$
人員搶救率	$E1_i$	$(NW_{i0} - NW_{it}) \div NW_{i0}$
火災搶救率	$E2_i$	$(NF_{i0} - NF_{it}) \div NF_{i0}$
道路搶救率	$E3_i$	$(NX_{i0} - NX_{it}) \div NX_{i0}$
維生線搶救率	$E4_i$	$(NM_{i0} - NM_{it}) \div NM_{i0}$
搶救表現	E_i	$w1E1_i + w2E2_i + w3E3_i$
設施受損程度	--	$w1(NX_{i0} \div NX_{it}) + w2(NM_{i0} \div NM_{it}) + w3(NB2_i \div NBT2_i)$
人員受損程度	--	$(NW_{i0} + NL_{i0}) \div NP_i$
道路可靠度	X_i	$NX_{i0} \div NX_{it}$
醫療延遲率	PR_i	$(DR2_i - DR1_i) \div DR1_i$
避難延遲率	PS_i	$(DS2_i - DS1_i) \div DS1_i$
需注意倒塌建物面積比	PB_i	$NB1_i \div AZ_i$
危險建物面積比	PD_i	$NB2_i \div AZ_i$
救災物資運送能力	--	$NE_i \div X_i$
救災物資服務能力	$FE2_i$	$NE_i \div NS_i$
醫療資源服務民眾數	$FR2_i$	$NP_i \div NR_i$
救災物資服務能力	$FE2_i$	$NS_i \div NE_i$
道路修護情形	--	$TX_{i1} - TX_{i2}$
維生線修護情形	--	$TM_{i1} - TM_{i2}$
避難所收容密度	--	$NS_i \div AS_i$
災情回報準確率	--	$w1(ND_{it} \div ND_{i0}) + w2(NI_{it} \div NI_{i0})$
受損程度	--	$ND_{i0} \times 0.5 + NI_{i0} \times 0.3 + NB2_i \times 0.2$
復建阻力	--	$C_i \div NC_i$

資料來源：本研究整理

表 3.5 任務導向指標值的意義

任務導向之指標	值的意義
地震潛在危險度	值愈大代表地震發生時的危險度愈高
避難危險度	值愈大代表民眾避難之危險度愈高

救援困難度	值愈大代表救援的困難度愈高
地區危險度	值愈大代表地區整體的危險度愈高
道路危險度	值愈大代表地震發生時道路無法使用的機率愈高
救災物資服務能力	值愈大代表愈高救災物資服務能力愈好
醫療資源有效性	值愈大代表醫療資源的有效性愈高
醫療資源服務民眾數	值愈大代表醫療資源可服務民眾數愈高
人口密度	值愈大代表人口密度愈高
人員搶救率	值愈大代表人員搶救的表現愈好
火災搶救率	值愈大代表火災搶救的表現愈好
道路搶救率	值愈大代表道路搶救的表現愈好
維生線搶救率	值愈大代表維生系統搶救的表現愈好
搶救表現	值愈大代表整體的搶救表現愈好
設施受損程度	值愈大代表設施受損情形愈嚴重
人員受損程度	值愈大代表人員傷亡程度愈嚴重
道路可靠度	值愈大代表地震後道路可使用機率愈高
防救延遲率	值愈大代表資源因道路阻斷而延遲之時間愈長
避難延遲率	值愈大代表因道路阻斷而避難延遲時間愈長
需注意倒塌建物面積比	值愈大代表需注意倒塌建物佔地區面積比率愈高
危險建物面積比	值愈大代表危險建物佔地區面積比率愈高
救災物資運送能力	值愈大代表救災物資運送能力愈高
救災物資服務能力	值愈大代表民眾可取得的救災物資愈多
醫療資源服務民眾數	值愈大代表醫療資源服務民眾數愈多
道路搶救率	值愈大代表道路搶救效率愈好
維生線搶救率	值愈大代表維生系統搶救效率愈好
避難所收容密度	值愈大代表避難所收容的災民數目愈多
災情回報準確率	值愈大代表災情回報準確率愈高
受損程度	值愈大代表受損程度愈嚴重
復建困難度	值愈大代表復建工程愈難進行

資料來源：本研究整理

3.4 資料之收集方法

3.4.1 災害調查的基本概念

除了指標的構建之外，本研究另一項工作為建立所需資訊之收集方法，由於國內對於這部分的研究尚待加強，因此提出災害調查的基本概念：

- (一) 調查的範疇：由於本研究進行的研究對象除了道路系統本身之外，還包括其他與地震搶救、避難、物資運送等相關之工作，因此調查的對象不僅只有道路本身，還包括了其他相關的資料，例如災區的基本資料、都市基礎建設的調查、以及避難設施、救急物資儲存之

調查。

(二) 調查的分類：由於調查範疇必須先透過詳細的調查之後，分析工作才得以順利進行，因此調查的範疇需先行分類，以進行後續調查工作：

1. 都市的基礎建設、開放空間（避難用）以及建築物等可能因地震而造成物理受害的情形。
2. 由上述之設施、空間、或建物之服務機能因受到地震影響而無法提供民眾使用時，造成民眾受到之傷害。
3. 其他因素造成的間接傷害，例如地震造成設施之物理損失或是地震導致設施提供的服務機能降低，因而引發其他的災害。例如：地震造成醫療設施之建築物倒塌，而使得醫療設施無法使用，但受傷民眾於地震發生後急需醫療救援，因醫療設施之倒塌而導致民眾無法順利進行治療。

(三) 調查對象：本研究歸納之調查對象包括：當地之行政單位、地區災民、協助災區重建之單位、媒體等。

(四) 調查方法：主要資料收集之方法，共有以下六點，分別為：直接觀測、問卷調查、訪談相關單位、應用行政資料、活用航照圖、應用自動測量設備、媒體或用路人之通報。

1. 直接觀測：地震會對災區造成設施方面的直接損害，這方面的損害無法透過二手資料來獲得，必須仰賴人員至現場直接觀察以獲得資訊。例如：建物的毀損狀況、道路毀損情形、災區的交通量及災前災後旅行時間的變化等。
2. 問卷調查、訪談相關單位：透過問卷調查、及訪談相關單位的方式可了解在地震發生之後進行各項工作可能面臨的困難以及屬於較行為面（較抽象）的資料。由於在進行搶救工作時，若非相關之工作人員，很難體會進行各項工作時可能會面臨到的困難，因此透過問卷調查及訪談的方式可進一步掌握可能忽略的部分，或是了解各相關要素的關連及重要性。而透過問卷調查可協助進行災損情形的確認及收集救災工作評估資料，例如：救出人數、各項設施毀損情形、運補物資數目、災民數目、人員損失情形等。
3. 應用行政資料：由於進行災損情形描述以及各項工作之表現評估也需要災區的基本資料作為評估基準。因此應用行政資源可以掌握災區的基本資料，以作為評估分析的準則。例如：活動人口數、地區面積、建物總數目等。而地區若在災前即已做好各項防災規劃，便

可利用行政資料獲得地區在防災方面的規劃資料，以進行各項災前防災的評估工作，並與災後的變化做比較。例如：各區與斷層之距離、各區至避難所最短距離、各區至醫療資源最短距離、救急物資位置與數目、醫療資源數目、避難所面積、醫療資源數目、可用資源數量等。

4. 活用航照圖：活用航照圖在地震發生之後為資訊收集的主要來源之一，最主要是因為地震發生之後，造成地面隆起、或建物倒塌無法使用，原本可使用的道路面積就已經銳減，再者便是此時道路最主要的功能為提供各項搶救、維護設施、物資運送的工作進行，若要再同時進行資料收集的工作，實屬困難，而且也會影響各項救災工作的進度。因此利用航照圖除了可以相當清楚地掌握各地區的災損情形，同時也不會影響路面上各項搶救工作的進行。利用航照圖可收集的資訊包括：交通設施損毀情形、建物倒塌情形、道路狀況、道路交通量等。
5. 應用自動測量設備：除了利用航照圖之外，也可以應用自動測量設備來收集資訊，例如：災後旅行時間、災前旅行時間等。
6. 媒體或用路人之通報：地震發生之後，媒體與用路人也是相當重要的資訊來源，透過媒體的宣導，可以了解目前大略的災損情形、災區目前所欠缺之物資為何，以及實施交通管制地區等各項資訊，都須仰賴媒體宣導，讓民眾能儘速地掌握資訊，而用路人的通報可提供最新的道路狀況。透過媒體或用路人可提供之資訊有：災損情形、道路狀況、救急物資等。

依本研究歸納調查方法之原則，將資訊導向指標分類如表 3.8。

3.4.2 進行調查需注意的項目

(一) 進行調查的時間

調查的時間與本研究劃分之時間範疇一樣，共分為災前、搶救、維生、復舊等四個階段，而根據時間的不同，調查的對象與方法也會有所不同。例如調查時間的分段點，在地震發生之 72 小時內為進行緊急搶救的主要黃金時段，這階段除了進行緊急搶救工作之外，對於相關的搶救工作內容的調查將有助於日後進行搶救工作評估之進行，因此在搶救階段之時間分段點會較短，往往需要討論每日各個搶救工作項目的進度如何；而在維生與復舊階段則在強調城鄉重新復原的進度，這階段的時間分割就會比搶救

階段來的長。

資料的調查可分為一次與多次兩種，有些屬於地區基本資料的調查，只需透過行政單位提供資料便可進行基礎分析；而有些資料可能需要針對不同時間點去進行調查，以觀察其變化，例如：搶救工作的資料。而有些資料則會在地震發生後產生改變，因此於地震發生後需再進行資料之更新。

（二）調查的對象

調查的對象先經過縝密的定義，以避免實際進行調查時會有困擾產生，由於地震發生之後，有許多資料是事後無法透過補調的方式來取得，因此在進行調查之前，就需對進行調查之對象有完全的了解，以順利完成調查。

研究對象除了考慮直接受影響地區之外，對於鄰近受波及的地區也應該適時的列入調查範圍內，例如：地震發生之後，交通往往會受到阻斷，因此研究的對象除了地區道路之外，還要考慮到聯外道路的部分，將附近相關的研究範圍一起進行調查。

（三）二手資料的活用

由於地震發生之後，調查時間的掌握是一件相當重要的關鍵，因此若能有二手資料得以活用，便可以節省許多人力、時間去進行更重要的資料調查。

表 3.8 資訊蒐集方法

時期	直接觀測	問卷調查、訪談相關單位	應用行政資料	活用航照圖	應用自動測量設備	媒體或用路人之通報
災前	◇ 危險建物面積	----	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 各區與斷層之距離 ◇ 各區至避難所最短距離 ◇ 各區至醫療資源最短距離 ◇ 活動人口數 ◇ 救急物資數目 ◇ 醫療資源數目 ◇ 地區面積 		----	----
搶救	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 危險建物面積 ◇ 需注意建物面積 ◇ 道路狀況 ◇ 災後旅行時間 ◇ 災前旅行時間 ◇ 道路交通量 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 救出人數 ◇ 火災數目 ◇ 道路毀損數目 ◇ 維生線毀損數 ◇ 救急物資數目 ◇ 災民人口數 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 各區至避難所最短距離 ◇ 各區至醫療資源最短距離 ◇ 救急物資數目 ◇ 建物總數目 ◇ 避難所面積 ◇ 地區面積 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 交通設施損毀情形 ◇ 建物倒塌情形 ◇ 道路狀況 ◇ 道路交通量 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 道路狀況 ◇ 災後旅行時間 ◇ 災前旅行時間 ◇ 道路交通量 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 道路狀況 ◇ 救急物資
維生	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 道路狀況 ◇ 道路交通量 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 道路毀損停止時間 ◇ 道路復原時間 ◇ 維生線停止時間 ◇ 維生線復原時間 ◇ 救急物資數目 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 醫療資源數目 ◇ 災民人口數 ◇ 避難所面積 	----	◇ 道路狀況	----
復舊		<ul style="list-style-type: none"> ◇ 人員損失數目 ◇ 實際人員損失數目 ◇ 設施損失數目 ◇ 實際設施損失數目 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 可用資源數量 ◇ 設施復原成本 	----		◇ 災損情形

資料來源：本研究整理

第四章 實例分析

4.1 實例範圍與指標項目之界定

4.1.1 921 集集大地震災損概述

1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分 12.6 秒，台灣地區於北緯 23.85 度東經 120.78 度，即日月潭西偏南 6.5 公里處，發生芮氏規模 7.3 之強震，震源深度 1.0 公里，災情之嚴重為台灣百年來所罕見。根據交通部公路局所做之統計，921 集集大地震造成了省、縣及代養鄉道合計 44 條路線受損，其中造成交通中斷有 33 條，共 711 處；損害較嚴重之橋樑共 9 座、中度損壞 7 座、輕微損害 73 座；維生線系統損害（電力方面：台電 345k 超高壓線路受損 28 條，中寮開閉所嚴重破壞，造成全台大停電；自來水方面：5 座淨水廠受損，給水管線嚴重毀損，造成災區約有 114 萬戶無水可用；衛生下水道方面：6 座污水處理廠，及災區 70% 的下水道管線受損；石油、天然氣方面：天然氣管線受損達 70%、中油加油站受損 12 處）；醫療設施嚴重損壞，南投縣於災後 48 小時內減少約 1000 床的醫療能力。而根據消防署在 10 月 14 日之統計資料，災民人數高達 32 萬人，死亡人數 2,412 人，失蹤人數 46 人，10,002 人受傷，毀損棟數逾 5 萬棟，中小學校有 656 所遭到毀損，43 所校舍全毀。

4.1.2 研究範圍

本研究以台中縣之豐原市、東勢鎮、大里市、霧峰鄉，及南投縣之南投市、中寮鄉、集集鎮、草屯鎮、埔里鎮及竹山鎮等 10 個鄉鎮市做為實例研究對象，進行評估指標之分析。圖 4.1 為本研究之研究範圍：

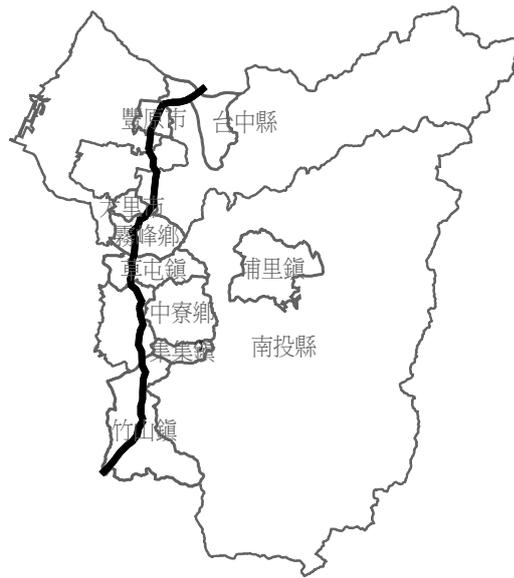


圖 4.1 研究範圍

—— 鄉鎮市界線
 —— 斷層

4.1.3 指標項目之界定

本研究進行最困難之處在於資料的收集，由於台灣百年來第一次發生如此慘重之傷亡，因此在地震發生初期，大家無不盡心盡力於人員、設施之搶救，對於資料的蒐集由於缺乏經驗，造成許多寶貴的資料並沒有及時留下，或是只有概略的整體資料，但具體的細部資料則無法獲得，甚至也有資料遺失的情形產生。因此這也再次凸顯重大災害應變能力的重要性。在資料收集方面，期許本研究提出之方法可以有效地提高未來資料保留的效率，並可協助未來更多後續的研究得以順利進行。

以表 4.1 說明將進行分析之資料收集情形，本研究以淺灰色網底表示有收集到之資訊，而以框線代表使用替代資訊，深灰色網底代表收集到部分之資訊，無網底之資訊則代表沒有資料之指標。由於資訊導向指標資料收集的情形會影響到任務導向指標是否可順利進行操作，因此本研究以表 4.2 說明已進行分析之任務導向指標，而表 4.2 之標示方法與表 4.1 相同，淺灰色網底表示有收集到之資訊，框線代表使用替代資訊，深灰色網底代表收集到部分之資訊，無網底之資訊則代表沒有資料之指標。

表 4.1 已掌握資訊導向指標說明表

階段	工作任務	所需資訊 (交通相關)	資訊導向指標
災前	災害預警 救災演習與教育 災害易發生區劃定 防災設施整備 防災救濟、救急物資儲備	災害潛在位置 避難路線 搶救路線 人口分布情形 建物耐震度評估 醫療資源分布 儲備物資分布	各區與斷層之距離 各區至避難所最短距離 各區至醫療資源最短距離 活動人口數 危險建物數目 醫療資源數目 救急物資數目 地區面積
搶救	災害搶救 消防滅火 危險建築物判定 維生線搶修 緊急救援物資與藥品配送 災情蒐集與通報 災區交通管制 避難疏散 醫療資源分派 救災動線規劃 災民疏散安置	搶救生命 修復道路 火災資訊 維生線損失情形 可能倒塌建物 建築物損毀情形 救援物資、藥品分布 道路管制 各區災損情形 道路系統狀況 避難可行路線 搶救、救援可行路線 醫療資源分布 避難所位置	救出人數 道路毀損數目 火災數目 維生線毀損數 需注意建物面積 倒塌建物面積 各區至醫療資源最短距離 各區至避難所最短距離 建物總數目 道路 V/C 值 救急物資數目 災民人口數 地區面積 醫療資源數目 避難所面積 待救總人數 火災總數 死亡、失蹤總人數 道路毀損總數 維生線毀損總數 道路總數目 維生線總數
維生	醫療與維生物資配送 交通設施搶修 維生線繼續搶修 居民之暫時安置	醫療資源分布 道路修護情形 維生線修護情形 避難所位置 災民人數	救急物資數目 道路毀損開始時間 道路復原時間 維生線停止時間 維生線復原時間 避難所面積 災民人口數
復舊	災情彙整及復舊 災民救助、救濟 復建建設材料輸送	災損情形 資源之數量與分布 設施復建所需資源	回報人員損失數目 實際人員損失數目 回報設施損失數目 實際設施損失數目 設施復原成本 可用資源數量

資料來源：本研究整理

圖表說明：有詳細資料

使用替代資訊

只有部分資料

沒有資料

表 4.2 已進行分析之任務導向指標說明表

分期	工作任務	資訊導向指標	任務導向指標
災前	災害預警 救災計畫 救災演習與教育 災害易發生區劃定 防災設施整備 都市防災規劃 防災救濟、救急物資儲備	各區與斷層之距離 各區至避難所最短距離 各區至醫療資源最短距離 活動人口數 危險建物數目 醫療資源數目 救急物資數目 地區面積	地震潛在危險度 避難危險度 救援困難度 人口密度 地區危險度 道路危險度 救災物資服務能力 醫療資源有效性 醫療資源服務民眾數
搶救	災害搶救 消防滅火 危險建築物判定 維生線搶修 緊急救援物資與藥品配送 緊急通訊與指揮 災情蒐集與通報 災區交通管制與交通管理計畫 避難疏散 醫療資源分派 救災動線規劃 災民疏散安置	救出人數 道路毀損數目 火災數目 維生線毀損數 需注意建物面積 倒塌建物面積 各區至醫療資源最短距離 各區至避難所最短距離 建物總數目 道路 V/C 值 救急物資數目 災民人口數 地區面積 醫療資源數目 避難所面積 待救總人數 火災總數 死亡、失蹤總人數 道路毀損總數 維生線毀損總數 道路總數目 維生線總數	人員搶救率 火災搶救率 道路搶救率 維生線搶救率 搶救表現 設施受損程度 人員受損程度 道路可靠度 醫療延遲率 避難延遲率 需注意倒塌建物面積比 危險建物面積比 救災物資運送能力 救災物資服務能力 危險物品比率 醫療資源服務民眾率 避難所收容密度
維生	醫療與維生物資配送 交通設施搶修 維生線繼續搶修 居民之暫時安置	救急物資數目 道路毀損開始時間 道路復原時間 維生線停止時間 維生線復原時間 避難所面積 災民人口數	救災物資服務能力 道路修護情形 維生線修護情形 避難所收容密度
復舊	災情彙整及復舊 災民救助、救濟 復建建設材料輸送 發展規劃 復建排程（分期分區發展）	回報人員損失數目 實際人員損失數目 回報設施損失數目 實際設施損失數目 設施復原成本 可用資源數量	災情回報準確率 受損程度 復建困難度 地震潛在危險度

資料來源：本研究整理

圖表說明：有詳細資料

使用替代資訊

只有部分資料

沒有資料

4.2 實例研究之指標建立

指標構建完成之後，本研究將針對時間範疇的四個不同階段進行實例研究之指標建立。

本研究將無單位的評估指標一般化，一般化的方法是將結果除以最大值，讓數據落於 0 至 1 之間，比較研究地區內各個指標的差異。

4.2.1 災前階段

災前共需要八項資訊導向指標的資料，分別為各區與斷層之距離、各區至避難所最短距離、各區至醫療資源最短距離、活動人口數、危險建物數目、醫療資源數目、救急物資數目、地區面積。但由於我國並無針對災前之建築物危險度做調查，也未事先規劃避難場所及醫療資源，因此有關存有危險建物數目、各區至避難所最短距離、各區至醫療資源最短距離之資訊便利用地震發生後之相關資訊來替代。

1. 地震潛在危險度

$$\text{公式：} \sqrt{NP_i} + NB_i - \sqrt{DL_i}$$

欲獲得地震潛在危險度需掌握災前之危險建物資料，由於無法取得災前的危險建物數目，因此便利用災後實際已倒塌之建物的數目來代替。圖 4.2 為預測研究範圍內地震潛在危險度一般化後之結果。

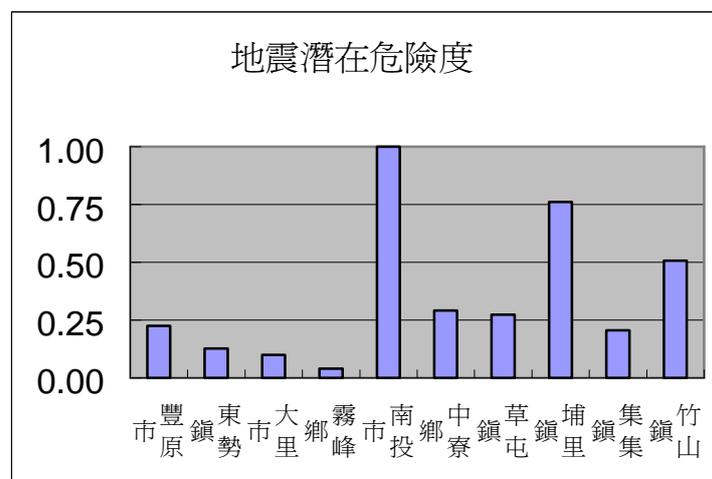


圖 4.2 地震潛在危險度

由圖 4.2 可知，研究範圍的十個鄉鎮市中，南投市的地震潛在危險度最

大，因此推測在地震發生時，南投市最有可能造成嚴重災損。由此指標可告知，哪些地區於地震發生時最有可能造成嚴重災損，因此於災前即需做好防災與減災工作，以減少傷亡。將圖 4.2 所得結果與災後之受損結果作對照（見圖 4.17）之後發現，除了東勢鎮之外，其餘研究對象受損結果都與災前的預測情形相同。除此之外，在災區整體而言，南投縣的整體受損情形是比台中縣大，這也與本研究所預測之結果相同。

2. 避難危險度

公式： $NP_i \times DS_i \times X_i$

利用各區至避難所之最短路徑距離，配合當地居住之居民人口數以及道路之可靠度來表示地區之避難危險度。但由於本次 921 集集大地震發生前，並無事先規劃各區之避難據點，因此於地震發生後，便由居民自行前往位於自宅附近之開放空間聚集而成（內政部建築研究所，1999），因此本研究便以災後之避難所來判定各區至避難所之最短路徑距離。根據統計，研究調查範圍內之避難據點總計有 278 個，面積為 1,755,832 平方公尺，因此在避難所與各區之最短路徑距離之取得有相當大的困難，所以本研究目前先以台中縣之四個縣市進行分析。

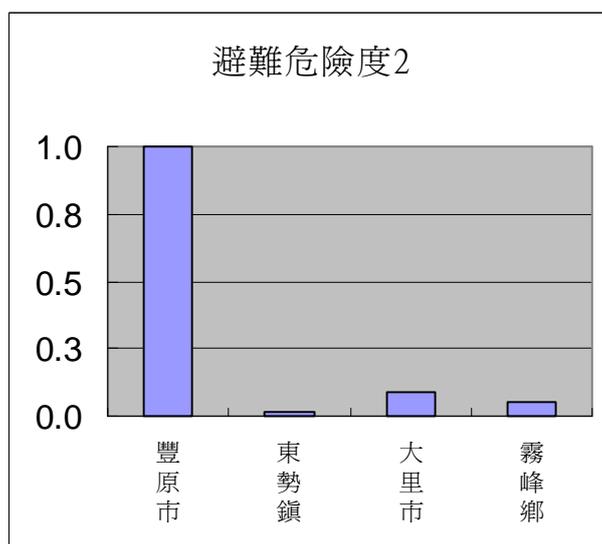


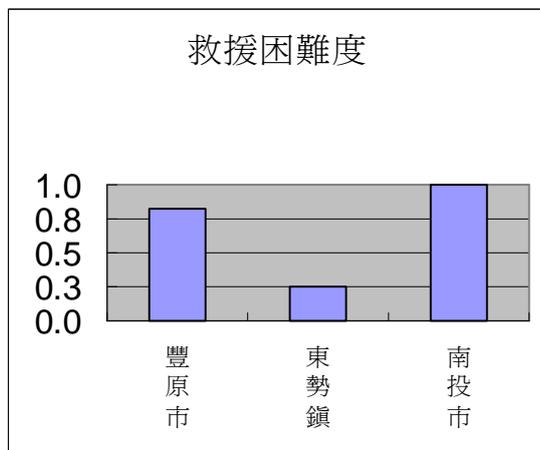
圖 4.3 避難危險度

避難危險度是用來評估地震發生時民眾進行避難的危險度，由圖 4.3 避難危險度一般化後的結果顯示，豐原市的避難危險度最高，其次為大里市。

3. 救援困難度

公式： $NP_i \times DR_i \div NR_i \times X_i$

救援困難度是用來評估地震發生時醫療資源支援之困難情形，救援困難度可能受到道路可靠度及醫療設施本身建築物是否可承受地震侵襲之影響，而由於醫療資源至各區之最近路徑距離取得不易，因此目前先以豐原、東勢、南投等三個地區進行研究。



4.4 救援困難度

救援困難度是用來推估地震發生時，民眾前往醫療設施進行搶救之危險度，由圖 4.4 救援困難度一般化後的結果得知，南投市於地震發生時可能會面臨救援困難之情形，因此於災前即需趁早規劃好救援策略，以減少救災工作進行之困難度。在研究的三個地區中，東勢鎮之救援困難度就比豐原市、南投市來的低，因此可加強致力於豐原市、南投市之救援困難度之降低。地震發生後，這三個研究地區以南投市的醫療設施毀損數目最多，災後以設立急救站來因應，因此本指標可協助未來在醫療設施方面的規劃。

4. 道路危險度

公式： $NB_i \div DL_i$

道路危險度是用來評估地震發生後道路可能無法使用之情形，危險度值愈大，災後道路無法使用之情形愈可能發生。而道路危險度也關係到民眾在地震發生後進行避難、搶救等行動之進行。評估道路危險度必須考慮到地區的危險建物數目。由於無法取得災前危險建物數目的資料，因此便利用本次 921 集集大地震後實際已倒塌之建物數目來代替原本之危險建物數目，以進行本次災前道路危險度之分析。

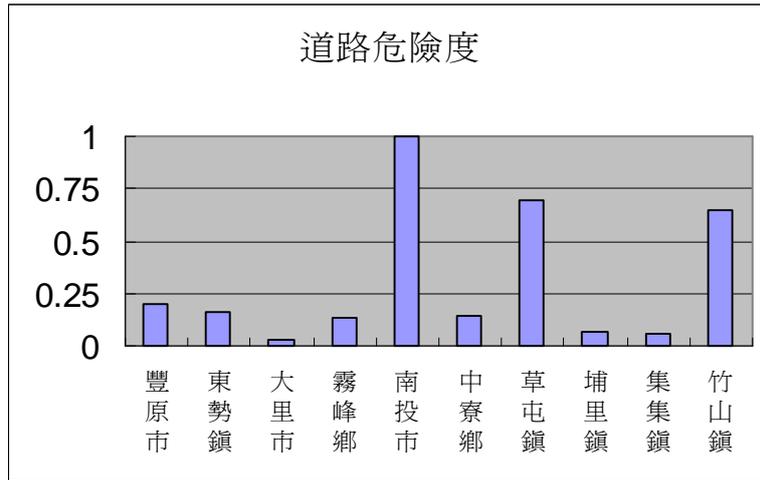


圖 4.5 道路危險度

由圖 4.5 道路危險度一般化後的結果可以發現，在本次的研究範圍內，南投市的道路危險度遠比其他鄉鎮市來的高，而由地震後的資料也顯示，此次南投市之災情是所有鄉鎮市中最嚴重的，與本研究之結果相同。

5. 醫療資源服務民眾數

$$\text{公式： } NP_i \div NR_i$$

醫療資源服務民眾數是綜合醫療設施之數量與地區的活動人口數來評估地震發生後醫療資源可服務之地區居民數量的指標。

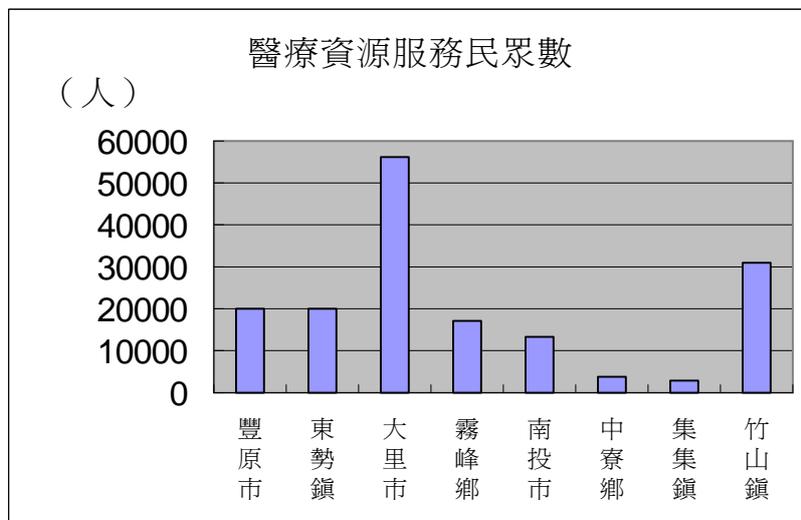


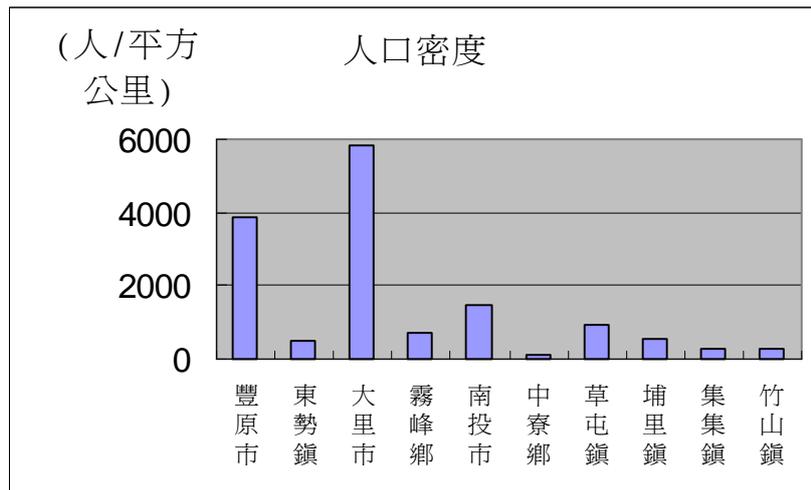
圖 4.6 醫療資源服務民眾數

由圖 4.6 得知大里市的醫療資源服務民眾數最高，至於服務民眾數較低的中寮鄉與集集鎮則要加強防救設施的配置，以免地震發生後無法服務需要救援之民眾。

6. 人口密度

$$\text{公式： } NP_i \div AZ_i$$

人口密度是用來評估地區之人口數，人口密度愈高的地區，地震發生時可能會發生的危險度相對地也會提高，因為在避難時人口密度高的地方，較容易造成人員傷亡。



4.7 人口密度圖

由圖 4.7 得知，大里市之人口密度相當的高，而相對地南投市、中寮鄉的人口密度低了許多，最主要是因為這次地震的主要災區並不是發生在人口密集的大都市，因此人口密度平均較低。

4.2.2 搶救階段

1. 人員搶救率($E1_i$)

$$\text{公式： } (NW_{i0} - NW_{it}) \div NW_{i0}$$

人員搶救率是藉由地震發生之後，各個不同時間點災區救出人數的變化量來判定災區之人員搶救效率。

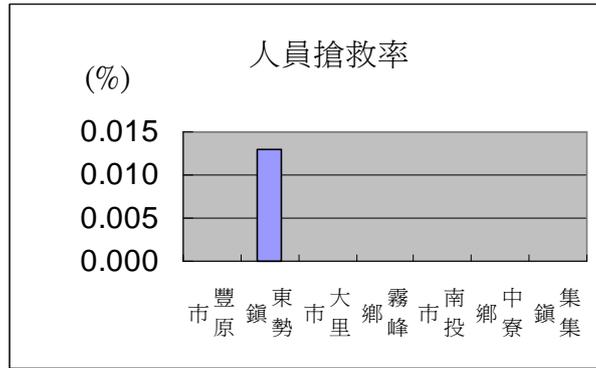


圖 4.8 人員搶救率

人員搶救率資料是利用南投縣與台中縣提供之 9/27 的資料與 11/15 的資料來建立，資料是以每日為單位，由台中縣與南投縣消防局搶救科所提供，但由於地震後資料收集的不足，導致地震發生一週後始開始統計搶救人數，但地震發生後之黃金救援時機應為地震發生後之 72 小時，所以最有利之救援行動也會在前三天達到高峰；由於資料問題，可以發現除了東勢鎮仍陸續有救出民眾之外，其他研究範圍內之鄉鎮皆無改變，而無法進行分析此次 921 地震時的人員搶救率，這也再次突顯了資料收集之重要性。

2. 人員受損程度

$$\text{公式：} (NW_{i0} + NL_{i0}) \div NP_i$$

人員受損程度是用來評估研究範圍內之人員死亡、失蹤及送醫人數佔原地區人口數之之比例，用來描述此地區受到地震侵襲後，在人員方面的損失情形為何。

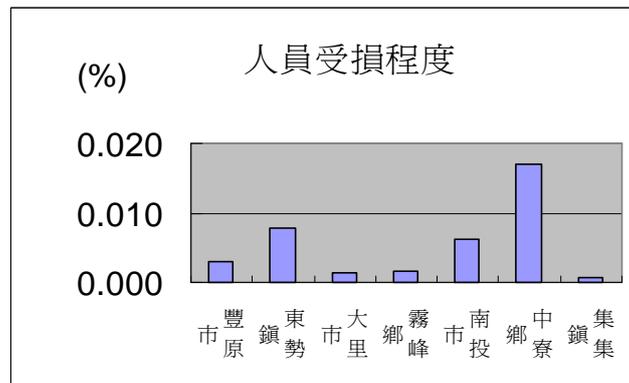


圖 4.9 人員受損程度

由圖 4.9 得知，中寮鄉之人員受損程度為本研究範圍中較為嚴重的，其次則為埔里鎮，而南投縣整體而言人員傷亡方面比台中縣來的嚴重。

3. 醫療資源服務民眾數

$$\text{公式：} NW_i \div NR_i$$

醫療資源服務民眾率可評估每個醫療資源可服務之受傷災民數，由此指標可以瞭解哪些地區可能會有醫療資源不足之情形產生，因此可針對醫療資源不足之地區進行臨時醫療站之進駐，好讓搶救工作得以順利進行。

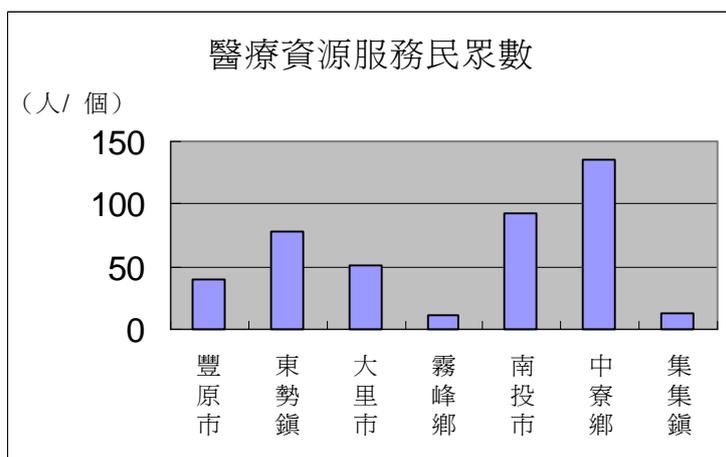


圖 4.10 醫療資源服務民眾數

進行分析之鄉鎮市中，中寮鄉由於災後只剩下一個可使用醫療設施，因此服務民眾數最高；其次為南投市，主要是因為在研究範圍內南投市之人員受損程度最嚴重；而人員受損程度第二嚴重的鄉鎮市為豐原市，但豐原市的可用醫療設施為十個研究對象中最多的，因此平均服務民眾數就相對地降低；東勢鎮則為人員受損程度第三嚴重的，但其醫療設施比豐原市少了 5 個，因此服務民眾數比豐原市來的高。服務民眾數最低的霧峰鄉與集集鎮主要是因為人員受損程度較輕微，所以需服務民眾相對地較低。

4. 避難所收容密度

$$\text{公式：} MS_i \div AS_i$$

避難所收容密度可評估每單位避難面積所可容納之災民人口數，由此指標可以瞭解哪些地區可能會有避難所不足之情形產生，因此可針對避難所不足之地區進行臨時避難所之設立，好讓避難工作得以順利進行。

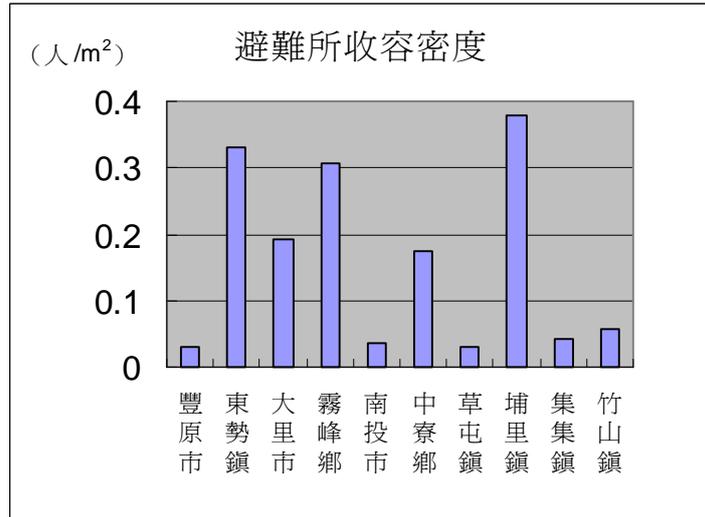


圖 4.11 避難所收容密度

由圖 4.11 得知埔里鎮之避難所收容密度最高，而根據相關法令規定臨時收容場所之容納密度以每平方公尺容納 1 人為原則，因此本研究範圍內之避難所都尚無不足的情形。

5. 需注意倒塌建物面積比

公式： $NB1_i \div AZ_i$

需注意倒塌建物面積比是利用研究地區在地震後可能會再發生倒塌情形之建物佔行政區面積之比例，這項指標可以協助進行災區建物危險度之評估，若指標值相當的高，則需立即疏散災區內民眾，以免傷亡情形更為嚴重。除此之外，也可由此指標規劃避難所之規模，以進行疏散民眾之任務。

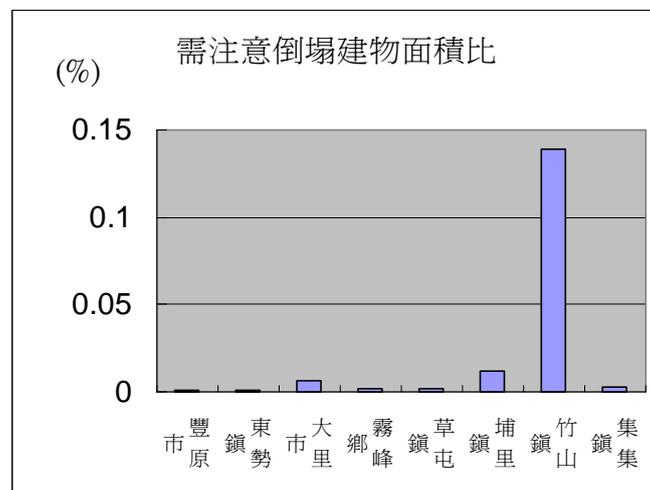


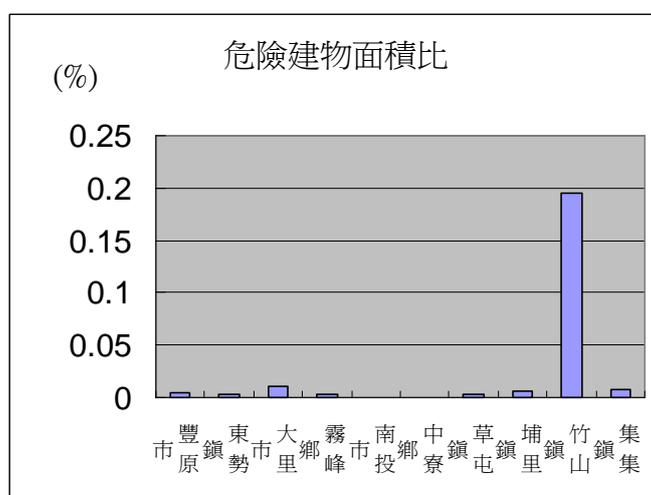
圖 4.12 需注意倒塌建物面積比

由圖 4.12 發現在研究範圍內除了竹山鎮之外，其餘的需注意倒塌建物面積都不高，最主要是因為本次 921 集集大地震的主要災區並不是在大都市裡，因此建築物密度本身就不高。而需注意倒塌建物面積比相當高的竹山鎮在災後應儘速疏散民眾，以防災損更加擴大。

6. 危險建物面積比

$$\text{公式： } NB2_i \div AZ_i$$

危險建物面積比是利用研究地區在地震後全倒或經專家鑑定為危險建物之數目佔行政區面積之比例，這項指標可以協助我們得知此地區建物部分受地震侵襲造成之受損情形。



4.13 危險建物面積比

由圖 4.13 得知，研究範圍中危險建物面積比最高的地區與需注意建物面積比的地區一樣都是竹山鎮。

4.2.3 維生階段

1. 避難所收容密度

$$\text{公式： } MS_i \div AS_i$$

在維生階段與搶救階段不同的是，維生階段屬於中長期收容中心，因此避難所之收容密度會略低於搶救階段，依法令規定為每 2 平方公尺容納 1 人為原則。

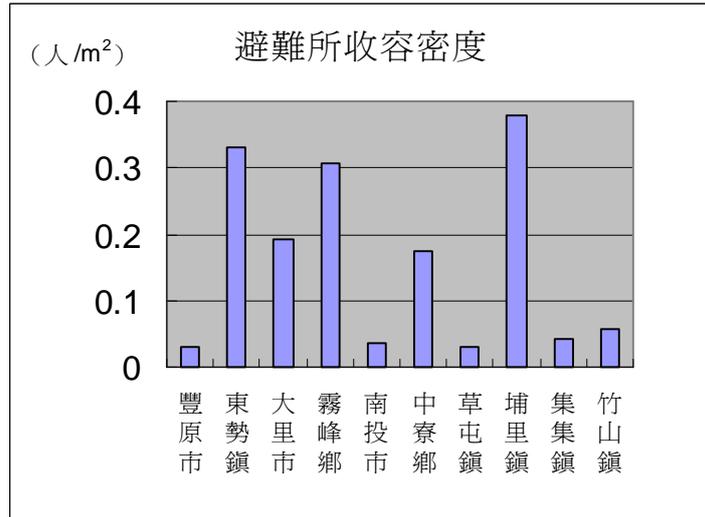


圖 4.14 避難所收容密度

由圖 4.14 得知埔里鎮之避難所收容密度最高，其次為東勢鎮，但其收容密度仍在相關法令規定之內，因此在維生階段尚無避難所容量不足的情形產生。

2. 維生線搶救情形

公式： $NM_{i0} - NM_{it}$

維生線包括：水、電、瓦斯，維生線搶救情形是利用維生線從地震造成維生線無法正常供應至可全面供應之修護時間，可以瞭解地震造成維生線方面無法正常供應的情形。

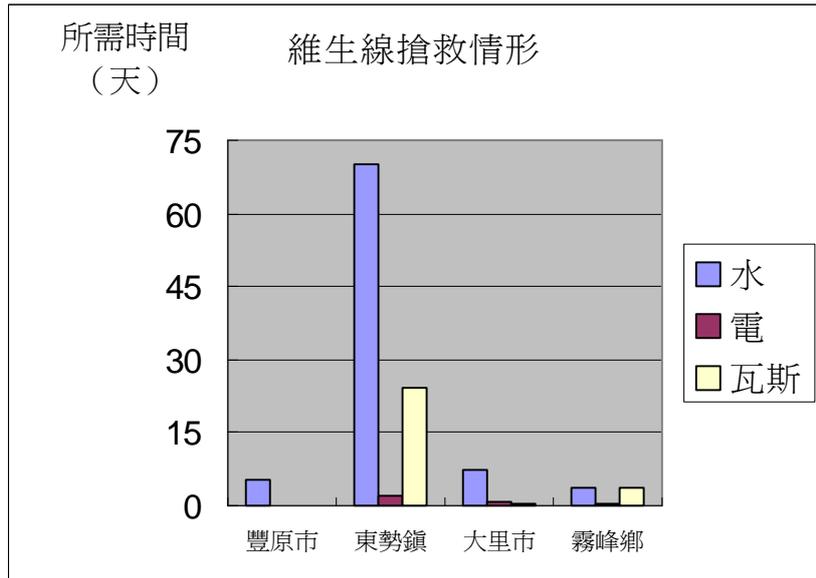


圖 4.15 維生線修復情形

由於目前只掌握了台中縣之資料(南投縣的資料已為保管單位遺失)，因此便以台中縣作為分析對象，由圖 4.15 可以瞭解到除了東勢鎮的搶救情形較緩慢之外，其餘三個鄉鎮市均在一星期內完成搶救；而在維生線的三個子系統中，又以電力系統的修復為最快，其次為瓦斯，最後修復的為供水系統，而東勢鎮的供水系統一直到 11/30 才修復完成。

4.2.4 復舊階段

1. 災情回報準確度

$$\text{公式： } w1(ND_{it} \div ND_{i0}) + w2(NI_{it} \div NI_{i0})$$

利用地方各個災損回報數值與實際數值之差距來衡量災情回報之準確度，災情回報之準確度可讓決策者於災後分秒必爭的時間內做出更正確之決策。而災情回報包括了人員方面的傷亡以及設施的毀損兩部分。

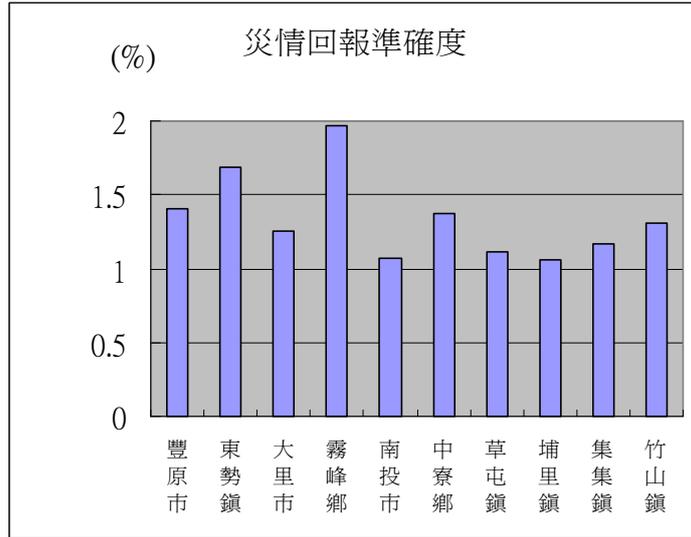


圖 4.16 災情回報準確度

由於資料不足，使得距離 9/21 最近的資料由 9/27 開始，距離地震發生已經一星期，因此災情回報準確率相當的高，尤其是在人員傷亡部分；但在設施方面，則有較大的差異，因為設施毀損的部分需經由鑑定工作，如果可以掌握到更精確的資料，便可以進行評估本次 921 集集大地震之災情回報準確度。

2. 受損程度

$$\text{公式： } ND_{i0} \times 0.5 + NI_{i0} \times 0.3 + NB_{i0} \times 0.2$$

受損程度包括了人員及建築物方面的受損，可與災前之地震潛在危險度作一比較。受損程度是事後的結果，而災前潛在危險度則為事前評估，可利用兩者做一比較，驗證結果是否如災前所預測。

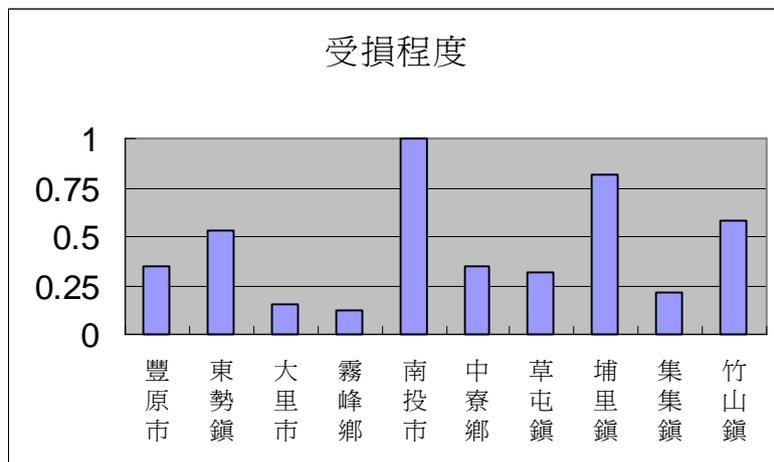


圖 4.17 受損程度

由圖 4.17 得知本物研究範圍內之南投市受損程度最為嚴重，而南投縣整體而言災情比台中縣來的嚴重，這與圖 4.2 的事前評估結果相同。

3. 地震潛在危險度

公式： $NP_i \times NB_i \div DL_i$

地震前與地震後的地震潛在危險度之意義不同，於復舊階段進行評估之地震潛在危險度是在為下一次地震的發生進行預測工作，而由於地震發生後，各個指標的數據也許會有所變動，因此需要進行重新評估的工作，以為下次地震的發生做準備。

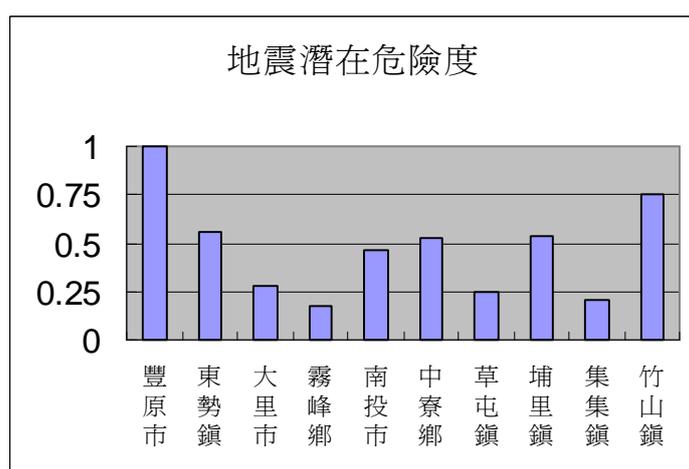


圖 4.18 地震潛在危險度

由圖 4.18 得知豐原市的危險度比其他鄉鎮市來的高，因此要特別注意豐原市的防災工作。

4.3 發展課題與對策

1. 地震潛在危險度

影響地震潛在危險度有三個因素—與斷層的最短距離、倒塌建物數目、地區人口數，影響最甚者為倒塌建物數目。倒塌建築物會帶來的傷害包括：民眾受困建築物中，無法順利逃出；因倒塌建材造成民眾受傷，甚至因此而喪生；除此之外，倒塌建築物也會造成道路受損無法使用，而影響到災後搶救、復建工作的進行；另外，倒塌建築物也可能會壓傷逃生民眾等。

將災前階段的地震潛在危險度與災後的受損程度相比發現：災前的預測結果與災後的實際受損情形結果相符。因此，可藉由降低影響地震潛在危險度的指標來降低地區的地震潛在危險度。就改善倒塌建物數目方面，政府可

著手加強落實建築法規：對於古老建築物，應翻修補強其耐震度；而新的建築物則應嚴格規範其建築結構及抗震能力。就地區人口數而言，應藉由開發新市鎮與都市計畫來減少人口密度，尤其是靠近斷層帶的城市。唯有從上述對策加以改善，才能減少地震潛在危險度，以達到最低人員傷亡的目標。

2. 避難據點

921 集集大地震由於許多房屋倒塌，許多民眾於災後需進駐安全的避難場所，因此臨時安置居民便成為災後的重要工作之一。但由於經驗不足，災前並未事先規劃好避難據點，因此避難據點都是居民在地震後自行前往附近的開放場所聚集而成，由於沒有完善的規劃，造成災後救濟物資發放與管理維護上的困難。

由搶救階段的避難所收容密度指標中發現，埔里鎮的收容所收容密度最高，每平方公里有 0.38 人，而避難人數佔原都市人口 20%；東勢鎮的收容所收容密度為第二高，每平方公里有 0.33 人，而避難人數佔原都市人口 39.5%。而根據防災相關法令規定：收容密度需以每 2 平方公尺可收容 1 人為原則，所以災區的避難所收容密度尚在合理範圍以內。但是未來在都市計畫防災規劃上，應事先規劃避難據點並予以宣導，加強災前演練工作，好讓民眾在地震發生時可以迅速地避難，而完善的避難規劃也可簡化災後的物資分配工作，提高避難及救災效率。

3. 醫療設施

研究範圍內的醫療設施建物毀損情形並不嚴重，所以大多於災後能繼續維持醫療救難行為，但多數的醫療設施因為建築物內部空間受地震影響毀損或醫療設備受到破壞，而阻礙醫療行為，尤其在維生線方面，各醫療設施的電力均靠緊急供電設施提供；用水部分則因為供應災區水源的水庫毀損，所以醫療設施的用水亦需靠外界的支援；用電方面則在災後第三天才恢復供電。

在醫療設施方面，未來應規劃災後醫療救護中心的觀念，除了分散災後待救民眾過於集中在某些醫療設施，超過醫療設施的負荷之外，也可讓災區的醫療資源充分發揮救災功效；加強醫療設施建築物本身的耐震能力，及相關設施的耐震度，並可自行供水及提供緊急供電設施，才能在地震發生時繼續進行搶救工作。

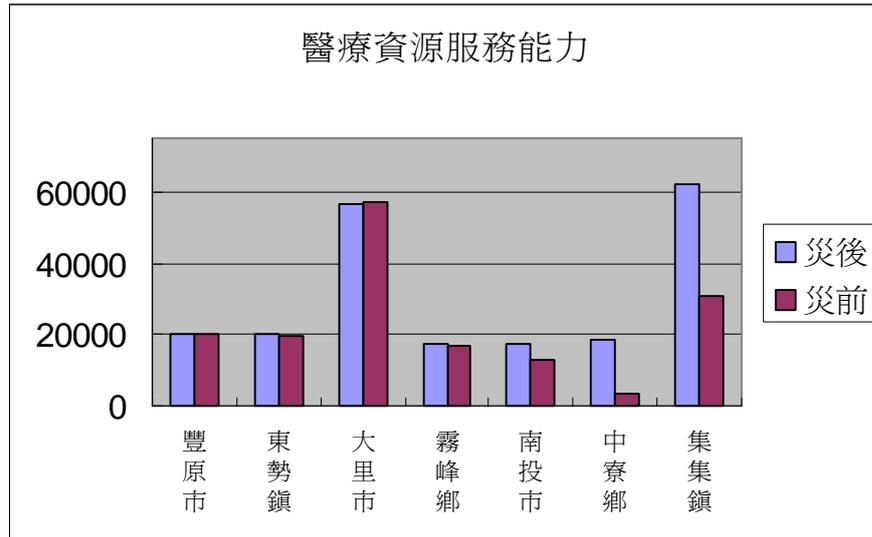


圖 4.19 災前災後醫療資源服務能力比較圖

4. 防救災路徑

(1) 聯外道路

921 集集大地震中，有些災區由於聯外道路與橋樑受到地震侵襲受到嚴重破壞，使得救援機具、人員、物資都無法在救援時間內，順利進入災區進行搶救工作，因此未來應規劃替代性道路，並在各災區設定直昇機起降場所，以因應聯外道路、橋樑皆毀損的困境。

將研究範圍的道路受損情形分為聯外道路與災區內主要防救道路，聯外道路方面，東勢鎮與竹山鎮的道路受損情形最為嚴重；災區內主要防救道路則是草屯鎮受損情形最為嚴重，其次為竹山鎮；再將道路整體的受損情形製成表 4.20，可以發現：整體而言，草屯鎮的道路受損情形最為嚴重，第二嚴重的為竹山鎮。

(2) 避難路線

由於並未事先規劃避難路線，因此多由民眾自行選擇，921 集集大地震的避難場所多為住家附近的開放空間，例如：公園、學校、停車場、空地、廣場等。因此未來應定期進行避難演習，本研究建議以「鄰里」為演習之最小單位，不僅能提高避難效率，也能降低事前規劃避難路線的複雜性。

第五章 結論與建議

本研究旨在探討震災道路系統評估指標的建立，根據地震發生的時間順序，將時間範疇分為災前、搶救、維生及復舊四個階段，以鄉鎮市為單位擬定評估指標，期盼對地震災害研究有所助益，並可供公私部決策者於第一時間內掌握災損情形及決定政策。歸納整個研究，所得之結論與建議，茲分述如下：

5.1 結論

綜合前文之分析結果，針對震災道路系統評估指標提出以下的結論：

在地震發生之後，交通需求在瞬間急遽增加，但交通運輸系統遭到地震侵襲造成破壞，以致於影響到後續整個救援行動之效率，而災後的後續工作無一不需交通運輸部門之協助方能順利完成，因此如何在有限的資源限制下作出合理且有效的決策，便成為相當關鍵的課題。本研究致力於建立一套符合交通運輸部門在救災工作上需要的災損指標，不僅可進行災前防災與減災工作的準備，同時也可評估國內災後各項後續工作之效率。

本研究將時間範疇分成災前、搶救、維生、復舊四個階段，利用各階段必須完成之工作任務與各個工作任務所需之相關資訊間的關係，配合空間系統的概念，找出道路系統評估指標，各階段的評估指標如表 5.1：

表 5.1 各階段評估指標

災前階段
地震潛在危險度；避難危險度；救援困難度；地區危險度；道路危險度；救災物資服務能力；醫療資源有效性；醫療資源服務能力；人口密度。
搶救階段
人員搶救率；火災搶救率；道路搶救率；維生線搶救率；搶救表現；設施受損程度；人員受損程度；道路可靠度；醫療延遲率；避難延遲率；需注意倒塌建物面積比；危險建物面積比；救災物資運送能力；救災物資服務能力；危險物品比率；醫療資源服務民眾數；救災物資服務能力。
維生階段
道路修護情形；維生線修護情形；避難所收容密度。
復舊階段
災情回報準確率；受損程度；復建阻力。

地震發生之後，掌握寶貴的資訊除了可以檢討本次地震災害發生的情況之外，也可以作為應對下次地震來臨的準備工作，因此資料收集的方法也相當重要，本研究提出資料收集之方法，共有以下六點，分別為：直接觀測、問卷調查、訪談相關單位、應用行政資料、活用航照圖、應用自動測量設備、媒體或用路人之通報。

針對 921 集集大地震的災區進行實例分析，提出指標對於防災與救災的應用，以作為未來防災的因應措施與建議。在實例分析中，以地震潛在危險度、避難據點、醫療設施及防救災路徑這四個方面來探討災前政府應著手的防災規劃與災前教育。其最終目的是要能夠將地震所造成的損害與人員傷亡降至最低。

5.2 建議

震災道路系統評估指標因涉及領域廣泛，一時無法涵蓋各層面做詳細的深入研究，係提供下列幾點建議供後續研究參考：

1. 建立完善的防救災體系

在災害發生前即事先規劃好地震發生時各項工作的應變措施，雖然地震發生時的變化性極大，往往與事先所預設的立場不盡相同，但卻能在緊急時刻讓所有相關人員有依循的方針，而提升救災的效率，因此建議各級災害防救中心訂定各項工作的處理程序，並加強訓練工作，以提高救災功效。

2. 加強防災教育與宣導

在災害發生時，民眾往往因為慌張而亂了方針，導致避難工作更加困難，而救災者進入災區搶救也困難重重，所以應在平時對民眾加強防災教育與宣導工作，包括：一般民眾防災教育宣導、防災業務人員講習及舉行防災演習。

3. 資料收集再加強

由 921 集集大地震的經驗得知，許多寶貴的資料由於缺乏經驗，大多沒有好好收集、整理以及應用，因此，在資料收集方面還要多加強，資料收集除了可以針對本次地震進行各項災損分析之外，最主要是希望可以進一步提出改善建議，以避免以後再發生相同的悲劇。

4. 調查時間再精細

由 921 集集大地震的經驗得知，有些資料即使收集了，但完整的資料調查時間大多距離地震發生已經三天以後。對於搶救生命的部分，地震發生後三天內為最主要的搶救時機，因此若能在未來對於調查時間再精細一些，對於災後的後續工作會更有幫助。

5. 應用範圍的擴大

本次調查範圍只限於 921 集集大地震災情較嚴重的 10 個鄉鎮市，但是也有其他屬於災區的鄉鎮市並未列入，未來可考慮將其餘鄉鎮市列入以做比較工作。

6. 門檻值的設定

本研究主要貢獻在建立評估指標，對於門檻值的問題尚未進行討論，因此可從本研究中得知各個地區間研究指標間的相對嚴重程度，但無法得知研究範圍內的實際損害程度。所以未來可進行的方向有兩點：第一、可將其他縣市的指標數值放進來討論，以做更深入的比較檢討；第二、研究門檻值的設定，由評估指標得知各個工作任務的數據，由數據與門檻值之間的關係去進行因應對策的擬定。

7. 事後行為之分析

本研究鑑於資料不足，僅進行部分指標之實例研究，因此期望未來可以在資料收集方面多多加強，以彌補本研究不足之處，並進而更深入的探討事後行為與地震發生後各現象的因果關係，以提供更多有效的改善方案。

參 考 文 獻

一、中文部分

1. 中央防災會報 (1998), 防災基本計畫、防災業務計畫、地區防災計畫彙編。
2. 內政部建築研究所(1999^a), 「921 集集震災都市防災調查研究報告總結報告」。
3. 內政部建築研究所(1999^b), 「都市地區避難救災路徑有效性評估之研究」。
4. 內政部建築研究所(1999^c), 「都市空間大量人群避難行為基礎研究」。
5. 內政部營建署 (1999), 「921 大地震都市計畫區及鄉村區建物毀損調查圖集」。
6. 王玟傑 (2000), 「都市地區地震災害風險區劃設之研究」, 國立成功大學都市計畫研究所碩士論文。
7. 台中縣消防局 (1999), 「921 集集大地震台中縣消防搶救記錄」。
8. 何明錦、黃定國 (1997), 「都市計畫防災規劃作業之研究」, 內政部建築研究所, 頁 130-135。
9. 台灣省政府住宅及都市發展處市鄉規劃局 (1998), 「都市防災都市規劃手冊第捌冊」, p.3-6。
10. 林大煜(1999), 「交通設施災損緊急搶救復健體制」, 21 地震災後交通設施強化與重建研討會論文級, 頁 125-129。
11. 林峰田(1999), 「都市災害危險度評估網格資訊系統之建立—避難空地配置評估方法」, 內政部建築研究所委託研究計畫。
12. 林峰田、李佳昀(2000), 「地震防救災文獻案例式查詢系統」, 都市與計畫, 第二十七卷, 第一期, 頁 65-80。
13. 林豐正(2000), 「九二一大地震災後交通設施災損、搶修與復建」, 都市交通季刊, 第十四卷, 第四期, 頁 1-8。
14. 國家地震工程研究中心網站, <http://www.ncree.gov.tw>。
15. 張益三 (1999), 「都市防災規劃之研究」, 國立成功大學。
16. 張祺堂 (1998), 「台北市地震防災發展策略與推動之研究」, 國立台灣科技大學工程技術研究所碩士論文。
17. 許文科 (1992), 「整合性多目標地震危害評估專家系統之建立」, 國立中央大學土木研究所碩士論文。

18. 許添本(2000),「九二一集集大地震之交通衝擊與交通應變系統」,都市交通季刊,第十四卷,第四期,頁 9-21。
19. 陳亮全(1988),「有關台灣都市地震災後及其成因之初步探討」,台灣大學土木工程研究所都市計畫研究所。
20. 陳亮全、邱昌平(1988),「有關台灣都市地震災害及其成因之初步探討」,內政部營建署建築研究所籌備小組委託研究計畫。
21. 陳亮全、邱昌平(1989),「地震災害危險度評估項目之探討」,內政部營建署委託研究計畫。
22. 陳亮全、郭俊欽(2000),「台灣重大災害緊急應變之調查與分析—以 921 大地震埔里鎮公部門應變為例」,第一屆全國災害危機處理學術研討會論文集,頁 219-240。
23. 陳建忠、詹士樑(1999),「都市地區避難救災路徑有效性評估之研究」,內政部建築研究所專題研究計畫成果報告,內政部建築研究所。
24. 馮正民(1999),「災區交通維持與交通資訊」,921 地震災後交通設施強化與重建研討會論文級,頁 133-137。
25. 葉光毅、吳永隆(1998),地區性交通計畫,滄海書局,87 年 7 月初版,p. 154。
26. 鄭欣蓉(2000),「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。
27. 盧文廷(1998),「都市空間防災系統中交通動線計畫之研究—以台北市大安區部分地區現況檢討為例」,台灣科大工程技術所碩士論文。
28. 謝嘉鴻(1999),「都市地區震災避難疏散指派規劃之研究」,國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
29. 藍武王(2000),「大地震的防災應變:道路系統管理相關課題」,台灣公路工程,第二十六卷,第九期,頁 2-8。
30. 藍武王、陳郁文(2000),「地震災害之道路系統管理策略」,都市交通季刊,第十四卷,第四期,頁 22-27。

二、英文部分

1. FEMA (1996), Guide for all-Hazard Emergency Operations Planning-State and Local Guide (SLG)
2. Finn, W. D. L., C. E. Ventura and N. D. Schuster (1995), "Ground motions during the 1994 Northridge earthquake," *Journal of Canada Civil Engineering*, Vol. 22,

pp. 300-315.

3. Gilbert, A. (1996), "Criteria for sustainability in the development of indicators for sustainable development", *Chemosphere*, Vol. 33, No, 9, pp. 1739-1748.
4. Kennedy, R. P. (1999), "Risk based seismic design criteria", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 192, No: 2-3, pp. 117-135.
5. Monti, G. and C. Nuti (1996), "A procedure for assessing the functional reliability of hospital systems", *Structural Safety*, Vol. 18, No, 4, pp. 277-292.
6. Ravindra, M. K. (1997), "Seismic individual plant examination of external events of US nuclear power plants: insights and implications", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 175, No, 3, pp. 227-236.
7. Roberts, E. (1995), "Improved seismic details for highway bridges", *Structural Engineering Review*, Vol. 7, No. 3, pp. 195-206.
8. Sheffi, Y., H. Mahmassami and W. B. Powell(1981), "Evacuation studies for nuclear power plant sites: A new challenge for transportation engineering", *ITE Journal*, Vol. 51, No. 6, pp. 25-28.
9. Tansel, B. (1995), "Natural and manmade disasters: accepting and managing risks", *Safety Science*, Vol. 20, pp. 91-99.
10. Tzeng, G. H. and Y. W. Chen (1998), "Implementing an effective schedule for reconstructing post-earthquake road-network based on asymmetric traffic assignment-an application of genetic algorithm", *Operations and Quantitative Management*, Vol. 14, No. 3, pp. 229-246.

三、日文部分：

1. 災害調査班 (2000), 「災害調査の體系化」, 災害風險研究的最前線與對社會的建議, 土木學會土木計畫學研究委員會, 頁 21-43。
2. 東北地方建設局 (1996), 「因應地震所設道路之相關調查報告書」。
3. 東京都都市計畫局 (1984), 「東京都」
4. 飯田恭敬 (1998^a), 「道路交通管理系統」, 地震災害時的道路交通管理研究-以阪神、淡路大地震的實際調查為基準, 財團法人國際交通安全學會, 頁 223-241。
5. 飯田恭敬 (1998^b), 「緊急道路的指定系統」, 地震災害時的道路交通管理研究-以阪神、淡路大地震的實際調查為基準, 財團法人國際交通安全學會, 頁

181-188。

6. 塚口博司 (1997), 「災害後道路交通的實際狀況」, 地震災害時的道路交通管理研究-以阪神、淡路大地震的實際調查為基準, 財團法人國際交通安全學會, 頁 7-18。
7. 國土廳防災局 (1995), 防災基本計畫。