

第五章 道路通阻模式之建立

『各地運送來的救災物資數量非常龐大，儘管須緊急分配與運送這些物資，但地方政府配送的功能不彰，加上交通阻塞不能即時送達災民手上。』

『神戶市區的交通也非常混亂。從 18 日起，主要的平交道、迴轉道都有警察指揮交通，但是沒有管制的道路就被車輛塞滿了，結果是早餐送到避難所變成午餐，晚餐送到避難所變成早餐』¹。地震過後交通系統受到立即性的損害，包括道路路面本體塌陷、龜裂、凸起、交通號誌故障等。此外道路兩旁建築物、路燈或大型廣告看板倒塌、掉落亦為造成道路阻斷之因素。由上述阪神大地震的例子來看，交通系統於震前與震後所扮演的功能性角色有顯著差異。除了需擔負起平常人流、物流的運輸功能外，震後道路系統為關鍵的維生線之一，包括人員的緊急集合、避難、市區大火的搶救、傷患就醫等緊急對外聯絡，因此，相對來說交通流量要遠遠超出震前所設計的運輸功能。再加上道路阻斷、路面縮減使得交通路網之連續性降低、道路容納量(Road Capacity)大幅減少，因此震後交通的運輸效率將大幅降低。以阪神大地震為例平時一小時的車程於震後的運輸中平均需要三個小時才能完成。因此如何在災難過後的黃金七十二小時²甚至於其後的反應復原階段期減低交通延滯、維持運輸效率，有效的震後運輸管理為復原重建的第一要務。基於震後交通需求的轉變，本章將進一步對於造成道路阻斷或效率延遲的原因進一步探討，並據此提出相對應之道路通阻模式以作為進一步路網分析的基礎。

第一節 道路通阻因子

可能造成交通系統損壞或惡化的原因有很多，包括自然因素如地震、洪水、崩坍、土石流、濃霧...等。人為因素則涵蓋交通事故、路面施工、管線施工或廢棄物棄置等。曾明遜、詹士樑（2000）根據阪神大地震案例歸納出造成交通系統受損的案例為：

¹節錄自阪神大地震考驗自衛隊 p47,p63。內容為日本阪神大地震過後救災實況記錄。

²黃金七十二小時：是指災難發生後，人類的生命力、體力可存續、忍受時間為七十二小時，一般稱為黃金七十二小時。

- A · 道路下陷或路面損毀
- B · 沿路建物的倒塌
- C · 牆壁、門柱的倒塌
- D · 電線桿倒塌，電線凌亂散布於地面
- E · 散落於路面的大型看板或自動販賣機
- F · 散亂的路邊停車
- G · 高速公路、高架道路或橋樑的崩塌
- H · 停駛的捷運或軌道運輸工具阻絕道路平交道

Odani, M.、Uranaka, K（1996）於阪神大地震後利用空照圖實際針對阪神市區街道進行調查，根據道路阻斷的各種形式、數量加以統計。經調查後發現（圖 1），獨棟及連棟房屋倒塌造成道路阻斷所佔的比例最高。其次為公寓式建築或大廈。在各種阻斷形式中，又以獨棟房舍造成道路完全阻斷的情形最為顯著。其他原因則包括了圍牆倒塌、高架橋倒塌、火災、車輛拋錨、路面凸起、火車出軌等。

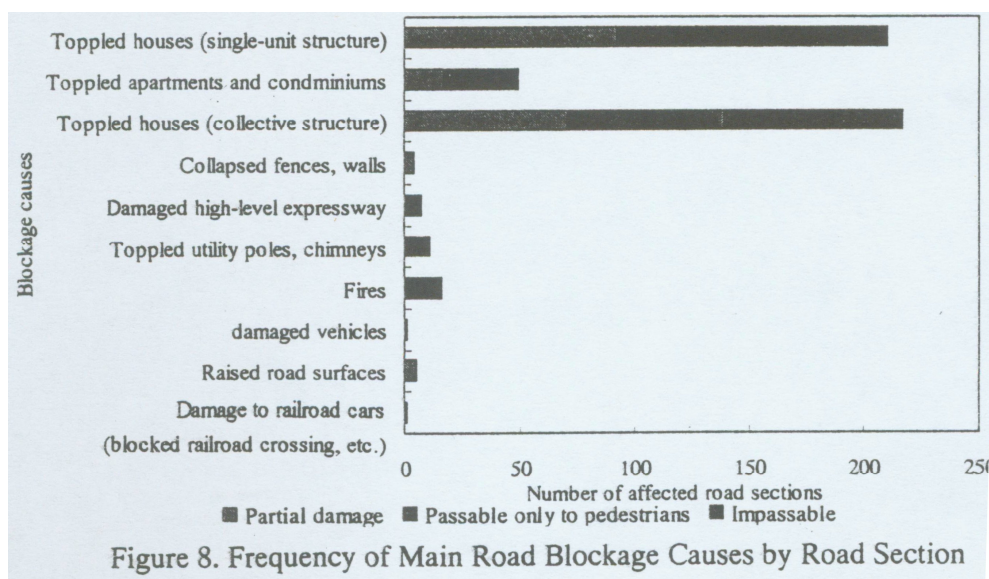


圖 5-1 阪神大地震道路阻斷因子統計

資料來源：Odani, M. and Uranaka, K.，1999

第二節 道路通阻指標

救災避難道路的評選，有賴於道路通阻模式的建立。根據路網特性與震後各地需求的不同需針對其中的道路通阻指標進行調整。

在單純的交通路徑選擇模式中，以運輸效率為最高準則，考慮的項目主要為車速、時間或道路容量與交通流量。但建立救災避難路徑選擇模式的過程中，必需同時考慮地震危險度所帶來的道路阻斷及道路面積縮減所帶來的車流壅塞。呂獎慧（2000）針對震後造成路網功能降低的通阻因子分為兩大類，包括阻斷因子及效率因子（表 5-1）。並根據其中部分因子建立評估模式以作為路網分析中計算通行成本的依據。

表 5-1 道路通阻因子分類

阻斷因子	效率因子
1. 路面破壞	1. 交通流量
2. 橋樑或高架橋因搖動之破壞	2. 旅行時間
3. 液化災害	
4. 道路障礙物	
5. 建築物破壞或倒塌災害	
6. 維生管線破壞	
7. 邊坡或檔土牆破壞	

資料來源：呂獎慧，都市震災救災路線選擇模式之構建，2000

其他如洪鴻智、陳亮全（2001）根據避難救災環境之特質估計避難救災路徑的實質效用，並依此建立多屬性效用函數以作為衡量實證區內各路段旅行成本（travel cost）的依據。侯鵬曦（2001）針對地震路網破壞的評估提出服務穩定性與效率穩定性兩大架構。其中，服務穩定性由累積破壞路段數和服務需求點比例的關係決定；效率穩定性則由不同破壞階段之路網所能提供之服務能力決定。Vedat Verter 和 Bahar Y. Kara（2001）根據災損物質衝擊程度、路段加權人口、路段長度加權運算決定危險物資的運輸路線。

經由以上的例子來看，相關於路徑選擇模式的基本架構大致由多屬性函數建立（Du and Nicholson，1997）。而函數本身的構成必需依據路徑選擇的目的或需求加以建構。大部分的路徑選擇模式中效率為一關鍵因素。其次於震後逃生過程中亦可能再次遇到地震的發生而造成道路、建築等結構物的破壞而造成直接人員的傷亡。因此安全性因素為避難救災路徑選擇的另一重要依據。本研究初步確立以**安全因子**與**效率因子**作為道路通阻模式的基本考量。

阪神大地震之後，震後交通問題逐漸受到重視，近幾年，國內外許多專家

學者根據道路通阻因子研擬對應的防災指標。以提高對於類似 921 等級的大地震之應變能力，彌補過去防災工作上的死角。以下將對過去文獻累積的道路通阻指標，依安全與效率兩大架構進行整理（表 5-2），並進一步提出討論。

表 5-2 整體性路網指標

類別	名稱	作者	指標
整體性路網	Degradable transportation systems :An intergrated equilibrium model	Nicholson, A and Du,Z. P.	連接性可靠度 ³ 旅行時間可靠度 ⁴ 容量可靠度 ⁵
	Measuring individual residence's accessible probability by using geographical information systems	Yan Li	道路寬度 木造房屋比率
	震災道路系統評估指標之建立	黃亦琇	活動人口數 道路損毀數目 道路可靠度
	都市計畫道路防災機能之初探—決定避難路段的方法	吳永隆、嚴穗蓮（2000）	路寬 避難人口負荷量 建築物長度 路段長度
	地區性道路往便利性、舒適性、防災性基準之研究	吳永隆、葉光毅（1998）	連續性指標 ⁶ 設施可及性變動比 ⁷

資料來源：詳見表列

³ 網路節點間相鄰的機率值，以 0 或 1 表示

⁴ 在起迄點間之一旅次於特定時段內成功聯通的機率

⁵ 滿足路段特定服務水準要求之機率

⁶ 詳見 p6

⁷ 特定設施或節點於地震前後因路段之毀損造成交通效率改變的情形

表 5-3 單一路段道路通阻指標

類別		名稱	作者	指標
單一路段	效率	都市震災救災路線選擇模式之構建	呂獎慧(2000)	旅行時間延滯
	效率	都市地區避難救災路徑有效性評估方法之研究	洪鴻智、陳亮全等（2001）	路段長度 路段長度-寬度-避難人口 路段長度-有效寬度-避難人口
	安全	都市震災救災路線選擇模式之構建	呂獎慧	街道調和比 ⁸ 建物破壞機率 阻斷曝光量 地震發生率
	安全	都市地區避難救災路徑有效性評估方法之研究	洪鴻智、陳亮全等（2001）	建物損害機率 阻斷曝光量 ⁹ 落下物產生機率 ¹⁰ 路段火災機率 ¹¹
	安全	都市地區震災緊急路網評估方法之研究	陳亮全，詹士樑，洪鴻智（2004）	街道調和比 街道建築比 高危險性路段 停車所占道路面積比 道路兩側落下物
	安全	蕭江碧，李泳龍，葉光毅（2002）	蕭江碧，李泳龍，葉光毅（2002）	建物毀損的機率 ¹² 傾覆率

資料來源：詳見表列

⁸ 街道沿線建築物之高度 H 與道路總寬度 D 之比率 (H/D)

⁹ 建築物臨街面寬度與路段長度之比例

¹⁰ 以調查區內窗型冷氣、招牌個數、玻璃面積及是否鄰接高架橋、捷運線為依據。

¹¹ 針對亦引起火災之行業給予評分等級，並調查商店家數。得分越高代表火災機率越高。

¹² 建物倒塌散佈至道路面積的比率

第三節 道路通阻指標分類

表 5-2、表 5-3 為近年來相關於震後較具代表性的道路通阻指標，依指標的特性分成 1.安全 2.效率兩大類。在現有已建立的指標當中以『安全性』為多，主要功能在於震前對道路本身的防災條件進行評估。如街道調和比即針以對街道本身寬度與臨街面建築之平均高度作為評估指標。若街道調和比過大，則街道空間易產生封閉；反之若很小，即使建築物倒塌的機率很高，其結果只會影響道路容量而不致造成完全阻絕。此類指標有利於在理想情況下逃生路線的預先規劃。但指標建立所需的細部街道資料蒐集需要耗費大量時間、金錢進行調查蒐集並定期更新。如路段火災機率、停車所佔道路面積比等，故適合進行小區域的調查。

另一類安全性指標則是透過實測資料與地震公式，模擬路段上建物之倒塌機率。以呂獎慧（2000）提出之建物毀損機率指標為例，即利用各路段所在位置的地表崩塌加速度，透過地表運動衰減公式（PGA），計算地表加速度所對應之地震規模，利用此規模帶入地震衰減方程式即可模擬出一定時段內之工址危害度。此危害度即代表建築物倒塌之機率。

然而此類地震公式必需事先給予地震規模與震源深度才能進一步模擬。因此推估值只能以當地過去之歷史地震資料進行模擬。所得結果為一機率值，但對於小範圍的路段來說仍存在著一定的誤差。其功能在於震前關鍵路段或老舊設施之補強。綜合來看，安全性指標適合於防災四大階段中初期之減災、整備階段。於災前針對高危險地帶或路段進行工程補強或預防，並研擬適當之應變計畫，包括預定逃生避難路線。但此類規劃路線於地震發生時仍需依照實際情況進行修正。

從過去累積的文獻來看，效率性指標較安全性指標少很多。國內較具代表性的研究包括呂獎慧（2000）都市震災救災路線選擇模式之構建，洪鴻智、陳亮全等（2001）都市地區避難救災路徑有效性評估方法之研究。效率性因子主要從**交通**的角度出發，同時考慮避難過程中『時間』的花費。此外，由於可能面臨震後道路縮減的情形，因此於道路交通容納量減少之下假設通行旅次維持不變，交通負荷量勢必將隨之提高，而使得旅行時間產生延滯。呂獎慧（2000）於其研究所建立的路線選擇模式中，同時考慮了『安全』與『效率』兩大因子（見表一）。在其中效率指標方面，呂根

據**旅行時間延滯**的概念，計算各路段的效用值，作為效率因子的評估指標。作者利用使用者均衡指派法（User-Optimal equilibrium assignment）對震後災區路網進行交通流量指派。分別計算震前、後各路段的旅行時間。兩者之差即為旅行時間延滯。於模式當中，作者主要根據交通效率的降低來反應因道路面積縮減、車流擁擠所導致旅行時間延滯。

呂獎慧（2000）所建立的路段效率評估方法在實際進行操作時架構於專業的 GIS-T 軟體 TransCAD 上，利用其內建的交通流量指派模式進行模擬。由於指派的方式，是當道路設定阻斷後，以『全有』或『全無』的方式，將交通量完全指派至起點與終點之間的最短路徑上，因此並無法針對部分道路縮減而非完全阻斷時之交通情形。亦即交通流量（demand）與交通設施（supply）之間的供需關係，並無法經由此方法表現出來。

其次，以防救災的觀點來看，救災道路的評選除了震前的預定路線規劃之外。震後即時性的路線選擇是減輕傷亡的另一關鍵。以呂的效率性指標來看，若作為救災道路評估系統後端的權重值，必需有即時更新的機制相配合。例如道路阻斷點、路網圖層的更新，及交通流量資料的迅速指派，才能有效提供用路人路徑決策之參考。由於作者只針對南投一小範圍地區進行模擬，故未於文中進一步說明有關操作效率的問題。而本研究也將在此一部分提出改善之方案。以提高路網分析效率。

另一採用『效率』因子評定道路通阻的研究為洪鴻智、陳亮全（2001）對於路段使用效率值的討論，其指標的建立根據**人群流**於避難逃生時之速度而設定。包括利用路段長度、路段寬度、路段有效寬度，搭配過去研究中人群流移動速率（圖 5-2）。以之推算單一路段所花費的時間成本。此研究主要針對短程的人群移動。適用的時間尺度包括震後第一階段的緊急逃生及第二階段的臨時收容。

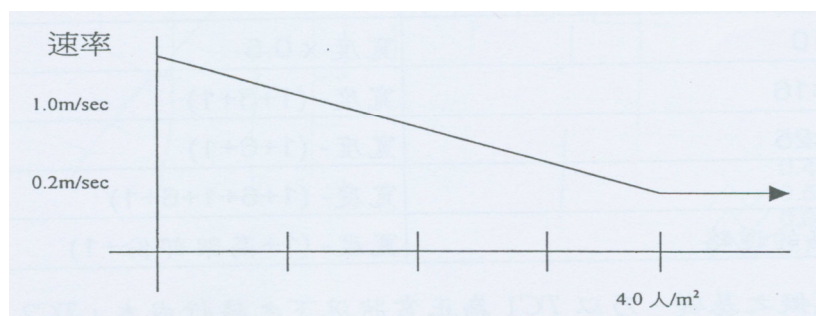


圖 5-2 人群流速率密度關係式

資料來源：洪鴻智、陳亮全，2001

蕭素月（2001）亦採用此方式探討 921 大地震後南投市之避難道路並與實際民眾逃生路線進行比對。利用人群流速度推估道路之通行成本仍存在一定的誤差。由於災時人群流移動的過程中屬於短程移動，因此決策的依據往往受到主觀認知的影響而非理性決策，如跟隨人群流而移動方向或選擇熟悉的路徑。因此模式於小範圍的道路通阻評估勢必還要更多資料進行輔助。

◎ 整體性路網指標

除了單一路段的道路通阻指標外，有許多道路評估指標為針對整體路網的易達性（**network accessibility**）進行評估。吳永隆、葉光毅（2001）根據兩結點之間的連通關係建立路網連續性矩陣，並以**連續性指標**¹³評估整體路網於震後損害的程度。此外，並針對單一路段損壞對於設施於路網中易達性的變動提供評估。這些整體性的路網指標，可提供防災主管單位對於關鍵性路段進行補強以減輕傷亡。在時序的應用上較利於震前規劃，但無法對於震後的路徑選擇提供進一步支援。

從過去相關文獻所建立的道路通阻指標來看，依指標本身的性質，可分成效率性與安全性（表 5-3）。同時兼顧防災需求與運輸效率，才能於震後發揮實質救災避難道路之功效。本研究依此原則將兩項指標皆納入道路通阻模式當中。

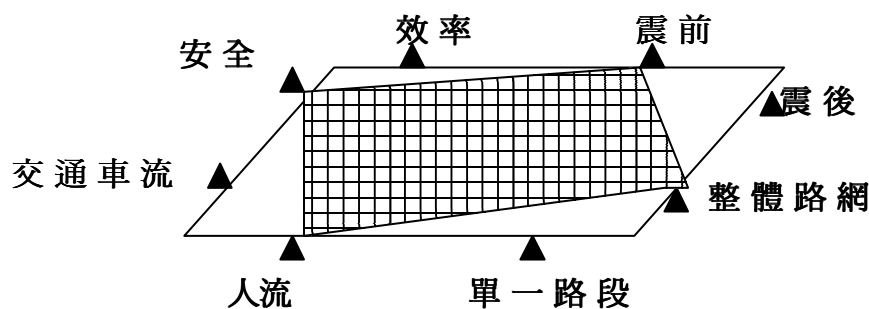


圖 5-3 過去研究之道路通阻指標

由指標所適用的時間點來看，可約略畫分為震前、震後階段。過去對

$$^{13} C = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{C_{ij}}{n(n-1)/2}$$

C:連續性指標 n:路網中路段總數 i,j 為路網節點

C_{ij} 可設為 0,1 二元變數或設為最短路徑成本變動比以衡量地震前後路網效率的變動情形。

於地震防災的焦點著重於震前的防災計畫及疏散動線演練。然而於日本阪神大地震過後扭轉了此一趨勢。震後隨即展開的『反應』及『復原』階段更是將災害減至最小的關鍵。尤其是震前所規劃的疏散路線，於地震發生後之通行路線隨時可能因完全封閉或道路面積縮減或人為交通管制而有所改變。因此，本研究所關心的時間點在於震後，並將根據即時回傳的路況資訊，修正最佳之避難逃生路徑。

依指標所涵蓋的空間範圍來看，可分為單一性路段指標與整體性路網指標。整體性路網指標利於對空間單元內的防災特性進行巨觀評估或對於不同空間單元的防災能力進行比較。本研究將引入 GIS 進行路網分析以做為路線決策支援之依據。地理資訊系統將空間中之元素簡化為以點、線、面的方式表示。利用節點（node）與連線（link）建立起路網資料之位相關係（topology）模擬真實交通路網的運輸情形。配合 GIS 之資料格式，分析必需以單一路段為基本空間單元，因此本研究將以單一路段指標切入，建構道路通阻模式。

從道路通阻指標設計的對象來看，可分為人群流與交通車流。人群流自地震停止後第一時間自所在位置迅速移動至臨時避難場所，該行動需配合當時現場之情況，並作立即應變。由於此避難行動屬於短程之移動。最佳路徑選擇可依平時之認知或現場受災情形反應即可達成。本研究將不對此一部分進行深入討論。從另一個角度來看，若災區遭受嚴重的地震衝擊產生地面結構物的破壞及人員傷亡後，此時的交通需求，將由人群流逐漸轉變為交通車流以求得運輸效率之極大化。震後的車流為管制性車流而非自由車流，因此經過即時路徑規劃的結果實施其可行性較高。透過震後交通資料的收集。對於日後道路通阻模式的參數修正可提供實質性的助益。本研究將著重於交通車流之討論。

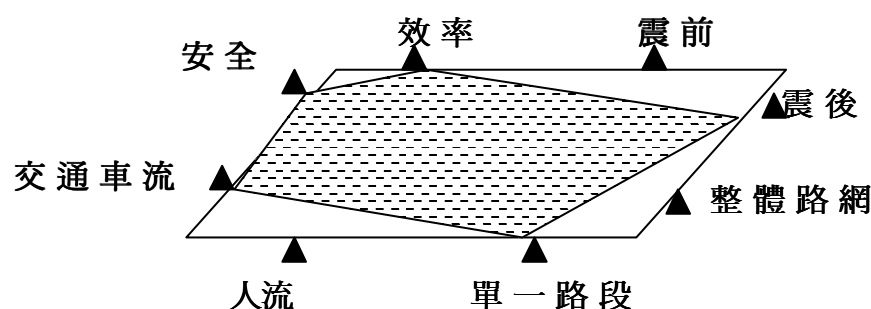


圖 5-4 本研究設定之道路通阻指標

第四節 道路通阻模式的建立

綜合歸納以上的通阻指標來看，有關震後救災避難道路通阻模式之建立牽涉的層面相當廣泛，包括了防災、交通、地理資訊系統、工程、地震等五大面向（圖 5），彼此間的關係環環相扣，充分反應了震後救災避難行為的複雜性。

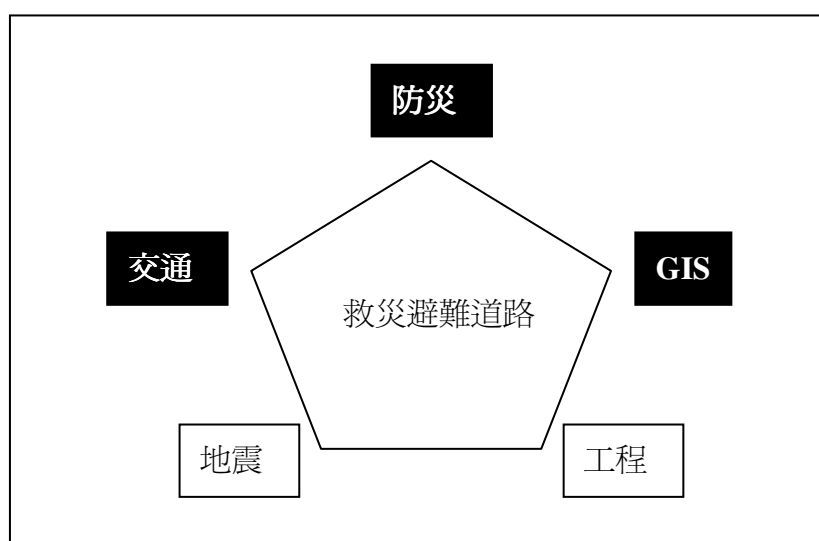


圖 5-5 避難道路通阻模式切入角度

本研究主要從防災、GIS、交通等三個角度切入建構道路通阻模式，並結合 GIS 建立救災避難道路評估系統，整合研究區內之空間資料轉入地理資料庫中，並模擬震後道路阻斷而發生的延滯，進行即時路線規劃。

於進行 GIS 路網分析之前，必需預先設定各個路段的道路通行成本（travel cost）。在一般性的路網分析中，大多以距離、速限或運輸成本作為設定通行成本的依據。本研究將嘗試引入道路阻斷情形於通行成本中。

第五節 道路阻斷通行成本的建立

震後行動第一要務為緊急疏散，此時不論是人員或車輛的運輸隨時可能因道路兩旁結構物倒塌或道路本體產生龜裂因而造成運輸上的阻礙。日本 Yasunori 等人提出依車流現象對震後交通進行分類。概可分為：車流混亂期（發震至 72 小時）、車流安頓期（發震後 3-7 天）、車流穩定期（發震後 1~3 週）。連振盛（2000）根據此分類整理歸納此三階段內交通需求變化。

表 5-4 震後交通需求變化

時間	增加之交通需求項目	減少之交通需求項目
車流混亂期	消防器材人員之交通需求 民生救援物資運送需求 搜救人員器材運送需求 醫療人員物資運送需求 工程搶救器材人員之交通需求 震災及服務人員之交通需求 避難人員（災民）疏散之交通需求 遊客、外勞疏散安置之交通需求 返鄉探災之交通需求 殮葬殯儀之交通需求 新聞媒體之交通需求 政府官員之交通需求 研究人員之交通需求	上下班之交通需求 上下學之交通需求 逛街購物之交通需求 社交之交通需求 一般觀光遊憩之交通需求
車流安頓期	地震景觀觀光遊憩之交通需求 災民購買生活必需品或領取救災物資之交通需求 拆除具危險性倒塌建物之機具車輛交通需求 廢棄物運送之交通需求 返鄉探災之交通需求 民生救援物資運送需求 一般性病患至外地就醫之交通需求 醫療人員物資運送需求 工程搶救器材人員之交通需求	消防器材人員之交通需求（隨火災狀況縮小與民生供水恢復後將逐漸減少） 搜救人員器材運送需求（隨著受困人數減少後將逐漸減少） 避難人員（災民）疏散之交通需求 遊客、外勞疏散安置之交通需求

	震災及服務人員之交通需求 研究人員交通需求	
車流穩定期	拆除倒塌建物之機具車輛交通需求（隨搜救行動結束後將大量增加） 廢棄物運送之交通需求 民生物資運送需求 親友探訪之交通需求 地震景觀觀光遊憩之交通需求 災民購買生活必需品或領取救災物資之交通需求 一般性病患至外地就醫之交通需求 醫療人員物資運送之需求 工程搶救器材人員之交通需求 賑災及服務人員交通需求 殮葬殯儀之交通需求 研究人員之交通需求 上下班之交通需求 上下學之交通需求	政府官員之交通需求 新聞媒體之交通需求

資料來源：連振盛，都市地區地震防救災交通系統，p72~73

以上表之第一階段車流混亂期為例，路網上除了原有之車流外，尚增加了搜救、醫療、消防、工程及災民避難交通需求。因此交通負荷量將遠遠超出平時之尖峰車流。在交通供給減少、需求卻增加的情況下，欲將運輸效率降低的衝擊減至最低有賴於適當的交通管制及即時路徑指引。

由於災時道路本身或四周結構的破壞，使得該路段運輸受阻。實際於系統上進行路徑搜尋時同樣必需考慮『阻斷』對於運輸效率帶來的影響。以下將針對道路阻斷點進行探討，並進一步說明如何落實於道路路網之通行成本上。

5-5-1 道路阻斷分類

承 5-1 節所述，造成震後道路阻斷的原因有很多，而對於道路受損的情形，許多學者也提出了相對應的道路通阻指標以對於道路受損情形進行評估（表 5-2、表 5-3）。然而，欲實際運用這些指標於大規模空間單元下的道路路網、進行各路段之比較時，卻面臨資料蒐集困難的窘境。因此本

研究擬直接從災害產生之後的道路阻斷點著手，進行分類與討論。

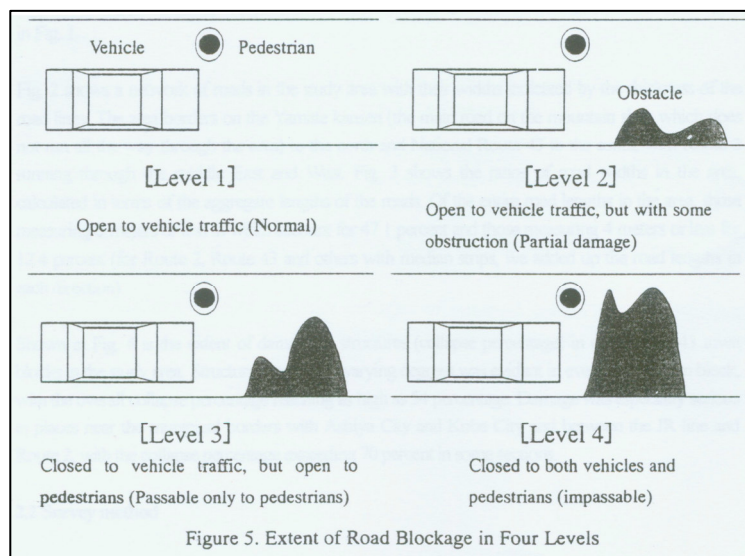


圖 5-6 道路阻斷型式分類

資料來源：Michiyasu Odani and Kuniaki Uranaka，1999

Michiyasu Odani 和 Kuniaki Uranaka (1999) 提出道路阻斷之四種分類：(圖 5-6)

1. 人車皆可通行 [Level 1]
2. 部分車道受阻 [Level 2]
3. 車道完全受阻，僅限人員通行 [Level 3]
4. 人員、車輛皆無法通行 [Level 4]

根據此四種道路阻斷型式，作者對於日本阪神大地震過後阪東地區的道路阻斷進行實地調查。在 1171 處道路損壞狀況當中，650 處為輕微損壞歸在第一類中。191 處為第二類情形、185 處為第三類情形、145 處為第四類情形。在後三類阻斷產生的情形中，又以[Level 2]情形為最多。此類情況下產生的交通瓶頸將逐漸蔓延至該車道之上游地區。在高速公路收費站附近之車陣即為代表之典型。

當震後道路或四周結構物損嚴重毀時，則可能直接造成第四類人車完全阻絕的情形。以此類狀況來看，該地點將成為通行上的障蔽，行經此路段之車輛必需改道而行。此時，阻斷點對於路網結構來說較為單純。換個角度來看，當車輛行經該路段附近時必需視之為沒有此路而由其他路段通過。對於 GIS 路網來說，只需將阻斷點定義一個暫存點給路網接受即可。或直接將道路通行成本設為負值。路網搜尋時將直接略過此一路段。

值得注意的是，實際於系統上進行路網分析時，第二類與第四類的情形是完全不同的。由於本研究的焦點為車流運輸（5.3 節）。依據交通車流通過之需求，我們將震後道路阻斷的型式歸為三類：

1. 完全阻斷：該路段上所有車道嚴重損毀，車輛無法通行必需改道。
2. 部分阻斷：該路段上部分車道損毀，車輛仍經由剩餘車道通過，此時易於產生交通瓶頸。
3. 正常通行：路段上通行車道數與震前一致，未受影響。

根據此三類震後之道路通阻型式，我們將利用 GIS 之 Geometry network 建立路網空間位相關係（topology）產生路網節點模擬真實路網上車流通阻情形。透過路段長度與即時車道資訊之引入，對於過去路網分析之單一靜態通行成本進行修正。

5-5-2 阻斷點與 GIS 系統的整合

於 GIS 路網分析的環境下執行分析時，包含了三項基本要件（如圖）：

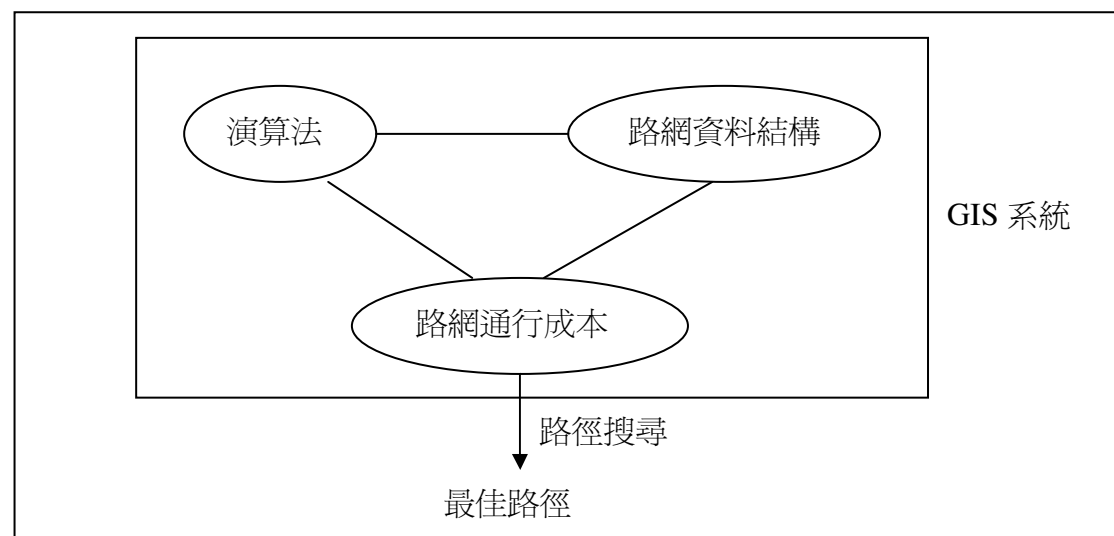


圖 5-7 路網分析架構

1. 演算法：路網分析的基本原理為根據路網演算的公式進行目標式的求解。以交通路網分析中常見的最短路徑（Shortest path Algorithm）演算法中，依起點和終點的特性來劃分，可分為：一點至一點、一點至全部點、多點至多點、全部點至全部點。路網演算的結果決定最後路徑選擇的結果。

2. 路網資料結構

資料結構為路網分析的核心部分。資料結構的內容和規則決定了實際地表上的人、事、物與電腦資料間的對應關係。ArcGIS 路網分析的基本架構來自於 ArcInfo Network Data Model。路網資料由線段（edge）及結點（junction）構成基本的幾何元素。然而，實際發生於道路路網上的交通阻斷雖可能造成一定面積以上的道路硬體結構破壞，為將其整合於 Network Data Model 當中，本研究將其『面』的形式簡化為以『點』來代表。根據前節對於震後道路通阻形式的分類，可分成：

1. 正常通行
2. 部分阻斷
3. 完全阻斷

在第一類正常通行的情況下，決定路網演算結果為各路段通行成本。當路網搜尋時將以最少成本路徑為最佳路徑。在過去一般靜態通行成本方面，以最短時間、最短路徑為最常見。本研究將以路段長度結合路段寬度作為避難道路選擇的通行成本。

在第二類部分阻斷的情形下，代表部分車道受阻無法通行。於此情況下的直接影響為道路容量（Road Capacity）減少，車流密度增加且車速減緩。因而車流通過的效率在阻斷發生過後將迅速降低。從 GIS 路網來看，路網的『位相關係』並沒有改變，因此通過的效率降低必須透過通行成本來反應。關於此一部分道路通行成本的建立，將在下面進行詳細的介紹。

於震後道路路基塌陷、高架橋倒塌等結構物嚴重損毀地點，將造成該路段內之車道完全封閉。此時，該路段對車輛來說將造成完全阻斷。因而當行經此路段時勢必得改道而行。從演算法與路網資料結構來看，欲於路網分析執行搜尋時避開指定路段，有 3 種方式：

1. 設定通行成本為負值
2. 設定路網狀態欄為 disable
3. 於路網資料結構上定義阻斷點

前兩種方式，以更新資料庫欄位值的方式進行，優點為資料儲存的安全性高，但若面臨大量阻斷資料的更新時，則分析效率將隨之降低。若以第 3 種方式定義路網資料結構上的阻斷點為一暫存點位，則阻斷點的空間資訊及對應的路網代號，以獨立檔案的方式進行儲存，因此，在進行阻斷點的設定或更新時，並不經過資料庫的處理。對於分秒必爭的震後的決策

支援，可節省下許多時間。於此同時，考慮到以暫存點的方式只能儲存阻斷點資訊而不能提供進一步提供儲存其他阻斷附屬資訊的環境。因此，本研究設計於圖面上先產生一點位儲存阻斷點的附屬資訊，而後再將該點另存成一暫存阻斷點。因此阻斷資訊及附屬資訊得以被同時保留下來，提供避難救援的參考。由以上來看，在完全阻斷的情形下以修正路網資料模式的方式進行，有別於在通行狀態與部分阻斷狀態以修正通行成本的方式產生最佳路徑。

震後的交通需求隨著餘震次數慢慢減少之後，路網上的車流量將逐漸增加，此時運輸效率將迅速降低。本研究所設計之道路通阻模式與路段通行成本即從交通車流的角度出發，分析阻斷情形下的路網車流運輸。在確立了路網分析中完全斷的機制以後，以下部分將進一步對於部分阻斷下道路通行成本的修正，進行探討。

於震後道路部分阻斷的情形下，直接造成的情形為道路寬度與車道數的縮減，但仍至少有一個以上的車道可供通行。因此，於發生阻斷的位置雖不至造成完全的運輸中斷，但仍有明顯的交通瓶頸產生。美國維吉尼亞大學交通研究中心對於交通事故發生前後（造成車道數減少）車道上的交通流量進行調查並比對後發現，交通流量於阻斷路段上將明顯減少。（表 2-5）。而車流速度也相對減緩。近幾年來逐步發展的動態性交通量指派

（Dynamic Traffic Assignment）利用各路口的即時交通流量進行車流速度與旅行時間的推估，較過去以單純的靜態交通流量更能精確反應路段通行成本。然而，運用動態性交通流量指派於路網通行成本之上，將同時面臨到下列問題：

1. 首先面臨的將是資料蒐集困難的問題。震後道路本體及週邊設施嚴重毀損的情形下，偵測交通流量的儀器同時可能遭受波及，因而影響資料來源的穩定性。若使用人工估算的方式則需要動員充足的人力至各個路口進行觀測並進行回傳。
2. 資料庫後端除了必須儲存空間資料外，還需建立一套時間資料庫儲存於不同時間段面下，進入、停留、離開單一路段之交通流量。並進行行路網運算求解。因此，分析的效率是否能符合震後即時分析的需求是值得觀察之處。
3. 於震後道路嚴重受損、車流瓶頸產生的情形下，旅行時間延滯的情

形勢必相對產生，在此情形下人爲的交通制必定會適時的介入以將瓶頸路段的影響減至最小。此時管制性車流的車流速度及旅行時間相當不穩定，瞬間發生的改變可能是現場突發狀況的產生下指揮人員的決策，因此若單以交通流量考慮路段通行成本於震後最適路線的反應上仍有許多亟待克服的地方。

著眼於前述整合即時交通流量的困難，本研究欲從交通工程的角度出發，由肉眼可直接辨識的車道數著手，整合路段長度與車道數於通行成本中。『道路寬度』一直爲歷來評估救災避難道路的重要指標。道路寬度由人行道、車道、分隔島所構成。本研究從交通車流的角度出發，因此主要針對車道數與車道寬度進行討論。從過去文獻車流速度與車道數及車道寬度的研究來看（表 5-5），大部分研究者著眼於道路寬度、道路車道數與車行速度、車禍事故間的關係。交通規劃者利用交通寧靜（Traffic Calming）的方式，引導駕駛人降低車速，減低肇事率。從研究結果來看可以明顯的發現，道路寬度或車道數的縮減，伴隨而來的是超車機會的減少、車流速度受到車陣中前方車輛速度所牽制因而車速減緩。故道路寬度或車道數與車流速度存在著一定程度的正比關係。

5-5-3 車流速度與車道寬度之關係

表 5-5 車流速度與車道寬度關係相關文獻

篇名	作者	內容	出處
Effective Utilization of Street Width on Urban Arterials	Harwood, Douglas W.	1.車道寬度小於 12 英呎 (3.5m)，道路容納量 (Capacity) 將隨著道路寬度減少而變小。 2.車道寬度由 12 英呎→11 英呎 Capacity 減少 3%。 3. 車道寬度由 12 英呎→10 英呎 Capacity 減少 7%。 4. 車道寬度由 12 英呎→9 英呎 Capacity 減少 10%。	National Cooperative Highway Research Program Report 330
Calming	Macbeth,	多倫多市的主要幹道利用減	Institute of

Arterials in Toronto	Andrew G.	少車道數的方法來達成交通寧靜¹⁴ (Traffic Calming)的目的。 以四線道路為例，駕駛者通常會利用超車的方式，超越前方車速緩慢的車輛，以減少車行時間。但車道數縮減過後的雙線車道上，車流速度常由車列中首輛車之車速所決定。	Transportation Engineers Compendium of Technical Papers
'Traffic Calming' On Arterial Roadways?	Skene, Michael	於 Victoria B.C. Cook street 利用『交通寧靜』的方式降低交通事故的發生。方法為將左轉車道與直行車道分離 (減少直行車道數)，減少因左轉所引發之交通事故 (如圖三)。其結果顯示，原直行車道上第 85 分位車輛之車速由 32mph 降至 29mph，主因為後方車輛喪失超越前方緩慢車輛之機會。	Institute of Transportation Engineers Compendium of Technical Papers
The Effects of Road Design on Speed Behaviour: A Literature Review	Martens, Marieke et al	隨著車道寬度的縮減，駕駛者的駕駛行為將更為精確。而車行速度也將隨著車道寬度的減少而降低。 道路兩側的緊急車道增加了道路的總寬度，並降低了駕駛者於駕駛過程中的不確定性，因此車速明顯增加。在 20 英尺寬度道路上的平均車速為 50mph。寬度為 26 英尺車速增為 55~60mph。	European Commission under the Transport RTD Programme
Some Partial Consequences of Reduced Traffic Lane Widths on Urban Arterials	Heimbach, Clinton L. et al	針對四線公路進行研究，調查不同道路寬度對於車行速度及車禍碰撞之影響。結果顯示，於離峰時段道路寬度與車速的關係為：每減少一英尺路寬則減少 0.6mph 之速度。在尖峰時段則為每減少一英尺	Transportation Research Record 923

¹⁴ 利用人為的方式減少機動車對於人為環境的負面影響。如降低車速、減少車禍發生率等。

		路寬則減少 1mph 之速度。	
Design Factors That Affect Driver Speed on Suburban Arterials	Fitzpatrick, Kay et al	於四線幹道上，車輛於較為狹窄的道路上行進緩慢。當車道寬每增加 1 英尺第 85 分位車速增加 1mph。然而此增加率在各個不同的調查點間有實質上的差異。(如圖三)	Research Report 1769-3, Texas Transportation Institute

資料來源：詳見表列

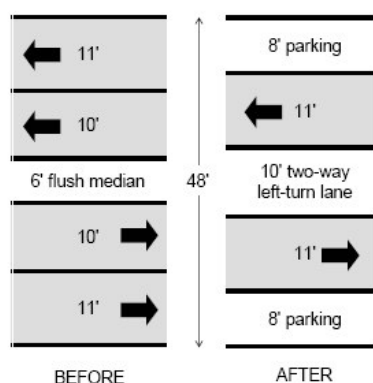


圖5-8 車道縮減示意圖

資料來源：Skene, Michael, 1999

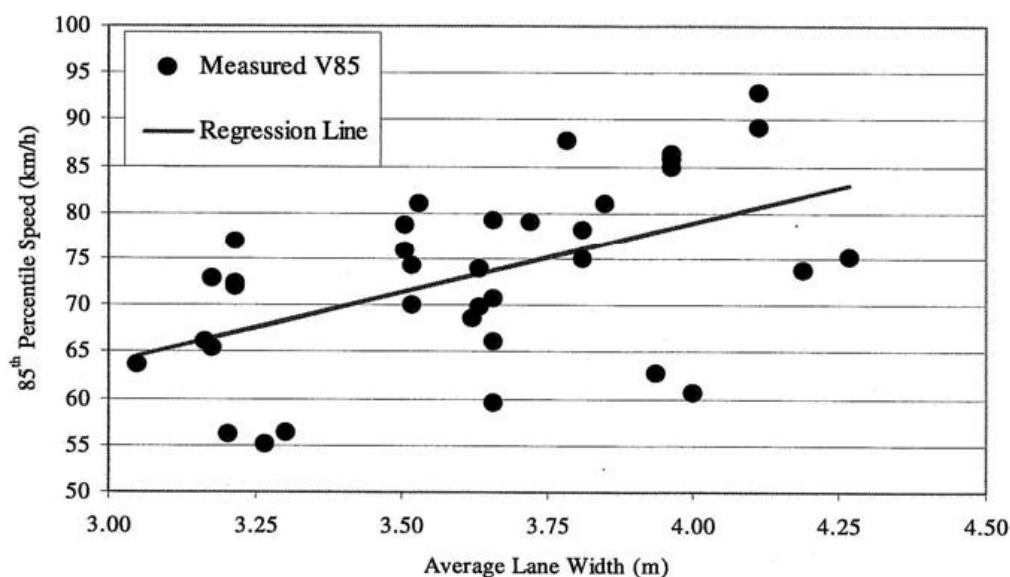


圖 5-9 車速路寬關係圖

資料來源：Kay Fitzpatrick et al., 2001

若假設於各路段之交通流量、路段長度等影響車速的因子條件皆為相同的情況下，以車道數 (N) 及車道寬度 (W) 為自變數，車流速度 (V) 為因變數，則兩者之間的關係式如下：

$N \sim V$

$W \sim V$

N：車道數

W：道路寬度

V：車流速度

在前述幾個研究中道路寬度與車流速度的關係式為：

$V \sim \alpha W$ ，但常數 α 值在各個研究並不相同，由此顯示了道路寬度與車道數之間，並沒有固定的函數關係。而實際上車流速度與車道數間的關係很難獨立於其他影響車速的因子之外進行討論。亦即 α 值並非一個絕對值或固定係數。因此當我們欲反應車道數與車道寬度的改變於路網通行成本時，將無法直接由車道數的改變對於車流速的影響切入，計算時間成本。因此我們擬直接由道路車道數著手進行考慮。

Odani et al 於日本阪神大地震後，針對阪東地區道路阻斷造成的交通衝擊進行調查後發現：

- 1.路寬 12M（或以上）之道路並未有完全阻斷的情形發生，道路機能受衝擊的程度相對較小。
- 2.路寬 8~12M 之道路則有部分路段嚴重損毀，但道路通行機能仍維持一定水準。
- 3.路寬 8M 以下之道路的阻斷機率最高。

從過去有關道路寬度與道路通阻評估的相關研究來看，主要集中於兩個面向：

- 1.由過去震災經驗檢討當前道路防災規劃。
- 2.由道路寬度建立防災能力評估指標。

由第一類研究來看，主要以震後道路阻斷程度與道路寬度的關係為理論基礎，對於研究區內的道路寬度條件進行調查，並依此對於各個路段進行災時的任務指定。此類規劃有助於平時區域內進行整體性的防災規劃與補強。但若實際運用事先規劃的救災避難道路於 GIS 路網分析的操作時，將必須以篩選的方式事先排除防災條件不合於標準之道路。以避難道路為例，將必須排除 8 公尺以下道路的位相關係。以此方式操作的結果，部分未與 8M 以上道路接鄰的地方，將發生孤立的現象。因此，以條件篩選的方式，反應道路寬度的防災能力於路網分析之上，並不適當。

從第二類評估指標來看，陳建忠、詹士樑（1999）提出街道調和比

(H/D)，由道路沿線建物高度(H)與道路寬度(D)之比率來判別該路段通過的危險性。嚴穗蓮(2002)由路段寬度(W)、路段避難人口負荷量(P)、建物長度(S)及路段長度構成路網的連續性指標(c2)，用以求得路網內的通行程度。

由以上兩個指標來看，道路寬度不僅僅為路網通行效率的重要指標，亦為路網通過安全性的重要參考。本研究將嘗試以路段長度和道路車道數整合成為一路網通行指標，從災後運輸效率的角度出發，建立路網在部分車道阻斷下之道路通行成本。

部分阻斷通行成本計算公式如下：

$$\text{Cost} = L / (N1/N)$$

Cost：通行成本

L：路段長度(m)

N1：通行車道數 $N1 > 0$

N：總車道數 $N > 0$

本研究採用 Dijkstra 演算法作為路網分析搜尋之基礎，該演算法基本原理為搜尋起點至標記點間的最小成本路徑直至終點為止。因此於程式執行演算時是以各路段成本值之相對大小決定標記點的產生。由標記點間的連線產生最佳路徑。因此只要各路段成本值之相對關係維持正確，則即使該值的大小產生變動則路網分析的結果仍然相同。

著眼於『相對性』關係正確之原則，本研究將道路長度與通行車道數整合成為單一通行成本公式。利用該公式實際以道路長度 500m,1000m、車道數 2~6 線道、通行車道數 1~6 線道進行試算(表 5-6、表 5-7)。從通行成本的計算結果來看，表 5-7 成本值大於表 5-6 之對應欄位值，顯示車道長度越長通行成本值越大的效率性相對關係。從同一表格同一列的值來看，越往右邊欄位值越小，顯示通行車道數越多成本值越低，反應了車道數多寡與通過安全性的關係。

在確定效率性與安全性關係相對性正確之下，本研究將以此公式作為計算道路部分阻斷下的通行成本。

表 5-6 部分阻斷道路通行成本-500m

N \ N1	1	2	3	4	5	6
2	1000	500				
3	1500	750	500			
4	2000	1000	667	500		
5	2500	1250	833	625	500	
6	3000	1500	1000	750	600	500

N：總車道數

N1：通行車道數

路段長度：500m

表 5-7 部分阻斷道路通行成本-1000m

N \ N1	1	2	3	4	5	6
2	2000	1000				
3	3000	1500	1000			
4	4000	2000	1333	1000		
5	5000	2500	1667	1250	1000	
6	6000	3000	2000	1000	1200	1000

N：總車道數

N1：通行車道數

路段長度：1000m

小結

地震防災工作由早期的震前預防、震時應變到震後復原各階段環環相扣。震前預先演練之疏散路線於震災來臨後勢必面臨相當程度的改變。GIS 路網分析提供了一個即時應變的對策。路網分析前，通行成本的設定將直接反應於路徑選擇的結果上。於過去救災避難道路選擇的相關研究中，並未能實際將震後道路通阻因子或指標落實於 GIS 路網分析之通行成本上。基於此，本研究利用資料庫結合道路阻斷點的產生及車道數的引進，建立路網分析之通行成本，提供大規模人員運輸時進行路網分析的基礎。