

震災風險評估與管理平台

Platform of Seismic Risk Assessment and Management

主管單位：財團法人國家實驗研究院

葉錦勳 ¹ Yeh, Chin-Hsun	林祺皓 ¹ Lin, Chi-Hao	楊承道 ¹ Yang, Cheng-Tao	劉季宇 ¹ Liu, Gee-Yu
陳志欣 ¹ Chen, Chih-Hsin	黃李暉 ¹ Huang, Lee-Hui	黃尹男 ² Huang, Yin-Nan	於積璿 ¹ Yu, Gee-Jin
林祐萱 ¹ Lin, You-Xuan	周寶卿 ¹ Chou, Pao-Ching	曹雅筑 ¹ Tsao, Ya-Chu	

¹財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

²國立臺灣大學土木工程學系

摘要

震災風險評估與管理平台的研發目標，在提供政府機關、事業單位、防災協力研究機構等，專業的地震損失評估工具與服務。為達此目標須持續彙整與校正各種災害潛勢與基礎設施資料、整合與研發先進的震損評估模式，以及開發貼近使用者需求的應用軟體與雲端服務。本(109)年度主要工作項目包含：(1)近斷層區域震損評估模式精進及應用、(2)地震防災與應變雲端資訊服務、(3)震後路網阻斷衝擊評估研究、(4)震後緊急醫療韌性評估研究、與(5)中洲構造大規模地震災損推估。

關鍵詞：震損評估、近斷層、急救責任醫院、交通路網、中洲構造

Abstract

This research project “Seismic Risk Assessment and Management Platform” continues studies and implementations of improved methodology, database and services related to earthquake loss estimation. It aims at providing the government agencies and utility managers with the know-how to achieve better seismic hazard mitigation, preparedness, emergency response and recovery. The research subjects of Year 2020 consist of: (1) Data collection and models for near-fault earthquake loss estimation (2) Development of Taiwan Early Seismic Loss Estimation Website; (3) Seismic risk assessment of roadway and highway networks; (4) Resilience evaluation of post-earthquake emergency medical; and (5) Seismic loss estimation of large-scale earthquake in Zhongzhou fault.

Keywords : seismic risk assessment, near fault, first-aid hospitals, roadway and highway networks, Zhongzhou fault.

一、前言

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心(簡稱國震中心)已研發的台灣地震損失評估系統(Taiwan Earthquake Loss Estimation System, 簡稱TELES), 整合多種全國性資料、震損評估模式和本土化參數值, 並結合地理資訊系統展示各項設施、資源與震損評估結果的空間分佈。TELES, 一方面已協助各縣市政府和防災協力暨學術單位進行防災規劃和相關研究; 另一方面已應用於地震應變機制, 於震後快速提供人員傷亡、建築物損害、自來水管線災損、地震保險理賠損失金額等模擬結果, 大幅提升政府和事業單位的應變效率。為精進國震中心之地震防災應變技術支援能力, 協助政府與民間業者提出健全的地震防救災對策, 本(109)年度主要工作項目包含: (1)近斷層區域震損評估模式精進及應用、(2)地震防災與應變雲端資訊服務開發、(3)震後路網阻斷衝擊評估研究、(4)震後緊急醫療韌性評估研究、(5)中洲構造大規模地震災損推估, 以下分節概要說明。

近斷層區域震損評估模式精進及應用方面, 旨於探討近斷層效應對於不同工程結構物及維生系統大型設施損害損失之影響, 精進台灣地震損失評估系統(TELES)的評估模式, 以提升評估結果可信度。由於臺灣地區活動斷層密布, 重大震害事件皆屬活動斷層地震所導致, 乃未來國土規劃及地震災害防救之重點; 因此, 本研究之成果可提供想定地震下, 近斷層區域之精確災損推估數據, 協助掌握近斷層災害特性, 研擬更好的地震災害防救計畫。本計畫擬以三年時間, 進行活動斷層地震近斷層區域損害損失資料收集整理, 以及近斷層災害特性與重要評估因子探討, 並參酌近斷層的地震動特徵, 與建築物、橋梁耐震分析與試驗資料的研究成果, 研擬適用於近斷層區域之震損評估模式。本(第二)年度工作項目, 為收集整理九二一地震與2018年花蓮地震公路橋梁震害資料, 建置近斷層公路橋梁震害資料庫, 並初步進行橋梁災損與地震動、斷層錯動的關聯性分析。相關階段性成果簡述於「近斷層區域震損評估模式精進及應用」一節。

地震防災與應變雲端資訊服務開發方面, 目前國震中心研發之地震防災與應變網路服務 - 「台灣地震損失模擬資訊網」, 其主要功能為震前提供相關單位推測模擬地震下可能造成之災損情形, 以進行防救災演練、救災資源整備及防救災學術研究。考量目前資訊網所提供之震損評估資訊, 其震源類型種類較為固定, 評估內容較為精簡。故為提供更佳詳盡且多元之評估資訊, 本子計畫精進「台灣地震損失模擬資訊網」之震損評估資訊查詢功能, 運用台灣地震損失評估系統(TELES), 針對六大都會區進行想定地震事件模擬, 並開發TELES評估結果自動匯入功能, 便於將想定地震事件震損評估結果批次匯入「台灣地震損失模擬資訊網」中供防災單位查詢, 期望藉以協助防災協力機構, 擬訂災害防救計畫與防災演練, 以有效因應地震之威脅。相關階段性成果簡述於「地震防災與應變雲端資訊服務」一節。

震後路網阻斷衝擊評估研究方面, 路網震後阻斷衝擊評估研究, 旨在針對台灣地區道路震後衝擊評估模式進行研究, 以建立一套適用台灣地區道路於震災衝擊下的阻斷評估模式。研究成果可應用於救援避難路徑評估與規劃、替代道路評估、重要道路元件與臨路建物震災風險識別。研究之進行以大台北都會區為示範研究區域, 分三年期程完

成，107年，彙整大台北地區的災害潛勢、數值路網、人口與建築分布、車流動態、重要跨河橋梁與救援據點資料等，建立一個適用路網震後阻斷衝擊評估之資料庫。108年度，建立路網震後阻斷衝擊評估模式，並以新北市板橋區之避難救援道路規劃實例作為驗證。本年度（109）與新北市消防局合作，配合新北市之現地資料，規劃救援路線，其中規劃之救援路線連結台北市既有救援道路，配合區域內救援之供給與需求，完成大台北地區整體之救援路網規劃。相關成果簡述於「震後路網阻斷衝擊評估研究-以台北都會區為例」一節。

震後緊急醫療韌性評估研究方面，因發生大地震後緊急醫療服務的供給可能無法滿足就醫人數的增長，從而導致急診室的醫療效能壅塞。2018年，花蓮地區發生了規模6.2地震，當地一家醫院報告說明大量輕度至中度受傷的傷患大量湧入急診室。此外，根據政府官方的花蓮地震總結報告，超過90%的人員屬於輕度/中度傷患。因此，地震引起的輕中傷患者的突然增加是一個亟待解決的重要問題。本研究中，利用離散事件模擬技術來描述大地震後急診病人到達急診室後急診室的效能狀態。在模擬技術中，傷患的產生係根據文獻的分析，進行對患者就醫流程的模型進行仿真。目前研究中假設所有醫療設備和資源都處於完整功能下進行模擬。研究內容討論了（1）患者在急診室的醫療時間，即從到達至離開急診室的時間，以及（2）急診室效能恢復常態的時間，為評估地震造成人員傷亡對急診室效能之影響。相關階段性成果簡述於「震後緊急醫療韌性評估研究」一節。

中洲構造大規模地震災損推估方面，國震中心配合行政院災害防救辦公室和科技部自然司之指示，109年協助完成南部地區大規模地震情境模擬與對策擬定，中洲構造引致大規模地震即為想定之情境。「震源情境模擬」小組完成中洲構造的地動模擬後，國家地震工程研究中心(以下簡稱，國震中心)配合該小組的地動模擬結果，利用台灣地震損失評估系統(TELES)分別進行一般建物、人員傷亡、公路橋梁和自來水系統等標的之「災損推估」工作，各種標的之地震災損情境推估結果簡述於「中洲構造大規模地震災損推估」一節。

二、近斷層區域震損評估模式精進及應用

2.1 背景說明

本研究旨於探討近斷層效應對於不同工程結構物及維生管線、設施損害損失之影響，精進台灣地震損失評估系統(TELES)的評估模式，以提升評估結果可信度。由於臺灣地區活動斷層密布，重大傷亡事件皆屬活動斷層地震所導致，乃未來國土規劃及地震災害防救之重點；因此，本研究之成果可提供想定地震下，近斷層區域之精確災損推估數據，協助掌握近斷層災害特性，以研擬更好的地震災害防救計畫。近斷層區域之地震災害潛勢，以斷層錯動(土層破壞)與具速度脈衝型式之地震動為主。對於不同樓高及結構型式的建築物，會有不同的破壞模式與機率；其次，對於線型結構物，例如鐵路橋梁或維生管線，隨斷層距離與方位角、上下盤位置之不同，亦可能造成多樣的損害模式與狀態；最後，大型維生系統設施如淨水場、變電所等往往占地遼闊，要徑上的設備一旦遭逢近斷層地震災害而損害，則對於自來水及電力系統影響甚鉅。

本計畫以三年時間，進行活動斷層地震近斷層區域損害損失資料收集分析，以及近斷層災害特性與重要評估因子探討，並參酌近斷層的地震動特徵，與建築物、橋梁耐震屬性資料，研擬適用於近斷層區域之震損評估模式。本(第二)年主要工作為收集九二一及近年地震的公路橋梁震害紀錄，彙整橋梁原始資料，建置橋梁基本及災損屬性資料庫，包含下部與上部結構類型、損害狀態與模式等定性資料，結構屬性(如橋長、橋寬、跨數、跨距、振動單元數、竣工年)等定量資料，橋梁損壞照片，以及各橋梁的GIS線型物件，與斷層破裂帶距離等。其次，探討TELES既有之橋梁地震損害暨損失評估模式，研析近斷層災害特性與重要因子，例如斷層破裂帶範圍、錯動量、上下盤效應等，與公路橋梁震害之關係。

2.2 公路橋梁震害資料來源

九二一地震乃台灣地區百年一遇之劇震，災區範圍較廣，公路橋梁災損資料眾多且尚有保存，惟頗有年代而已有佚失，且當年損害紀錄多以紙本保存，需要費心整理、定位，方得予以活化及應用。至於近期發生的高雄美濃地震(2016年)、花蓮地震(2018年)，前者公路橋梁災損有限，不予考慮；後者則有明顯的近斷層災害特徵，亦有較多橋梁災損發生，故亦納入研究範圍。

本計畫首先收集九二一地震公路橋梁震害資料，根據國震中心「九二一集集大地震全面勘災報告—橋樑震害調查」(張國鎮，1999)，中部災區大約有近千座之橋梁。於此次大地震中，大多未受損，但有近20%之橋梁受到不同程度之損傷，其中車籠埔斷層經過之橋梁均發生落橋，由北而南分別為石圍橋、長庚大橋、埤豐橋、一江橋、烏溪橋、名竹大橋、桶頭橋(大尖山斷層北段)等。本計畫根據該報告之普查紀錄(含原始紙本調查資料)，保存橋梁損害詳細紀錄。其次，收集2018花蓮地震公路橋梁震害資料，根據洪曉慧等人調查與分析(2018)，震後因震損而須緊急封閉交通之橋梁計有跨越嶺頂斷層的花蓮大橋，以及跨越(鄰近)米崙斷層的七星潭大橋、花蓮市三號橋及尚志橋等四座橋梁。本計畫根據該調查與分析，以及「花蓮地震橋梁特檢表」(花蓮縣政府，2018)，亦可掌握本次地震公路橋梁整體概況及橋梁損害情形。

2.3 公路橋梁之損害狀態及模式

本計畫根據上述原始資料，就所有受損橋梁，定義具一致性的損害狀態及模式，進而修訂原始震害紀錄，重新建置兩次地震之近斷層橋梁震害資料庫。橋梁損害狀態及模式如所列表2-1，損害狀態概分為無(1)、輕微(2)、中度(3)、嚴重(4)、完全(5)等五種，一旦發生損害時，以結構安全(構件承載力及穩定性)作為嚴重程度之判準。損害模式按非結構(N)、主結構(S)、伸縮縫(EJ)、止震塊(SS)、橋墩(P)、基礎(F)、主梁(G)、橋面版(D)、橋台或引道(A)等構件而區分，副以2~5之損害狀態代碼，且輕微及中度損害狀態時不作主要構件區分，嚴重及完全損害狀態時不記錄次要構件損害，落橋則以「D5+」註記之，屬橋面版項下。

表2-1 公路橋梁損害狀態及模式之定義

損害狀態	損害模式(RC 構造梁式橋)	說明
無(1)	<ul style="list-style-type: none"> 無 	
輕微(2)	<ul style="list-style-type: none"> 非結構(如護欄等)損壞 [N2] 主結構輕微開裂(含混凝土些許剝落) [S2] 伸縮縫輕微錯移、鋪面輕微破壞 [EJ2] 支承輕微錯移 [B2] 止震塊(防落設施)輕微損壞 [SS2] 橋台或引道輕微破損 [A2] 	安全無虞，繼續通行 (Expansion Joint) (Seismic Stopper)
中度(3)	<ul style="list-style-type: none"> 主結構龜裂(承载力維持) [S3] 橋面版錯移(無落橋之虞) [D3] 支承(含支承座)錯移或損壞 [B3] 止震塊(防落設施)毀損(無落橋之虞) [SS3] 橋台龜裂或引道變形(承载力維持) [A3] 	管制下安全無虞，可通行
嚴重(4)	<ul style="list-style-type: none"> 橋墩損壞(承载力已折減) [P4] 基礎損壞(承载力已折減) [F4] 主梁損壞(承载力已折減) [G4] 橋面版錯移(餘震下有落橋之虞) [D4] 橋台或引道嚴重開裂、沉陷或變形(承载力已折減) [A4] 	構件承载力已折減，但損壞屬可修補，惟繼續通行有傷亡之虞，必須封橋
完全(5)	<ul style="list-style-type: none"> 橋墩嚴重損壞變形(承载力喪失) [P5] 基礎嚴重損壞變形(承载力喪失) [F5] 主梁嚴重損壞變形(承载力喪失) [G5] 橋面版嚴重破裂或錯移(瀕臨落橋) [D5] 橋台損壞或嚴重沉陷(瀕臨落橋) [A5] 落橋 [D5+] 	構件承载力喪失，橋梁已(或瀕臨)崩塌，無法通行，損壞之構件必須拆除重建

2.4 兩次地震之地震災害潛勢

本計畫根據國震中心趙書賢博士之研究，取得兩次地震的強地動分布資料。該研究以中央氣象局強震測站的實測地震動紀錄為基礎，以 500m 邊長正方形網格方式，透過數值內插計算地震動強度參數 PGA 和 Sa(1.0s)之數值分布。本計畫亦取得經濟部中央地質調查所的九二一地震車籠埔斷層破裂跡線(含大尖山斷層北段)，以及 2012 年版活動斷層圖的米崙、嶺頂兩條斷層跡線，以之定義近斷層區域，其中九二一地震之地震規模較大，達芮氏規模 7.3，近斷層效應顯著，故本計畫取斷層距離 8 Km 內為近斷層區域；2018 年花蓮地震則地震規模較小，芮氏規模僅 6.4，故取斷層距離 2 Km 內為近斷層區域。

兩次地震均有公路橋梁因跨越斷層而受損，根據經濟部中央地質調查所「九二一地震地質調查報告」(1999)，以及「20180206 花蓮地震地質調查報告」(2018)，兩次報告對於斷層經過的橋址，均有斷層錯動的線型描述，與垂直或水平錯動量的紀錄，圖 2-1 即屬一例，彌足珍貴，本計畫特別一一查閱，登載進資料庫中。

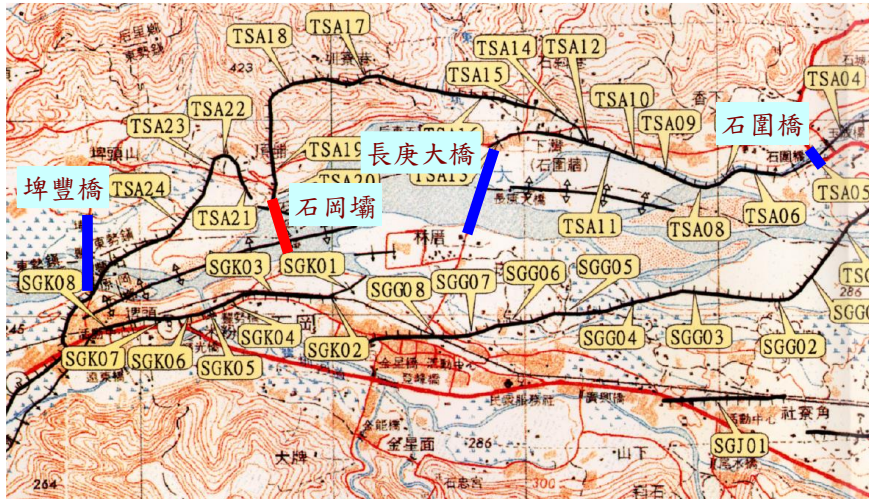


圖2-1 九二一地震車籠埔斷層北段破裂跡線及附近公路橋梁

2.5 兩次地震之地震災害潛勢

本計畫為求單純，所考慮橋梁限於 RC 構造梁式橋之結構類型，不計鋼拱橋、斜張橋等特殊橋梁。

本計畫根據前述九二一地震橋梁勘災普查原始紀錄，與 2018 年花蓮地震橋梁特檢表，已建置兩次地震之近斷層公路橋梁震害 GIS 資料庫，分別包含 151、24 座近斷層公路橋梁之基本結構屬性資料，各橋址之實測地震動強度參數 PGA 和 Sa(1.0s) (據中央氣象局測站數據內插)、斷層帶內橋梁位置之實測斷層錯動量(據中央地質調查所兩次調查報告)，以及各有 16、5 座損害橋梁之完整損害模式與狀態。兩次地震的近斷層區域及公路橋梁分布與損害狀態，分別如圖 2-2、所示圖 2-3。

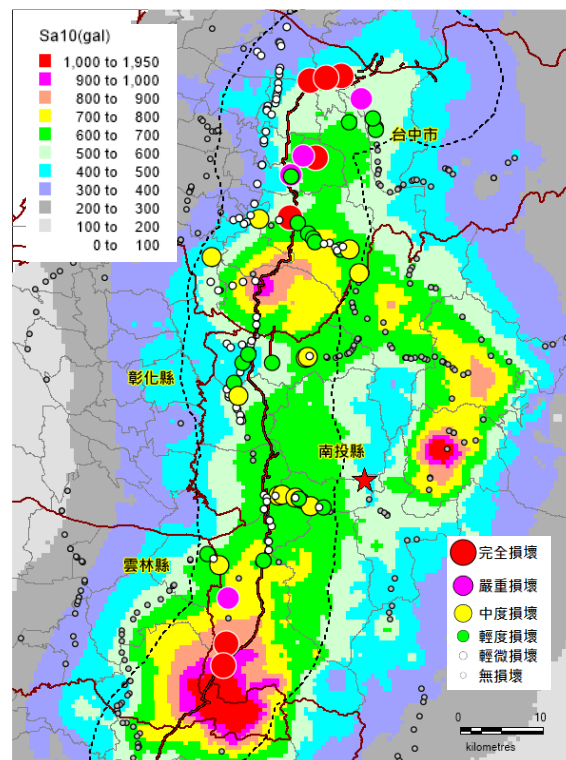


圖2-2 九二一地震近車籠埔斷層區域及公路橋梁分布與損害狀態

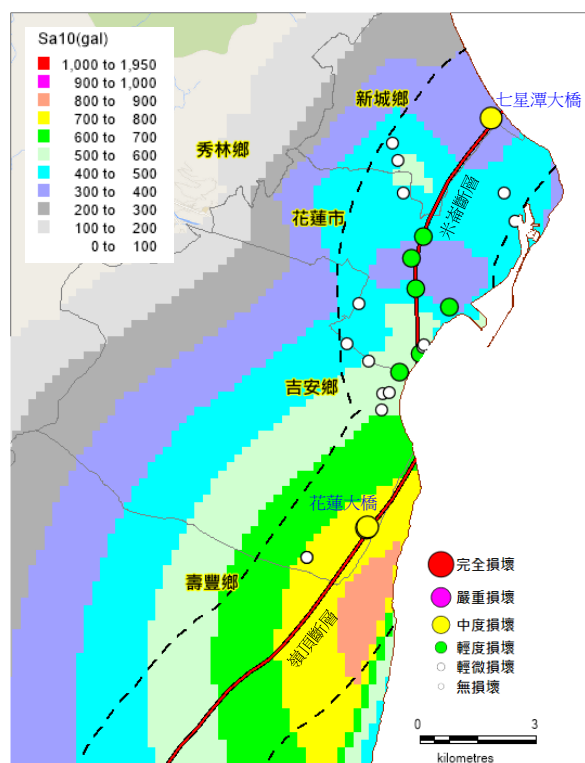


圖2-3 2018年花蓮地震近米崙、嶺頂斷層區域及公路橋梁分布與損害狀態

2.6 兩次地震之地震災害潛勢

本計畫運用 TELES 子系統 Thighway 進行公路橋梁損害評估，比較實際災害潛勢下推估結果與實際震害之差異，觀察可知逆斷層具擠壓效應，破壞力最大，平移斷層則與交角有關，可能擠壓或拉扯。考慮錯動量影響，九二一地震之橋梁損害狀態大致符合預期，2018 年花蓮地震則推估偏嚴重，例如跨越嶺頂斷層的花蓮大橋，以及跨越(鄰近)米崙斷層的七星潭大橋，橋址處之斷層錯動方式均為左移 70 cm 左右，但兩座橋梁之損害狀態，均僅及「中度損害」(管制下安全無虞，可通行)。本計畫後續可精進評估模式，特別是檢討平移斷層下公路橋梁與斷層交角之量化關係，以提升公路系統評估可信度。

三、地震防災與應變雲端資訊服務

本研究承續國震中心已研發之「台灣地震損失模擬資訊網」進行發展。考量目前資訊網所提供之震損評估資訊，其震源類型種類較為固定，評估內容較為精簡。故為提供更佳詳盡且多元之評估資訊，本研究更新及擴充「台灣地震損失模擬資訊網」之震損評估資訊查詢功能，更新之方向分為資料面及功能面兩部分。在資料面部分，本研究開發 TELES 評估結果自動匯入功能，並針對六大都會區進行想定地震事件模擬，而後將此評估結果匯入資訊網中供防救災單位查詢與參考。在功能面部分，本研究發展主題式震損評估查詢功能，針對任一想定地震事件之評估結果，提供摘要、統計圖表、損失數據、災損分佈圖、輔助圖資等整合式資訊，輔助震損評估作業之分析。本研究並將研究成果運用於協助國家防災日兵棋推演及協助各部會、縣市政府、防災協力機構等，擬訂災害防救計畫與演練。

3.1 TELES 評估結果自動匯入功能

「台灣地震損失模擬資訊網」可提供使用者查詢想定地震事件之震損評估資訊，包含災害潛勢、建築物損害、人員傷亡、橋梁損害、自來水系統損害等，作為預防整備之參考。由於目前資訊網所提供之震損評估資訊乃運用 TELES 震災早期評估之損失模擬資料庫做為資料來源，其評估結果較為精簡，且想定地震事件較為固定。故本研究設計開發評估結果自動匯入機制，供國震中心研究分析人員將 TELES 之完整評估結果透過此介面匯入資訊網中，以提供需求單位查詢，使震損評估作業更具彈性與更易因應使用者之需求。

圖 3-1 為 TELES 評估結果自動匯入功能之系統架構，整體使用案例始於國震中心之研究分析人員，事先擬定全台各地合適之想定地震事件，並藉由 TELES 軟體進行運算，進而計算出各想定地震事件之震損評估資訊，包含災害潛勢、建築物損害、人員傷亡、橋梁損害、自來水系統損害等。而後將此震損評估資訊透過圖中之評估結果轉換服務，藉由自動化處理與批次作業的方式，將評估結果進行檔案格式轉換、索引值之建立、空間屬性建立等作業後，一次性的將震損評估資訊匯入空間資料庫之中，以作為資訊網之資料來源。另一方面，「台灣地震損失模擬資訊網」依據評估結果，設計與開發資料查詢介面、統計圖表、主題地圖與分析功能等，以提供使用者查詢。

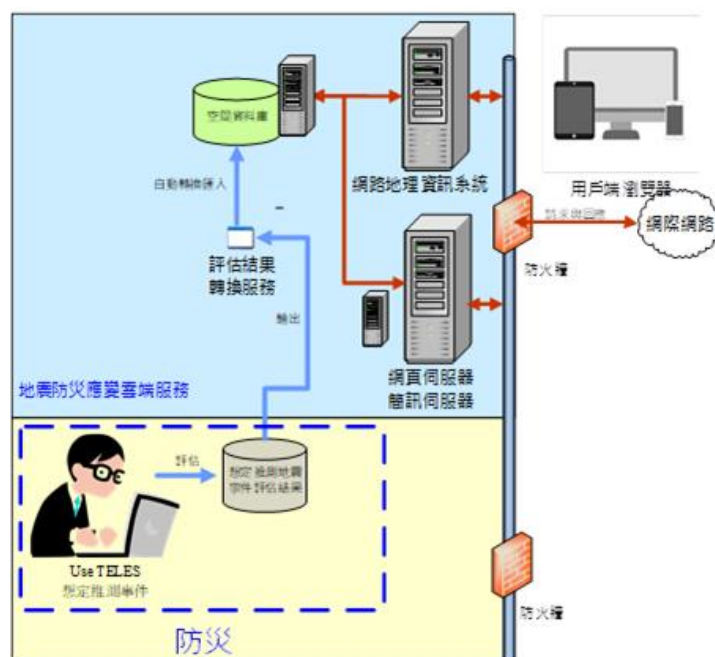


圖 3-1 TELES 評估結果自動匯入功能之系統架構

參考圖 3-2，本研究並依上述之震損評估結果，於「台灣地震損失模擬資訊網」開發想定地震事件查詢介面，以供使用者選擇地震事件。地震事件以活動斷層進行分類，使用者可打開活動斷層分類，查看各想定地震事件之震源參數，點選後即可查詢各種評估結果。有別與過往以損失模擬資料庫作為震損評估資料之來源，TELES 之評估結果之評估項目將更為精細，且額外增加了救災避難需求、建築物經濟損失、鐵路橋梁損害、國道橋梁損害、自來水系統停水戶數等，如圖 3-3、圖 3-4。



圖3-2 想定地震事件查詢介面



圖3-3 橋梁損害評估

避難需求—依鄉鎮					起火數及消防需求—依鄉鎮				
縣市政府：台北市					縣市政府：新北市				
縣市	鄉鎮	需搬遷戶數	需搬遷人數	臨時避難人數	縣市	鄉鎮	震後火災總數(起)	消防隊數(隊)	用水量(噸)
台北市	松山區	8,430	21,569	3,882	新北市	板橋區	55.7	94.69	3,787.6
台北市	信義區	6,110	15,215	2,669	新北市	三重區	51.21	87.06	3,482.4
台北市	大安區	12,137	31,171	5,478	新北市	中和區	21.16	35.97	1,438.8
台北市	中山區	13,108	29,715	5,215	新北市	永和區	7.5	12.75	510
台北市	中正區	9,073	21,850	3,888	新北市	新莊區	49.83	84.71	3,388.4
台北市	大同區	9,860	24,011	4,219	新北市	新店區	8.18	13.91	556.4
台北市	萬華區	13,054	31,380	5,385	新北市	樹林區	14.31	24.33	973.2
台北市	文山區	5,750	14,771	2,679	新北市	鶯歌區	1.69	1.69	67.6
台北市	南港區	2,253	5,825	1,054	新北市	三峽區	3.03	4.24	169.6
台北市	內湖區	5,277	14,002	2,618	新北市	淡水區	9.71	13.59	543.6

圖3-4 救災避難需求評估

3.2 主題式震損評估查詢功能

其次，為便於使用者一目了然查詢震損評估結果，本研究設計主題式震損評估查詢介面，提供建築物、人員、橋梁、自來水系統、救災避難等不同主題之整合查詢介面，便於使用者快速獲取各項災損數據、數據統計、空間分佈，並進行下載與加值運用。圖 3-5 為主題式震損評估查詢介面，任一想定地震事件可透過此介面查詢評估結果，評估結果之分類包含摘要、災害潛勢、人員傷亡、建築物損害、救災避難需求、橋梁損害、自來水系統損害等主題。使用者可透過左下方之選單切換各主題。每一評估主題可區分為四大項目：損失主題地圖、損失摘要、數量統計圖、評估數據等。而為便於各項評估項目之加值運用，其中損失摘要(文、數字)、數量統計圖(JPEG)、評估數據(Excel)、主題地圖(具座標定義 GeoTiff)等均提供使用者下載作為後續之評估與分析。參考圖 3-6，使用者可將震損評估之 PGA 地震動圖下載後，於個人電腦運用 QGIS 軟體，疊合衛星圖與自身管理之設施分佈圖(如變電所)，進而查看高風險區域之設施分佈。

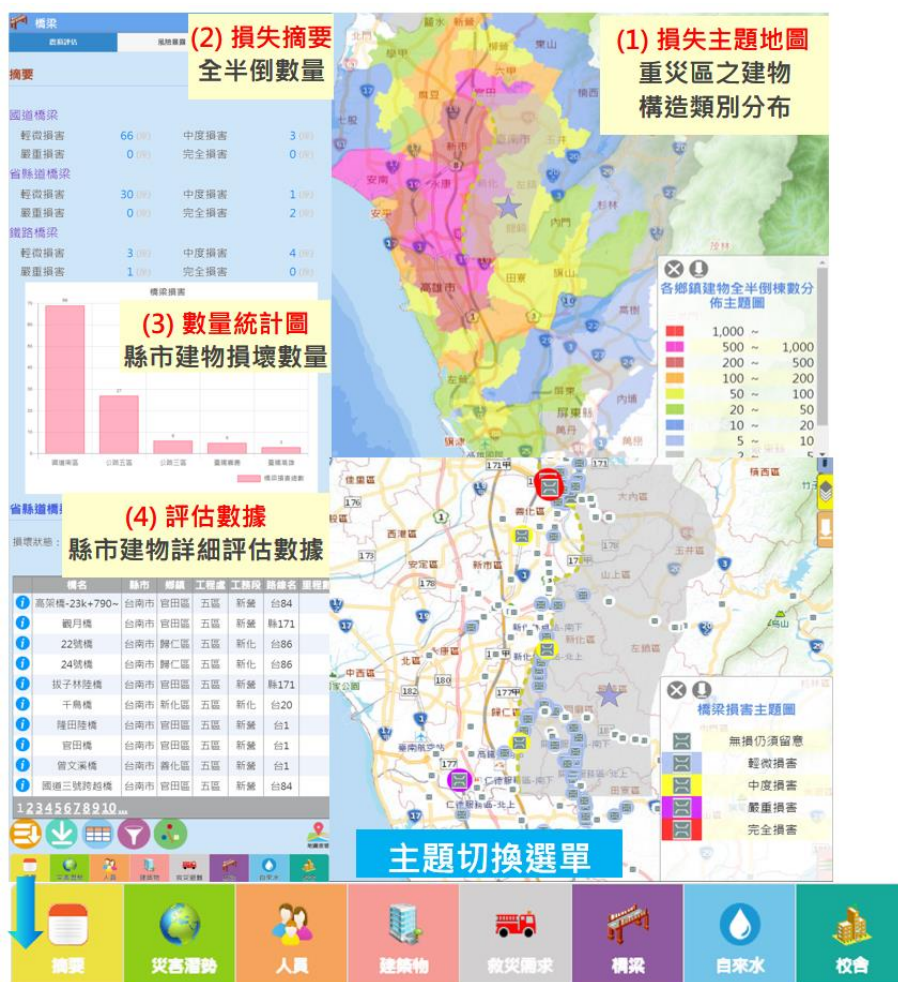


圖3-5 主題式震損評估查詢介面

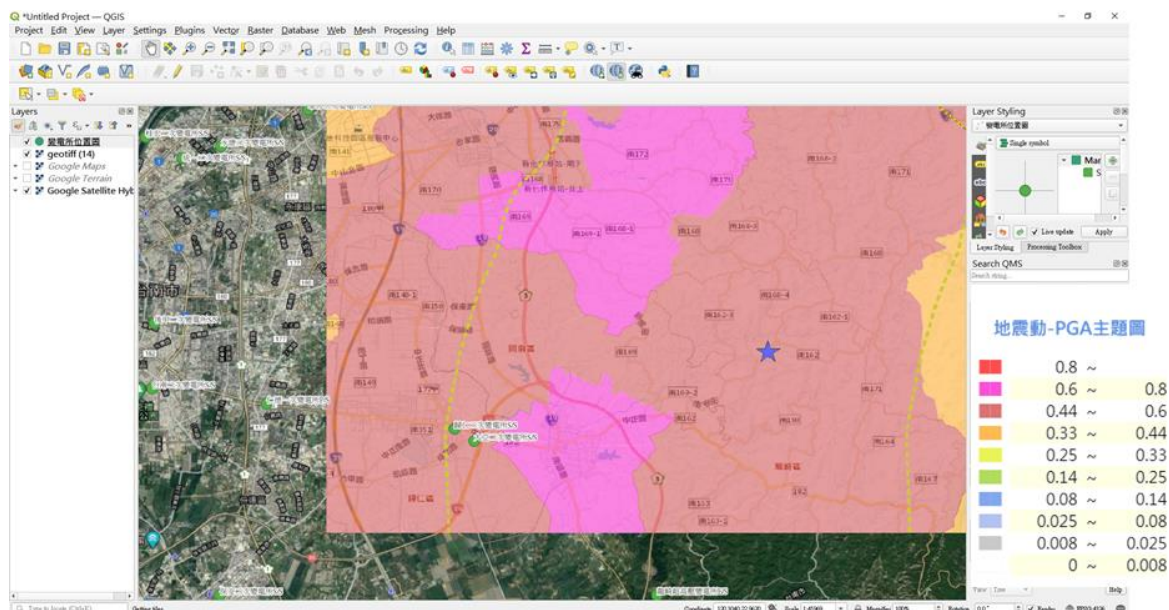


圖3-6 運用QGIS套疊PGA地震動圖、衛星圖及變電所圖

3.3 未來發展

台灣地震損失評估系統(TELES)為國內重要之震損評估軟體，本研究完成了震損評估結果自動匯入機制之軟體開發，可將 TELES 震損評估結果匯入資訊網中供使用者查詢，本研究並完成六大都會區想定地震事件之擬定與震損評估之運算，並將評估結果匯入資訊網中供防救災單位使用，此一匯入機制之建立有助於本中心提供震損評估結果供防災兵棋推演或防災單位之救災演練。其次，未來亦規劃於線上提供即時運算之服務，使用者將可自行設定震源參數，而後資訊網透過非同步之方式，將震源參數傳送至 TELES 軟體進行震損評估之運算，並將評估結果傳遞至資訊網中供使用者查詢。故未來使用者將可於網路上直接擬定地震事件，查詢震損評估結果，此便利之震損評估雲端服務將可提升防災整備之能量。

四、震後路網阻斷衝擊評估-以台北都會區為例

4.1 背景說明

道路網絡平日即為民眾日常生活與經濟活動的連接通道，地震災害發生時更是生命救援與快速復原之重要維生線。重大災害發生前依據地理環境、災害潛勢、路網條件與人口與建物分布等，於災前預先劃定救援路線為防災規劃的重要環節。救援路線為因應重大災害發生時，提供災區緊急救災機具、車輛、人員、物資之運輸管道，並擔負對外聯絡之重要任務。若在災時發生損壞亦為優先搶通標的。目前除臺北市已公告「臺北市重大災害緊急救援路線」外，其他都會區雖有相關學術研究成果，但未見官方正式公告版本。救援路線需綜合考量都會區內的地震風險特性、關鍵橋梁、臨路建築耐震能力、區域運輸需求與急救醫療等因素，進行震災風險評估，以作為地震防(減)災的決策參考。研究以新北市為範例，介紹新北市的地理環境、救援路線的規劃原則、與在發展的工具軟體 ROSA 與其試規劃的新北市救援路線。

4.2 研究背景

本研究(107-109)已針對台灣地區道路震後衝擊評估模式進行研究，建立了一套適用於台灣地區道路於震災衝擊下的阻斷評估工具。本工具可應用於救援避難路徑評估與規劃、替代道路選擇、重要道路元件與臨路建物震災風險識別等方面，並發展相應之軟體 (ROSA)。本年度(109)即以新北市為範例，與新北市消防局合作利用 ROSA 試規劃新北市救援路線。請參考，紅線標示台北市官方所公告的 27 條的緊急救援路線(台北市交通管制工程處，2019)。而緊鄰的新北市與基隆市雖然也有相關的研究成果，例如(新北市，2015 新北市深耕第 2 期計畫)與(許聖富，2003)，但官方未有正式公告的救援路線。以(新北市，2015)為例，共規劃出新北市 29 個行政區內的救援物資輸送路線，其主要以路寬為主要擇定原則，並著重於區域內的連結。要進一步落實應用，(新北市，2015)仍需考慮鄰近行政區間的聯絡、人口建物稠密區之救援、與鄰近縣市相互救援等因素。

新北市由於幅員廣大且地形多變，在規劃救援路線時相較於有棋盤式道路的都會區需要考慮更多因子。新北市，全境環繞臺北市，東北則三面環繞基隆市，如圖 4-1；全市共劃分為 29 個行政區，其中市政府所在地位於板橋區。人口高度集中於淡水河—新店溪左岸的各個行政區。有高度都市化的區域，也有鄉間風情與自然山川風貌，地景樣貌多元。由於新北市幅員廣闊且地形特殊，在規劃救援路線時得多考慮：(1)納入鄰近縣市之路網及相互救援：對新北市內各行政區進行救援，最有效率的路線常需要跨過台北市或基隆市，所以規劃其救援路線時宜以大台北地區整體路網(包含台北市、基隆市、甚至包含桃園市)為考量。(2)因應地形放寬路寬規定：新北市道路因為河道與山區地形等因素，道路相較台北市彎曲而呈現非棋盤狀，同一路段的道路會出現寬度(車道數)不相同情況。在規劃救援路線時，道路選擇難以完全符合路寬原則。(許聖富，2003)也有相同的建議，在救援路線的選定時路寬可因應各城市的狀態做適度之調整。

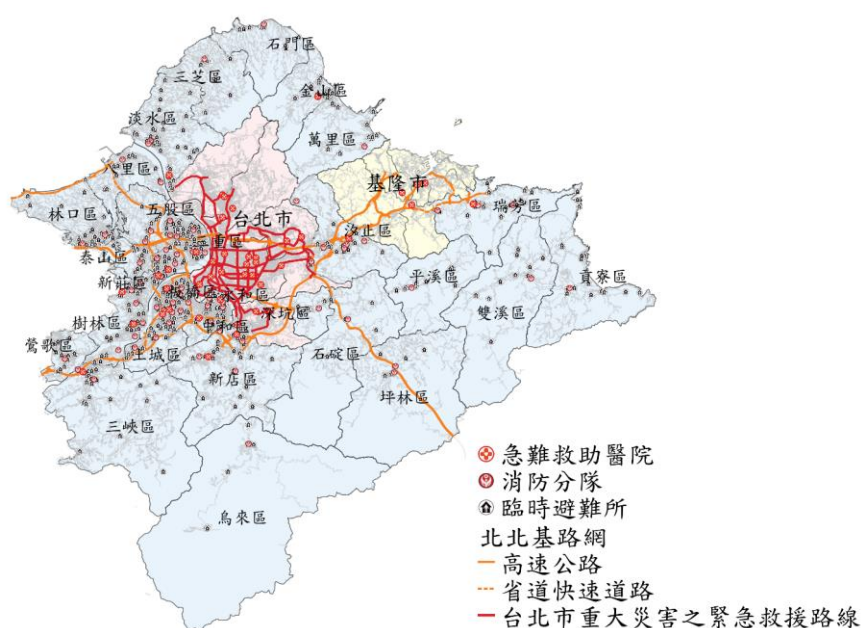


圖 4.1、新北、臺北與基隆救援據點與重要道路分布圖

4.3 救援道路規劃準則

救援路線規劃準則主要參考內政部營建署的「防災道路與避難據點規劃準則」(內政部營建署, 2011), 請參考表 1。「防災道路」係指聯繫各指定臨時避難場所和各防救災據點、設施間的主要動線通路, 亦為災害發生時第一時間逃生、避難和救援之路徑, 是都市防救災計畫中極為重要的一部份, 必須隨時保持暢通以確保其功能得以正常發揮。綜合來說, 救災道路的擇定以道路本身的路寬條件與是否串接重要救援據點為主要的考量因素。

由於新北市地形特殊, 道路網路與台北市與基隆市緊密交織, 且台北市已有正式的救援路線規劃, 故在進行新北市救援路線規畫時, 本研究除將大台北地區整體道路網路納入考量外, 跨區救援時也優先考慮連結台北市既有的救援路線。由於地形的限制, 也適度的放寬路寬選擇之建議。本研究的救援路線規畫, 使用作者自行發展的軟體工具 ROSA。路線規劃流程可概分為以下步驟:

- 大台北區域內重要救援據點選定: 選取各行政區人口與建物聚集區、重要救援據點(例如, 醫院、消防隊、收容所)、重要交通節點(例如, 跨河橋匝道, 高速公路與快速公路匝道出入口)。
- ROSA 求解網路設計模型: 本網路設計模型的原理, 主要是以救援據點為供給 (supply node) 節點、而人口與建物聚集區為需求節點(demand node)、其餘為中繼節點。而連接節點的節線成本則以小客車行駛該路段的旅行時間為基礎設定。為考慮區域內既有的道路狀態、優先選取候選路線、台北市既有救援路線與新北市各區之救援據點等因子, 則將道路節線的旅行成本依優先順序乘以不同的權重。在考慮救援據點對人口與建物聚集區進行救援之情境下, 求解效益最佳之路徑(救援車輛的旅行成本最低)。
- 道路阻斷風險識別: 利用震損評估技術, 研析選定之救援路線在想定地震情境下, 因橋梁震損而阻斷之風險與替代路徑; 以及救援路線兩旁臨路建物的倒塌阻斷風險。

4.4 新北市救援路線規劃

本節舉例說明利用 ROSA 求解選定救援路線之流程。請參考圖 4.2, 圖上所示為新北市永和區及其鄰近區域的重要救援節點, 包含急救責任醫院、關鍵橋梁、消防隊與避難收容場所的位置。永和區以新店溪與台北市為界。請參考圖 4.3, 圖上標示永和鄰近區域的建物密集區, 圖上每個區塊為內政部公告的最小統計區(一級發佈區)。將各個一級發佈區內所有建物樓地板面積總和除以該各個一級發佈區的土地面所得的樓高密度。如圖 4.3, 樓高比越高表示該區每單位的土地面積, 聚集越多可使用的樓地板面積。圖上標示永和鄰近區域有四個建物密集區。本範例中, ROSA 求解時以建物密集區為需求節點, 而將大台北地區內所有可用的救援據點(包含台北市/新北市的消防隊等)為供給節點, 求解後可得到, 如圖 4.4 的救援路線網絡。這個救援路線網絡, 除了考慮區域內供給節點對需求節點的救援, 亦考慮外部區域救援據點對永和鄰近區域之救援。所以在救援路線的規劃上, 也將台北市跨河進入新北市重要的聯絡道路選定救援路線。從圖 4.4 上可以看到 ROSA 的求解結果, 確實能夠串接各重要節點, 包含

急救責任醫院、消防隊、收容所與建物密集區等。圖 4.4 上的選定道路，最後根據其路寬、道路等級、及是否聯絡其他行政區之特性，區分為緊急道路、救援輸送道路與避難輔助道路。最後請參考圖 4.5，若將規劃區域放大為以整個大台北大區路網與重要節點為整體考量，則求解的救援道路網絡時，可將鄰近的台北市的救援據點與救援據點一起列入考量，規劃出緊密聯絡的救援路線網絡。

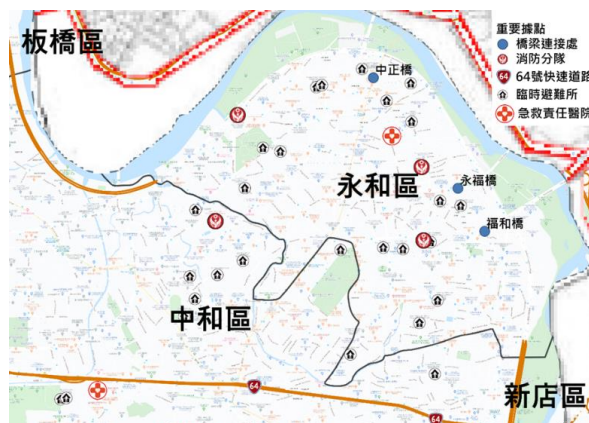


圖 0.2 新北、臺北與基隆救援據點與重要道路分布圖

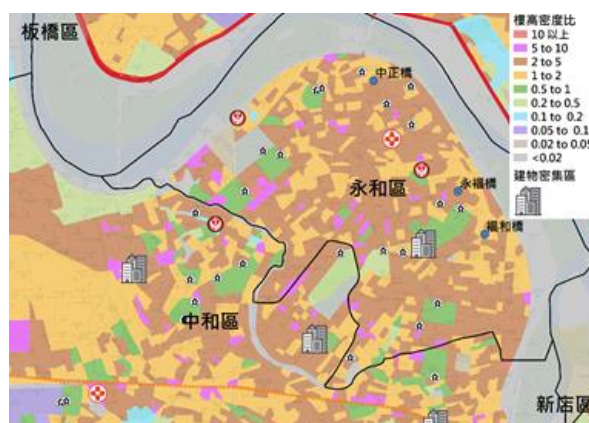


圖 4.3 永和區鄰近區域建物樓高密度比



圖 0.4 永和區鄰近區域救援路線規劃範例

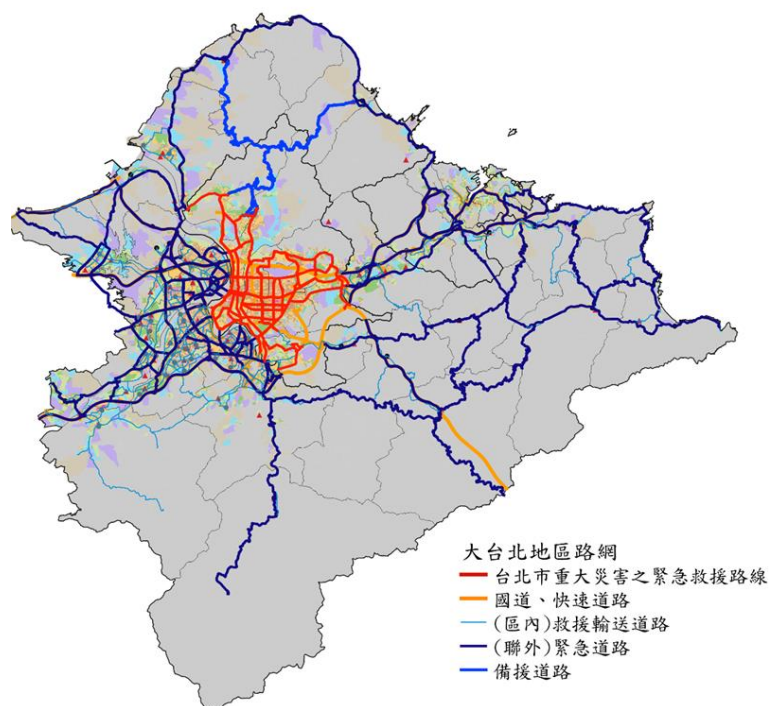


圖 4.5 新北、臺北與基隆救援據點與重要道路分布圖

4.5 小結

本研究以新北市為範例，介紹新北市的地理環境、救援路線的規劃原則與利用 ROSA 軟體工具所求解的新北市救援路線。由於新北市地形特殊，道路網絡與台北市與基隆市緊密交織，故進行新北市救援路線規畫時，將大台北地區整體道路網絡、區域內可用的救援據點及可能需要救援的人口與建物密集區皆納入整體考量。類似大台北都會區的道路網絡，在台灣其他的地區亦可見，本成果亦可應用於其他都會區。將鄰近都會區內整體的道路網絡視為整體的規劃方式，可協助建立行政區間更緊密且相互聯絡之救援路線。然而為落實應用，除理論與工具的發展外，亦須與熟悉在地防災事務之專家更進一步合作，落實研究成果在地化以協助地方政府推動相關防災規劃。

五、震後緊急醫療韌性評估研究

5.1 前言

恢復力 (resilience) 是指社區在災難發生時能夠及時有效地抵禦 (resist)、吸收 (absorb)、容納 (accommodate)、適應 (adapt)、轉化 (transform)，以及從災害的影響中恢復 (recover) 的能力 (聯合國國際減災戰略 United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2009)。簡而言之，具有恢復力的社區是能盡力減輕災難的影響，並儘快恢復至正常狀態。在所有恢復力的因素中，急診室 (emergency department, ED) 的功能是提供緊急醫療作為並為患者提供服務，在減少死亡人數和減輕患者痛苦上扮演著至關重要的角色。

大規模人員傷亡事件對緊急醫療服務的需求突然增加，可能會使有限的緊急醫療資源緊張，並導致病人照護效率降低。以 2018 年 2 月 6 日在台灣東部的花蓮地震為例，

當地一家醫院報告說明地震發生後兩個小時內，有 100 多名患者到達急診室。整個急診室被排隊等候治療的患者所壅塞。在所有患者中，輕度和中度受傷佔多數，根據政府官方的震後總結報告（內政部，2019）提供了更具體的數據：超過 90% 的患者屬於檢傷分類 3 至 5 級（acuity level, AL3-AL5）。

如前述，大部分患者屬於 AL3-AL5，儘管相對上受傷程度不那麼嚴重和不那麼緊急需醫療處理。但由於就醫人數眾多，這些患者仍然對急診室的運行構成壓力。為了分析輕中傷程度人滿為患的壅塞問題，本研究將僅關注 AL3 至 AL5 患者。震前事先了解可能面對的情況，是避免最壞情況發生的應變整備方法之一。為了完成此任務，本研究提出一個反映患者醫療處置的 ED 效率指標，即患者在急診室的醫療時間（patient sojourn time, ST）。利用蒙地卡羅法來模擬評估 ED 不同就醫人數對於 ED 的 ST 反映。

以離散事件模擬技術（discrete event simulation, DES）來分析 ED 的醫療服務過程。將患者在急診室期間的經歷建模為一系列事件（events, 即各項醫療服務）。模型中為每一個事件設置有限的資源單位以及每一個事件完成所需花費的時間，患者排隊行為即在這些事件之間的流動產生。模擬分析中總共考量了五個不同的就醫人數量體，分別是日常狀態下與其它四個不同的震後就醫人數。由於採用蒙地卡羅法，每一個就醫人數的狀態均進行了 300 次模擬。利用比較地震後 ST 和常態 ST，可以了解患者人數增長與 ST 上升的關係。

當醫療服務需求在資源供給保持不變的情況下增加時，供需不平衡將導致 ED 壅塞是可以理解的。但在地震防減災的作為上，急診室的衝擊嚴重程度卻鮮少有定量分析。為了建立良好的防減災韌性社區，需事先了解最壞的情況與採取對映的解決策略。預期本研究的結果將為相關領域的政策制定者或地震防減災從業人員提供可靠的數據參考，用以制定大規模地震傷亡事件後緊急醫療壅塞的應對措施，進而提高抗災能力。

5.2 就醫人流模型和參數設置

離散事件模擬是利用 Python SimPy 函式庫（Lünsdorf 和 Scherfke，2003）來進行模擬急診室中患者的就醫流程。基於 Favier 等人（2019）和 Côté 等人（1999）研究，並根據訪談台灣 ED 的實務經驗後，繪製了不同類型的患者在整個 ED 中可能的就醫流程路線，如圖 5-1 所示。

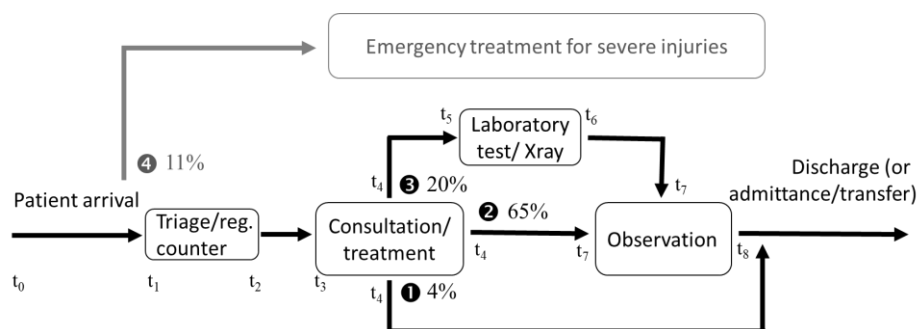


圖5-1 急診室中病患就醫流程

病人到達時，首先要對其進行檢傷分類（triage），然後等待醫生的諮詢和治療（consultation and treatment）。在接受治療並遵照醫生的指示後，患者的行走路徑以三

種方式分叉：路徑（1）醫師治療後立即離開急診室；路徑（2）醫師治療後停留一段時間觀察；或路徑（3）接受進一步檢查並停留一段時間觀察。此處離開急診室的意思是指患者沒有繼續使用急診室內資源，他們可能被接納轉為住院病人、被轉移到其它醫院機構，或是返家自行調養。

基於實際數據和估計，Favier 等人（2019）提出了分配給這三個就醫路徑的分佈。本研究主要採用了該數據與做了部分更改。例如，在他們的研究中，部分 AL5 患者檢傷分類後直接離開急診室，根本沒有得到醫師諮詢或治療，這在台灣本地似是不可接受的。因此，針對這部分患者本研究將其重新分配到路徑 1 和 2。

表 5-1 列出不同檢傷程度的患者比例，以及患者進入不同路徑的分佈比例。在地震後的所有患者中，52% 被歸為檢傷 3 級，32% 為檢傷 4 級，5% 為檢傷 5 級，其餘 11% 歸為檢傷 1 和 2 級。由於本研究僅關注中度和輕度傷患的急診排隊行為 (AL3-AL5)，因此 11% 的患者將被分配到路徑 4，該路徑 4 被假定為利用其它醫療資源，並不屬於本研究的界定範圍。AL3 和 AL4 患者獲得路徑 2 和路徑 3 的百分比相同。76% 的人將選擇路徑 2，其餘選擇路徑 3。至於 AL5 患者，選擇路徑 1 佔 75%，路徑 2 則為 25%。

表5-1 病患檢傷比例與就醫路徑比例

Level Path	AL3	AL4	AL5	AL1+A L2	ALL
	52%	32%	5%	11%	100%
路徑 1	0%	0%	75%	0%	^a 4%
路徑 2	76%	76%	25%	0%	^b 65%
路徑 3	24%	24%	0%	0%	^c 20%
路徑 4	0%	0%	0%	100%	^d 11%
	100%	100%	100%	100%	100%

考慮到地震後，患者以不同於正常日的方式到達急診室，我們直接參考 Favier 等人（2019）的數據。這是通過估算不同地震強度帶來的總患者人數，以及給定地震後受傷患者到達急診室的時間分佈。如圖 5-2 所示，地震發生後，病患抵達率隨時間的流逝並非固定不變。在本研究中，使用了五種情境下的病患抵達率進行仿真，一種是在正常情況下，其餘是在四種地震情境後。需注意的是這裡的地震強度僅是幫助區分患者人數多寡的差異，因為即使在相同地震強度下，建物耐震能力、建物密度和人口密度均會造成震後傷亡人數變化。本研究關注的是患者人數對於醫療處置的效率，即患者在急診室的醫療時間，而不是對特定的地震事件進行分析。

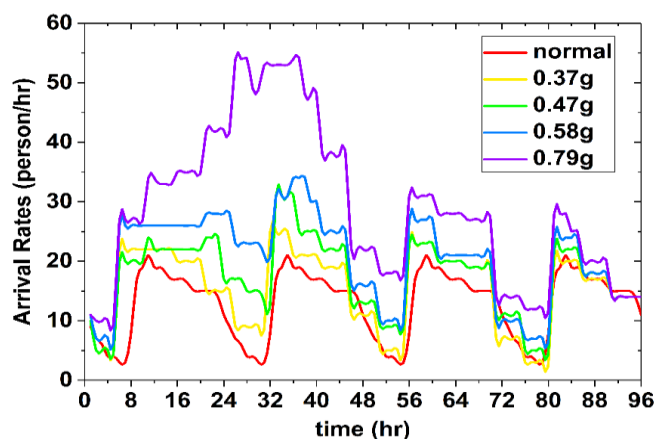


圖5-2 不同地震情境下病患抵達率

DES 模擬過程中以指定的病患抵達率（圖 5-2）來生成患者。當產生一名患者時，他/她將沿著分配的路線向前移動以接受醫療服務並佔用一單位資源。每種醫療服務的時間和資源編號需要進一步設置兩個參數。假設每個醫療服務的服務時間遵循一定的統計分佈，每個患者必須花費在一項服務上的時間取決於相應分佈的隨機抽樣。每個服務和資源數量的統計分佈是基於前人的研究（Favier 等人；Côté），並在仿真測試後進行了一些調整，詳細設置參數如表 5-2 和表 5-3 所示。因為病人停留觀察與休息的空間可以是任何空置的空間，因此資源數目設為無限大（ ∞ ）。

表5-2 醫療服務的資源數

Service	Quantity	Source
Triage/registration	1	Favier et al. (2019)
Consultation/treatment	13	Favier et al. (2019)
Lab /Xray	6	Obtained by testing
Observation	∞	Obtained by testing

表5-3 醫療服務的時間分布函數

	Statistical Distribution	Source
Triage/registration	*Gamma(4.5, 0.7)	Favier et al. (2019)
Consultation/treatment	*Tri(15, 45, 90)	Favier et al. (2019)
Observation	*Tri(0, 15, 60)	Modified from Favier et al. (2019)
Lab/X-ray	*Tri(30, 75, 120)	Favier et al. (2019)

* in minutes

為了確保參數設置能大致代表真實的 ED 操作，首先，根據 Kao 等人的研究（2015），調查台南市 2012 年 10 月醫院緊急醫療的患者分佈。Kao 的報告中指出 AL1 和 AL2 患者佔 10%、AL3 佔 59%、AL4 佔 28%、AL5 為 3%。雖然本研究設置的參數與此調查不完全相同，但兩者相差不大（請參見表 1）。另一方面，為了確認合理設置每個醫療服務的資源數量和服務時間，我們將模擬結果與台灣地區的實際普查數據

進行了比較。根據台灣聯合委員會的一項調查(台灣衛生福利部, 2013), 台灣所有急診科的 AL3, AL4 和 AL5 患者的平均等待時間均在 10 分鐘以下, 代表這些類型的患者於 ED 中均有些許等待。同樣, 在我們的模型初步分析中, 每個患者 (AL3-AL5) 在正常狀態下, 接受醫師治療前大約要等待 9 分鐘。此結果表明, 我們的模型能夠顯示出現實中 ED 的操作流程。

本研究採用蒙地卡羅法, 五種就醫人數情境下的模擬均各別重複了 300 次, 以平衡樣本異常值的影響。每個情境模擬的時間總長為 12 天到 20 天, 具體時間取決於 ED 從地震影響至恢復常態所需的時間。模擬中的前六天保持恆定, 前兩天是地震前的常態情況, 其後四天是地震引致患者湧入的時間。六天之後的模擬天數在不同情境下有所不同, 這代表 ED 的完全恢復時程不同。

5.3 結果與討論

初步結果顯示, 當患者總數增加 1.4 倍, 導致增加約 4 倍的急診停留時間 (ST), 但病患排隊情況可以模擬的第六天結束後 (地震影響結束) 恢復到正常狀態。但是, 如果有 2.3 倍的患者湧入, 那麼急診停留時間將比平時多約 36 倍, 且病患排隊情況需要地震影響最終日的 6 天後才能完成 (即模擬的第 12 天), 如表 5-4 所示。

表5-4 就醫人數與急診停留時間和ED恢復常態時間之關係

Growth ratio of patient number	Growth ratio of sojourn time	Extra days for recovery
1.4	4	0
2.3	36	6

綜合前述, 本研究利用離散事件模擬技術分析急診室在地震後面對急速到達的病人之處理過程。分析結果顯示, 患者人數相對常態的比率大於 1.5 倍以上時, 患者於急診室的總停留時間急劇增加。在未來的研究中, 我們將建立兩個回歸方程式, 用以描述了患者人數變化和急診停留時間的關係, 以及患者數量變化與急診室恢復常態的時間關係。

六、中洲構造大規模地震災損推估

6.1 背景說明

中央災害防救會報於 106 年 5 月 11 日第 36 次會議決定, 啟動「震源情境模擬」、「災損推估」及「因應對策」等小組, 共同進行大規模地震情境模擬與對策擬定。由國立中央大學馬國鳳教授帶領的「震源情境模擬」小組完成地動模擬, 國震中心配合該小組的地動模擬結果, 利用台灣地震損失評估系統 (TELES) 完成「災損推估」工作, 將結果提供因應對策小組作為後續研擬因應對策的參考。106 年至 107 年針對「山腳斷層南段錯動」的大規模地震模擬分析大台北都會區可能的災害情境, 108 年完成台灣周遭隱沒帶震源引致大規模地震, 對大台北都會區之衝擊情境模擬。109 年則探討「中洲構造引致大規模地震」對南部地區之衝擊。國震中心持續配合震源情境模擬結果進行災損推估工作並精進評估技術, 未來將逐步完成竹苗和東部等地區的大規模地震情境災損推估, 供各地研擬因應對策與防災整備之參考。以下針對中洲構造引致大

規模地震主要的災損推估結果分段說明。

6.2 一般建物損害與人員傷亡評估結果

在中洲構造模擬地震作用下，TELES 之一般建物災損推估結果，展示如圖 6-1、圖 6-2 和圖 6-3，分別為台南地區高中低樓層全半倒棟數分布，其中高樓層為 8-16 樓建築物，中樓層為 4-7 樓建築物，低樓層為 1-3 樓建築物，半倒為對應於建築物嚴重損害之棟數，全倒為對應於建築物完全損害之棟數。由分布圖可知，建物損害較嚴重之行政區為新化區(1,480 棟)、大內區(1,006 棟)、山上區(875 棟)。

人員傷亡評估模式考慮因一般建築物損害所引致的傷亡數量，人員傷亡程度概分為四級：第一級(輕傷)僅需基本治療，不需住院；第二級(中傷)需較多的醫療手續且需住院，但無生命危險；第三級(重傷)若無適當搶救且迅速的送醫治療將有立即的生命危險；第四級(死亡)則是震後立即死亡。圖 6-4 為台南地區日間時段(08:00~17:00)之人員傷亡數量分布，圖中所示之傷亡數量為第三級(重傷)與第四級(死亡)之數量總和。由推估數值得知，台南市人員傷亡數量較嚴重之行政區為新化區、大內區、南區和中西區等。

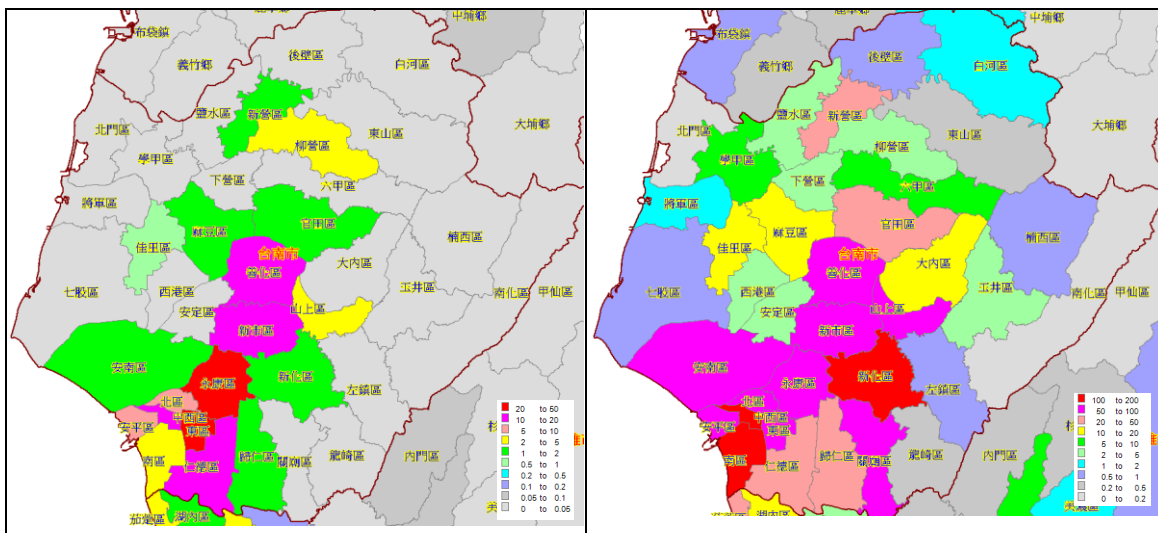


圖 6-1 台南地區全半倒棟數分布(高樓層)

圖 6-2 台南地區全半倒棟數分布(中樓層)

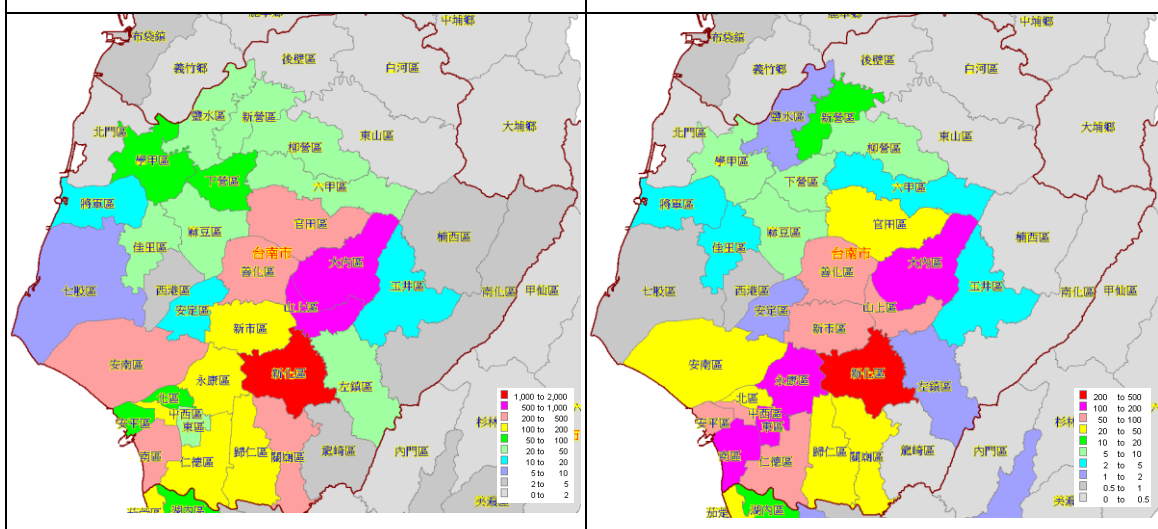


圖 6-3 台南地區全半倒棟數分布(低樓層)

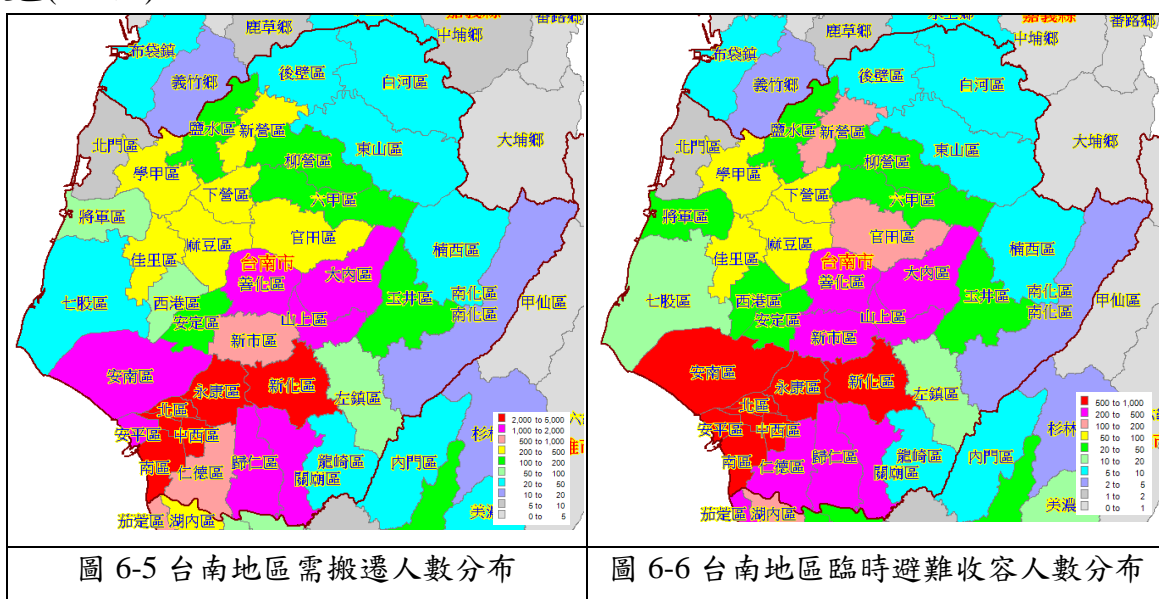
圖 6-4 台南地區日間人員傷亡數量分布

6.3 避難收容

震後避難行為可概分為緊急避難、短期收容和長期安置等三個階段。當強烈地震剛發生時，一方面住宅可能損害不堪居住，一方面擔心餘震隨時會再發生，因而有緊急避難的需求。主震過後數日內，大多數的民眾將視情況回到自己的家、借住親友家、投宿旅社或需政府提供短期收容的地方。藉由一般建築物損害評估結果，可推估由建築物損害而導致需搬遷人數與短期避難收容需求。

震後需搬遷戶數與搬遷人數乃指因建築物損壞、民生系統(如自來水、瓦斯或電力系統)停擺，甚至因震後火災或有毒物質外洩等二次災害，原有的住所已無法提供正常的生活機能而需要搬遷的戶數與人數。

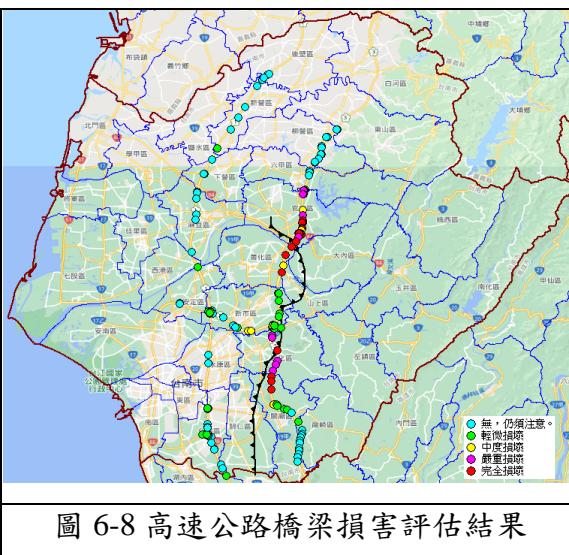
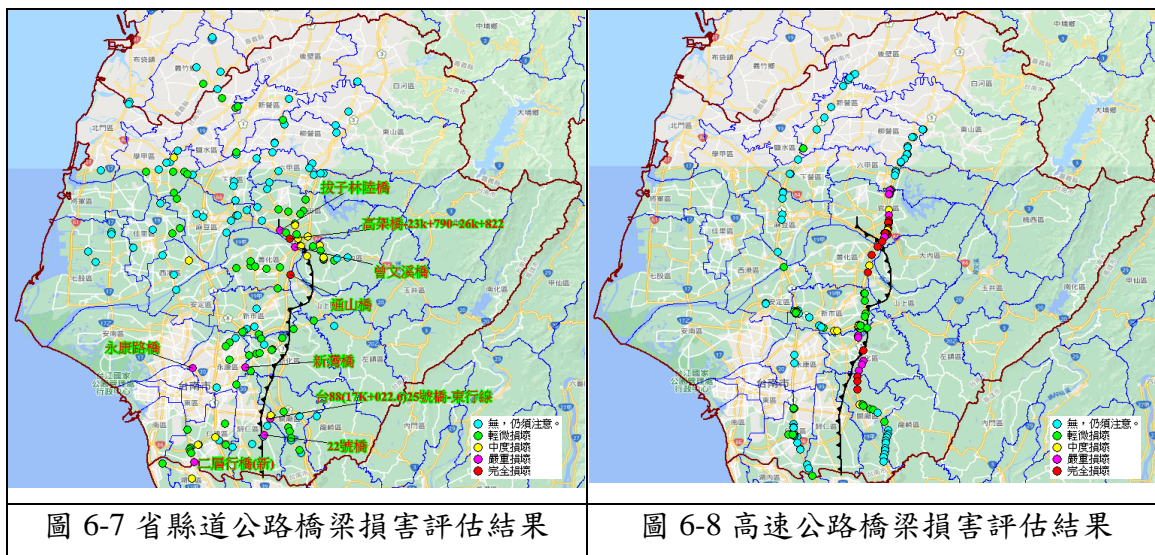
圖 6-5 為台南地區需搬遷人數分布、圖 6-6 為台南地區臨時避難收容人數分布。由推估數值得知，台南市震後臨時避難收容人數需求較高之行政區為永康區(989 人)、東區(985 人)。



6.4 公路橋梁損害評估

省縣道公路橋梁評估結果可能超越嚴重損害的橋梁，共有 13 座。其中部分橋梁因結構型式不同而分段為多筆資料，但在功能上屬同一座橋梁，詳細評估結果如圖 6-7 所示。因橋梁數量眾多且分布範圍廣大，難以逐一檢視；但大致可看出中洲構造地表跡線沿線橋梁受地震損害較為嚴重。

整體而言，國道 3 號與中洲構造大致平行，如圖 6-8，中洲構造於官田交流道南方附近穿過國道 3 號和台 84 線東西向快速道路，以及於新化休息站附近再次穿越國道 3 號，因此，國道 3 號因此損害而阻斷的可能性相當大。



6.5 自來水系統損害評估

中洲構造約呈南北走向，穿越台南市官田、大內、山上、新市、新化與歸仁等區，台南市自來水系統屬台灣自來水公司第六區管理處管轄(簡稱台水六)，與斷層鄰近的嘉義縣與高雄市分別屬台水五區處與台水七區所管轄。

模擬中洲構造發生規模 6.9 地震事件，台水各區處之自來水供水設施震損推估結果，彙整如表 6-1，受影響供水評估單元之送配水管線損害與停水戶數統計，彙整如表 6-2 所示。主要災損為台水六區處轄區，以管線災損數而言，可達七千多處，停水戶數則近四十五萬戶。

由於台南市區地勢由東往西遞降，人口集中於西南隅，而水源多來自於台南市東部山區或山腳下之集水區，而部分淨水設施恰鄰近於中洲構造，故其原水管道或送水幹管多鄰近或跨越斷層。供給台水六區用水之主要淨水場為南化淨水場、烏山頭淨水場、潭頂淨水場，其中烏山頭淨水場與潭頂淨水場鄰近中洲構造，另曾文淨水場與山上淨水場亦鄰近中洲構造，故造成台水六區之多數供水評估單元無法獲得足夠用水。推估烏山頭淨水場達中度損壞、潭頂淨水場為輕度損壞，兩者分別需 55 天與 22 天方能修復，故震後若需搶通復水，將需鄰近地區之淨水場支援供水。

自來水管線災損以遭斷層貫穿之新市服務所與歸仁服務所的災損數最高，台南市管線總災損數達六千餘處，鄰近之嘉義縣、市與高雄市也有少量災損，其分布如圖 6-9 所示。綜合導水、淨水、送配水管網之震後災損，推估各供水系統之震後缺水率和停水戶數結果，其分部如圖 6-10 所示。台水六區供水戶數約有 67 萬戶，推估停水戶數達 44 萬餘戶，台南市約有 2/3 戶數均可能遭受停水所苦。

表6-1供水設施震損結果統計

管理單位	淨水場			配水池			加壓站		水管橋		總損失 (百萬)	修復所 需天數
	總數 量	中度損 壞以上	輕微 損壞	總數 量	中度損 壞以上	輕微 損壞	總數 量	無損壞，但 仍需注意	總數 量	無損壞，但 仍需注意		
台水六區	8	2	2	18	1	1	6	0	-	-	167	262

表6-2受影響供水評估單元之送配水管線損害與停水戶數統計

管理單位	受影響戶數	每日配水量 (CMD)	缺水量 (CMD)	缺水率 (%)	停水戶數	配水管災損數	送水管災損數	修復時間 (人-時)	修復成本 (千元)
台水五區	32,171	36,693	3,967	6.11	2,520	17	0	1,585	1,447.3
台水六區	666,321	924,691	679,505	76.92	441,965	1,623	20	112,364	108,066.7
台水七區	95,161	95,059	10,698	16.70	4,780	42	0	2,850	2,769.0
總計	793,653	1,073,563	694,170	37.34	449,265	1,682	21	116,799	112,283.0

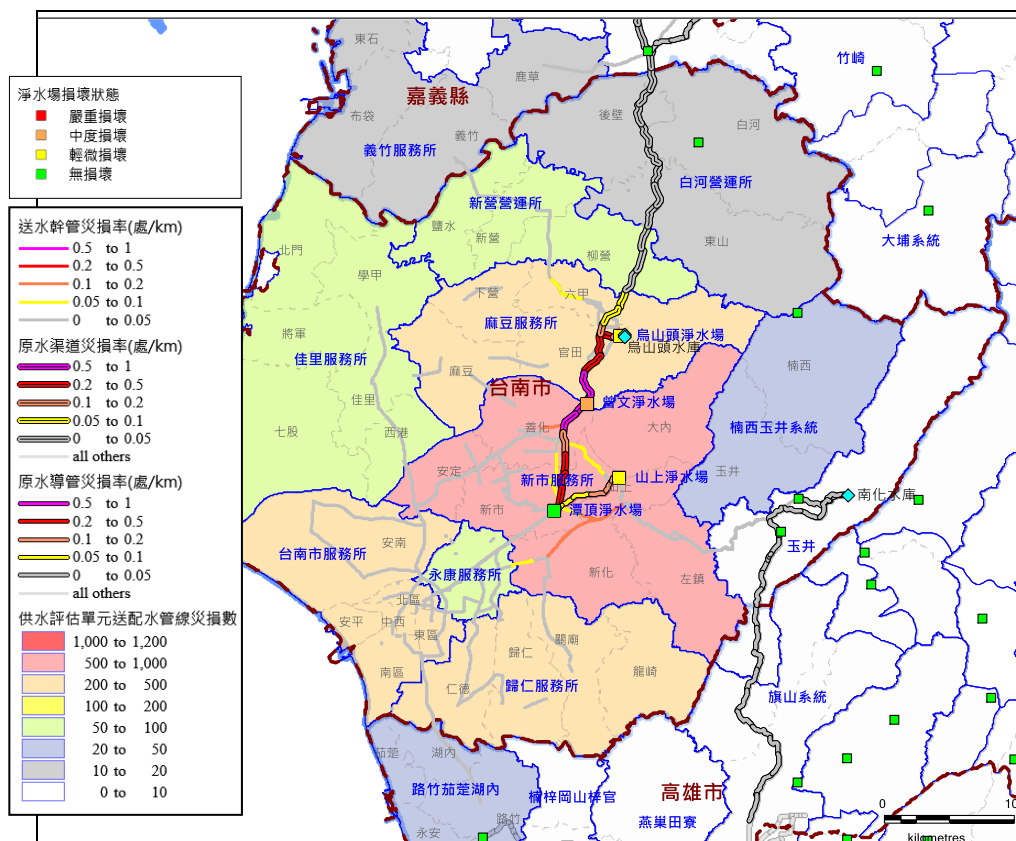


圖6-9供水評估單元之自來水管線災損分布

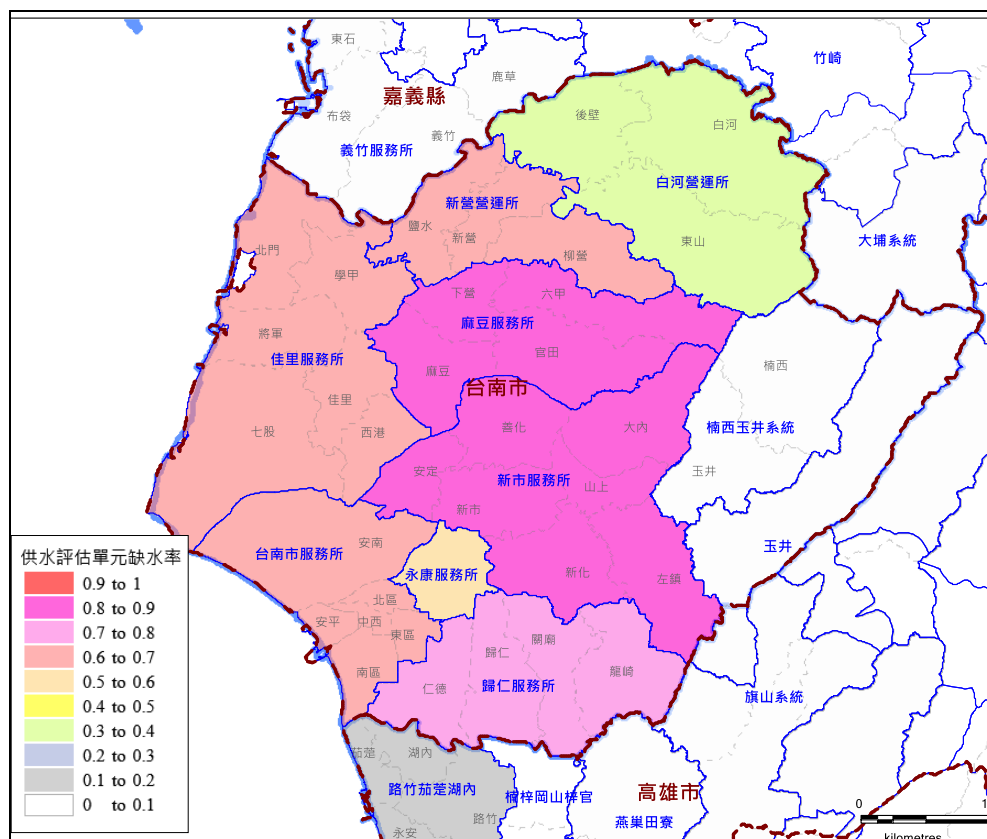


圖6-10供水評估單元之缺水率分布

參考文獻

1. 花蓮縣政府，2018，「花蓮地震橋梁特檢表」，花蓮。
2. 洪曉慧、陳俊仲、蘇進國、李柏翰、江奇融、宋裕祺，2018，「0206 花蓮地震橋梁震損調查與分析」，中華民國第十四屆結構工程研討會暨第四屆地震工程研討會論文集，論文編號 24014，台中。
3. 張國鎮，1999，「九二一集集大地震全面勘災報告—橋樑震害調查」，國家地震工程研究中心研究報告，編號 NCREE99-055，台北。
4. 經濟部中央地質調查所，1999，「九二一地震地質調查報告」。
5. 經濟部中央地質調查所，2018，「20180206 花蓮地震地質調查報告」。
6. 台北市交通管制工程處。(2019).行車管制/臺北市重大災害之緊急救援路線.
<https://www.bote.gov.taipei/News.aspx?n=ABCA7DF2180572E8&sms=E3EF5A43DA22E1CB>
7. 新北市.(2015). 新北市災害防救深耕第 2 期計畫. 新北市消防局委託專業服務. 台灣大學氣候天氣災害研究中心團隊執行.
8. 許聖富.(2003). 基隆市防災道路與避難據點之規劃. 基隆市共同管道系統整體規劃案-防災道路研討會論文集
9. 內政部營建署.(2011). 防災與救援據點規劃準則.
http://duct.cpami.gov.tw/pubWeb2/Duct/P8_2.aspx

10. 王聖銘(2000),「九二一集集地震資料分析與災情資訊管理系統之發展」,國家地震工程研究中心研究報告,編號 NCREE-00-056,台北。
11. 蕭江碧等(1999),「九二一集集大地震全面勘災報告—建築物震害調查」,國家地震工程研究中心研究報告,編號 NCREE99-054,台北。
12. 蕭江碧、李秉乾、周天穎(2001),「九二一大地震建築震害特性分析與統計」,內政部建築研究所,台北。
13. 葉錦勳、謝旻諺、李君宇、張光仁、羅俊雄,2002,「土壤液化潛能分區與評估參數研究」,液化潛能評估方法及潛能圖之製作研討會,國家地震工程研究中心主辦。
14. 葉錦勳、劉季宇、范秋屏、陳志欣、於積璿,2019,「建置配水管網地震損害風險地圖」,成果報告,臺北自來水事業處,2019年5月。
15. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. Retrieved from https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf.
16. Shiu, M.N. (2013). Emergency Department Overcrowding Analysis and Countermeasures. Department of Medical Affairs. Ministry of Health and Welfare. Retrieved from <https://www.mohw.gov.tw/dl-3079-d8ff7291-e302-4a8f-a2a5-8208c4a1ada2.html>.
17. Favier, P., Poulos, A., Vásquez, J.A., Aguirre, P. and de la Llera, J.C. (2019). Seismic risk assessment of an emergency department of a Chilean hospital using a patient-oriented performance model. *Earthquake Spectra*, 35(2), 489-512.
18. Côté, M.J. (1999). Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic. *Socio-Economic Planning Sciences*, 33, 231-245.
19. Müller, K. and Vignaux, T. (2003). SimPy: Simulating Systems in Python. ONLamp.com Python Devcenter.
20. Ministry of the Interior. 2019. Summary report by central emergency operation center for 0206 Hualien Earthquake.
21. Kao, C.Y., Yang, J.C. and Lin, C.H. (2015). The impact of ambulance and patient diversion on crowdedness of multiple emergency departments in a region. *PLoS ONE*, 10(12), 1-14.
22. Werner, S. D., Taylor, C. E., Cho, S., Lavoie, J. P., Huyck, C. K., Eitzel, C., ... & Eguchi, R. T. (2006). Redars 2 methodology and software for seismic risk analysis of highway systems (No. MCEER-06-SP08).
23. Yeh C H, Loh C H, Tsai K C. Overview of Taiwan earthquake loss estimation system[J]. *Natural hazards*, 2006, 37(1-2): 23-37.
24. Poulos, A., Favier, P., Vásquez, J. and de la Llera, J.C. (2015). "Scenario-based seismic performance assessment of a Chilean hospital," *Proceedings of the Tenth Pacific Conference on Earthquake Engineering*, 156.
25. Housner, G.W. (1963). "The behavior of inverted pendulum structures during earthquakes," *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53, 403-417.

26. Yim, C.S., Chopra, A.K. and Penzien, J. (1980). "Rocking response of rigid blocks to earthquakes," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 8, 565-587.
27. Ishiyama, Y. (1982). "Motions of rigid bodies and criteria for overturning by earthquake excitations," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10, 635-650.
28. Boroscheck, R.L. and Romo, D. (2004). "Overturning criteria for non-anchored non-symmetric rigid bodies," *Proceeding of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, 295.
29. Nezamisavojbolaghi, K. and Hosseini, M. (2017). "Behavior of special hospital equipments as rigid block with mass eccentricity subjected to horizontal component of ground motion," *Procedia Engineering*, 199, 753-758.
30. Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K., 1982, "Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction During Earthquake", *Proceedings of the Conference on Soil Dynamics & Earthquake Engineering*, Volume II, pp. 925-939.
31. Yeh, C. H., G. Y. Liu and L. H. Huang 2015. "New Study on Soil Liquefaction Susceptibility Categories," 9th WRF/JWWA/CTWWA Water System Seismic Conference, Sendai, Japan.