

第六章 橋梁、道路及交通設施震災

6.1 前言

於九二一地震後，由本中心結合台灣大學、台灣科技大學、台北科技大學、中央大學、成功大學、高雄第一科技大學、淡江大學、逢甲大學、營建研究院、中華顧問工程司、中興工程顧問公司等數十位學者與專家，針對中部五縣市（台中縣、台中市、南投縣、彰化縣與雲林縣）之道路與橋梁進行災後普查。並完成了一詳細報告「921 集集大地震橋梁及道路設施勘災」[5.1]。本文主要摘錄其部分重要調查結果，並針對橋梁嚴重損害原因加以探討，及提出相關建議。

6.2 震害概述

調查結果顯示，在近千座橋梁中，大部分橋梁並未受損，但有將近 20% 之橋梁受到不同程度之損傷（如圖 5.1 所示），其中有 20 餘座因主要結構桿件嚴重受損或落橋，而被列為嚴重損壞。不同損壞模式之分布情形如圖 5.2 所示，其中以橋梁附屬設施（如護欄或路燈等）橋台及橋面板損壞之比例最高。嚴重損傷橋梁之名單如表 5.1 所列，其橋齡從不到一年至三十多年不等，除貓羅溪橋及尚未完工之集鹿大橋外，結構系統大多為簡支梁。由圖 5.3 可看出，大部分嚴重損壞橋梁完工日期為民國 76 年以前（我國之「公路橋梁工程設計規範」於民國 76 年，方把耐震理論之觀念納入），達 68%。若將嚴重損壞橋梁依其地理位置，分佈情形如圖 5.4 所示；可發現大部分之嚴重損壞橋梁均很接近於車籠埔斷層或甚至跨過該斷層。

此次集集大地震總計受損的公路路線數為 55 條；其中由公路局負責養護的共有 43 條路線，受損地點共有 711 處；其中造成交通阻斷的公路則共有 33 條。因此，在主要災區所包含的南投縣全境及台中縣部分鄉鎮之對外聯絡道路全部中斷，如圖 5.5 所示。除了橋樑斷落之外，其餘大多由於地層在斷層處隆起，造成公路斷裂；或因為在此區有許多為山區公路，皆有邊坡及落石問題；因此，遭到落石坍方阻斷或路基塌陷流失以致交通中斷。

表一 嚴重損壞橋樑列表

橋名	位置	完工年份	橋型	跨距(m)	總長(m)	主要破壞模式
石圍橋	台 3 線	1994	PCI	25	75	落橋
長庚大橋	石岡鄉	1987	PCI	25	300	落橋
東豐大橋	台 3 線	1962/1988	PCI	26	572	主梁/橋柱
碑豐橋	石岡鄉	1991	PCI	25	300	落橋
一江橋	縣 129 線	1972	RC	11	264	落橋
烏溪橋	台 3 線	1981/1983	PCI	34.7	624	落橋/橋柱
貓羅溪橋	台 3 線	1999	Steel/RC	8 跨連續		橋柱接頭
名竹大橋	台 3 線	1990	PCI	25	700	落橋
集鹿大橋	集集鎮	1999	Cable	150	300	橋塔/支承
桶頭橋	縣 149 線	1980	PCI	40	160	落橋
光龍橋	中市	1986	PCI	28	56	橋面/橋台
廣德橋	中市	1977	PCI	20	60	落橋/橋柱
北坑橋	縣 129 線	1959	RC	5.7	5.7	橋面/橋台
龍安橋	縣 129 線	1986	PCI	35	280	橋柱
乾峰橋	縣 136 線	1986	PCI	25.6	184	橋柱/橋台
炎峰橋	台 14 線	1984	PCI	35	455	橋面/橋柱接頭
普濟橋	台 16 甲	1979	PCI	35	105	帽梁
新溪南橋	縣 127 線	1994	PCB	50	500	橋柱/支承
延平橋	台 3 線	1986	RC	13	78	橋台
信義橋	台 21 線	1981	RC	29	180	橋柱
龍門大橋	投 53	1982	PCI	40	480	落橋
鯉魚大橋	投 53	1988	PCI	39	546	支承
磨坑一號橋	台 16 線	1996	PCI	14.6	14.6	橋台
磨坑二號橋	台 16 線	1996	PCI	40	40	橋台
大峰橋	中 105	1992	PCI			橋面
萬崙橋	員林鎮		RC			液化/橋柱

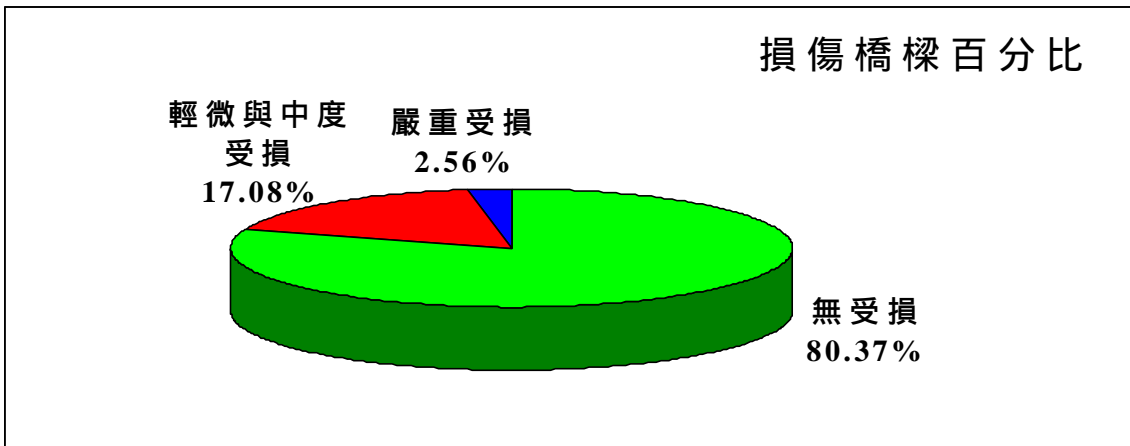


圖 5.1 損傷橋樑百分比(摘錄自[5.1])

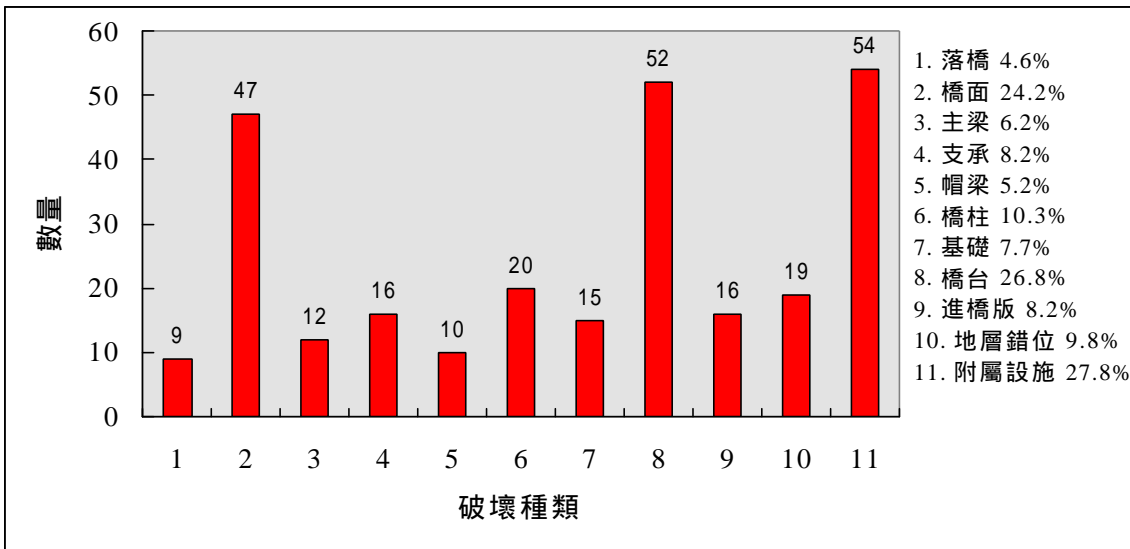


圖 5.2 破壞種類比例圖(摘錄自[5.1])

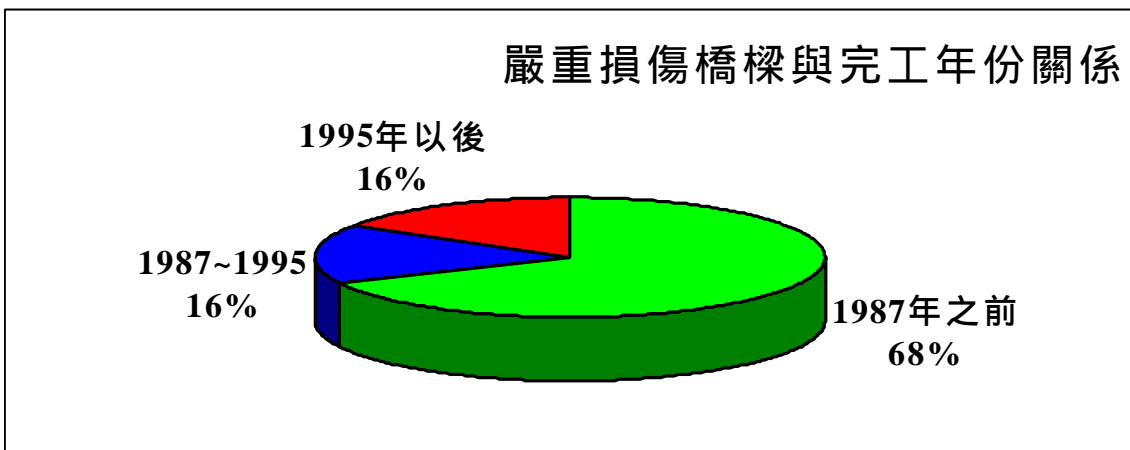


圖 5.3 嚴重損傷橋樑與完工年份關係圖(摘錄自[5.1])

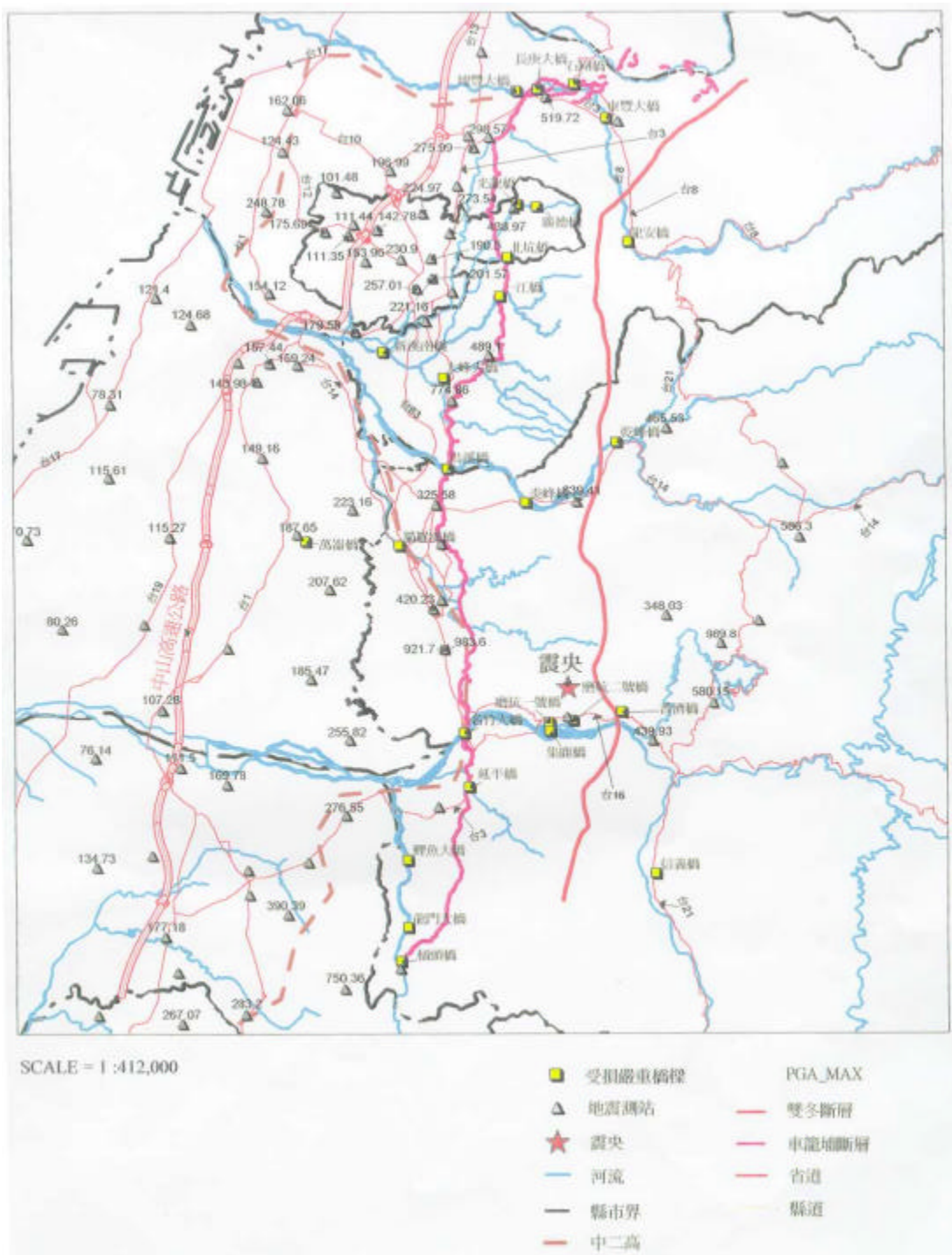


圖 5.4 九二一大地震受損嚴重橋梁分佈圖

921大地震造成交通阻斷路線圖



圖 5.5 921 集集大地震交通阻斷路線圖(摘錄自[5.1])

6.3 震害原因探討

造成橋梁受損嚴重之原因，不外乎以下兩個原因：外力太大與結構系統耐震能力不足。從圖 4 所示，可知此次地震所造成之最大地表加速度可達 1G，而斷層附近之最大地表加速度大部份均超過 300gal，此已超過規範之要求(230gal)。另外，由於斷層之錯位量非常大，造成許多跨過斷層破裂面橋梁之落橋(如石圍橋、長庚大橋、碑豐大橋、一江橋、烏溪橋、名竹大橋、桶頭橋)，或造成橋台破壞(如延平橋、北坑橋)；這是依目前規範設計所無法抗拒之破壞。

而就結構系統而言，由下部結構往上部結構之順序探討。液化造成基礎受損(如萬崙橋、新溪南橋、廣德橋等)。由於箍筋不足(符合當時之設計規範，但不滿足最新規範要求)，造成橋柱剪力破壞(如烏溪橋、桶頭橋、東豐大橋、信義橋等)。橋柱與上部結構接頭設計不夠保守，而造成接頭處損壞(如炎峰橋、貓羅溪橋等)。由於無防落設置，而造成落橋(如龍門大橋)。由於止震塊嚴重受損，而造成主梁移位及橋面開裂(如東豐大橋、普濟橋等)。因橋梁結構未完工，橋梁系統不完整而受損(如集鹿大橋、中二高部分高架橋)。

6.4 檢討與建議

雖然九二一大地震對台灣中部地區之交通設施造成了重大損失，但由於台灣西部之主要幹線，如中山高速公路、台一線、台十七線等均位於車籠埔斷層以西且距離較遠，因此並未造成台灣全島交通之癱瘓。災區內之損害橋梁及道路；由於交通部公路局之努力，在災後 3 小時內派出勘查受災狀況之勘災人員，並迅速回報受災狀況；由受災狀況來判定搶修工作，並直接派遣工程隊及僱用當地之工程包商，馬上進行搶修工作。搶修目標在於達成可供小汽車通行為主。若無法在短期間內達成搶通之目標，則研擬替代路線。因此，於災後三星期內，33 條交通阻斷之公路已有 32 條搶通完成，只剩台 8 線中橫公路。

然從救災角度而言，由於缺乏整合，除了公路局之道路搶修，有其原本完整之通報系統外，其餘救災指揮單位及災民或救援車輛，則是一邊靠問路，一邊靠叩應電台反應，或者問出來的人那邊的狀況，來了解路況。若能比照國外工作法先以直昇機繞過所有的道路，有系統的在第一時間播放全區路況及由電視播放地圖的話，可以較全面讓民

眾及救災單位知道所有的道路及災區聯外交通之狀況。

未來應建立地震救災交通管理系統，作為主要的交通應變措施，其應包括下列功能[5.1]：

- (1) 建立「救災緊急交通行動體系」，將之納入全國防災體系之中。包含勘災及緊急搶修制度。並由地方層級之交通行動小組實際作業。且與救災指揮體系相互分工合作，成立「救災交通指揮中心」。
- (2) 建立「救災道路通行狀況資訊蒐集系統」，其應有一平時經過演習訓練之巡查小組人員編制，各巡查小組之編制人員應包括路工及交通管理專才，以便當場決定修護原則及交通管理措施。並且其應具備獨立之無線電通訊系統。
- (3) 應有完整之交通管理系統，針對救援路線之確認，將之就不同之需求分類提供行駛路線方式進行管制，針對救命、救火及維生與探災活動分別提供資訊，以免災民與交通管制人員衝突。
- (4) 應進行各地區之救災交通路線及起迄配送計畫，包含事前規劃，事中應變，事後調整之機制。並且包括緊急措施，臨時應急措施及長期措施分類進行。
- (5) 交通資訊之通報與發佈建立系統性及完整性統一發佈與通報制度，以免資訊不完整引起誤解及混亂。且此一資訊應區分災區內與災區聯外，及災區自救與外來救援方式加以系統化分類。
- (6) 建立以鄉鎮區為單位之防災道路體系，除了提高防災道路及橋樑之耐震外，應考慮各起迄點之間的路網替代方式。
- (7) 以救災交通管理觀念取代交通維持觀念，建立救災交通管理系統及編製救災交通管理作業手冊。
- (8) 公路與橋樑之勘災與搶修，應配置交通工程與管理專業人才，以便適時將交通系統功能納入搶修救援之中。
- (9) 應將貨運物流業在救災期間之主動義務或被動聘用方式，結合救災物資及廢棄物之集中與配送制度，善用原有之良好的物流體系。也有利於彙集經驗及管理運送過程及確保績效。
- (10) 對於地方客運應設置對口單位，統一聯絡窗口，將之納入救災體系之中，以協助災民運送，救援物資及人員運送，中小學生上下學接送，對於交通管制路線給予特許通行或優先通行。協助其購置中小型車輛，針對災區緊急救援及特殊服務路線使用。並且可以直接與公路搶修單位及軍警管制單位協調以確保營運路線之可行及安全。

從此次橋梁震災受損模式與原因中，暴露了國內目前斷層資料不足以及耐震設計規範不盡周詳之事實，同時亦對國內既有橋梁之耐震能力提出了警訊。為提高國內橋梁耐震能力，以下工作建議立即進行：

- (1) 未安裝防落設置之橋梁，應儘快增設。
- (2) 斷層線之調查與確認 - 目前台灣地區已知有 51 條斷層，為其確切位置與活動週期有待進一步確認。
- (3) 橋梁耐震設計規範之檢討：
 - a. 震區之重新劃分及加速度係數之調整：由於車籠埔斷層原被歸類於第 2 級斷層（12.5 萬年內有錯移者），因此，該斷層並被納入原先之地震危害度分析。現應修正該危害度分析，重新劃分震區及調整水平加速度係數。
 - b. 近斷層橋梁地震分析之研擬：近斷層之地震力特性與目前規範所設者有明顯差異，其垂直向最大加速度有可能超過水平向者（例如石圍橋附近），而且由於斷層破裂機制，易造成近斷層區內地表移動歷時在極短距離內即有明顯差異；因此，多支承運動對橋梁之分析則愈顯重要。
 - c. 經過斷層橋梁設計策略之研擬：經過斷層之橋梁，在斷層錯移下，勢必面臨非常嚴厲之考驗。以工程設計理念而言，可採讓其嚴重損害，而於災後易於修復之設計理念；但亦可以配合隔震設施及特別之設計，讓該橋可忍受斷層錯移。
 - d. 對於止震塊設計之檢討：此次地震中止震塊受損情形嚴重，甚至有些止震塊並未完全發揮作用；究其原因，可發現止震塊之尺寸與強度設計不足為主要原因之一，但現有規範並未對止震塊之尺寸加以限制，實有待改善。
 - e. 考慮建立重要橋梁外審制度之可行性：可避免設計不當之情形。
 - f. 提昇施工階段之耐震考量：以降低施工階段之地震災害。
 - g. 宜釐清耐震設計理念，不同橋梁系統結構，其構件破壞次序應為何？例如，簡支梁橋應以防止落橋為最大設計目標，其破壞順序或可為支承墊先損壞，再於橋柱產生塑角，而防落措施應盡量避免完全破壞。其破壞時機，宜配合未來功能設計法之需求作進一步之研究。
- (4) 加速進行既有橋梁之耐震評估及補強：政府應制定重要橋梁分級制度，儘速建立既有橋梁耐震評估之優先順序。進行詳細橋梁耐震能力評估；並進而進行必要補強措施[5.2]。尤其是針對民國 76 年以前設計者及橋墩基礎因河床沖刷或盜採砂石而裸露嚴重者。
- (5) 針對跨過斷層或在斷層附近之橋樑，且為災後緊急交通聯絡網之必要橋樑，維護單

位應有一套針對落橋之緊急修護計劃，如災後復舊應急橋(Prefabricated panel bridge)之設計圖及施工計劃，以因應落橋後之緊急交通搶通要求。

- (6) 針對橋型或結構特殊者（於規範規定須做動力分析者），或近(跨越)斷層者，建議安裝地震反應監測系統及落橋預警系統，監測其耐震行為，以回饋設計分析，並反應於規範之修訂。
- (7) 宜推廣設置隔震及消能元件之設計理念[5.3]，並參考美、日之隔震消能設計規範建立我國之相關規範，以利工程師於設計時，對問題有更多之解決方案。

參考文獻

- 5.1 國家地震工程研究中心，1999，「921 集集大地震橋梁及道路設施勘災報告」。
- 5.2 交通部科技顧問室，1998，「橋樑耐震補強準則」。
- 5.3 交通部台灣區國道新建工程局，1997，「公路橋樑耐震設計規範之補充研究」。