



# 918 花東地震 橋梁震害 調查 及其 成因分析

張荻薇／中華民國結構工程技師公會全國聯合會 理事長

張國鎮／國立臺灣大學土木工程學系 特聘教授、前國家地震工程研究中心 主任

宋裕祺／國立臺北科技大學防災研究所 特聘教授、中國土木水利工程學會 理事長

柯鎮洋／中華民國結構工程技師公會全國聯合會 常務理事、台聯工程顧問股份有限公司 董事長

黃炳勳／中華民國結構工程技師公會全國聯合會 理事、台灣世曦工程顧問股份有限公司 副總經理

蔡益成／中華民國結構工程技師公會全國聯合會 監事、華光工程顧問股份有限公司 經理

陳明谷／台灣世曦工程顧問股份有限公司 副理

林正偉／台灣世曦工程顧問股份有限公司 正工程師

張永叡／台灣世曦工程顧問股份有限公司 正工程師

橋梁平時肩負著交通運輸任務，災時是防救災體系的重要結點，是極重要的維生線。橋梁若在地震中受災而功能喪失，將會阻礙救災、復原工作的進行，而使災情擴大，對社會、經濟將會造成持續性的傷害。1999 年集集地震導致二十多座橋梁的崩塌或嚴重損壞，交通為之中斷，造成民生危急的重大問題，大家應該記憶猶新。因此，儘速恢復交通是災後重建之首要工作，而震害橋梁的復原是恢復交通的關鍵工程。

2022 年 9 月 18 日規模 6.8 的花東地震，造成跨越秀姑巒溪或其支流的高寮大橋、以迄崙天大橋，有 7 座以上的鐵公路橋梁產生崩塌或嚴重損壞的災情，交通因而中斷或受到嚴重影響。本文將先對此次地震的概要與地震動特性作說明，現地震害調查與勘災的心得，特別是最受社會矚目的橋梁震害作概要報告，並對災害的原因作初步探討。文中也將提出震害橋梁之處理原則及修復建議，供各界人士參考。

關鍵詞：918 花東地震、池上地震、橋梁震害、橋梁受損程度分類、損傷判定、災後重建、連鎖性複合型災害

## 前言

台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊邊界，屬環太平洋地震帶，地震活動相當頻繁。從 1906 年梅山地震（ $M = 7.1$ ）起，經 1935 年新竹台中烈震（ $M = 7.1$ ）、1999 年集集大地震（ $M = 7.3$ ）、2016 及 2018 年兩次 0206 地震，到這次的 918 花東地震（ $M = 6.8$ ）為止，百餘年之間，平均不到 10 年就有 1 次社會矚目的災害性地震發生，最近的二十多年來，更是每 3 ~ 4 年就有 1 次致災性地震發生。橋梁產生地震災害是最影響社會大眾的重大事

件，因為橋梁在地震中崩塌或損壞，交通都將中斷，例如 1999 年集集地震也因有二十多座橋梁的崩塌或嚴重損壞，嚴重影響人民的正常生活與社會的安定，至今我們仍然記憶猶新。因此，橋梁的震後復原是災後重建之首要工作。基於地震後的勘災調查與原因分析，對於災後重建或補強、以及未來的災害預防與防災技術之提升，是極其重要的工作<sup>[1,2]</sup>，為此，國內相關專業機構特組勘災團隊，於 2022.09.27 ~ 29 赴花蓮玉里、富里等災區勘查，並作出震害調查報告。勘災團隊的單位及成員如下：

單位	成員
中華民國結構技師公會 全國聯合會	張菽薇理事長 柯鎮洋常務理事 (台聯工程顧問公司董事長) 黃炳勳理事 (台灣世曦工程顧問公司副總經理) 蔡益成監事 (華光工程顧問公司經理)
國立臺灣大學土木系	張國鎮特聘教授 (前國家地震工程研究中心主任)
國立臺北科技大學 防災研究所	宋裕祺特聘教授 (中國土木水利工程學會理事長)
台灣世曦工程顧問公司	陳明谷副理、林正偉正工程師、 張永毅正工程師

### 地震概要、地震動特性

2022年9月17日21時41分及9月18日14時44分，分別於台東關山和台東池上發生芮氏規模6.4與6.8地震（稱為關山地震與池上地震）。中央氣象局表示規模6.4之關山地震為前震，其震央位置在北緯23.08°、東經121.16°，震源深度7.3公里；而規模6.8之池上地震為主震其震央位置在北緯23.14°、東經121.2°，震源深度7.3公里。兩次地震之震央均鄰近池上斷層，但斷層並未破裂至地表面。地震動實測到全台最大震度皆達6強，最大地表加速度達607gal（富里站）（見圖1），最大地表速度達109kine（池上站）（見圖1和圖2）<sup>[3]</sup>。除震度達

6強外，由國家地震工程研究中心就池上測站、鹿野測站、玉里測站等量測之地表速度歷時顯示出顯著之速度脈衝（見圖3和圖4），近斷層效應顯著，許多測站所量測記錄之短週期反應譜值亦大於現行橋梁耐震設計規範週期2,500年之設計值（見圖5和圖6），因而造成花東地區建築物和橋梁倒塌等災情。

### 橋梁震害調查及受損程度判定與復建原則

本報告參照1995年日本阪神地震及1999年集集地震有關橋梁震害，依影響承載能力之受災程度作災害判定，並對震害橋梁之處理原則提出建議<sup>[4,5]</sup>。

#### 受損程度判定

參照1995年日本阪神地震及1999年集集地震橋梁受損程度分類，依影響承載能力之受災程度，判定原則如下：

- F級（落橋）— 已落橋或崩塌
- A級（大災害）— 承載能力顯著降低，可能發展為落橋
- B級（中度災害）— 承載能力降低，現況仍可使用
- C級（小災害）— 永久性復舊前無承載能力降低疑慮
- D級（無災害）— 承載能力無異常

而對於橋梁構件各部位的損傷判定則如表1所示：

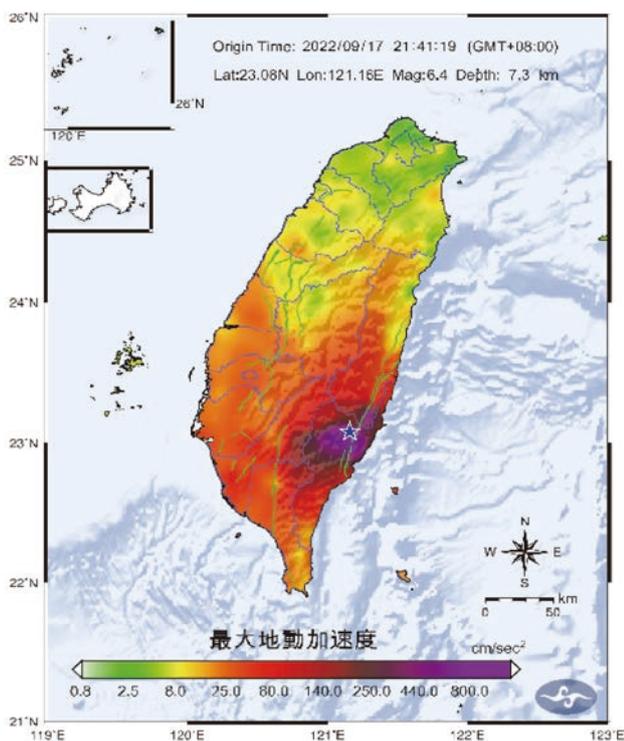


圖1 2022.09.17 台東關山地震 (ML 6.4)，富里站：Max. PGA (EW, NS) = 449 gal，PGA (sum) = 607 gal<sup>[3]</sup>

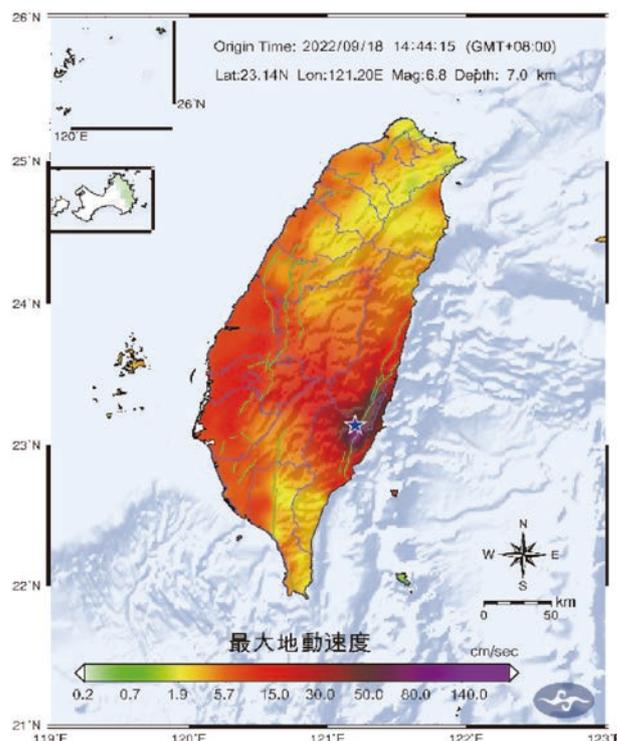


圖2 2022.09.18 台東池上地震 (ML 6.8)，池上站 Max. PGV (EW, NS) = 97 cm/s，PGV (sum) = 109 cm/s<sup>[3]</sup>

### 具近斷層效應的地震歷時 NAR Labs

台東關山地震 0917M<sub>L</sub>6.4

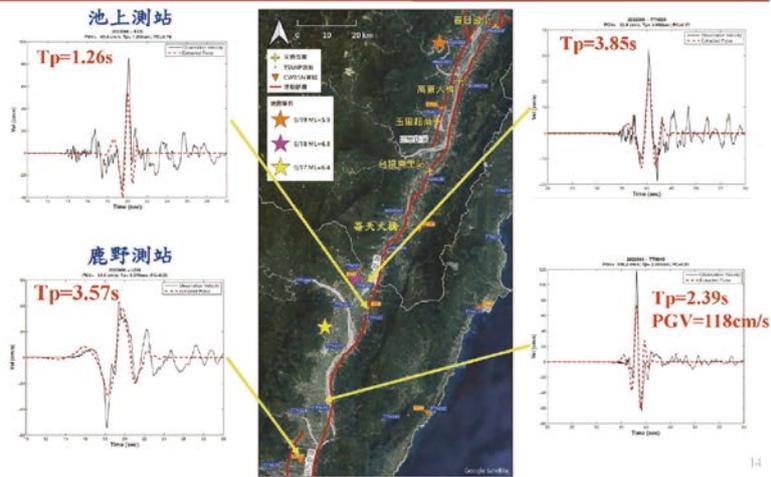


圖3 台東關山地震 (ML 6.4) 測站之速度脈衝 (來源：國家地震工程研究中心)

### 具近斷層效應的地震歷時 NAR Labs

台東池上地震 0918M<sub>L</sub>6.8

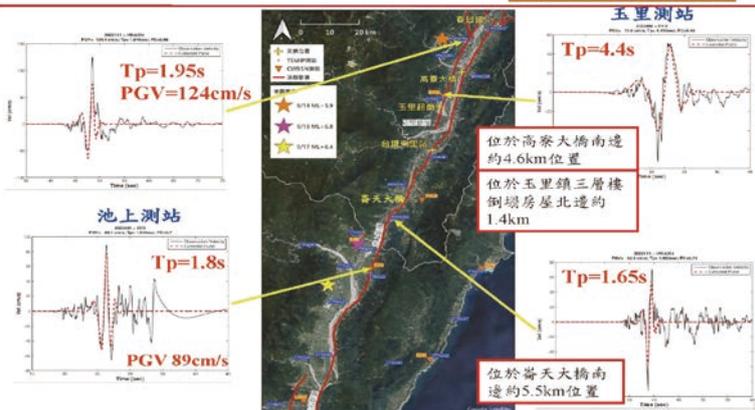


圖4 台東池上地震 (ML 6.8) 測站之速度脈衝 (來源：國家地震工程研究中心)

### 重大災損點鄰近測站反應譜與設計反應譜比較 NAR Labs

台東關山地震 0917M<sub>L</sub>6.4

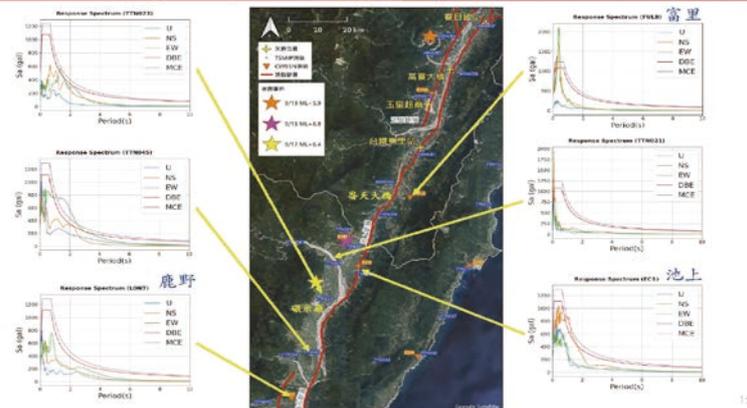


圖5 台東關山地震 (ML 6.4) 測站之反應譜與現行規範比較 (來源：國家地震工程研究中心)

## 重大災損點鄰近測站反應譜 與設計反應譜比較

**NAR Labs**

台東池上地震 0918M<sub>L</sub> 6.8

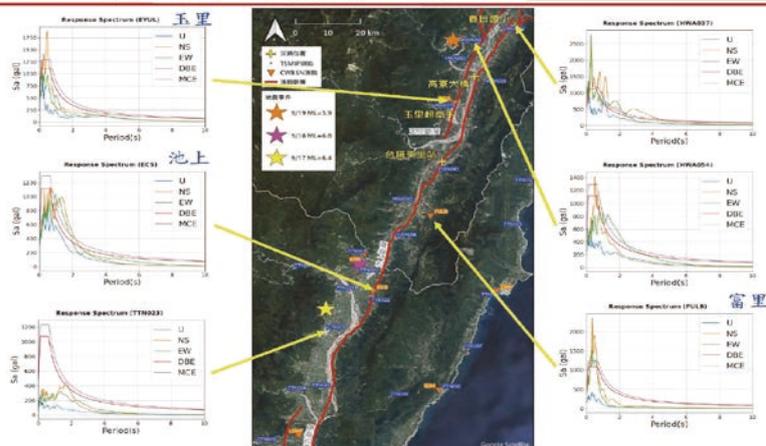


圖 6 台東池上地震 (ML 6.8) 測站之反應譜與現行規範比較  
(來源：國家地震工程研究中心)

表 1 受損程度分級表

部位	受損程度	構造物損傷狀況
上部結構	F：落橋	
	A：大損傷	混凝土橋：梁端混凝土脫落。 鋼橋：主要構材破斷。
	B：中度損傷	混凝土橋：梁端混凝土剝落，產生大裂縫。 鋼橋：主要構材變形、挫屈。
	C：小損傷	混凝土橋：梁端混凝土龜裂。 鋼橋：次要構材破裂、變形。 附屬設施：欄杆破損，伸縮縫開裂。
	D：無損傷	
下部結構	F：橋墩崩塌落橋	
	A：大損傷	混凝土橋柱：軸向鋼筋破斷與軀體傾斜。 混凝土橋台：翻轉、傾倒。 鋼橋柱：龜裂或銲接處破斷殘留變形。
	B：中度損傷	混凝土橋柱：鋼筋鼓出，混凝土保護層剝落。 混凝土橋台：大規模破裂。 鋼橋柱：殘留變形（凹陷或凸出量 $dr$ ） $< 0.03L_b$ 。
	C：小損傷	混凝土橋柱：混凝土產生龜裂，未貫通之斜向龜裂。 混凝土橋台：小規模破裂，胸牆或翼牆之龜裂損傷。 鋼橋柱：殘留變形（凹陷或凸出量 $dr$ ） $< 0.01L_b$ 。
	D：無損傷	
支承與防落裝置	F：大梁自支承上掉落（落橋）	
	A：大損傷	梁自支承處脫落，造成橋面落差，惟未落橋。
	B：中度損傷	梁未自支承處脫落，支承損害，未落橋。
	C：小損傷	支承損害，未脫落。
	D：無損傷	
基礎與地盤	F：地盤錯動，基礎斷裂	
	A：大損傷	基礎沉陷，產生很大殘留水平變位。
	B：中度損傷	基礎產生很大殘留水平變位或樁體撓曲裂縫。
	C：小損傷	樁體有小撓曲裂縫。
	D：無損傷	

### 處理原則建議

依 1995 年日本阪神地震對震害橋梁之處理原則，如表 2 所示：

表 2 受損橋梁處理原則

受損程度	處理原則
F (As) 級、A 級	拆除重建
B 級以下	原則上補強，但殘留變形太大者（如橋墩上端之殘留變形 15 公分或殘留角超過 1 度以上）拆除重建

## 橋梁工程災害

### 橋梁震害調查

橋梁震害調查主要目的是掌握概略性的受損狀況，訂定通行規準，以及防止災害擴大（防止二次災害）的緊急措施；同時對受損程度判定有倒塌危險性的橋梁，採取必要的緊急對策<sup>[5,6]</sup>。

918 地震過後有兩座橋梁嚴重崩塌，並有多座橋梁受損嚴重，須封閉管制通行。本次現場勘查之震損橋梁，均為跨越秀姑巒溪或其支流，分別為高寮大橋、玉興橋、玉里大橋、玉長大橋、臺鐵新秀姑巒溪橋、長富大橋及崙天大橋等。這些橋梁都是居民維生的交通要道，交通中斷對當地的社會民生都將產生嚴重影響。受災橋梁位置如圖 7 所示，各橋梁的震害概要分述如後。



圖 7 本次震後橋梁調查位置圖

### 高寮大橋

#### 高寮大橋概述

- 位於花 68 鄉道上，跨越秀姑巒溪，聯繫台 9 線與縣道 193，為玉里通往赤科山之重要橋梁，於 1991 年竣工。
- 長度 880 公尺，橋面寬約 8M，共 22 跨，跨徑 40M。
- 上部結構為簡支預力 I 型梁，橋墩為單柱式 RC 橋墩。



圖 8 高寮大橋全橋崩塌

### 高寮大橋震害概要

本次現場勘查結果，高寮大橋已全橋崩塌無法通行，如圖 8 所示，除引道路堤擋土牆破裂坍塌，造成引道路面大範圍龜裂塌陷外，橋台伸縮縫變形扭曲，上部結構大梁與橋面板震落分離，混凝土單柱橋墩斷

裂倒塌，橋墩主筋外露，橋墩箍筋鬆脫，跨河段橋面板與預力大梁因橋墩斷裂翻覆於河道中，並造成河川水流阻水。位於右岸之第一跨下方因有砂石場作業車輛停放，本次地震落橋亦造成數輛工程車壓毀。橋梁受損情形及受損程度判定詳見圖 9 和圖 10。



(a) 全橋崩塌，受損程度 F



(b) 引道路堤擋土牆位移，受損程度 A



(c) 橋墩斷裂倒塌，受損程度 F



(d) 橋台伸縮縫翹起變形



(e) 橋墩斷裂，鋼筋外露，受損程度 F



(f) 全橋崩塌，受損程度 F

圖 9 高寮大橋勘災紀錄（一）



(a) 橋面與大梁落橋，受損程度 F



(b) 橋台伸縮縫分離，大梁崩落



(c) 橋墩斷裂傾倒，受損程度 F



(d) 橋墩斷裂，上部結構翻覆



(e) 引道擋土牆崩塌，路面破裂沉陷



(f) 橋墩混凝土剝落破損，橋柱傾倒

圖 10 高寮大橋勘災紀錄（二）

## 玉興橋

### 玉興橋概述

- 位於省道台 9 線上，跨越卓溪。
- 本橋正辦理橋梁拓寬及改建工程，以兩階段方式採半半施工。
- 新橋計 4 跨，跨徑 45M + 2@40M + 45M，長度 170 公尺。

- 第一階段新建擴寬橋梁上部結構預力 I 型梁於 2022 年 9 月 15 日完成吊放，並以槽鋼進行橫向大梁間臨時連繫支撐（如圖 11）。
- 第一階段新建橋墩為單柱式 RC 橋墩。

### 玉興橋（施工中新建部分）震害概要

本次地震造成位於下游側之 P1 ~ P2 橋墩間新建中之預力大梁震落，預力梁掉落河床並於弱軸方向產生

折斷與混凝土破碎情形，部分未掉落之上部結構則產生水平位移，下游側 P2 ~ P3 間大梁施工階段臨時防落鋼製止擋塊因大梁推移產生變形，尚未完成灌漿之帽梁止震塊鋼筋因大梁位移撞擊，產生嚴重變形。掉落

於河床之施工中預力梁，原用於臨時橫向連結支撐槽鋼挫屈變形或斷裂，固定錨栓脫離，下游側新建 P1 橋墩帽梁因大梁震落撞擊，造成混凝土破損。橋梁受損情形及受損程度判定詳見圖 12 和圖 13。



圖 11 玉興橋拓寬新建橋梁剛完成大梁吊放 (111.03.20 攝，公路總局提供)



(a) 新建預力 I 型梁掉落斷裂損，受損程度 F



(b) 預力梁掉落於弱軸斷裂



(c) P1 ~ P2 間預力大梁掉落



(d) 連結槽鋼固定孔變形



(e) 鋼製臨時止擋塊拔出掉落



(f) 帽梁上方大梁止震塊鋼筋變形，受損程度 F

圖 12 玉興橋 (施工中新建部分) 勘災紀錄 (一)



圖 13 玉興橋（施工中新建部分）勘災紀錄（二）

本橋地震造成之工程災害十分特殊，由於施工中之預力 I 型梁易呈現不穩定狀態，以往即有預力 I 型

梁施工中因地震而翻落之災例，例如 1990 年花蓮美崙地震，花蓮地區施工中之預力 I 型梁即因地震導致翻覆斷裂。玉興橋係採兩側拓寬段之預鑄預力 I 型梁吊放，共計 32 支預力梁，本橋曾於 2022 年 3 月 19 日完成吊放，上部結構大梁初步定位，然因 3 月 23 日凌晨 1 時許之地震，發生傾倒、斷裂導致 28 支大梁翻落如圖 14，所幸發生事故時間為凌晨，並未造成施工人員及用路人傷亡，但因災害範圍大，影響既有舊橋通行，造成工區旁交通完全中斷。0323 地震後，工程會十分重視，邀集相關單位以玉興橋為鑑，提出降低預力 I 型梁吊裝後翻落風險之相關施工中作業指引 [7]，供各機關作為執行參考，如圖 15 和圖 16 所示。本次 918 地震，由於地震震度已超出原設定之施工中地震風險評估等級，雖經由該指引增設改善之臨時連結支撐與橫擋止震裝置，仍有四支預力梁發生翻落事件。惟整體而言，相關臨時安全支撐措施，仍然顯示有效。



圖 14 2022 年 0323 地震玉興橋施工中預力 I 型梁震落斷裂

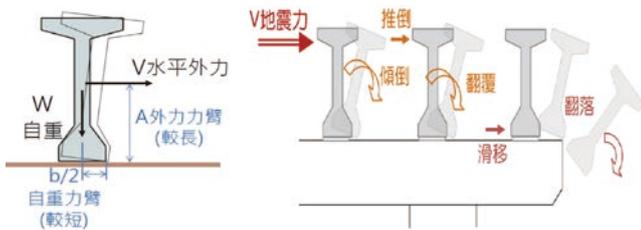


圖 15 施工中預力 I 型梁破壞模式示意圖 [7]

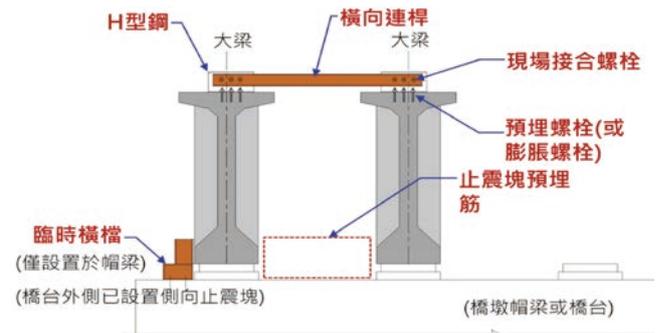


圖 16 施工中預力 I 型梁穩定加固原則 [7]

## 玉里大橋

### 玉里大橋概述

- 本橋位於玉里鎮南側，省道台 9 線上，跨越秀姑巒溪。
- 橋梁共 17 跨，全長約 575 公尺，如圖 17。
- 雙向分離橋梁，南下線為一代橋全寬 8.5 公尺，1977 年完工，北上線為二代橋全寬同為 8.5 公尺，1994 年完工。
- 上部結構為預力 I 型梁，下部結構為單柱式橋墩配合帽梁。

### 玉里大橋震害概要

依現場勘查結果，玉里大橋南下線（一代橋）與北上線（二代橋）受損情形相似，主要為橋梁上構受地震產生位移，上構 I 型梁碰撞止震塊造成止震塊裂損，另因 I 型梁位移後，造成支承墊滑移、帽梁混凝土剝落及梁端碰撞產生龜裂等情形，橋面部分亦因結構單元間相互碰撞，造成護欄及橋面板擠壓受損、伸縮縫偏移或突起等情形，至於本橋橋梁下部結構除橋墩止震塊受損及局部帽梁混凝土剝落以外，情況尚屬良好。橋梁受損情形及受損程度判定詳見圖 18 和圖 19。



圖 17 玉里大橋空拍圖



(a) 橋台受擠壓伸縮縫突起，受損程度 C  
(b) 護欄碰撞裂損、伸縮縫擠壓偏移，受損程度 C



(a) 引道路面凹陷及裂損，受損程度 C  
(b) 護欄及橋面板擠壓受損，受損程度 C



(c) 大梁受推移防落長度不足，受損程度 B  
(d) 支承墊滑移及止震塊受損，受損程度 B



(c) 橋台背牆裂損，受損程度 C  
(d) 端隔梁破裂，受損程度 B



(e) 大梁受推移梁端龜裂，受損程度 B  
(f) 支承墊滑移、帽梁混凝土剝落，受損程度 B



(e) 大梁受推移，護欄、止震塊及橋面板裂損，受損程度 B  
(f) 止震塊破裂、橋面板及梁端損傷，受損程度 B

圖 18 玉里大橋南下線（一代橋）勘災紀錄

圖 19 玉里大橋北上線（二代橋）勘災紀錄

## 玉長大橋

### 玉長大橋概述

- 位於花 75 鄉道上，跨越秀姑巒溪支流樂樂溪。
- 橋梁共 27 跨，全長約 800 公尺，如圖 20。
- 橋全寬約 9.5 公尺，1997 年完工。

- 上部結構為預力 I 型梁，下部結構為單柱式橋墩配合帽梁。

### 玉長大橋受損情形及受損程度判定

依現場勘查結果，玉長大橋主要為橋梁下構橋墩剪力破壞。橋梁受損情形及受損程度判定詳見圖 21。



圖 20 玉長大橋空拍圖



(a) 上構 I 梁位置偏移，受損程度 B



(b) 橋墩柱受剪力全斷面破裂，受損程度 A



(c) 橋墩柱受剪力保護層破裂，受損程度 B



(d) 橋墩柱受剪力表面裂縫，受損程度 C



(e) 上部結構無明顯損傷，受損程度 D



(f) 河川區域橋墩柱受剪力保護層破裂，受損程度 B

圖 21 玉長大橋勘災紀錄

### 臺鐵新秀姑巒溪橋

#### 臺鐵新秀姑巒溪橋工程概述

- 臺鐵新秀姑巒溪橋跨越秀姑巒溪。
- 橋梁共 15 跨，於 2007 年完工，如圖 22。
- 上部結構為預力 I 型梁，下部結構為單柱式橋墩配合帽梁。

#### 臺鐵新秀姑巒溪橋震害概要

依現場勘查結果，臺鐵新秀姑巒溪橋主要為橋梁下構橋墩止震塊、帽梁及電桿基座破裂，上構預力 I 型梁有偏移且已自支承處脫落之情形，惟無明顯裂損。橋梁受損情形及受損程度判定詳見圖 23。



圖 22 臺鐵新秀姑巒溪橋空拍圖

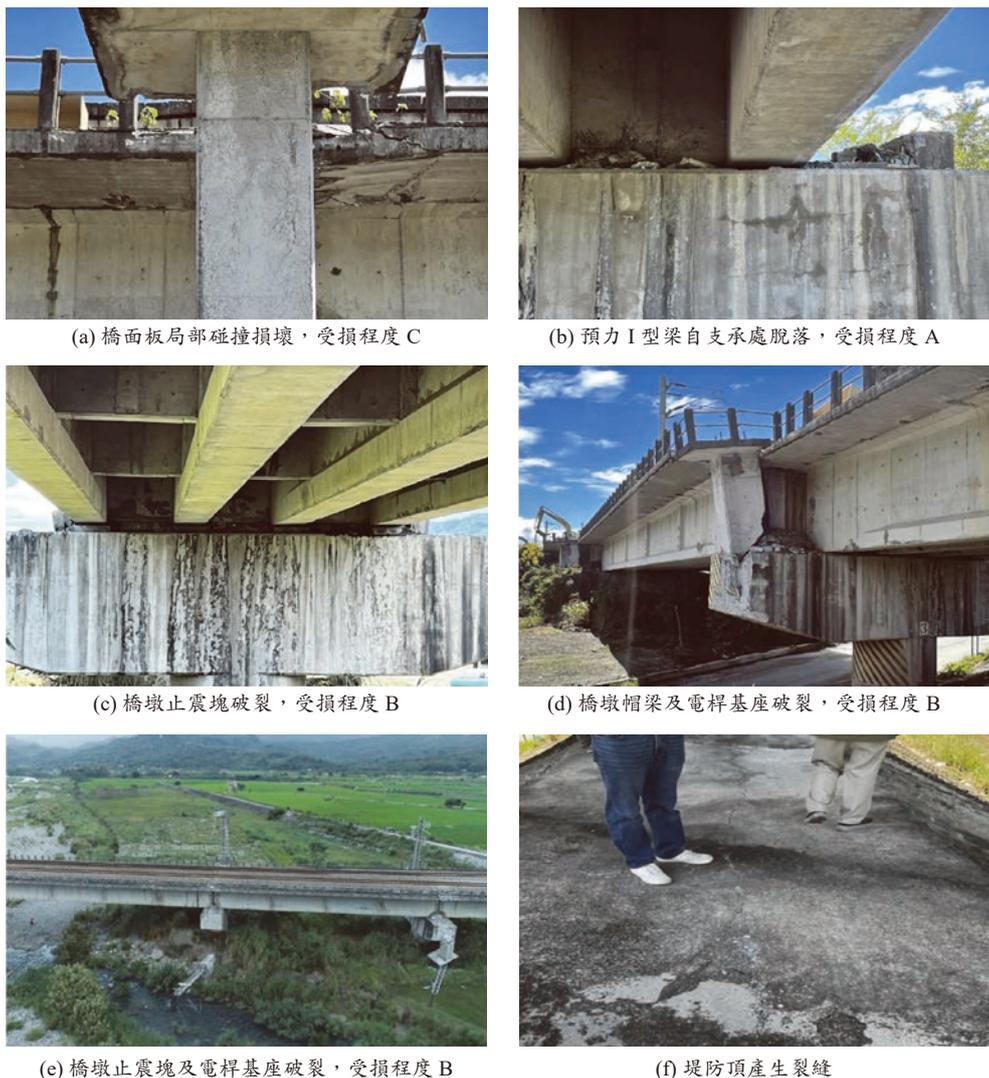


圖 23 臺鐵新秀姑巒溪橋勘災紀錄

## 長富大橋

### 長富大橋概述

- 連接卓富公路（花 75 鄉道）與台 9 線，由東西兩橋及路堤組成，全長（含兩橋及路堤）約 2 公里。
- 西橋跨越秀姑巒溪，東橋（含引橋）跨越台東線鐵路及台 9 線，如圖 24，1997 年竣工。
- 上部結構為預力 I 型梁，下部結構為單柱式橋墩配合帽梁

### 長富大橋震害概要

依現場勘查結果，主要為進橋版處路面隆起，橋梁上構受地震產生位移，造成護欄及橋面板擠壓受損、部分伸縮縫開裂等情形，至於本橋橋梁下部結構除橋台局部混凝土剝落外，情況尚屬良好。橋梁受損情形及受損程度判定詳見圖 25。



圖 24 長富大橋空拍照



(a) 西側道路隆起 & 路面 AC 開裂，受損程度 C



(b) 西橋進橋版處路面開裂，受損程度 C



(c) 東橋 A1 橋台局部混凝土剝落、伸縮縫開裂，受損程度 C



(d) 東橋 A2 橋台處伸縮縫開裂、進橋版處路面隆起裂損，受損程度 C



(e) 護欄及橋面板擠壓受損，受損程度 C



(f) 護欄及橋面板擠壓受損，受損程度 C

圖 25 長富大橋勘災紀錄

## 崙天大橋

### 崙天大橋工程概述

- 聯接卓富公路（花 75 鄉道）與台 9 線，跨越秀姑巒溪。
- 橋梁共 14 跨全長約 420 公尺。
- 雙向單車道橋梁，淨寬約 4.5 公尺，橋中央處設淨寬約 6 公尺、長 30 公尺之會車道，1982 年竣工。
- 沉箱基礎、單柱式橋墩，上部結構為預力 I 型梁。

### 崙天大橋受損情形及受損程度判定

依現場勘查結果，崙天大橋受損嚴重，如圖 26，概述如下，橋梁受損情形及受損程度判定詳見圖 27 和圖 28。

- P3 ~ P6 橋墩完全傾倒，S3 ~ S7 上構掉落、預力 I 型梁及橋面扭曲破裂。
- S2 上部結構落橋，大梁及橋面從中斷裂。
- 其他之橋梁上部結構亦受地震產生位移。

- S1 上部結構位移後，造成 A1 橋台處伸縮縫開裂。
- S8 之預力 I 型梁碰撞側向止震塊造成止震塊剪裂。
- 預力 I 型梁相互間擠壓，造成 P12、P13 處 I 梁滑移至支承墊外之帽梁上，橋面產生了約 25 公分的高低斷差。



圖 26 崙天大橋空拍照



(a) S2 上構位移，造成 S2 上構落橋，大梁及橋面斷裂，受損程度 F



(b) P6 橋墩、S7 上構損壞情形，受損程度 F



(a) P4 橋墩柱底混凝土澆鑄介面斷裂傾倒，受損程度 F



(b) P5 橋墩柱底混凝土澆鑄介面斷裂，鋼筋拉脫傾倒，受損程度 F



(c) P3 ~ P6 橋墩向下游側（北）傾倒，受損程度 F



(d) 橋墩傾倒，I 梁及橋面扭曲破裂，受損程度 F



(c) P6 橋墩柱底損壞而傾倒，受損程度 F



(d) P6 ~ P3 橋墩傾倒（上構已敲除）



(e) P7 橋墩頂側向止震塊遭大梁碰撞裂損情形，受損程度 B



(f) P13 橋墩之上構向東推擠，I 梁滑移至支承墊外，受損程度 B



(e) P3 橋墩柱底混凝土澆鑄介面斷裂，鋼筋斷裂傾倒，受損程度 F



(f) S14 上構擠壓橋台，路面隆起，受損程度 A

圖 27 崙天大橋勘災紀錄(一)

圖 28 崙天大橋勘災紀錄(二)

## 其他震害勘查

本次勘災路線行經受災嚴重之玉里鎮，因此也勘查了相關災情，包括花蓮縣春日國小校舍、臺鐵東里車站月台結構等，受損概要說明如下。

### 春日國小

918 地震造成花蓮春日國小兩層樓廊道倒塌，前往勘查時該倒塌樓廊已拆除。2010 年度春日國小教學大樓曾作耐震補強工程，本次地震後經初步觀察，主要教學區沒有明顯的震害情形，已正常進行教學活動。旁鄰建築之柱體，因受倒塌穿越樓廊之撞擊，造成損傷，須待後續復舊修復。



圓柱上下兩端螺旋箍筋保護層混凝土完全剝落損害



幼兒園教室沒有耐震補強校舍，一樓圓柱受到嚴重震損



經耐震補強之校舍，震後可以正常教學使用

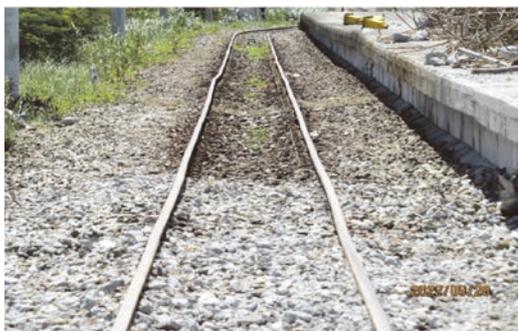


陳少山校長與張菽薇理事長、張國鎮教授合影

圖 29 春日國小勘災紀錄

### 臺鐵東里車站

918 地震強震造成花蓮縣富里鄉臺鐵東里火車站月台雨棚掉落、鐵路軌道多處彎曲隆起現象，鐵路橋梁也受損嚴重，多處電車線斷落，鐵路交通停駛。



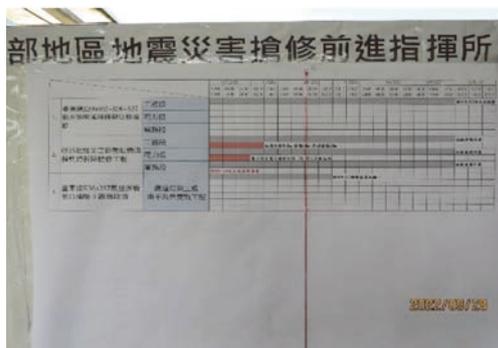
東里車站鐵路軌道錯位，鐵路停駛



東里車站月台候車雨棚震損，已拆除



於東里車站設立東部地區地震災害搶修前進指揮所，顯示震災救援組織動員能力



東部地區地震災害搶修前進指揮所之震災搶修工程預定進度表

圖 30 臺鐵東里車站勘災紀錄

## 橋梁震害之原因分析及修復建議

### 橋梁震害之原因分析及重建、補強原則

橋梁震害原因的探討分析，是橋梁防災整備更精進與提升的重要事務。然因地震災害成因相當複雜，並非目前科技所能完全掌控的。因此，我們惟有從歷次地震災害的教訓中，累積各種試行錯誤的經驗，來求取抗震新知，以期減除下次震災的損失。

#### 橋梁震害之主要原因<sup>[8,9]</sup>

##### 1. 常見橋梁震害的型態

橋梁常見震害之型態與受災原因，依地震動特性、橋址環境及橋梁構造等因素，而有顯著之差異。歸納橋梁震害之主要原因如下：

- (1) 設計地震力：橋址地表加速度大，設計地震力相對偏低，耐震能力不足。
- (2) 地表變位：斷層錯動引致地表破裂、近斷層速度脈衝大，橋梁產生災損。

- (3) 土層支承力：位於軟弱土層或土壤液化流動高潛勢區，橋基因地震產生下陷、位移及傾斜現象。
- (4) 結構系統：結構系統之贅餘度偏低，耐震性能不佳，韌性需求考量不足，易受震害。
- (5) 落橋防止：梁端防落長度不足或防落措施欠缺，造成落橋。
- (6) 支承：支承座構造不佳，主梁側移量大，致使支承切斷脫落；或橋梁錯動橫移，從支承上脫離損傷。
- (7) 耐震構造細節：橋柱主筋截斷或續接位置不當，或續接方式不良，以及箍筋量不足或間距過大或綁紮方式不良等，形成橋梁結構耐震上的弱點。
- (8) 橋梁施工：橋柱混凝土澆築續接界面之處理不良或位置不當，形成結構弱點而橋柱產生斷裂、崩塌。

##### 2. 本次橋梁震害特性研析

本次勘查之橋梁震害的型態與受災原因，大致為前述型態之一或兩種以上之複合型態造成。惟若以落橋

坍塌與否區分，除玉興橋為施工中橋梁局部損傷外，其餘六座橋梁中，高寮大橋及崙天大橋為橋墩柱斷裂倒塌，造成落橋；另四座橋梁則為大梁移位，脫離支承位置、碰撞側向止震塊，除玉長大橋橋墩損傷程度較高外，其他橋梁下部結構損傷較小，研判四座橋梁未發生落橋之原因係上部結構大梁透過與橡膠支承間摩擦滑動來延長結構週期與消散能量，降低上部結構傳遞至橋柱與基礎的慣性力，在 921 集集地震後，調查許多非近斷層橋梁都有此現象，後續許多研究將此稱為「功能性支承系統」，可藉以降低橋墩於強震下之韌性需求。

### 震害橋梁重建、補強之一般性原則

日本建設省在阪神地震後 1995 年 4 月頒布了「兵庫縣南部地震受害道路橋復舊辦法」<sup>[10]</sup>，供作震害橋梁重建及耐震補強的指導原則。1999 年集集地震橋梁災後重建，也大致參考阪神地震的經驗辦理，其重點如下<sup>[11,12]</sup>：

#### 1. 橋梁復舊之耐震原則

- 增進橋梁之柔性與韌性。
- 採用吸能、減震技術。
- 增設耐衝擊性之防止落橋措施。
- 重視土壤液化、土層流動對橋梁基礎之影響。
- 確實掌握橋梁在地震時之動力行為。

#### 2. 耐震設計之基本方針

- 連續性高架橋結構，宜採用彈性固定方式以分散地震力之構造。
- 基礎應具有橋柱同等以上之耐力，並須具有充分之變形能力。
- RC 橋墩為確保必要之韌性，應配置足夠之箍筋，軸向主筋原則上不得截斷。
- 支承宜採用橡膠支承，尤以隔震支承為佳，支承之構造應採用更換容易之型式。
- 防止落橋裝置應採用可吸收衝擊力之構造，並提高連結部之強度及其變形能力；且以併用多種措施為原則。
- 橋梁基礎應考慮土壤液化及地盤流動之影響。

#### 3. 防止落橋對策

- 防止落橋構造基本上應先具有足夠之梁端防落長度，再加兩處以上之防止落橋裝置。
- 對於下列橋梁須加大梁端防落長度：

- ◆ 斜角 60° 以下之斜橋及半徑 100 m 以下、交角 30° 以上之曲線橋。
- ◆ 基本振動周期 1.5 秒以上具高橋墩之橋梁。
- ◆ 防止落橋裝置需為緩和衝擊之構造，且應留設餘裕空間及可動距離，以避免損害支承及其他防落裝置之機能。

### 橋梁震害之修復建議

前節對橋梁震害的原因及重建、補強原則，作了一般性的說明。本節將針對本次勘災結果之觀察與檢討，提出強化橋梁防災能力及地震受損橋梁之重建或補強之初步建議如下：

#### 宏觀面之建議

1. 強健重要交通路網上之橋梁韌性（災後復原性，resilience）

橋梁結構與設施為交通路網上的重要筋絡，一旦橋梁運輸功能受損，整個交通路網功能將無法發揮應有功能，嚴重者甚至隨之中斷，影響災後搶救與社經活動。災前應針對各橋梁所處環境與結構特性擬定健全的耐震能力評估與必要的補強作業，降低橋梁震害，增進橋梁韌性。此外，健全交通路網的餘裕度（redundancy），使地震過後也可發揮路網的基本運輸功能，也是重要的課題。

2. 近斷層橋梁的耐震防災

##### (1) 跨越斷層處之橋梁

菲律賓海板塊每年擠壓歐亞大陸板塊，橋梁跨越斷層處無可避免地須承受逆衝、正滑或平移地盤錯動，可行的因應對策包含：

- (a) 採用簡支梁來吸收長期地盤錯位，以避免全橋倒塌，並搭配設置支承墊片、鋪面調整、修整欄杆等附屬設施與更換伸縮縫等方式使橋面高程符合通車功能（如玉里大橋）；
- (b) 改採路堤（如國道三號田寮三號橋）；
- (c) 採用長跨徑橋梁直接跨越斷層。

##### (2) 速度脈衝效應之因應

近斷層地震往往具有速度脈衝效應（pulse-like velocity），地震作用時，當基礎隨著地盤瞬間往某一方向迅速移動，橋墩與上部結構亦隨之被帶動，但速度脈衝效應隨即促使基礎以頗大的速度往反方

向移動，此時橋墩與上部結構因慣性作用無法與基礎同步，致使結構相對變位與應力過大，若橋墩高度不大，剪力跨徑短則容易造成橋墩剪力破壞進而折斷，橋面往同一方向倒塌（如高寮大橋）。

(3) 基於以上兩項因素，宜採用橡膠支承、隔減震支承或材質較輕的上部結構以降低上部結構慣性力對下部結構的影響，此外下部結構亦須符合韌性設計之需求，以避免橋墩倒塌。

### 3. 震後橋梁重建

#### (1) 依橋梁震害模式與所處環境擬定結構形式

橋梁震害模式是大自然現地實驗的結果，應針對橋梁破壞原因詳加檢討，避免重蹈覆轍。各橋所處環境不會完全相同，單一的重建方案不可能適用於所有橋梁，重建方案應考量經濟效應、工程技術與交通動線等因素詳加規劃與討論。

以此次地震受損的高寮與玉長兩橋為例，初步建議相關重建或補強工程方針如下：

(a) 高寮大橋兩側分別有池上斷層與玉里斷層通過，地震紀錄顯示速度脈衝效應顯著，上部結構採用鋼橋可以有效降低慣性力避免橋墩遭受過大應力而損壞。

(b) 玉長大橋位於堤防上的橋墩產生嚴重的剪力破壞，混凝土保護層剝落、圓形箍筋端部重疊部分鬆脫、柱主筋挫曲、柱心混凝土產生 45 度剪力破壞崩裂，其餘跨越河川部分的橋墩只有在 180 度環繞墩身防撞鋼版的另一側有混凝土剝落的現象，上部結構與橋面均無重大損壞。本橋應無須全面重建，堤防上剪力破壞的橋墩可以採用類似溪洲大橋托底工法，在橋墩帽梁兩側設置臨時托架將重力傳往該處，拆除損壞的橋墩重新配筋、立模與灌漿後，卸除托架將力量傳回新做橋墩即可。於跨河處受損橋墩則可以進行局部補強（阪神地震諸多案例）。

#### (2) 施工期間之交通維持

針對河川特性，可採用跨河便橋或便道，以提供河川兩岸之交通需求。

### 橋梁構造細節之建議

#### 1. 支承、移動間隙、止震塊與防落長度應相互為用

支承串接上、下部結構，其設計應具備某種程度的保險絲功能，當地震力達到一定額度後，支承

之破壞可以降低上部結構慣性力對下部結構的影響。支承破壞後，上部結構若能透過一定的移動間隙（slip gap），在移動過程中將可以有效消耗地震能量，後續再藉由緩衝裝置與止震塊碰撞，此時止震塊的受力必將較無配設移動間隙者為小，最後再搭配足夠的防落長度，發揮防止落橋的功能。

因此，支承 + 移動間隙 + 止震塊 + 防落長度為抵抗地震力的四道防線，橋梁耐震設計時應妥善運用此些防線的功能，使其相互為用，讓橋梁耐震能力達到最佳狀態。

#### 2. 橋台設計應嚴謹

橋台主要組成包含：基礎、台身（abutment wall）、支承座（bearing seat）、翼牆（wing wall）與背牆（back wall）。有些設計者不清楚橋台各組成的功能，逕以橋墩搭配擋土牆方式設計，但墩體與擋土牆二者進度差異大，地震作用下二者交界處容易因應力集中而破裂，未來設計應以此為鑑。

#### 3. 圓形箍筋端部重疊細部處理應謹慎

早期橋梁耐震並未強調韌性設計，剪力箍筋配置量泰半未能符合現行規範之規定，此外配筋細節也無法滿足韌性需求，尤其是圓形箍筋端部重疊細部之處理大多採用搭接方式，當混凝土保護層剝落後，搭接處之鋼筋便外凸變形，箍筋失去提供剪力功能，更遑論提供柱心混凝土圍束作用，未來耐震設計細節應加以注意。

#### 4. 設置防撞鋼板應避免引致應力集中

跨河橋須考量漂流物之撞擊，常在橋墩位於上流側設置防撞鋼板，或因經費之考量此鋼板僅設於橋墩臨上游側之 180 度半圓範圍，在此範圍內的橋墩混凝土有受到部分圍束的功用，但另一側則無，地震作用下常有混凝土剝落的情況發生。建議未來防撞鋼版可以全環繞方式施作。

### 落實橋梁安全之政策目標

1999 年發生 921 集集地震，隔年 2000 年 8 月 27 日高屏大橋突然發生斷橋意外事件。基於橋梁擔任交通系統中重要樞紐角色，行政院公共工程委員會乃成立「橋梁安全政策白皮書專案小組」以「從國家永續發展與橋梁生命週期考量，建構安全、便利與防災之新

世紀橋梁安全管理體制」為政策目標，研提「橋梁安全政策白皮書」<sup>[13]</sup>。主要政策如次，建請相關單位持續落實，才能確保國人免於交通災害之恐懼，提供高品質之交通設施。

1. 加強橋梁災害之防救應變能力：訂定有效且靈活之橋梁災害應變計畫，制訂橋梁失敗事件之鑑定、報告制度，確實編列橋梁災害防救經費，以建立制度化之橋梁救災體系。
2. 限期完成危險橋梁之修復與耐震補強：橋基裸露危險橋梁之補強與防治，震災受損橋梁之修復補工作
3. 廣籌橋梁養護與補強加固經費：因應老舊橋梁日增，安全維護工作日益繁重，政府應逐年調整增編橋梁維護之經費；以建立橋梁維護基金，新建橋梁則應於興建時提撥適當比率經費存入基金，專用於橋梁管理維護；定期完成之全國橋梁耐震補強工作，可循專案籌資方式辦理。
4. 科技研發推廣與人才培育：考量本土因素特性，積極規劃發展橋梁安全保護技術、橋梁延壽之相關研究；並培訓人才，推廣橋梁安全保護技術。
5. 橋梁災害之應變策略：鑑於 921 集集地震之經驗，大規模災變之搶救，首要即在確保救援運輸之暢通，橋梁乃維生動線之關鍵，卻又有其易致災之特性，因此，為避免二次災害並恢復緊急之供輸，災中之快速勘查、檢測、補強及搶通至為重要，進而儘速完成永久復建，以恢復災區之經濟活力及正常生活。災後應變或重建經驗的累積，回饋反省至設計、施工與管理，是橋梁災害防救的最佳策略。

## 結語

隨著經濟的快速成長，人員交流及物資運輸愈趨頻繁，民眾對橋梁交通生命線之依賴更甚已往，儘管現代科技不斷開發與進步，然而對於天然災害仍無法有效掌握，天災的發生對於人民的身家安全及產業經濟發展，都將造成極大的傷害與影響。此次 918 花東地震，造成多座鐵、公路橋梁崩塌或嚴重損壞的災情，目前仍然交通中斷或受到嚴重影響。由於震害橋梁都是居民維生的交通要道，應迅速重建或修復補強，儘早恢復交通的順暢，是對創傷的災區人民最大的幫助。本文所提出的橋梁震害之處理原則及修復建

議等，希望對災後重建有所助益。

此外，從國內外之地震勘災經驗中可以發現，多種天然災害若是接連發生，將會相互影響而產生「連鎖性、複合型」的重大災害，此種不同自然災害的交互效應，已成為橋梁致災的主因。身處全球天災害風險最高的台灣，工程建設所面臨「地震+氣候變遷（豪雨）」的交互影響，承受極大的「連鎖性、複合型」災害風險。因其災害威力常常超出所有的防禦設施及防災對策的極限，而嚴重影響橋梁的安全。因此，如何增強橋梁的抗震韌性、提高橋梁之危機耐性，以減小地震伴隨現象之災害風險，是今後橋梁地震防災必須面對的重大課題<sup>[14-16]</sup>。

## 參考文獻

1. 中華顧問工程司，921 集集大地震專輯，1999 年 12 月。
2. 張國鎮等，九二一集集大地震全面刊災報告 - 橋梁震害調查，國家地震工程研究中心，報告 NCREE-99-055，1999 年。
3. 中央氣象局，地震觀測網震度分布圖，<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-tw/earthquake/shakemap>，2022 年。
4. 張荻薇，日本阪神地震受損橋梁之復舊對策，中國土木水利工程學會，1995 年年會論文集。
5. 張荻薇，災後橋梁之震害診斷與處理對策，橋梁設計與耐震補強研討會，台灣營建研究院，1999 年 12 月。
6. 王焯烈、林曜滄、張英發、林正偉、蔡欣仰，橋梁之震後快速安全檢測之作法與省思，中華技術 第 111 期，第 70-85 頁，2016 年 7 月。
7. 行政院公共工程委員會，防範施工中預鑄預力 I 型梁吊放後翻落風險之作業指引，2022 年 5 月。
8. 張荻薇、張國鎮、宋裕祺、蔡孟豪，集集地震橋梁損害模式之分析探討，結構工程第十四卷第三期，1999 年 9 月。
9. 張荻薇、曾榮川、黃炳勳，集集地震十週年檢視台灣在橋梁震害防治之作為，結構工程第二十四卷第三期，2009 年 9 月。
10. 日本建設省，兵庫縣南部地震受害道路橋復舊辦法，1995 年 2 月。
11. 張荻薇，日本阪神震災後橋梁之復舊及耐震補強，由阪神地震探討國內橋梁耐震工程之發展方向研討會論文集，台灣營建研究中心，1996 年 9 月。
12. 張荻薇、宋裕祺、曾榮川，日本阪神大地震後橋梁之耐震設計，結構工程第十一卷第二期，1996 年 7 月。
13. 行政院公共工程委員會，橋梁安全政策白皮書，2001 年。
14. 張荻薇，天災難料—唯有從巨災中學習—防災思維與防災戰略，日本熊本地震勘災考察說明會，國家地震工程研究中心，2017 年 3 月。
15. 張荻薇、曾榮川、黃炳勳、蘇彥彰，橋梁防災之新觀念 - 東日本 311 大地震之回顧與省思，中華技術 第 111 期，2016 年 7 月。
16. 張荻薇，天災環境下—防災意識的覺醒與防災新思維，土木水利第四十四卷第二期，2017 年。

