國家地震工程研究中心

簡　訊

2018.3　第一〇五期

發行人：黃世建

本期主編：楊承道、林祺皓

發行所：財團法人國家實驗研究院

國家地震工程研究中心

地址：台北市辛亥路三段 200 號

電話：(02) 6630-0888

傳真：(02) 6630-0858

網址：http://www.ncree.org.tw

107 年 3 月出版

81 年 3 月創刊・季刊

目 錄

- **專題報導：**

  震災損失評估技術近期與未來發展

  自來水系統震損評估模式之近期發展　1

  自來水管線地震風險評估與耐震補強優選排序　3

  醫院緊急供電系統震後故障機率之研究　4

  路網震後阻斷衝擊評估技術回顧與發展規劃　5

  台灣地震災情彙集行動裝置軟體之研發　6

- **現地實驗**

  公路橋梁車輛載重現地試驗　7

- **中心活動**

  韓國教育部參訪校舍耐震能力提升計畫　8

- **特別報導**

  第十一屆國研院傑出科技貢獻獎技術發展類-全光纖式橋梁安全監測系統　9

  行政院傑出科技貢獻獎挫屈束制支撐技術研發與應用　9

- **勘災報告**

  0206 花蓮地震勘災報告　10

- **研討會**

  2016 紐西蘭 Kaikoura 地震勘災經驗座談會　12

專題報導　《震災損失評估技術近期與未來發展之一》

自來水系統震損評估模式之近期發展

台灣位於板塊交界處，有多條已知的活動斷層，屬地震頻繁地區。一旦鄰近都會區的活動斷層破裂而引致大規模地震時，極可能在短時間內造成大範圍、數量龐大的建築物、橋梁和維生線系統損害，乃至人命傷亡，不可不審慎因應。為提供便利的民生和工業用水，自來水系統散布於廣泛地區，尤其人口稠密的都會區更是密布送/配水管網和設施。一旦強震發生時，受強烈地震動或土層破壞影響，無論是導水、淨水、儲水或送/配水設施，均可能損害而喪失原有功能，造成局部地區無法獲得生活所需的基本用水，甚至引致嚴重社會不安與巨額經濟損失。由於地震具高度不確定性，目前尚無法準確預測或阻止地震發生，較有效、可行的減災和風險管理手段之一，乃透過想定地震事件之情境模擬，研析震後各種可能的情境，包含導/送/配水管線，以及淨水場、配水池等重要設施的可能損害程度、數量和分布，在震前即作好減災整備並擬妥完善的震後應變措施。

一、Twater 發展歷程簡介

完善的震災境況模擬技術包含收集各項地震災害潛勢和風險暴露之空間分布與耐震屬性、研發合理的震損評估模式與校正參數值，以及開發整合地理資訊系統的應用軟體。為瞭解台灣地區自來水系統之重要設施、導/送/配水管線分布及其耐震易損性等，需與自來水系統的營運與管理單位密切合作，並逐步收集建置各項設施和地下管線圖資、耐震屬性和歷史災情資料等。Twater (TELES for Potable Water System)的研發歷程與執行經濟部水利署、臺北自來水事業處(簡稱北水處)、台灣自來水公司(簡稱台水公司)之委託研究計畫息息相關。Twater 除結合既有之台灣地震損失評估系統(TELES)的地震災害潛勢分析模組外，也針對自來水事業單位之震前整備、震時應變和震後復原的需求，分年分期收集自來水系統的淨水場、配水池、加壓站、水管橋等重要設施的耐震屬性資料，以及導/送/配水管線圖資；也探討各項設施及導/送/配水管線的震損評估模式與參數值，逐步強化其震後服務效能的分析能力。目前已完成台灣地區所有送/配水管線的圖資收集，以及北水處、台水公司部分區管理處之淨水場、配水池、加壓站和水管橋的空間分布和耐震屬性資料。

結合自來水系統的震災境況模擬功能，已建置地震早期損失評估所需的損失模擬資料庫，包含導/送/配水管線損害數量、各項重要設施之暴險程度與數量等資訊。為即時提供災損評估結果，供震前整備或震時應變人員參考，也建置具網路地理資訊系統(Web-GIS)功能的資訊網站、開發行動裝置 APP 等雲端通報服務。在收到中央氣象局地震報告電子郵件後，自動啟動地震早期損失評估；在兩分鐘內完成評估並以簡訊、電子郵件或智慧型手機 APP 訊息推播等方式主動通知應變人員，作為研判災情和啟動應變機制的參考資訊。該雲端服務在民國 105 年高雄美濃地震後，立即協助標定台南為重災區，加速啟動應變作業，成效良好。

二、自來水系統震損評估模式概述

自來水系統乃由取水、貯水、導水、淨水、送水和配水等各種設施與管線所組成，數量龐大、分布廣泛且耐震性能差異極大；其中重要設施，如淨水場、配水池、加壓站和水管橋等，其耐震性能對於震後供水能力有重大影響。為推估這些設施在不同地震事件下的可能損害狀態，除進行所在地之地震災害潛勢分析外，常以耐震易損性曲線並賦以合理參數值的評估模式推估之。導/送/配水管線由於管材、口徑、管齡、接頭型式和埋設工法等各有不同，且分布廣泛呈網絡或樹枝狀，個別管線確切的耐震性能和在震後的損害程度難以清楚釐清；一般以管線災損率(RR)經驗式描述之。管線災損率定義為單位長度管線可能發生的損害或修理件數。管線災損率可表為地震動強度參數或地表變形量的函數，其值越小表示管線的耐震性能越佳；反之，則管線的耐震性能較差。在以往的研究中已針對九二一地震時管線資料完整性較高之PVCP(RR)管線進行災損率迴歸分析，分別得到地震動和地表變形量之管線災損率 RR_{PGA} 、 RR_{PGD} 的經驗式，並依管材和管徑修正係數進行個別管線的災損率推估。

震後供水系統或供水評估單元之淨水場能否正常出水，用水戶能否獲得生活必需的用水量，受以下四項因素及其隨時間變化的影響：

1. 原水管道(含管線、隧道和渠道)之導水能力：淨水場的出水能力有賴水源持續供給足夠的原水。以九二一地震為例，因石岡壩、南幹渠引水隧道嚴重毀損，豐原淨水場於震後初期無法由石岡壩經南幹渠引水隧道供水；俟八寶圳緊急臨時引水完成後，豐原淨水場才得以恢復部分出水。
2. 淨水場的出水能力：淨水場的出水能力與場內淨水設施的震損程度有密切關係。以九二一地震為例，因緊鄰破裂的車籠埔斷層，豐原第一淨水場嚴重毀損、豐原第二淨水場部分毀損；即使距破裂斷層稍遠的鯉魚潭淨水場，其取水口與淨水設備也有些微損害，導致地震初期台中區供水系統幾乎全面停水。連帶地，受其支援配水的地區(如清水、大雅與烏日)即使沒有管線損害，也因無法獲得足夠的配水量而缺水。再者，部分仰賴抽取地下水作為水源的淨水場，如抽水設備損害或停電也無法正常出水。
3. 淨水場至送/配水管網間的送水幹管輸水能力：為獲得合理震損評估結果，在大型供水系統內(如台中區、台南區、高雄區等供水系統)可進一步劃分為數個供水評估單元。部分供水評估單元鄰近淨水場，可較方便地獲得清水的供應；但部分供水評估單元離淨水場較遠，需透過大口徑的送水幹管，將外部淨水場所產製的清水輸送到配水池、加壓站或送/配水管網等。同樣以九二一地震為例，一江水管橋因跨越斷層而毀損，仰賴其送水的區域(或供水評估單元)即無法獲得足夠的配水量。在小型供水系統中，如其淨水場的出水能力已可滿足內部用水需求，亦即出水量大於或等於配水量時，則震後毋須考慮外部淨水場經送水幹管之輸水能力的影響。
4. 送/配水管網的供水能力：因強烈地震動或土層破壞，鄰近震源的送/配水管網在震後可能發生斷裂或滲漏等現象，一方面流失部分水量，另一方面可能導致管內水壓不夠，造成局部地勢較高或管線末端的用戶在震後無水可用。換言之，即使淨水場和送水幹管在震後沒有損害，也無法完全避免因送/配水管網損害所導致的缺水情況。事實上，在平常營運狀態下，少數隱藏的送/配水管線即有滲漏現象，導致配水量與實際到用戶家中的售水量有差異；在震後則因送/配水管網的災損而導致更嚴重的流失率。

三、地震早期損失評估雲端通報服務

自來水系統地震早期損失評估(TwaterESLE)之雲端通報服務包含「資訊網」、「智慧型裝置 APP」、簡訊與電子郵件等通報服務。當震後收到中央氣象局的地震速報電子郵件後，在伺服器上持續待命的地震早期損失評估系統會自動啟動，由震前已建置的損失模擬資料庫中，篩選數個震源特性與最大地表加速度(PGA)分布型態最相符的模擬地震事件，作為最可能震損評估結果的參考依據。

一旦震後獲得早期災情評估結果後，除自動發送客製化的簡訊和電子郵件給應變人員外，也透過智慧型裝置(如手機、平板等)的推播功能，主動將摘要災情評估結果傳送至已安裝 TwaterESLE APP 的智慧型裝置。其次，地震早期損失評估系統所推估的各項災情評估結果，也自動匯入 TwaterESLE 之資訊網和 APP 的伺服器資料庫中。因此，當應變人員於收到簡訊、電子郵件或訊息推播所傳遞的摘要災情評估資訊後，如欲再深入了解可能的災情數量和分布的主題圖、統計圖表，或查詢可能重災區附近的交通、關鍵設施等資訊時，可再透過 TwaterESLE 資訊網或 APP 檢視更詳細的早期損失評估結果。藉由資訊網所提供之分析功能或套疊其它輔助圖資，可進一步研判可能的震源機制、災情數量與分布，或協助擬訂應變計畫。

四、小結

為提升自來水系統之震災境況模擬結果的可信度和參考價值，強化自來水營運管理單位在地震防災、應變與風險管控的效能，國震中心持續研發並更新 Twater 整合應用軟體，也持續提供自來水系統地震早期損失評估雲端通報服務。完整的自來水系統受地震災害衝擊之情境模擬結果，包含原水管道損害、淨水場出水能力、送水幹管和送/配水管網災損數量和輸水能力、震後缺水率與停水戶數，以及修復所需時間、人力與經費、停/限水時間…等。震災境況模擬結果已可作為震前防災整備和震後應變調度的參考數據；未來若整合水理分析技術，可進一步釐清各項設施與導/送/配水管線間的依存關係，提供更精確之量化災損與資源需求的數據，供地震防災與應變參考。

研究員兼組長 葉錦勳、研究員 劉季宇
助理研究員 洪祥瑗、副技術師 陳志欣

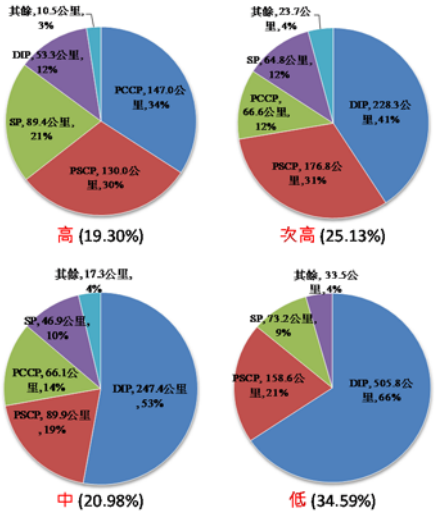
自來水管線地震風險評估與耐震補強優選排序

台灣位處環太平洋地震帶，自來水系統遍佈各地，原水由水源經導水幹管送往淨水場，之後清水經輸水幹管送至各地配水池，再透過配水管網送至自來水用戶。途中無可避免地會經過地震災害高潛勢區；地震時任何一條幹管發生損害，均可能造成大範圍地區、長時間的停水。因此，有必要針對位於地震災害高潛勢區、耐震能力有疑慮的管線，進行系統性的耐震評估、補強，提升自來水系統的抗災能力。本研究即與台灣自來水公司合作，就口徑800mm 以上自來水管線進行地震風險評估與補強排序。

一、評估方法與管線資料

本研究以地震災害潛勢、管線易損性兩方面考量風險。災害潛勢方面，考慮地震動、活動斷層及其活動性、土壤液化、坡地災害潛勢等，研擬對於管線的災害潛勢代表值，並按照高低分別給予序分，最後再以合理的權重，將之加總成為單一的管線評估單元的災害指標。易損性方面，則考慮不同的管材(接頭)型式與口徑大小的耐震性能差別，研擬管線的量化的易損性指標。

本研究之標的管線，總長約 2,229.3 公里，長短不一。經重新整理，將之劃分為 1,687 筆管線評估單元，並根據供水量多寡、有無備援管等因素，將之進一步區分為高、次高、中、低等四種不同重要性，個別長度與管材種類占比如**圖一**所示。



圖一 不同重要性標的管線之長度與管材種類占比

標的管線中，高重要性管線包含鋼襯預力混凝土管(PCCP；147.0 公里，34%)、預力混凝土管(PSCP；130.0 公里，30%)、鋼襯預力混凝土管(SP；89.4 公里，21%)以及延性鑄鐵管(DIP；53.3 公里，12%)等。其中，混凝土材質的 PCCP 與 PSCP 合計占 64%，為早年大量埋設之大型導、輸水幹管，屬於脆性管材，耐震性能堪慮，國內自來水管線耐震問題之嚴峻可見一斑。

二、評估結果與耐震補強建議

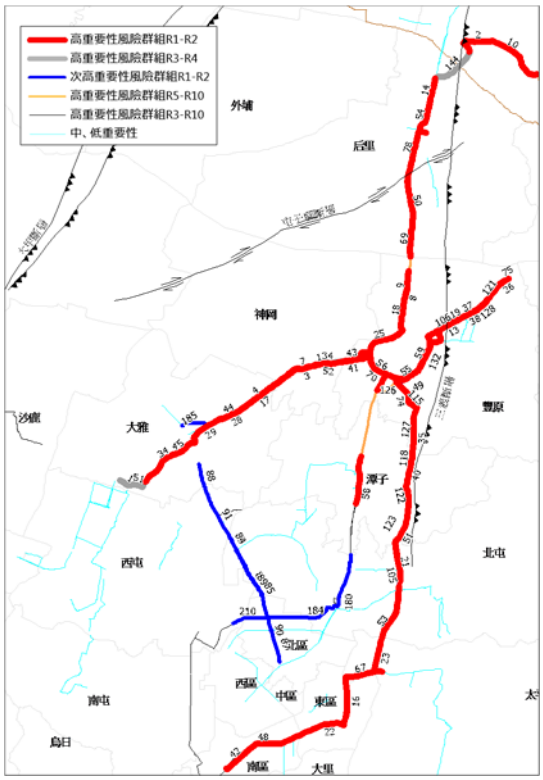
管線評估單元的量化的地震風險，可定義為正規化災害指標與正規化易損性指標之乘積。如此，根據地震風險值大小排列，所有單元可依序再分為 R1(最高)、R2(次高)、…等十個風險群組，各自包含不同數量的高、次高、中、低重要性的管線評估單元。

實施自來水管線耐震補強，有其時間與成本之考量，必須以有限經費，達到自來水系統耐震改善效益最大化之目標。因此，根據以上分析，本研究建議三個需耐震補強群組：

1. 第一優先群組：高重要性管線中，風險群組為 R1、R2 之管線評估單元，數量分別為 29、53 筆；
2. 第二優先群組：次高重要性管線中風險群組為 R1，以及高重要性管線中風險群組為 R3 之管線評估單元，數量分別為 51、46 筆；
3. 第三優先群組：次高重要性管線中風險群組為 R2，以及高重要性管線中風險群組為 R4 之管線評估單元，數量分別為 33、20 筆。

以上合計 232 筆管線評估單元，按優先順序予以編號。台灣自來水公司未來實施管線耐震補強時，將參考以上之建議進行，並視預算與時間等因素，分年分期酌量進行。

由於各地區水源位置、供水系統特性、地震災害潛勢各有不同，因此台灣自來水公司各區處需要補強的單元數目差異很大，其中又以第四區數量最多，達 74 筆，分布如**圖二**所示。



圖二 台灣自來水公司第四區之建議補強管線分布
(數字為管線評估單元優先順序編號)

研究員 劉季宇
組長 葉錦勳
助理研究員 黃李暉、洪祥瑗

醫院緊急供電系統震後故障機率之研究

急救責任醫院在地震救災中擔負了安置受傷病患、實施急救的重要作用，因此災區急救責任醫院的耐震能力是其能否發揮抗災救護功效的保證。過往的多起地震，如美國 1971 年 San Fernando 地震、1994 年北嶺地震、日本 1995 阪神地震、台灣 1999 年集集地震等，均記錄了急救醫院因地震使得非結構的功能性設備物與系統嚴重損壞，而無法及時發揮緊急醫療能量。當災害發生時，在眾多醫院功能性設備系統中，提供電力來源的緊急供電系統是決定其他功能性設備、系統能否正常工作的關鍵。本研究是基於緊急供電系統中各重要設備物在耐震缺失(performance modification factor, PMF）下的易損性參數，結合 921 地震中受損的四間急救責任醫院的緊急供電系統邏輯樹圖，推估系統的震後故障機率，並與現場勘災比較來驗證評估法的合理性。

一、醫院緊急供電設備物的耐震易損性

緊急供電系統中，需考量的重要設備物有分電盤、發電機、蓄電池、柴油桶和冷卻水塔。為獲得這些設備物的耐震易損性參數，本研究參考了美國 MCEER 建立的設備物耐震評估表，依據設備物考量耐震缺失後的實際耐震分數，採用逆推法計算出綜合考量場址震區與耐震缺失因子的易損性參數(中值 x'_m 與標準差 β')，如下**表一**發電機為例。

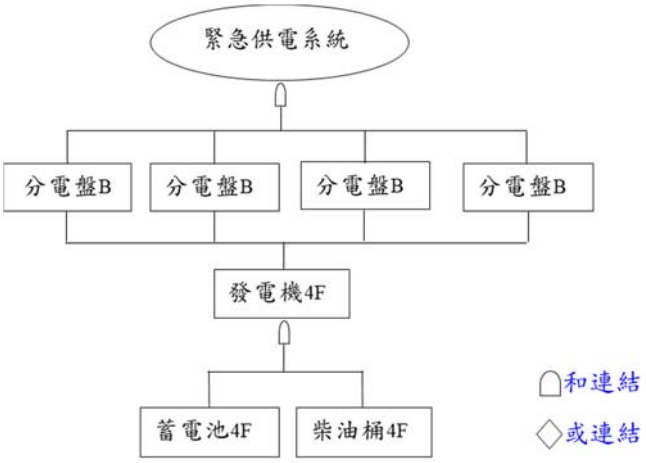
表一　發電機耐震易損性參數

發電機			x'_m	β'
安裝良好			2.0	0.4
耐震缺失	PMF1	無固定支座	0.78	0.5
	PMF2	支座固定不佳	0.91	0.5
	PMF3	存在避振隱患	0.91	0.5
	PMF4	剛性連接考量	0.58	0.5
	PMF5	啟動器與發電機間存在移位	0.58	0.5
	PMF6	地震動引起設備物間或同結構物間相互作用	0.91	0.5

二、醫院緊急供電系統的邏輯樹圖

緊急供電系統的邏輯樹圖是以圖形的方式，將系統中各重要設備物依據一定的組合和順序排列起來，以直觀地呈現設備物間的邏輯關係。在邏輯樹圖中，每個設備物用一個方框來表示，並分層排列，而位於最上層的系統用橢圓來表示。位於同一層的設備物藉由“或連結(or gate)”或是“和連結(and gate)”與上一層的設備物(系統)相連。

當為和連結鍵，表示連結鍵下方一層的所用的設備物均需正常運作，才能維持連結鍵的上一層設備或系統正常運作。當為或連結鍵時，表示連結鍵下方一層所用的設備物中，只需有一個設備物能正常運作，就能支持上一層的設備或系統正常運作。下**圖一**為 921 地震時南投某醫院的緊急供電系統邏輯樹圖。



圖一　921 地震時南投某醫院緊急供電系統邏輯樹圖

三、醫院緊急供電系統之地震故障機率評估

本文利用 921 地震中受損的四間醫院進行緊急供電系統的震後故障機率研析。**表二**為四家醫院場址 PGA。以此為地震動參數，可求得醫院緊急電源中各主要設備物的損害機率，進而推算各醫院緊急供電系統的地震故障機率。系統故障機率推估中，本研究綜合考量了設備物的實際受損情況和 MCEER 的耐震評分標準後，針對分電盤、冷卻水塔選取扣分最小的耐震缺失項來計算各別損壞機率，而其它設備物均以扣分最大的耐震缺失項，來計算設備物的損壞機率。

表二　921 地震中南投四家醫院場址 PGA

醫院	甲	乙	丙	丁
PGA (g)	0.28	0.45	0.45	0.67

四、小結

依據以上的分析方法，本研究推估這四家醫院緊急供電系統的故障機率(如**表三**)，結果顯示推估機率基本符合現場實際情況，從而驗證本文提出的功能性系統震後故障機率評估法。

表三　醫院緊急供電系統受損表

醫院	甲	乙	丙	丁
現場勘災	正常	故障	故障	故障
故障機率	34.3%	69.2%	83.8%	97.5%

助理研究員　林祺皓
副研究員　楊承道

路網震後阻斷衝擊評估技術回顧與發展規劃

道路網絡(以下簡稱路網)平時即為民眾日常生活與經濟活動之維生線，地震發生後更是對外聯繫、急難救援與物資運輸的重要通道。若因地震而造成損壞，將會嚴重影響日常生活與延遲救災活動之進行。由於台灣區域無法避免巨大地震之衝擊，故若在地震發生前，能預先考慮道路可能面臨的地震境況，有助於降低災後之影響層面與加速救災之應變作為。路網震後阻斷衝擊評估技術即是一種可協助於震前與震後，採行各種減災作為的決策參考工具。在震前防災規劃方面，能協助釐清道路關鍵組成元件的重要性排序與識別風險較高的道路設施，以協助訂定震後預警性封閉與巡檢原則、震後備援規劃與震前耐震補強計畫。在災後應變方面，對於救援避難路徑規劃、替代道路劃定與搶修作為上也可以提供參考。有鑑於此，本中心未來四年(107-110)擬研發適用台灣地區之路網震後阻斷衝擊評估工具。

一、國內外相關技術回顧

路網震後阻斷衝擊評估是一種需要完整掌握地區內地震特性、運輸需求、基礎設施與路網分布的評估技術。這個技術可以對地區內路網在想定地震境況下，可能面對的挑戰提供一個量化的數據作為震前與震後採行各種減災作為的決策參考。這項技術可以 REDARS2 (Risks from Earthquake DAmage to Roadway Systems) 為代表。REDARS2 是一套用於高速公路的震災風險分析工具。這個分析工具是由美國 FHWA 於 1993-2000 年間支持 MCEER 執行的地震研究計畫，所衍生出來的產物。REDARS2 主要由四個模組組成，請參考**圖一**。Hazards(地震潛勢)：推估地震引致的地表震動與永久變形。Component(基礎設施)：推估道路基礎設施，因震災引致的損壞程度、修復所需的時間與金額、與是否需要封閉或降低速限。System(交通損失)：用於評估區域路網內的總行車時間與行車距離是否因震後道路封閉而增加。Economic(經濟損失)：計算路網受震災衝擊後的總損失，包含直接的維修成本與間接的交通延遲損失。而目前國內可以本中心所發展的 T-HIGHWAY(公路橋梁系統)為代表。T-HIGHWAY 為 TELES(Taiwan Earthquake Loss Estimation System) 子系統之一。目前可用於評估台灣地區的高速公路與主要公路系統，功能上包含三個與 REDARS2 相同模組功能。T-HIGHWAY 在評估路網的震災損失時，是從工程的角度出發，以橋梁的震損風險與修復金額為基準來評估損失，並未納入道路若受損封閉所帶來路網旅行成本增加損失。

圖一 路網震損評估模式模組示意圖

二、計算交通需求衍生的損失

預定發展的新技術擬考量地區內的交通需求，計算整體路網於地震情境下部分路徑發生阻斷時的交通衝擊。與現有的技術相較，這個新技術擬將想定地震所造成的點狀災損，推衍為整體用路人(車輛)將面臨的延遲與繞道成本。若只考慮地震所造成的點狀的災損，例如計算有幾座橋梁損壞，需要多少修復時間與修復金額，無法反映出個別設施於震後阻斷可能帶來的衝擊。以大台北地區橫跨淡水河的眾多橋梁為例(如**圖二**)，若震後關渡橋與忠孝橋兩座橋梁因災損而封閉，僅以工程修復的金額做比較，就無法明確反映出忠孝橋於大台北地區的路網中扮演更重要的角色。

圖二 淡水河及其上的跨河橋

三、以大台北地區爲例-發展路網震後阻斷衝擊評估技術

未來四年規劃以台北都會區為例，針對道路系統震後衝擊評估模式進行研究。目的在於建立一套適用台灣地區路網於震災阻斷下的交通衝擊評估模式。先期以彙整台北都會區的數值路網、車流動態、重要跨河橋梁、避難所與醫院之容量等基礎資料為主要工作。中期發展跨河橋梁阻斷衝擊評估模式，主要工作內容為透過政府開放的車流資料分析台北都會區內重要跨河橋梁周邊日常運輸需求，並建立路網於橋梁震後阻斷情境下的衝擊評估模式。後期則探討跨河橋梁周邊替代路徑效益，以想定大規模地震情境模擬，識別台北都會區內高阻斷風險/高阻斷損失的設施(橋梁)與路徑，並探討評估周邊替代路徑與備援節點的備援能力。

副研究員 楊承道、助理研究員 林祺皓

台灣地震災情彙集行動裝置軟體之研發

一般而言，重大地震發生後，應變單位會依地震緊急應變標準作業程序，派遣勘災人員調查及彙整該地震所引致的災情。早期勘災人員需手抄災情於紙本上，再將之鍵入電腦歸檔。筆記型電腦問市後，勘災人員可攜帶之並隨時鍵入災情，勘災後再彙整記錄與災情相關照片。當更輕薄短小的行動裝置(Mobile Device)出現後，勘災人員除了可用來記錄災情外，亦可在電信業者的無線網路的支援下，上傳勘災內容。其中，由於行動裝置結合相機功能，勘災內容可直接連結行動裝置之快拍照片。更重要的是，行動裝置具備定位功能，勘災人員因此能及時確定災情發生位置。

於此，擬研發台灣地震災情彙集行動裝置軟體 Taiwan Earthquake Disaster Information Application(以下簡稱 TEDI APP)。透過 TEDI APP，勘災人員能快速定位、快拍照片、勾選勘災結果、以簡短的文字初步描述災情、最後上傳以上內容至伺服器集中管理。

一、研發成果

TEDI APP 已於 Android 平台下提供勘災服務，勘災人員於現地使用 TEDI APP 勘災，透過資料介接服務傳遞地震災情至雲端。其重點研發成果如下：

1. 整合手機定位功能：透過即時 GPS 定位獲取災損位置，並可透過 Google Map 展示及調整災損位置，輔助勘災人員判別其位置正確性。
2. 結合內政部地址定位資料庫：透過縣市或鄉鎮區之條件過濾，提供勘災人員以選單方式選取路名，減少路名輸入錯誤並加速勘災作業，如圖一所示。

圖一 勘災人員地址定位的選單

3. 動態勘災表單設計：將紙本勘災表單內容，透過既定之規則，轉換為電子資料庫型式。TEDI APP 依據各類勘災電子表單內容，於 APP 上將其動態產製對應之調查項目、選項、備註等輸入控制項，供使用者勾選及輸入。

圖二 動態勘災表單

4. 整合手機拍照與媒體功能：可直接拍攝災損照片或選取已存在之照片，附加於勘災記錄內。
5. 提供批次上傳功能：大規模地震發生後，通訊網路可能中斷，勘災人員可於無網路狀態下進行離線作業，於網路恢復後，利用批次上傳功能，將災損報告上傳至雲端。

圖三 批次上傳功能表單

二、結語

然而僅透過行動裝置，勘災人員恐無法有效率地進行文字編輯與其它較繁複的編輯操作。勘災人員仍需要電腦來編輯與補強 TEDI APP 所上傳的勘災內容。再者，不應限制勘災人員僅能透過行動裝置拍攝與上傳照片或影片。勘災人員仍需專業數位相機或攝影機攝錄災情細節，並能利用電腦或行動裝置上傳所得之照片或影片，使之能整合於相關勘災內容。

因此，後續將建置台灣地震災情彙集資訊網 Taiwan Earthquake Disaster Information System(以下簡稱 TEDI Web)，提供 TEDI APP 災情上傳、災情展示分析與網頁端編輯。其中，勘災人員可使用電腦或行動裝置進行網頁端編輯已上傳之災情資料。藉由 TEDI APP 及 TEDI Web 提供完善災情彙集服務，協助勘災人員進行災情調查、後業整理、災情研判等工作，可提昇其勘災效率。並期透過未來每次地震災情之彙集，成為國震中心勘災資料庫，供其他研究參考使用。

副技術師 陳世良

公路橋梁車輛載重現地試驗

橋梁車輛載重試驗是評估或檢驗現地橋梁實際之結構承載力最直接的方法，一般可分為靜態載重試驗及動態載重試驗兩種。靜態載重試驗，除了可實際瞭解橋梁結構受力行為，藉以判斷橋梁承載結構特性外，亦可檢驗橋梁結構安全性、驗證橋梁結構設計理論和計算方法，進而將所得之結果回饋於日後類似結構橋梁之設計與施工中，而動態載重試驗可測定橋梁結構的動力特性，例如橋梁結構之自然振動頻率、振態或阻尼特性等，此外也可針對載重車輛通行時對橋梁的動態衝擊效應進行瞭解。本中心近幾年承蒙交通部相關橋梁管養單位之委託，已成功執行數座橋梁車輛載重現地試驗研究工作，過程中累積了相當豐富的經驗與現地試驗資料，故本期特別以公路橋梁車輛載重現地試驗工作內容進行簡要的研究說明。

一、車輛載重試驗概述

針對老舊或受損橋梁進行車輛載重試驗，主要目的係推估現存橋梁之承載能力，並評估橋梁承載能力是否符合載重需求。而在新建完工階段橋梁執行載重試驗，其主要目的則在建立橋梁生命週期初始階段之結構量測資料，擬合橋梁分析參數以作為後續橋梁檢監測與維修之參考，並可回饋未來類似結構之橋梁設計工作，因此試驗車輛載重之配置，應配合試驗主要目的以及橋梁特性適當規劃。本文將針對已完工但尚屬通車前階段之新建橋梁車輛載重試驗項目進行說明，試驗規劃工作必須參考試驗橋梁相關設計資訊或圖說計算設計載重，由於新建橋梁載重試驗主要目的為建立初始橋梁結構之量測資料，因此試驗載重值建議無須達到原設計之滿載容量，惟應能檢核不同載重配置下，橋梁結構之彈性承載特性以滿足試驗目的，有關載重試驗配置組數需求以及車輛動線和作業流程規劃等，也必需配合試驗經費、進場作業時間與現地工況條件等限制予以實際考量。

車輛載重試驗必須採用已知重量之試驗車輛為測試載重單元，因此測試車輛進場試驗前，均須過磅予以紀錄實際之車輛載重，並依規劃之車輛數量和行車動線緩慢移動至試驗標定位置後，再進行各項試驗數據之量測。靜態車輛載重試驗主要量測橋面各測點之相對垂直撓度或橋梁線型變化，以及相關結構靜態參數變化如傾角或位移量等試驗資料。由於結構的承載能力和變形的行為與所加載重的時間特性有關，因此必須審慎選擇加載程序，以便正確了解結構的承載能力及其變形行為。為降低因測試車輛移動位置引致之動態效應，在試驗進行期間加載與時間的關係如加載速度的快慢、間歇的長短、荷載的大小和加卸載的次數等都需審慎規劃。加載和卸載需分次遞加和遞減，不宜一次完成，每分次荷載間亦須留有足夠的間隔時間。而動態車輛載重試驗，係在已知控制車流與車速下，在試驗橋梁車道上行駛試驗車輛，並於橋梁裝設振動訊號量測儀器設備，紀錄動態車輛載重行駛中之橋梁振動訊號，藉由橋梁不同位置測點之振動加速度，求取橋梁基本動力特性，包括基本振動頻率、代表性振態或阻尼等。

二、現地橋梁試驗案例

交通部公路總局西部濱海公路中區工程處為提升及確保西濱快速公路脊背橋橋梁之施工階段及完工後之結構工程品質，委託本中心依計畫擇定之橋梁，於施工階段進行各鋼纜索力及橋梁主梁高程之監測，並於通車前進行車輛載重試驗，通車後執行長期監測資料收集作業，以擷取相關資料回饋設計及施工，並有利日後之維護、檢修與管理工作。該計畫目標係以橋梁全生命週期之觀點，針對脊背橋此等特殊橋梁型式之施工階段、完工後及通車期間之結構表現，進行纜索索力及橋面線型監測資料紀錄，計畫監測成果除能提供橋梁設計規劃資料驗證參考，並輔助橋梁興建過程進一步提升和確保工程施工品質，同時於橋梁完工營運通車後，提供管養單位持續進行橋梁長期養護管理必要之參考資訊。

本文以王功至永興段新建工程(WH50-2 標)-跨後港溪脊背橋(以下簡稱 WH50-2 脊背橋)為車輛載重試驗案例進行扼要說明，透過車載試驗階段資料量測工作成果，將提供現地橋梁監測系統建立初始值與結構參數參考。WH50-2 脊背橋為一雙塔結構型式之脊背橋，橋梁跨徑配置為 70m+90m+70m，合計橋長為 230m，南塔和北塔之南北兩面各配置 6 根斜索鋼纜，合計 24 根鋼纜，橋梁結構全景如**圖一**。

圖一 WH50-2 脊背橋全景圖

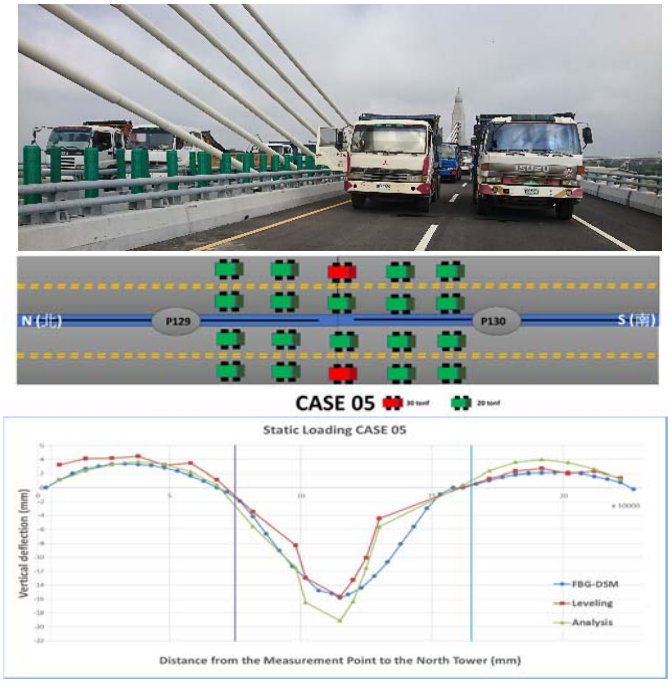
WH50-2 脊背橋橋面為南下北上均為雙車道之快速道路，依車道設計活載重進行試驗載重之規劃評估，單向之雙車道最多配置 10 台試驗載重車輛，並採 20 噸和 30 噸之試驗車輛作為基本測試載重車輛單元。載重測試車輛依規劃數量逐步配置加載，試驗時車輛緩慢移動至指定橋跨之加載位置，需靜待讓橋梁結構充分反應施加載重的效應後，再進行相關試驗紀錄數據之量測工作。本次橋梁試驗共規劃 12 組靜態載重配置及 7 組動態載重配置，透過相關試驗組之量測記錄可進行參照比對，確認車輛載重對於橋梁承載後高程線性變化之相關性。

靜態車輛載重施加後主要係檢驗橋面垂直撓度變化，同時配合計畫長期監測研究內容，應用建置之光纖式沉陷計進行精確量測，此外亦採用水準測量儀進行高程量測，驗證試驗之變位資料。動態載重施加後可透過分析得到結構動態特性，動態試驗量測紀錄擬採用攜帶型微振儀，並使用速度計感測結構物的振動反應，其可平放量測水平方向振動訊號或者直立量測垂直方向振動訊號，試驗採用之感測器及資料採集系統，均可收錄速度或加速度訊號。**圖二**為靜態載重試驗於中跨配置車輛之情形(Case05)，**圖三**為現地設置之試驗控制站及量測系統監測箱內之設備。**圖四**為載重試

驗車輛配置(Case05)及其資料量測成果，顯示光纖式沉陷計量測、水準高程量測及結構模型分析值之結果一致且趨勢合理。

圖二 WH50-2 脊背橋靜態車輛載重試驗情形(Case05)

圖三 現地試驗控制站(左)及量測系統設備(右)



圖四 載重試驗車輛配置(Case05)及量測成果

三、結論與探討

透過車輛載重現地試驗可實際瞭解橋梁結構受力行為，藉以判斷橋梁承載結構特性外和檢驗橋梁結構安全性，並可將得到之試驗成果回饋日後類似結構橋梁之設計與施工中。參考案例之試驗成果顯示橋梁具安全承載能力及符合規範使用性要求，相關試驗資料接續可回饋至結構分析模型建置設定及最佳化參數調校工作，搭配後續長期監測系統資料庫比對，對於擬定未來橋梁管養維護研究工作有重大助益。

本中心具備許多執行現地橋梁車輛載重試驗之豐富經驗，屢次展現中心對相關試驗的規劃、組織、動員與執行能力，特別感謝交通部公路總局相關橋梁管養維護單位之協助與支持，以及本中心橋梁組共同參與試驗之同仁。

副研究員 陳俊仲、助理技術師 江奇融
組長 宋裕祺、副研究員 李政寬、研究員 洪曉慧

中心活動

韓國教育部參訪校舍耐震能力提升計畫

2017 年 11 月 15 日下午 2 點 29 分，位於韓國慶尚北道浦項市，發生規模 5.4 級地震，激起韓國人民對防震的重視，鞭策韓國政府地震防災措施之步伐。有鑑於此，韓國教育部允科長（Yun, Seok-Hun）率領中央教育單位、各地方政府教育單位、國立大學、結構技師工會及教育設施防災協會等共 27 名專家學者，於 106 年 12 月 12 日至 12 月 14 日期間，展開為期三日的臺灣校舍耐震能力提升參訪行程，期望從中習得臺灣多年來執行老舊校舍耐震評估與補強之經驗，以推動韓國境內防災政策。

一、參訪團行程介紹

活動首日於國家地震工程研究中心（以下簡稱本中心）拉開序幕，由黃世建主任介紹臺灣老舊校舍耐震補強計畫之緣起、技術與行政支援之發展歷程以及執行現況等，除此之外，亦邀請教育部國民及學前教育署說明臺灣政府執行之策略，臺北市政府、苗栗縣政府代表分享其執行之經驗。藉由各方代表解說，使韓國代表團全面了解臺灣執行之策略。

除在本中心說明老舊校舍耐震評估與補強計畫相關事宜之外，本中心亦安排韓國代表團實地參訪完成耐震補強以及正在施工中之校舍。為使韓國代表團於校舍參訪前，熟悉各棟校舍執行之現況與耐震補強方式，本中心鍾立來副主任針對參訪校舍詳細說明其位處臺灣之方位、該棟校舍耐震評估與補強歷程、所花經費等，讓韓國代表團更融入補強校舍參訪過程。

二、結語

近年來，世界各地地震災害頻傳，幸而臺灣建築法規的精進與百姓對建築物耐震安全的重視，老舊校舍在中央政府、地方政府、學校老師與專業人員的努力之下，即將完成耐震安全目標。就防災角度來看，補強不僅保障師生生命財產安全，更可使一個國家不再畏懼天災降臨，提升未來發展潛力。

圖一 韓國參訪團與本中心相關人員合照

專案技術員 蔣佳憓、陳敬潔

特別報導

第十一屆國研院傑出科技貢獻獎

技術發展類--全光纖式橋梁安全監測系統

第十一屆國家實驗研究院傑出科技貢獻獎，國震中心推派「全光纖式橋梁安全監測系統」應用團隊，李政寬與李路生，參加院部技術發展類競逐獎項，獲得佳作獎，於 106 年 9 月 5 日，新竹儀科中心獲本院院長親自授獎。

「全光纖式橋梁安全監測系統」歷經國震中心多年研發，國內迄今已能自製感測器，隨時監測橋梁的關鍵性外觀變化，並替代傳統人力測繪作業。本系統有實力成為未來智慧型城市橋梁安全監測設備。這項技術目前已獲得台灣發明專利、大陸新型專利、日本發明專利、以及美國發明專利。

在過去數年，本技術已曾應用在國內重要的交通建設，重要案例：(1) 應用服務於台灣高鐵苗栗通霄路堤修復之即時監測作業(**圖一上**)、(2) 應用服務於台灣高鐵烏溪橋基礎改良之即時監測作業(**圖一下**)、(3) 台 86 線橋梁即時安全監測、(4) 北二高山崩事件，橋梁修復後車輛載重試驗、(5) 國道 1 號五楊高架橋大梁垂直變位監測。

圖一 全光纖式橋梁安全監測系統之高鐵應用案(2015、2016)

經歷多年橋梁現地工作經驗、儀器開發、軟硬體整合等過程，研究團隊終於完成一套經濟實用的橋梁監測系統。系統獲得了橋梁主管機關與工程師們的認同與採用，同時已技轉予國內廠商，未來將持續推廣應用於國內外橋梁工程。能獲得本院傑出科技貢獻佳作獎，實為對研究團隊的鼓勵。

副研究員 李政寬、技術師 李路生

行政院傑出科技貢獻獎

挫屈束制支撐技術研發與應用

由國家實驗研究院國家地震工程研究中心（國震中心）顧問蔡克銓教授帶領國震中心助理研究員吳安傑、莊明介及技術師王孔君所組成的研究團隊，以「挫屈束制支撐技術研發與應用」，榮獲「2017 年行政院傑出科技貢獻獎」。

蔡克銓教授曾於 2003 年至 2010 年擔任國研院國震中心主任，現為國震中心顧問、台灣大學土木工程系教授。蔡克銓教授長期投入減震技術及耐震工程的研發，與國震中心其他團隊成員共同研發「挫屈束制支撐技術」，以提升結構物之抗震能力，有效保護建築物或設備，大幅提高對生命財產之保障，並大量節省結構材料用量。吳安傑助理研究員主要負責協助試驗試體設計，整合與發表研發成果，專利申請、公開與籌辦相關研討會，執行與管理技術移轉授權，並提供業界在設計、製造及檢測上之專業諮詢。莊明介助理研究員主要提供模擬分析技術之開發與有限元素分析軟體之建置，並建立雲端斜撐設計之網路服務(Brace on Demand, BOD)以即時方式協助業界結構工程師進行快速正確之斜撐分析與設計等工作。王孔君技術師協助進行各式大型結構試驗，以驗證理論之發展。

「挫屈束制支撐技術」兼具高耐震性能、高接合穩定性、高消能容量、易施工性、高經濟效益與外觀多變性等特點，已獲得中華民國、美國、日本、中國、加拿大、義大利與韓國等七國發明專利，技術移轉至國內 15 間及紐西蘭 1 間大型鋼構廠，並已在國內外共 126 棟建築中應用，累計設計生產超過 16,000 組，權利金收入超過 7,000 萬元，創造市場產值保守估計超過 30 億元。

不同於其他同類型產品供應商將設計及製造技術列為商業秘密保護，由國震中心研發之「挫屈束制支撐技術」，包含構件細部設計、接合板規劃設計及構架耐震設計等，均以公開方式發表期刊論文，並將製造之關鍵材料及技術訂定標準製程，向授權單位及業界工程師詳細說明。期望透過嚴謹的技術移轉管理機制、產品隨機抽樣測試的品管程序，及國研院國震中心的商標授權，提升國內營建業在抗震工程領域之技術。藉此改變過去對進口產品推崇之迷思，降低進口需求，讓此本土技術能立足台灣，並藉由技術推廣至海外市場之策略，也能放眼世界。

圖一 行政院長賴清德與國震中心受獎團隊合影

技術師 王孔君

0206 花蓮地震勘災報告

根據交通部中央氣象局地震測報中心所公布的資料顯示，本次花蓮地震之主震發生於 2018 年 2 月 6 日 23 時 50 分 41.6 秒，芮氏地震規模為 M_L6.26，震央位於花蓮縣近海區域、東經 121.73 度、北緯 24.1 度的位置，震源深度為 6.31 公里，最大觀測震度為 7 級。

一、地振動特性

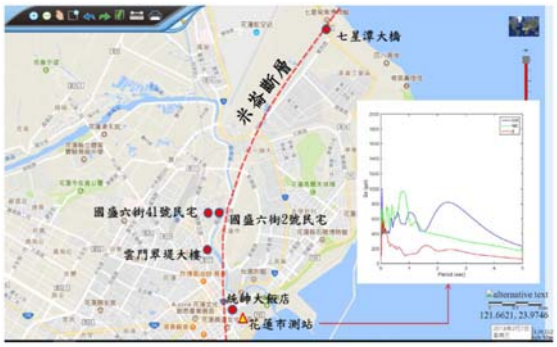
此次地震造成花蓮市區的部分民宅倒塌，有人員的傷亡，主要災情發生的地點皆位於米崙斷層的沿線，而在該斷層沿線的地質敏感區內也觀察到地表有顯著破裂與位移，因此部分學者推測此次地震與米崙斷層的活動有關。米崙斷層前一次活動的時間為 1951 年 10 月 22 日，當時同一天內發生連續兩起地震，其芮氏地震規模皆超過 7，若依此估算此斷層發生地震活動的再現周期僅有約 67 年。本次地震中鄰近米崙斷層的大部分測站皆觀察到具有近斷層效應的地震動歷時，也就是地表速度歷時具有單一頻率且具方向性的速度脈衝，其脈衝週期介於 1 秒至 5 秒之間，該脈衝會造成長周期反應譜的放大與韌性需求的增加。由於本次地震中部分測站觀測到的長周期反應譜值，高於現行耐震設計規範中 2500 年回歸期最大考量地震之設計反應譜值，因此未來有必要進一步探討米崙斷層活動性與近斷層效應對花蓮地區地震危害度分析結果的影響，以重新檢視現行耐震設計規範中對該區域設計反應譜的訂定。

二、民宅

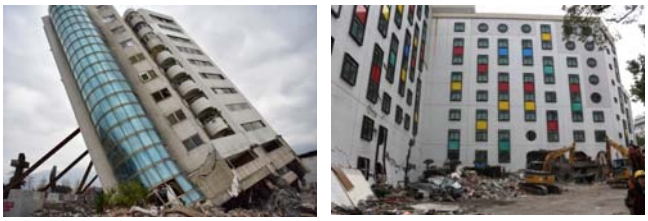
本次花蓮地震共造成 4 棟建築倒塌及 1 棟建築物嚴重毀損，倒塌之建築物共有白金雙星大樓、吾居吾宿大樓、雲門翠堤大樓及統帥大飯店；嚴重毀損之建物則為舊遠東百貨大樓。由**圖一**之倒塌建築分佈圖顯示，建築倒塌之位置皆位於米崙斷層附近。並且，此次地震倒塌建築，其樓高皆在 6 層樓以上，引起倒塌現象之共通點為軟弱底層。雲門翠堤大樓與統帥飯店倒塌(**圖二**)，分別造成 14 人與 1 人遇難，另兩人於民宅中遇難。

雲門翠堤大樓為 12 層樓高之建築，一樓至三樓為商業用途，為開放空間，牆量較少，可能使低矮樓層柱承受過大之軸力，產生軸力破壞，導致柱發生倒塌。勘災發現柱主筋有同位搭接之施工缺陷，亦有搭接長度不足之疑慮。除此之外，可由建築平面圖得知，該棟結構有平面不規則之特性，故是否引起扭轉效應，進而導致建築倒塌，則待後續研究調查，作深入之瞭解。

統帥飯店興建於 1978 年的老舊建築，該飯店為走廊無柱之懸臂式建築，並且該棟建築為飯店經營之商業用途，低矮樓層為大廳開放空間之用，故牆量較其他樓層少，軟弱底層特性明顯。低矮樓層柱承受之軸力較高，易產生軸力破壞，導致結構物倒塌。低矮樓層已發生柱軸力破壞，以致低矮樓層被壓毀。統帥大飯店之建築平面為 L 型，屬平面不規則結構，於地震力來臨時易發生扭轉效應，其外牆於側面與背面皆有相同方向之斜裂縫，因此該棟建築於花蓮地震發生時，應有產生結構扭轉之現象，但仍待後續研究確認。



圖一 災損建築與米崙斷層的相關位置圖



(a) (b)

圖二 (a)雲門翠堤大樓及(b)統帥大飯店倒塌情形

三、學校建築物

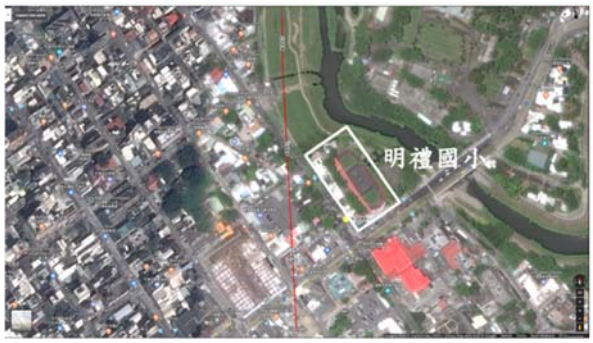
國震中心透過教育部校安中心提供之災情資訊後，隨即與國立成功大學建築系組成勘查小組，分別前往花蓮地區瞭解米崙斷層帶周邊學校之震損情形，包含結構體及非結構部分，總計共勘查 14 所國中小學校。

此次地震所幸未造成花蓮地區學校建築物發生嚴重之結構體損壞，主要原因為花蓮地區學校建築物之耐震評估或補強率已達 97%以上，其餘尚未解除列管者大多為已竣工但尚未完成驗收程序，並未出現結構體損壞情形。至於尚未完工者，因補強前之耐震強度需求比(CDR)較高，其受震表現佳，亦未出現結構體損壞情形，如**圖三**所示。然而，仍無法避免發生輕鋼架天花板受擠壓後掉落之現象，如**圖四**所示。**圖五**顯示米崙斷層與明禮國小之相對位置，斷層一旦錯動將造成該校建築物極大之傷害，所幸該校已於 2011 年完成學校建築物耐震補強，此次地震並未對結構體造成較大損壞，顯示耐震補強之推動確實有效。

圖三 壽豐國小西側教室擴柱補強後無震損

(照片來源：杜怡萱教授提供)

圖四 北埔國小體育館輕鋼架天花板損壞
（照片來源：姚昭智教授提供）



圖五 明禮國小與米崙斷層之位置圖（紅線為米崙斷層）

四、隔震建築物

位於花蓮市的慈濟醫院，對於醫療資源較為缺乏的台灣東部地區，扮演了極為重要的角色。其中，以急診及外科用途為主的合心樓，為地下一層地上十層之鋼骨鋼筋混凝土(Steel Reinforced Concrete, SRC)隔震結構。隔震設計採基礎隔震型式，隔震層(或隔震系統)位於地下一層下方，隔震器採用鉛心橡膠支承墊(Lead Rubber Bearing, LRB)。合心樓震後勘災結果顯示，其隔震上部主體結構外觀無明顯損傷或裂縫，僅周邊植栽或鋪木棧道，因隔震設計發揮作用，產生隔震位移碰撞導致傾斜或微幅受損。

花蓮市慈濟醫院為國內少數裝設有強震儀，以記錄地震下結構物反應之公有建築。其中合心樓裝設有 26 組加速度計與 4 組位移計，若以隔震層下方樓板加速度紀錄值作為結構物之輸入加速度，可觀察到長向的加速度峰值較短向為高，其分別為 266gal 與 139gal(**表一**)。上部結構長向隔震後之樓層加速度至多可折減為輸入加速度峰值的 67%，頂層則稍有放大現象，但均小於輸入加速度峰值；短向不論於何樓層，雖與輸入加速度峰值接近，但不若傳統耐震結構的顯著放大。故隔震系統於長、短兩向均有發揮隔震效益，且以長向最為顯著。隔震層所安裝之 4 組的位移計，皆因碰撞而導致變形受損，無法提供精確的量測結果，僅能藉由周邊植栽因產生隔震位移受推擠的移動程度研判，長向與短向之最大位移分別約為 30 公分與 22 公分。

綜合而言，本隔震建築於此次地震中發揮了預期之隔震效益，有效保護建築物內的重要資產與生命安全。然而，仍觀察到隔震縫之適應(或餘裕)設計有欠周詳之處，以及因使用者不當使用隔震位移作動範圍，而導致一些非結構元件的破壞。這些破壞雖不至於顯著影響預期之隔震性能，但在未來隔震設計與應用中，必須格外注意這些因應隔震設計的細節，以避免每次大地震後均需進行繁瑣的修繕工作。同時，亦建議將隔震層之位移量測方式，由接觸式位移計更改為拉線式位移計，並採用更專業的設計，以避免未來再次發生因碰撞導致測計損壞而無法量測之憾事。

表一 各樓層最大加速度值比較

	最大加速度（*gal*）			最大加速度/基礎最大加速度（%）		
	長向	短向	垂直	長向	短向	垂直
B2	266	139	152			
B1	181	124	181	68	89	119
4	178	139		67	100	
5	182	136		68	98	
11	209	131	279	79	94	184

五、非結構物

本次地震非結構震害勘查團隊，包括國震中心與成功大學建築系人員，於 2 月 8 日至 2 月 9 日完成中小學校舍、醫院、航空站與港務大樓等建築之附屬非結構物震害狀況勘查。建築附屬非結構物災損依影響性分述如下：

1. 生命安全：潔西艾美大樓施工塔吊倒塌、美崙飯店與舊遠百等大樓外牆磁磚掉落、校舍與醫院病房內等瘦高型櫥櫃傾倒、航空站與醫院等各建築天花板材受損掉落，易傷及建築內部使用者或鄰近人員；
2. 經濟損失：校舍昂貴器材震害，包括教育網路中心機房之電腦設備、中華國小樂器受損，造成縣政府與校方經濟損失；
3. 機能運作：教育網路中心因 UPS、主機、伺服器等設備受損導致系統停止服務、醫院因大量病歷架傾倒(圖六)導致病歷管理系統混亂、航空站與醫院局部區域淹水(消防管線與空調系統管線破損)致使震後數日局部區域禁行而需維修、多處校舍供水系統因水塔受損(**圖六**)而停擺。

基於震害勘查結果可知，花蓮供公眾使用建築之非結構物耐震性能仍有待提升，以降低對於人員安全、財損與建築機能等影響。本中心將持續推廣非結構耐震概念，並協助落實建築物耐震設計規範於非結構構件耐震設計相關規定。此外，針對施工中塔吊倒塌乙案，建議強化規範對於「施工中地震之考慮」規定，以提升供公眾使用建築與公共空間之非結構耐震性能。

圖六 醫院病歷架與校舍水塔傾倒

六、橋梁

花蓮地震後之橋梁勘災作業，計有鄰近嶺頂斷層(第二類活動斷層)之花蓮大橋，以及鄰近米崙斷層(第一類活動斷層)之七星潭大橋、十六股大道鋼拱橋、農兵橋、花蓮市三號橋、尚志橋及中

正橋等七座橋梁(**圖七**)，橋梁災害調查小組以手持式光達（LIDAR）、高空影像擷取系統及數位拍攝方式執行橋梁損傷完整勘查紀錄。災害調查工作資料收集，除可供為橋梁修復建議方案擬定或現地安全試驗規劃時之參考依據，更希冀對於橋梁震害因應對策及橋梁耐震能力研究等產官學研之防救災工作有所助益。

圖七 橋梁分布圖與災損情形

七、花蓮港港區

根據 2 月 7 日國震中心大地團隊第一次地工震災勘查結果，本次地震造成花蓮港港區災損情況發生，其中在 19 號至 22 號碼頭區域，碼頭後線局部輕微凹陷，沉箱與後線高差約 10 公分；在 23 號及 24 號碼頭一帶，沉箱與後線背填接合處有明顯龜裂，後線區域產生大範圍沉陷，與碼頭沉箱之高低差約有 20 至 30 公分不等；25 號碼頭沉箱間受震產生間隙，約有 8 至 15 公分，碼頭面有局部龜裂及坑洞，25 號碼頭後線背填接合處有明顯龜裂，陷落差約 30 公分；西防波堤堤體與背填接界處易有高低差，混凝土面版(106 年完工)有隆起破裂，部分道路面板下可觀察連續液化噴砂孔，路面也可看見砂石從面板裂隙噴出之液化表徵。

圖八 花蓮港#23 至#25 碼頭震損及鄰近西防坡堤之液化災害

參與勘災及報告彙整人員

郭俊翔、李翼安、沈文成、楊卓諺

林凡茹、陳俊仲、許尚逸、林瑞良

研討會

2016 紐西蘭 Kaikoura 地震勘災經驗座談會

2016 年 11 月 14 日當地時間凌晨 0 時 2 分，Kaikoura 地震發生於紐西蘭南島中部，震央位於 Culverden 東北約 15 公里和 Kaikoura 西南 60 公里處，深度為 15 公里，地震矩規模為 7.8。這起地震，是 2009 年 7 月 15 日的紐西蘭南島西南近岸地震後，另一個震矩規模到達 7.8 的地震。它的震源特性相當複雜，共多達 21 條斷層在地震時錯動，而地震後北島威靈頓地區出現多處建物損害，Kaikoura 地區則出現多處地表斷裂、地滑、堰塞湖等大地工程災害。本次勘災行程亦造訪 2011 年基督城地震中，發生大規模土壤液化現象之基督城，調查老舊建物之補強與災後重建現況。此次勘災由國震中心指派大地組組長帶著四個不同領域之研究員，於 2017 年 4 月 5 日至 4 月 15 日間，實地走訪各災區，記錄災區震損及復舊情況，並藉由 UAV 進行空拍勘災，收穫良多。

為將所見之震災與復舊情況，與國內產、官、學界專家、學者分享、傳承，國震中心勘災團隊特將 Kaikoura 地震及勘災過程整理為《2016 紐西蘭 Kaikoura 地震勘災成果報告》，並在 2018 年 1 月 22 日於國震中心 101 會議室舉辦勘災經驗座談會，由黃俊鴻組長、郭俊翔博士、林義凱先生、盧志杰博士和王仁佐博士進行經驗分享。

黃俊鴻組長主講「勘災行程與特色」，此次勘災行程中特別感謝 Bo-Yao Lee, Kelvin Berryman, Gill Jolly, Jan Kupec, Andrew B. Smith 等當地專家的協助，使得本勘災團隊能夠順利完成作業，並帶回許多寶貴資料與經驗。本次勘災中，首次搭乘小飛機進行大面積的高空觀察，藉此能從良好角度觀察到數個堰塞湖、山崩地滑、斷層錯動及大幅抬升的海岸平台等。郭俊翔博士主講「震源與強震特性」，Kaikoura 地震的斷層破裂皆在南島，共有 3 個強震站觀測到超過 1g 的 PGA，但由於其震源破裂特性加上區域場址效應，造成北島威靈頓市嚴重的建物與碼頭災損；南島 Kaikoura 附近地區，由野外現地調查與各種資料分析顯示共有 21 條斷層於地震中先後錯動，有數個測站觀測到明顯的速度脈衝訊號。林義凱先生主講「地質與斷層特性」，本次地震的斷層系統向南島東部外海連結太平洋板塊與澳洲板塊之間的隱沒帶，而南島東北部原本就存在許多分支斷層，本次地震即為已知斷層和數個新發現斷層的同時錯動所造成。盧志杰博士主講「山崩與堰塞湖」，此地震造成山體破壞滑落，因此造成許多堰塞湖，且震後土石鬆動，強震區在震後的 40 年都必須留意山崩與地滑頻繁發生的現象。王仁佐博士主講「歷史建築物」，本次由王博士攜帶 UAV 至紐西蘭進行空拍，獲得許多寶貴的影像記錄；並對 Kaikoura 地區及基督城內各種建築災損特性進行詳細之記錄，也特別對當地歷史建物震後之補強技術進行考察，經驗可供國內借鏡。

研究員 郭俊翔