

震災風險評估與管理平台之研發與應用

109 年度期末成果報告

葉錦勳、林祺皓、楊承道、劉季宇、陳志欣、黃李暉

黃尹男、於積璿、林祐萱、周寶卿、曹雅筑

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

中華民國 110 年 2 月

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。

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.

目錄

摘要.....	III
Abstract.....	IV
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
1 壹、前言.....	1
2 貳、近斷層區域震損評估模式精進及應用.....	4
2.1 背景說明.....	4
2.2 公路橋梁震害資料來源.....	4
2.3 公路橋梁之損害狀態及模式.....	5
2.4 兩次地震之地震災害潛勢.....	6
2.5 資料庫建置成果.....	7
2.6 公路橋梁災損推估初步比較.....	9
3 參、地震防災與應變雲端資訊服務.....	11
3.1 TELES 評估結果自動匯入功能.....	11
3.2 主題式震損評估查詢功能.....	14
3.3 未來發展.....	16
4 肆、震後路網阻斷衝擊評估研究.....	17
4.1 研究背景.....	17
4.2 救援道路規劃準則.....	19
4.3 新北市救援路線規劃.....	20
4.4 小結.....	22
5 伍、醫院震後功能性衝擊研究.....	23
5.1 前言.....	23

5.2 就醫人流模型和參數設置.....	24
5.3 結果與討論.....	28
6 陸、中洲構造大規模地震災損推估.....	29
6.1 震源情境模型(Scenario 1).....	29
6.2 一般建物損害評估結果.....	29
6.3 人員傷亡評估.....	33
6.4 震後火災與消防資源需求推估.....	39
6.5 救災與民生物資需求評估.....	42
6.6 一般建物損害經濟損失.....	52
6.7 一般建物廢棄物評估.....	54
6.8 國中小學校舍震損評估.....	56
6.9 公路橋梁損害評估.....	57
6.10 鐵路橋梁損害評估.....	60
6.11 自來水系統損害評估.....	61
7 參考文獻.....	83

圖目錄

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	7
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	8
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	9
圖 3-1 TELES 評估結果自動匯入功能之系統架構	12
圖 3-2 想定地震事件查詢介面.....	13
圖 3-3 橋梁損害評估.....	13
圖 3-4 救災避難需求評估.....	14
圖 3-5 主題式震損評估查詢介面	15
圖 3-6 運用 QGIS 套疊 PGA 地震動圖、衛星圖及變電所圖	15
圖 4-1 新北、臺北與基隆救援據點與重要道路分布圖	18
圖 4-2 新北、臺北與基隆救援據點與重要道路分布圖	21
圖 4-3 永和區鄰近區域建物樓高密度比	21
圖 4-4 永和區鄰近區域救援路線規劃範例	21
圖 4-5 新北、臺北與基隆救援據點與重要道路分布圖	22
圖 5-1 急診室中病患就醫流程.....	24
圖 5-2 不同地震情境下病患抵達率	26
圖 6-1 中洲構造震源情境模型(Scenario 1).....	29
圖 6-2 台南地區全半倒棟數分布(高樓層).....	30
圖 6-3 台南地區全半倒棟數分布(中樓層).....	31
圖 6-4 台南地區全半倒棟數分布(低樓層).....	32
圖 6-5 台南地區日間時段人員傷亡數量分布	34
圖 6-6 台南地區夜間時段人員傷亡數量分布	35
圖 6-7 台南地區通勤時段人員傷亡數量分布	36

圖 6-8 台南地區震後起火總數分布	40
圖 6-9 台南地區震後災防隊需求隊數分布	41
圖 6-10 台南地區需搬遷人數分布	44
圖 6-11 台南地區臨時避難收容人數分布	45
圖 6-12 台南地區一般建物總經濟損失分布	53
圖 6-13 台南地區一般建物總廢棄物數量分布	55
圖 6-14 台南地區國中小高中職校舍損害推估分布	57
圖 6-15 台南地區省縣道公路橋梁損害評估結果	59
圖 6-16 台南地區高速公路橋梁損害評估結果	60
圖 6-17 台南地區鐵路橋梁地震損害評估結果	61
圖 6-18 自來水管理單位	63
圖 6-19 自來水管線分布	64
圖 6-20 供水評估單元之劃分結果	68
圖 6-21 供水評估單元之自來水管線災損分布	81
圖 6-22 供水評估單元之缺水率分布	82

表目錄

表 2-1 公路橋梁損害狀態及模式之定義	6
表 4-1 防災道路與避難據點規劃準則（來源：內政部營建署網站）	19
表 5-1 病患檢傷比例與就醫路徑比例	25
表 5-2 醫療服務的資源數.....	26
表 5-3 醫療服務的時間分布函數	27
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.....	28
表 6-1 台南市各區建物全半倒棟數量推估(單位:棟).....	32
表 6-2 台南市各區日間時段人員傷亡程度推估數值（單位:人）	36
表 6-3 台南市各區夜間時段人員傷亡程度推估數值（單位:人）	37
表 6-4 台南市各區通勤時段人員傷亡程度推估數值（單位:人）	38
表 6-5 台南市震後火災資源推估數值	41
表 6-6 台南市震後避難需求推估數值(單位：人).....	45
表 6-7 救災資源推估公式.....	47
表 6-8 台南市震後日間時段救災資源推估數值	48
表 6-9 民生物資推估公式.....	49
表 6-10 設備需求推估公式.....	49
表 6-11 台南市震後民生物資和設備需求推估數值(一).....	50
表 6-12 台南市震後民生物資和設備需求推估數值(二).....	51
表 6-13 台南市一般建物損害總經濟損失推估數值(單位：百萬元).....	53
表 6-14 台南市一般建物總廢棄物數量推估數值(單位：噸).....	55
表 6-15 台南市省縣道公路可能損害橋梁	59
表 6-16 管線分類說明.....	62
表 6-17 供水設施數量統計.....	65
表 6-18 供水評估單元與鄉鎮區之對應說明	65

表 6-19 供水評估單元之自來水管線長度統計	69
表 6-20 供水設施震損結果統計.....	73
表 6-21 受影響供水評估單元之送配水管線損害與停水戶數統計	73
表 6-22 淨水場震損評估結果分區統計	73
表 6-23 淨水場震損評估結果.....	74
表 6-24 配水池損評估結果分區統計	74
表 6-25 配水池震損評估結果.....	75
表 6-26 自來水管線災損統計(依管理單位).....	75
表 6-27 各地區之自來水管線災損統計	75
表 6-28 管線災損統計(依供水評估單元).....	78
表 6-29 震後缺水率和停水戶數結果統計	79
表 6-30 震後受影響之供水評估單元缺水率和停水戶數情境模擬結果	80

壹、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。

貳、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之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 資料庫建置成果

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 $S_a(1.0s)$ (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。

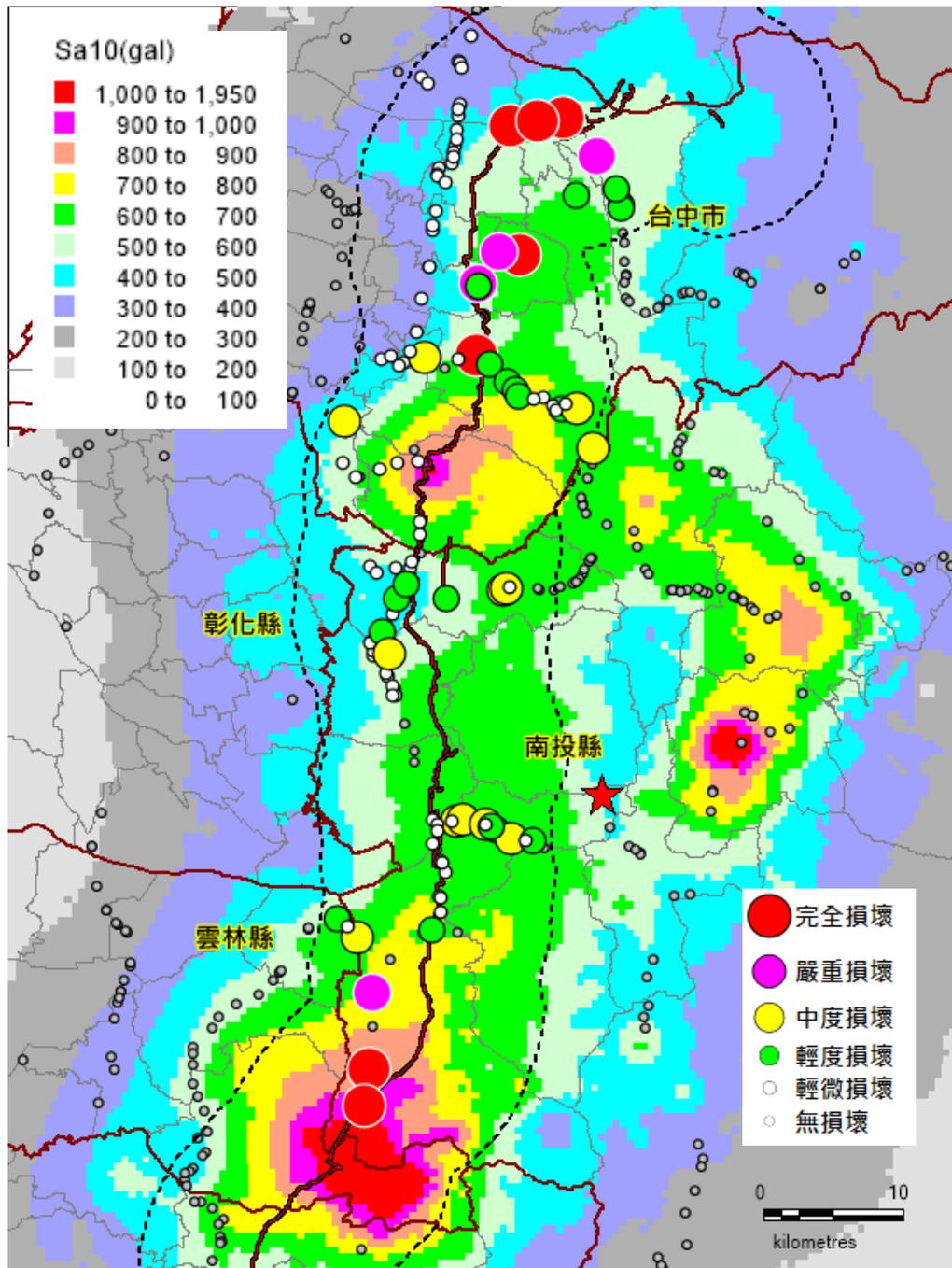


圖 2-2 九二一地震近車籠埔斷層區域及公路橋梁分布與損害狀態

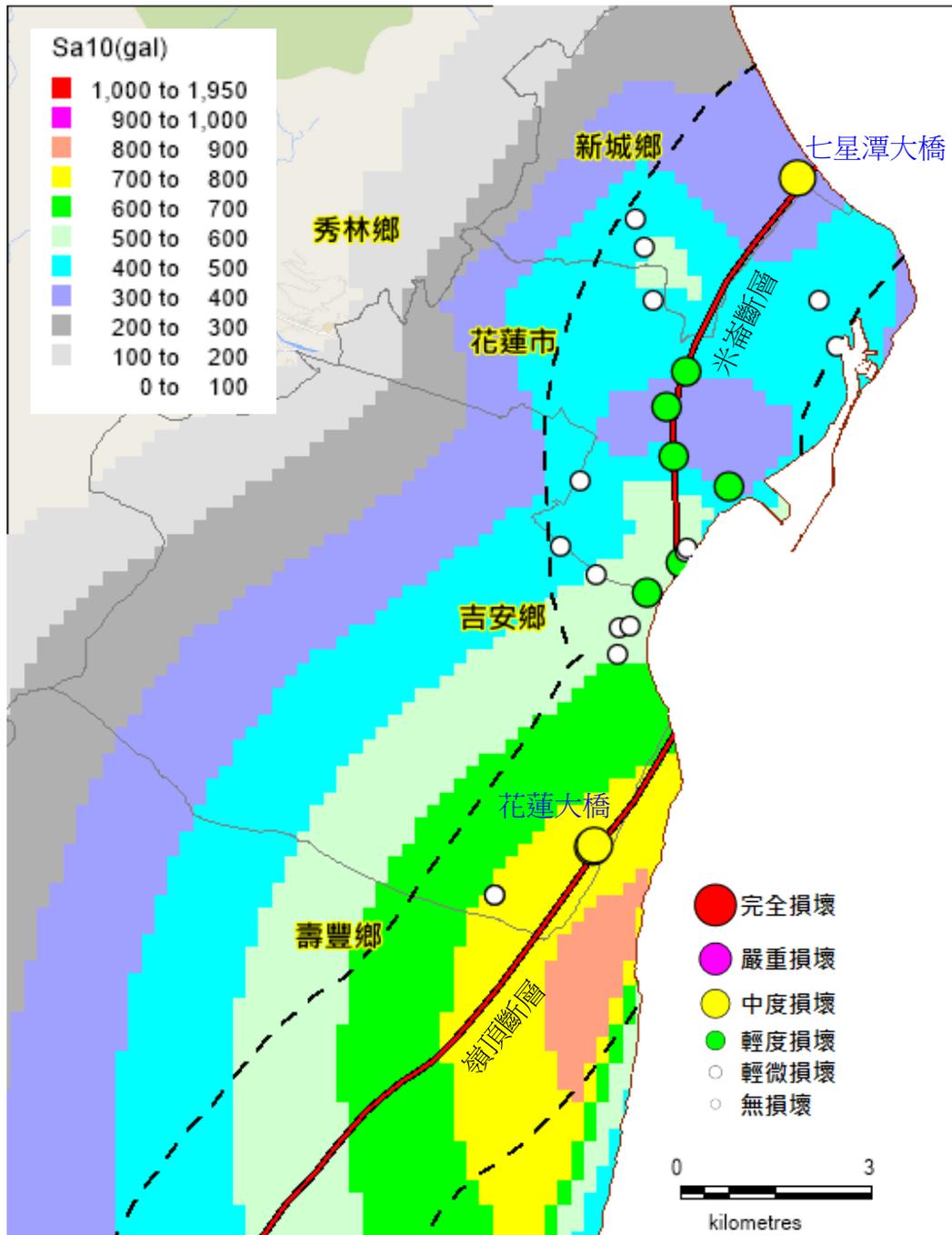


圖 2-3 2018 年花蓮地震近米崙、嶺頂斷層區域及公路橋梁分布與損害狀態

2.6 公路橋梁災損推估初步比較

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。

參、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，以作於資訊網之資料來源。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。

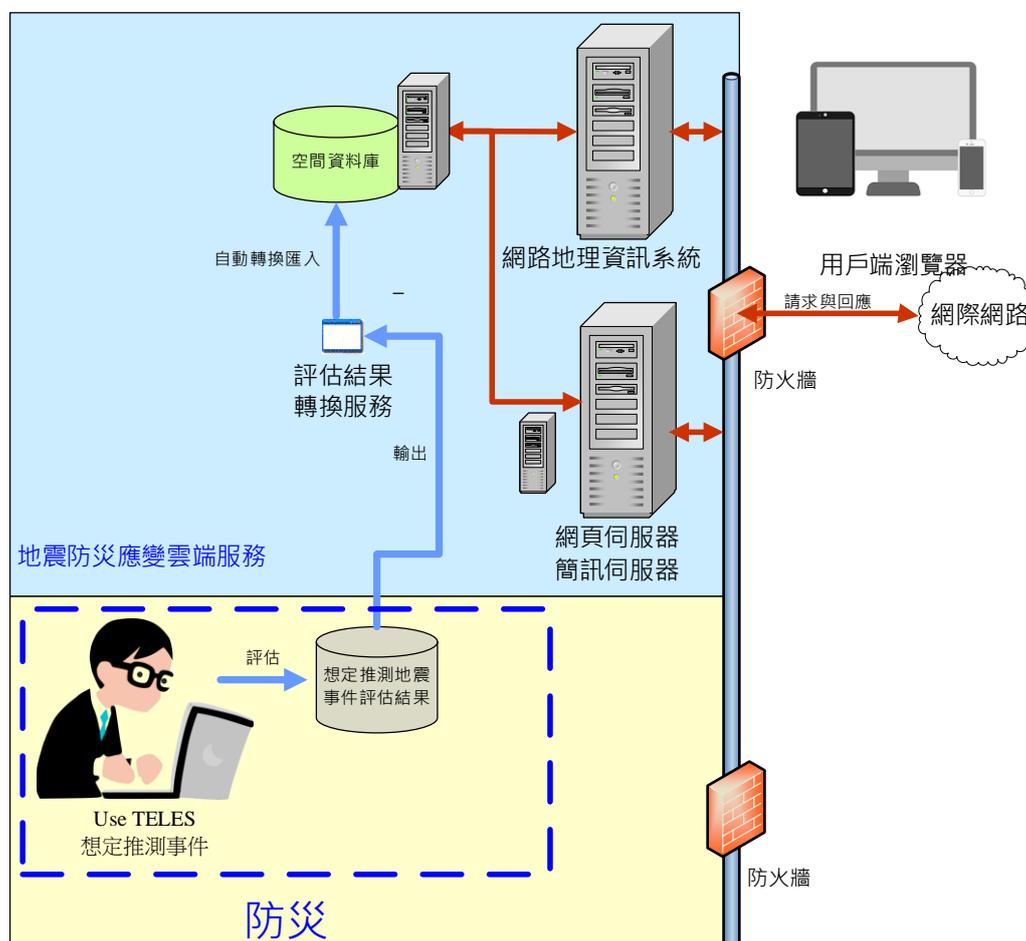


圖 3-1 TELES 評估結果自動匯入功能之系統架構

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

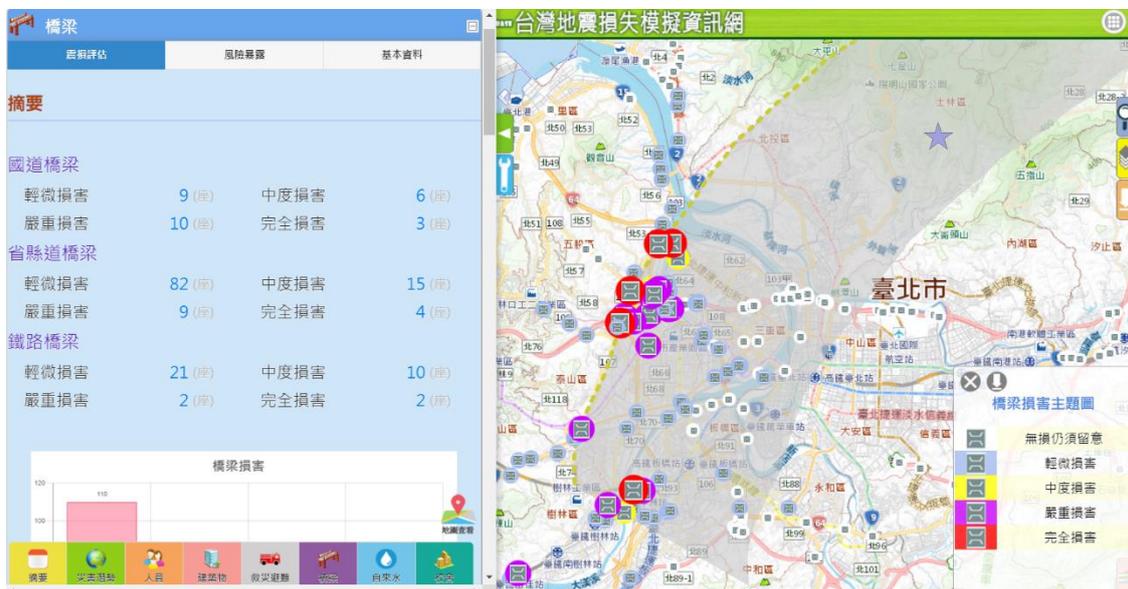


圖 3-3 橋梁損害評估

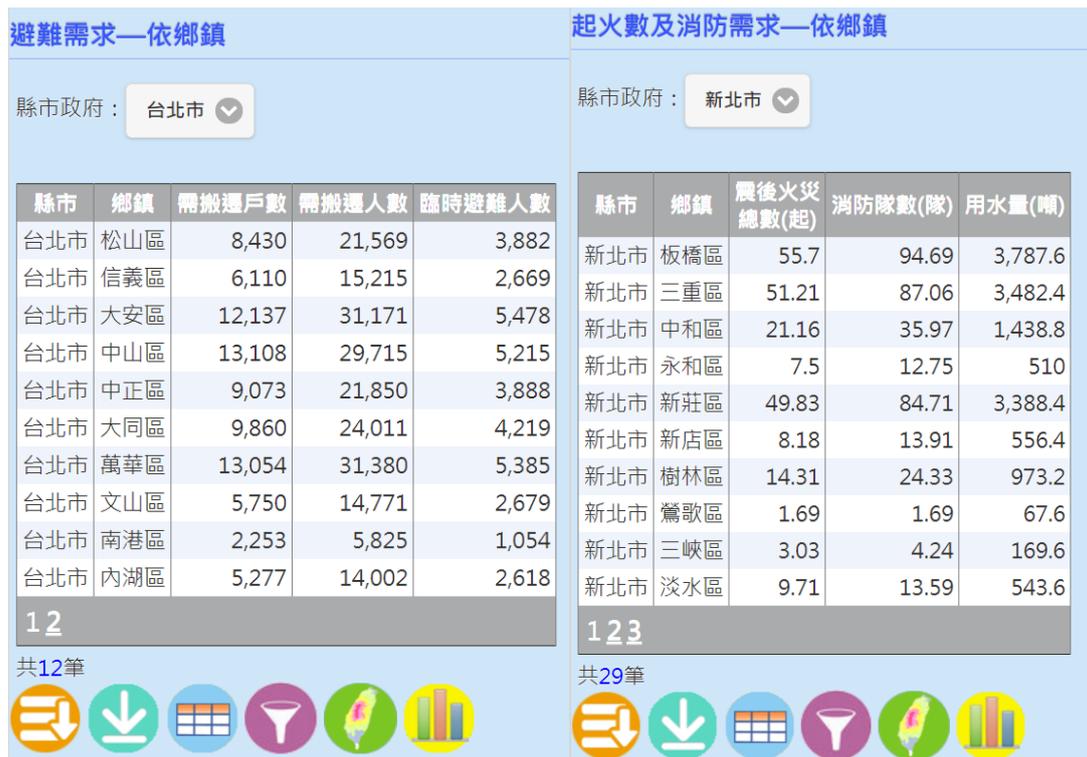


圖 3-4 救災避難需求評估

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。

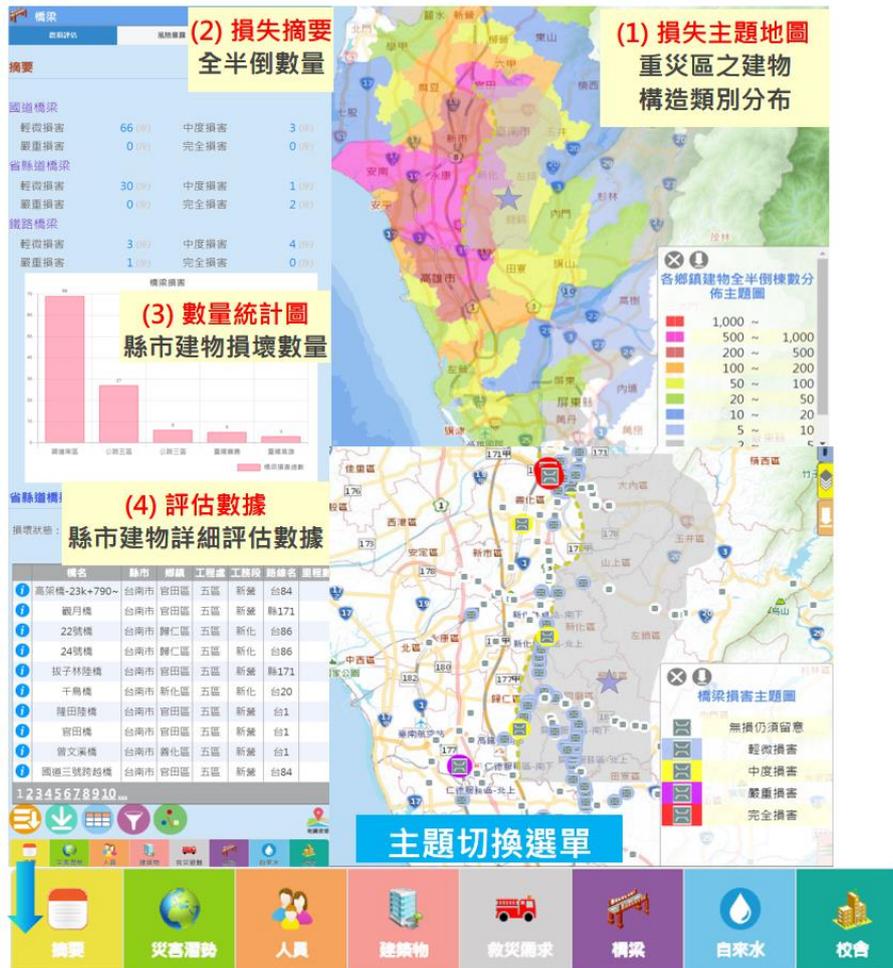


圖 3-5 主題式震損評估查詢介面

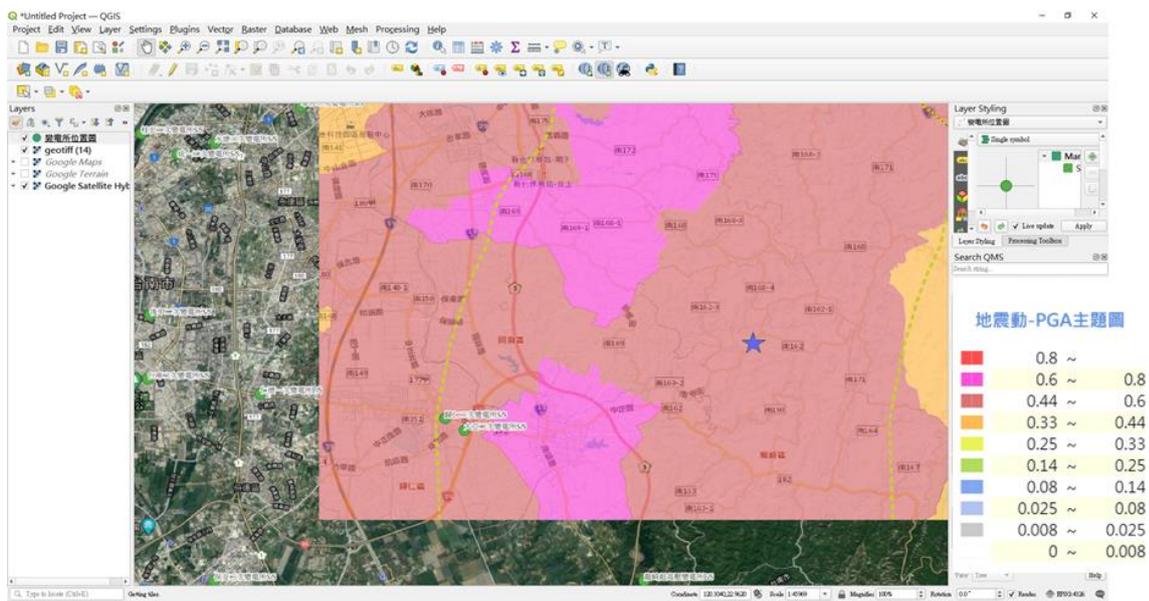


圖 3-6 運用 QGIS 套疊 PGA 地震動圖、衛星圖及變電所圖

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。

肆、震後路網阻斷衝擊評估研究

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。

4.1 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。

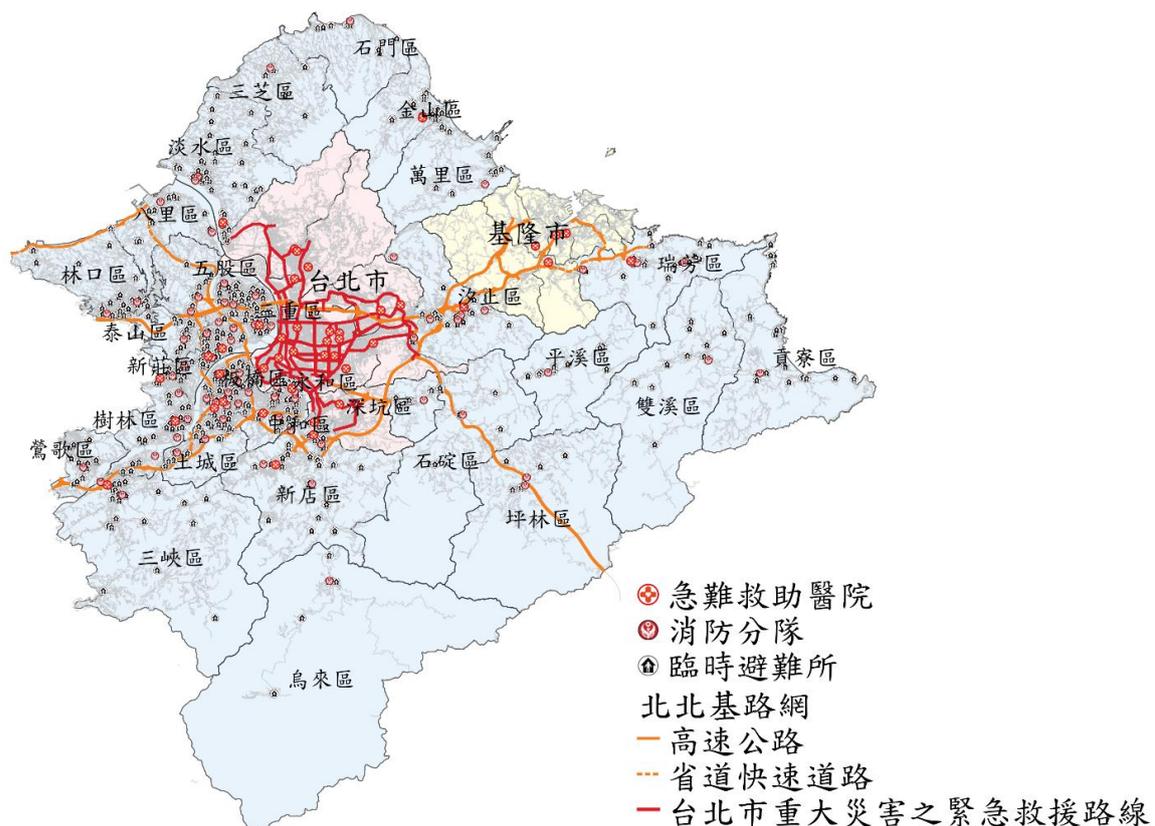


圖 4-1 新北、臺北與基隆救援據點與重要道路分布圖

4.2 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。

表 4-1 防災道路與避難據點規劃準則 (來源: 內政部營建署網站)

防災道路規劃準則	避難據點規劃準則
緊急道路: 20公尺以上聯外及主要道路 救援輸送道路: 15至20公尺主要次要道路 避難輔助道路: 8至15公尺道路	分緊急避難、臨時避難、臨時收容及中長期收容場所四種, 優先考慮學校、體育場作為中長期收容場所。鄰近道路、醫院、消防、警政單位、行政中心、物質配送集散場所。

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。

4.3 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 4-2 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 4-4 永和區鄰近區域救援路線規劃範例

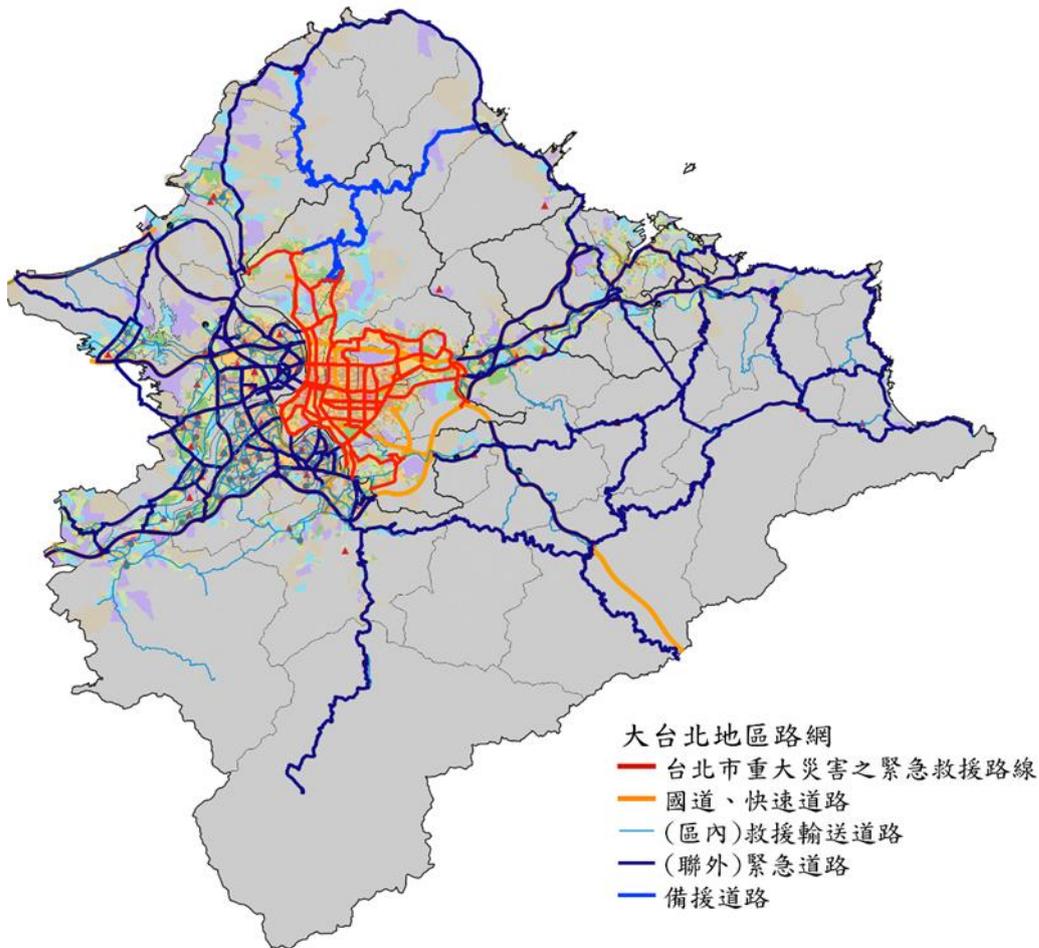


圖 4-5 新北、臺北與基隆救援據點與重要道路分布圖

4.4 小結

本文以新北市為範例，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。

伍、醫院震後功能性衝擊研究

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。

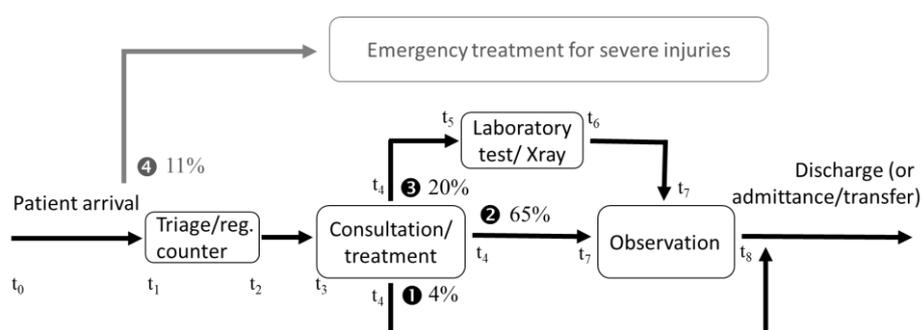


圖 5-1 急診室中病患就醫流程

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+AL2	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。

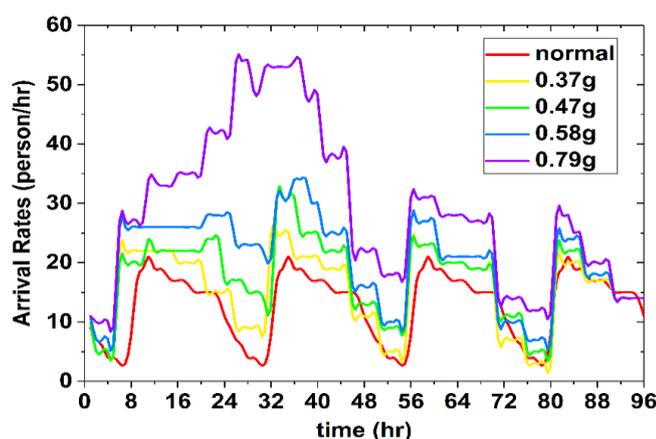


圖 5-2 不同地震情境下病患抵達率

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的處理過程。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。

陸、中洲構造大規模地震災損推估

6.1 震源情境模型(Scenario 1)

地震矩規模, M_w	6.9
地震矩 (Nt-m)	2.8×10^{19}
斷層尺度 (km)	長：29.2；寬：24.0
斷層面積 (km ²)	700.8
斷層面與震源機制 (°)	走向：13；傾角：30；滑移角：90
斷層最深處	11.9 km

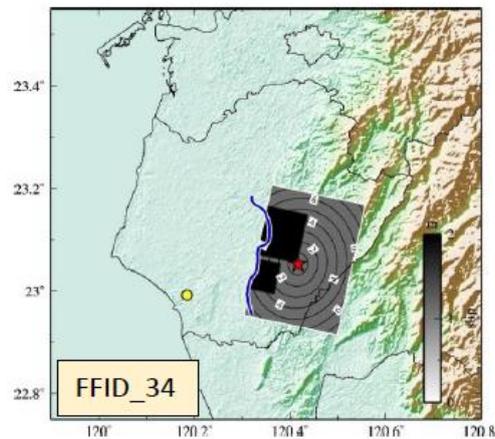


圖 6-1 中洲構造震源情境模型(Scenario 1)

6.2 一般建物損害評估結果

一般建築物損害評估乃根據地震災害潛勢分析所推估的地表震動強度與土層破壞程度，依不同模型建物之耐震能力與損害評估模式，推估其損害狀態機率和數量，供後續進行人員傷亡、避難需求和經濟損失評估之用。依現行建築技術規則，一般具平面與立面規則性、且高度在 50 公尺以下的建築物，可依靜力分析法或反應譜法作設計。採能耐曲線法進行耐震能力評估時，僅適用於一般具平面與立面規則性之建築物。建築物依模型建物和耐震設計水準分類後，每一類的建築物乃代表許多棟各有特色的建築物；因此，其能耐曲線、耐震需求曲線或易損性曲線之分析參數值的設定應考慮其不確定性，且損害評估的結果應視為某區域之該類模型建物損害的平均值。

在模擬地震作用下，綜合地表震動和土層破壞所引致的損害狀態機率，並搭配風險暴露分析資料，將行政區域內之建築物棟數與損害狀態機率相乘，可得到該行政區域內各種損害狀態的建築物棟數。

圖 6-2、圖 6-3 和圖 6-4 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。表 6-1 為台南市各區之全半倒推估值，其中低樓房為 1~3 樓、中高樓房為 4~7 樓、高樓層為 8 樓以上。由推估數值得知，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)。

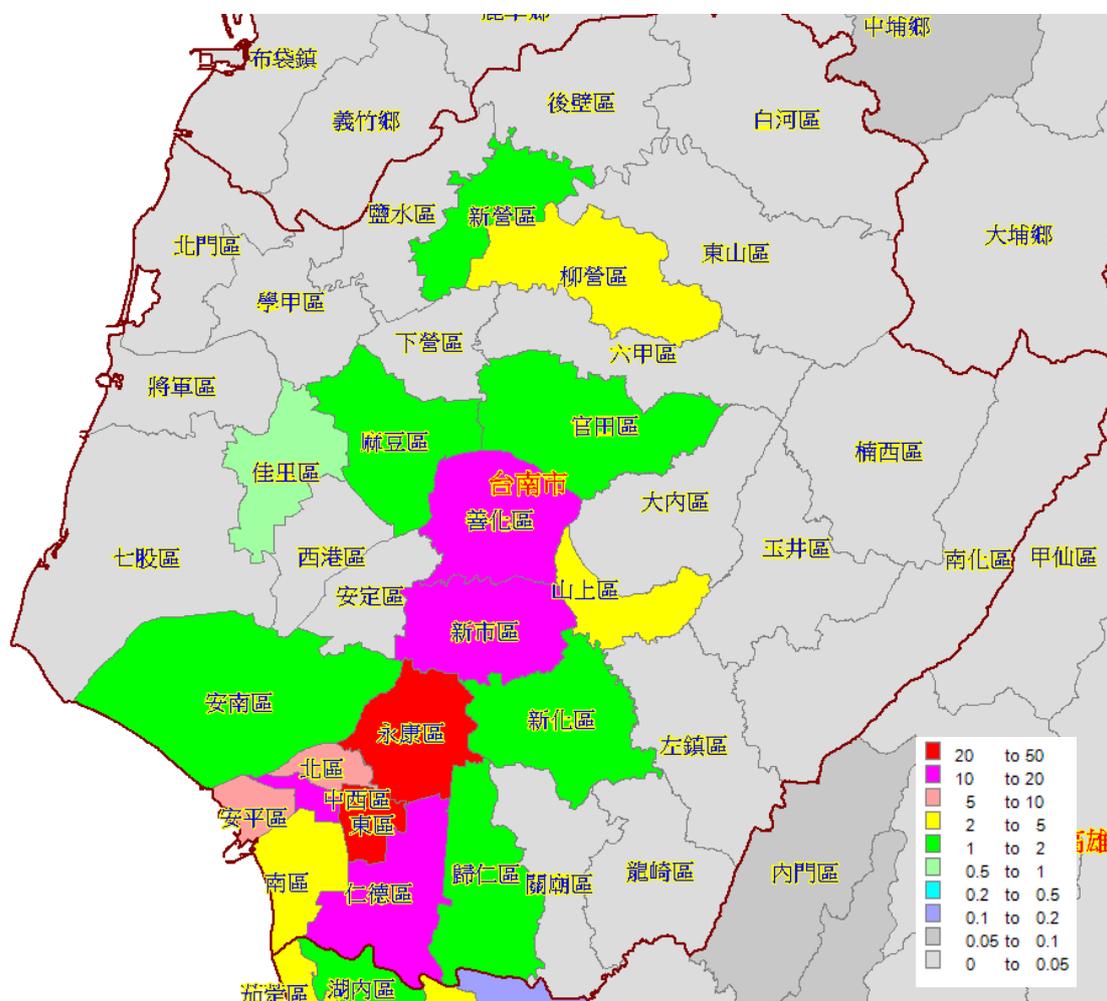


圖 6-2 台南地區全半倒棟數分布(高樓層)

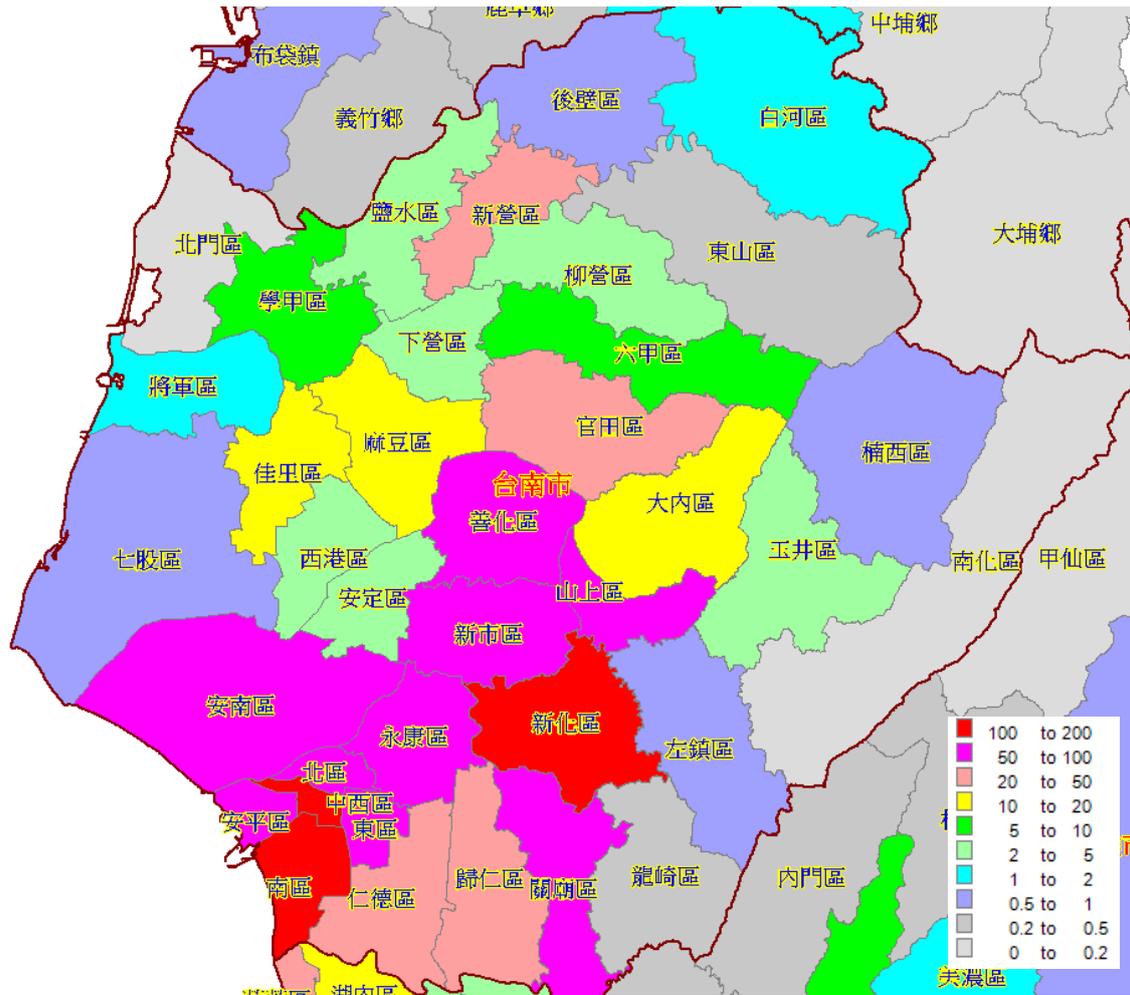


圖 6-3 台南地區全半倒棟數分布(中樓層)

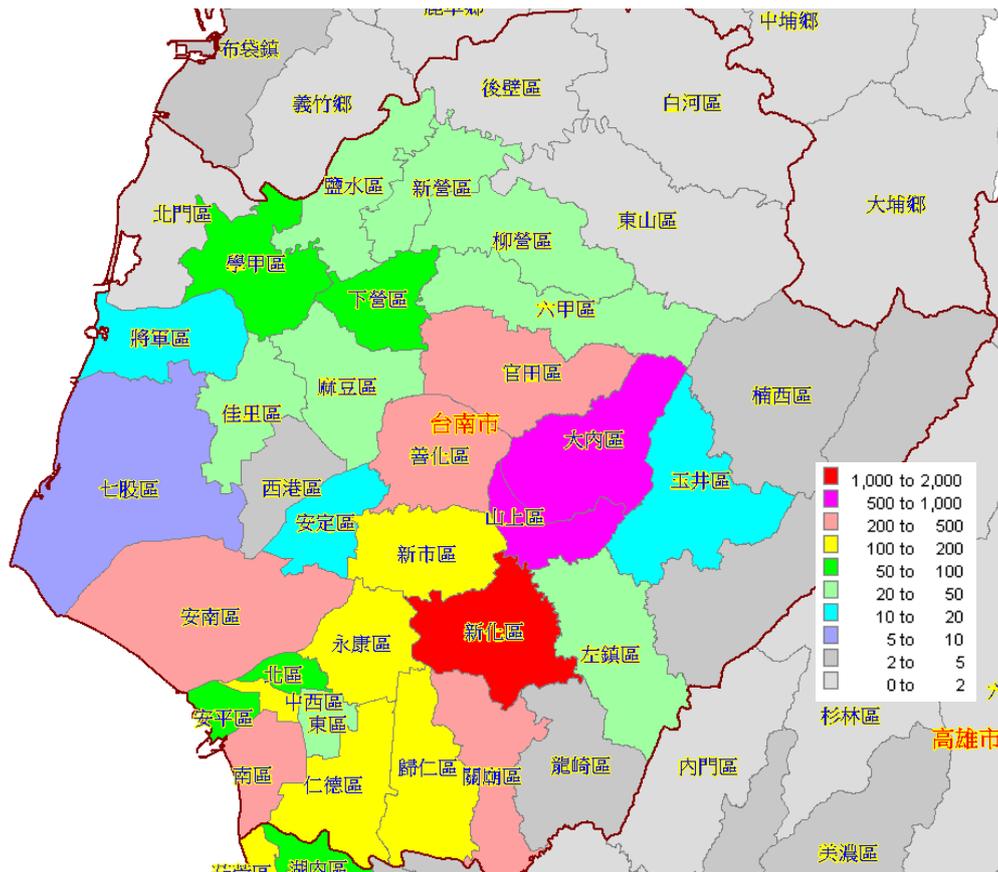


圖 6-4 台南地區全半倒棟數分布(低樓層)

表 6-1 台南市各區建物全半倒棟數量推估(單位:棟)

鄉鎮區	低層樓 1-3 樓	中層樓 4-7 樓	高層樓 8 樓以上	超高層樓 19 樓以上	總棟數
新化區	1,284	194	2	-	1,480
大內區	994	12	-	-	1,006
山上區	816	55	4	-	875
南區	344	132	4	-	479
關廟區	376	55	-	-	431
善化區	308	64	18	-	389
安南區	246	74	2	-	322
中西區	152	131	14	1	298
官田區	223	30	2	-	255
永康區	115	90	38	1	244
新市區	114	80	13	-	207
安平區	97	77	7	1	183
仁德區	109	45	14	-	168

北區	78	78	8	1	165
歸仁區	103	49	2	-	153
東區	34	82	28	2	147
下營區	86	5	-	-	91
新營區	44	31	2	0	77
學甲區	52	10	0	-	62
麻豆區	37	14	1	-	52
柳營區	40	3	2	-	46
佳里區	22	13	1	-	35
六甲區	29	6	0	-	34
左鎮區	26	1	-	-	27
鹽水區	20	4	0	-	24
將軍區	18	2	-	-	20
玉井區	15	4	-	-	19
安定區	13	5	-	-	17
七股區	6	1	0	-	7
西港區	3	3	0	-	6
楠西區	3	1	0	-	4
龍崎區	3	0	-	-	4
白河區	1	1	0	-	3
後壁區	2	1	-	-	2
南化區	2	0	-	-	2
東山區	1	0	-	-	2
北門區	1	0	-	-	1

6.3 人員傷亡評估

進行人員傷亡評估時需要不同時段的人口動態分布資料，以推估地震時在建築物內的人口數，進而推估因建築物損害而導致人員傷亡的數量。各縣市政府的戶籍資料所登記的是人口靜態分布的資料，僅能反映各村里之設籍人口數，與地震時的人口分布並不一致。為推估人口動態分布的數據，可假設不同時段在不同用途建物的的人口密度為定值，配合各村里之用途分類建築物的樓地板面積資料，可推估各村里在不同時段的人口動態分布資料。

目前人員傷亡評估模式僅考慮因一般建築物損害所引致的傷亡數量，其它因山崩、震後火災、有毒物質外洩或水壩等高危險設施損害等所引致

的傷亡，因資料不足且無妥善評估模式，尚未納入人員傷亡評估模組。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 6-5 圖 6-6 圖 6-7 分別為台南地區日間、夜間和通勤時段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。日間時段為 08:00~17:00、夜間時段為 22:00~08:00、通勤和例假日時段為 07:00~09:00、17:00~19:00 和例假日的日間時段。表 6-2~表 6-4 為台南市各區於各時段下之人員傷亡程度統計數值。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。

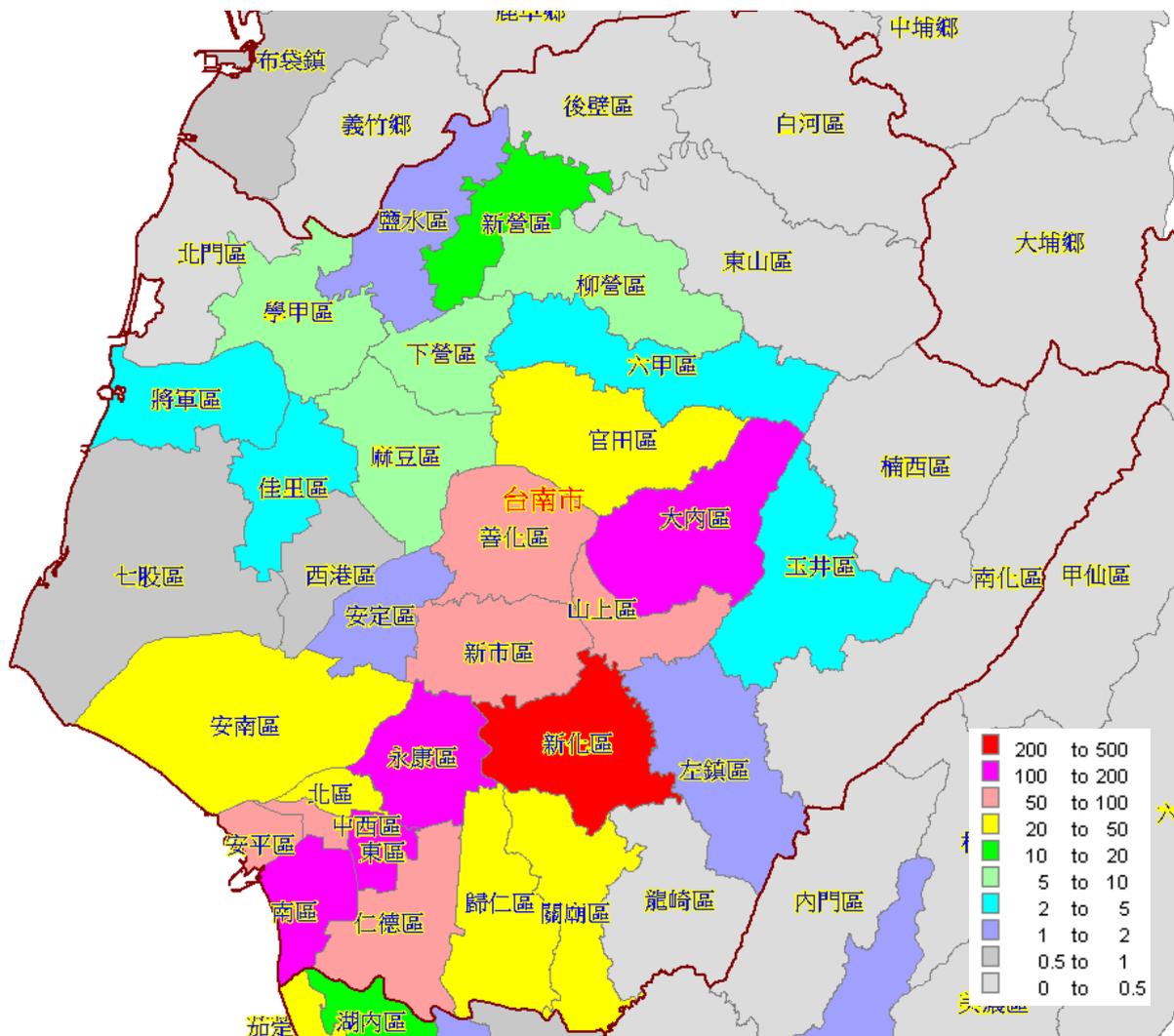


圖 6-5 台南地區日間時段人員傷亡數量分布

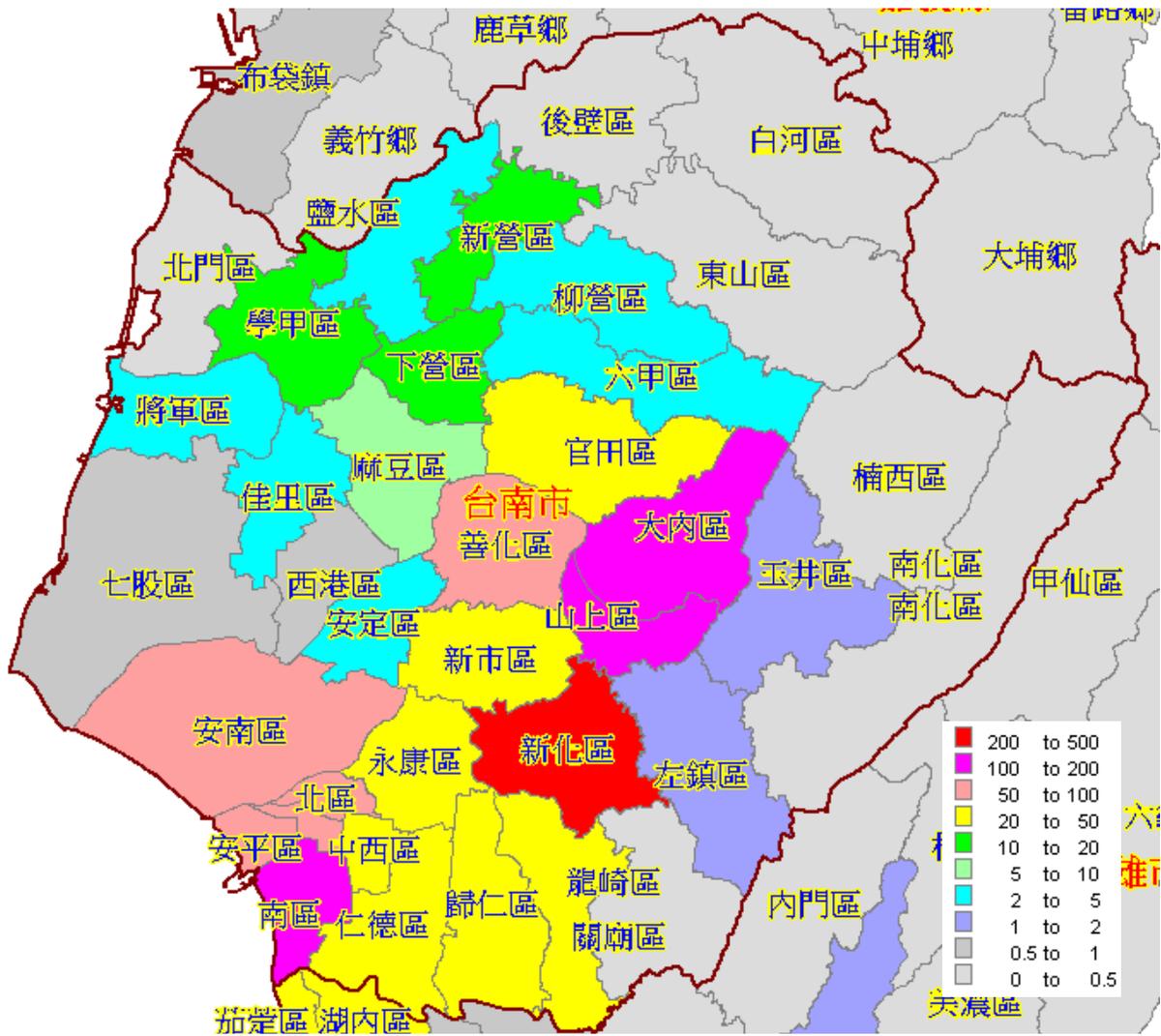


圖 6-6 台南地區夜間時段人員傷亡數量分布

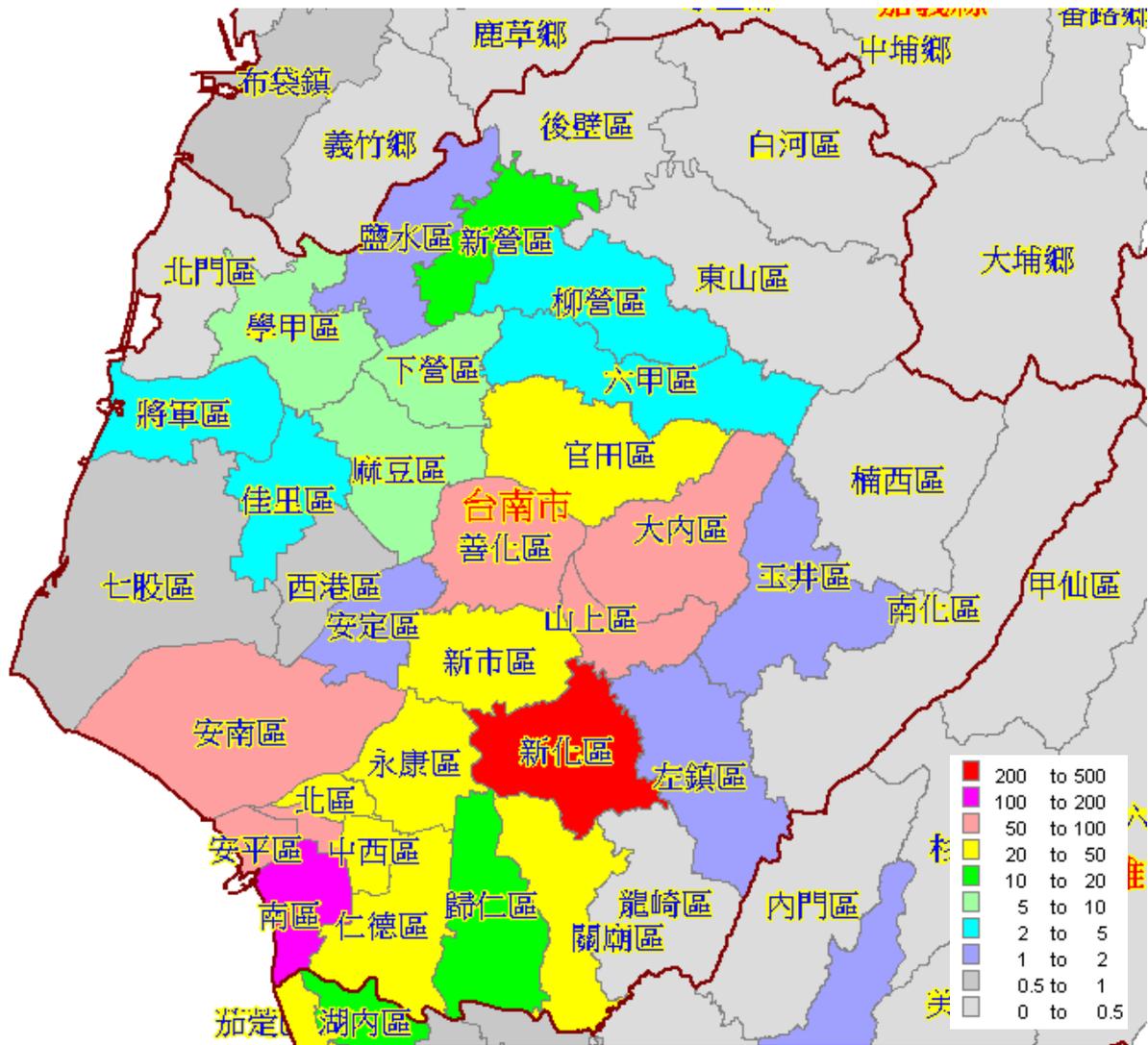


圖 6-7 台南地區通勤時段人員傷亡數量分布

表 6-2 台南市各區日間時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)

鄉鎮區	輕傷不需要住院	中等傷害需住院	重傷且有生命危險	立即死亡	傷亡和 (重傷加死亡)
新化區	370	189	122	92	214
南區	210	102	66	48	114
中西區	190	87	56	40	96
大內區	144	79	51	39	90
山上區	154	79	51	38	90
善化區	134	61	38	28	67
安南區	121	57	37	27	64
安平區	115	56	36	27	63

北區	103	44	28	20	48
東區	111	42	26	19	45
永康區	108	42	26	18	44
關廟區	80	36	22	17	39
新市區	65	28	17	13	30
仁德區	57	23	15	11	25
官田區	47	21	13	10	23
歸仁區	44	18	11	8	19
新營區	28	11	7	5	12
學甲區	18	8	5	4	9
下營區	17	8	5	4	9
麻豆區	14	5	3	2	6
柳營區	9	4	2	2	4
佳里區	11	4	2	2	4
六甲區	7	3	2	1	3
將軍區	5	2	1	1	2
鹽水區	5	2	1	1	2
安定區	5	2	1	1	2
左鎮區	3	1	1	1	2
玉井區	4	1	1	1	1
七股區	1	1	0	0	1
西港區	2	1	0	0	1
龍崎區	1	0	0	0	0
白河區	1	0	0	0	0
楠西區	1	0	0	0	0
後壁區	0	0	0	0	0
東山區	0	0	0	0	0
南化區	0	0	0	0	0
北門區	0	0	0	0	0

表 6-3 台南市各區夜間時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)

鄉鎮區	輕傷不需要住院	中等傷害需住院	重傷且有生命危險	立即死亡	傷亡和 (重傷加死亡)
新化區	668	355	233	173	406
大內區	207	115	75	57	132
永康區	265	113	72	52	124
東區	235	99	63	45	108
南區	196	96	62	46	107
中西區	191	85	55	39	94
山上區	162	82	53	40	93
善化區	152	70	44	33	77

新市區	142	64	41	30	71
仁德區	139	59	38	27	65
安平區	111	54	35	26	61
安南區	95	44	28	21	49
關廟區	95	43	27	20	47
北區	88	37	23	17	40
歸仁區	60	24	15	11	26
官田區	49	21	13	10	23
新營區	29	11	7	5	12
柳營區	19	8	5	4	9
麻豆區	23	9	5	4	9
下營區	17	8	5	4	9
學甲區	15	7	4	3	7
佳里區	11	4	3	2	4
玉井區	6	2	1	1	2
六甲區	5	2	1	1	2
將軍區	4	2	1	1	2
鹽水區	4	2	1	1	2
左鎮區	3	1	1	1	1
安定區	4	1	1	1	1
西港區	2	1	0	0	1
七股區	1	1	0	0	1
龍崎區	1	0	0	0	0
白河區	1	0	0	0	0
楠西區	1	0	0	0	0
東山區	1	0	0	0	0
南化區	0	0	0	0	0
後壁區	1	0	0	0	0
北門區	0	0	0	0	0

表 6-4 台南市各區通勤時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)

鄉鎮區	輕傷不需要住院	中等傷害需住院	重傷且有生命危險	立即死亡	傷亡和 (重傷加死亡)
新化區	402	204	131	98	230
大內區	198	108	70	53	124
南區	212	102	66	48	114
山上區	178	94	61	46	107
中西區	184	85	55	40	95
安南區	154	73	47	34	81
安平區	129	62	41	30	70
北區	121	52	33	24	57
善化區	108	48	30	22	53
東區	114	42	26	18	44

永康區	111	42	25	18	44
關廟區	82	36	22	17	39
官田區	62	28	18	13	31
仁德區	52	21	13	10	23
歸仁區	53	21	13	10	23
新市區	50	20	12	9	21
新營區	30	12	7	5	13
下營區	23	11	7	5	12
學甲區	20	9	6	4	10
麻豆區	16	7	4	3	7
佳里區	12	5	3	2	5
柳營區	10	4	3	2	5
六甲區	10	4	2	2	4
鹽水區	6	2	1	1	3
將軍區	5	2	1	1	2
安定區	6	2	1	1	2
左鎮區	4	2	1	1	2
玉井區	5	2	1	1	2
七股區	2	1	0	0	1
西港區	2	1	0	0	1
白河區	1	0	0	0	0
龍崎區	1	0	0	0	0
楠西區	1	0	0	0	0
後壁區	1	0	0	0	0
東山區	1	0	0	0	0
南化區	0	0	0	0	0
北門區	0	0	0	0	0

6.4 震後火災與消防資源需求推估

由以往國內、外大規模地震的震災經驗，震後由於用火不慎、瓦斯漏氣或電線短路等的因素，加以無法即時供給足夠的消防用水，常引致大範圍地區的火災，造成極大的人命傷亡和經濟損失。TELES 以村里為地理單元，綜合考慮地表震動強度和(土壤液化與斷層破裂引致之)永久位移量以計算各村里的震後起火率後，乘上各村里之總樓地板面積，可求得各村里可能的震後起火數(葉錦勳，2006)。依震後起火總數推估所需消防隊數與所需消防用水量。圖 6-8 為台南北地區震後火災總數分布、圖 6-9 為台南地區震後消防隊需求隊數分布。表 6-5 為台南市震後火災資源推估數值。由推估數

值得知，台南市震後火災較嚴重之行政區為南區(13起)、安南區(12起)。

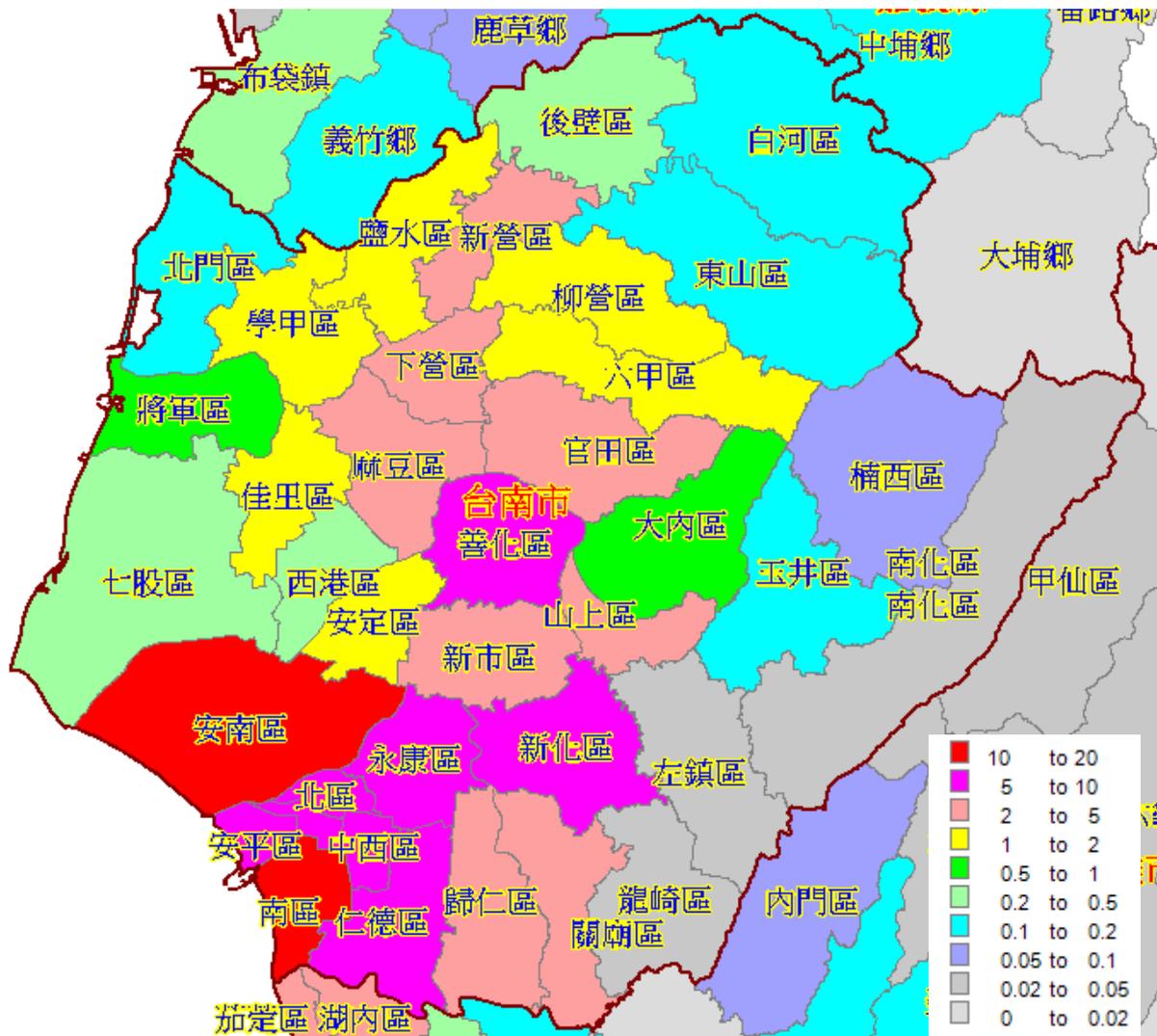


圖 6-8 台南地區震後起火總數分布

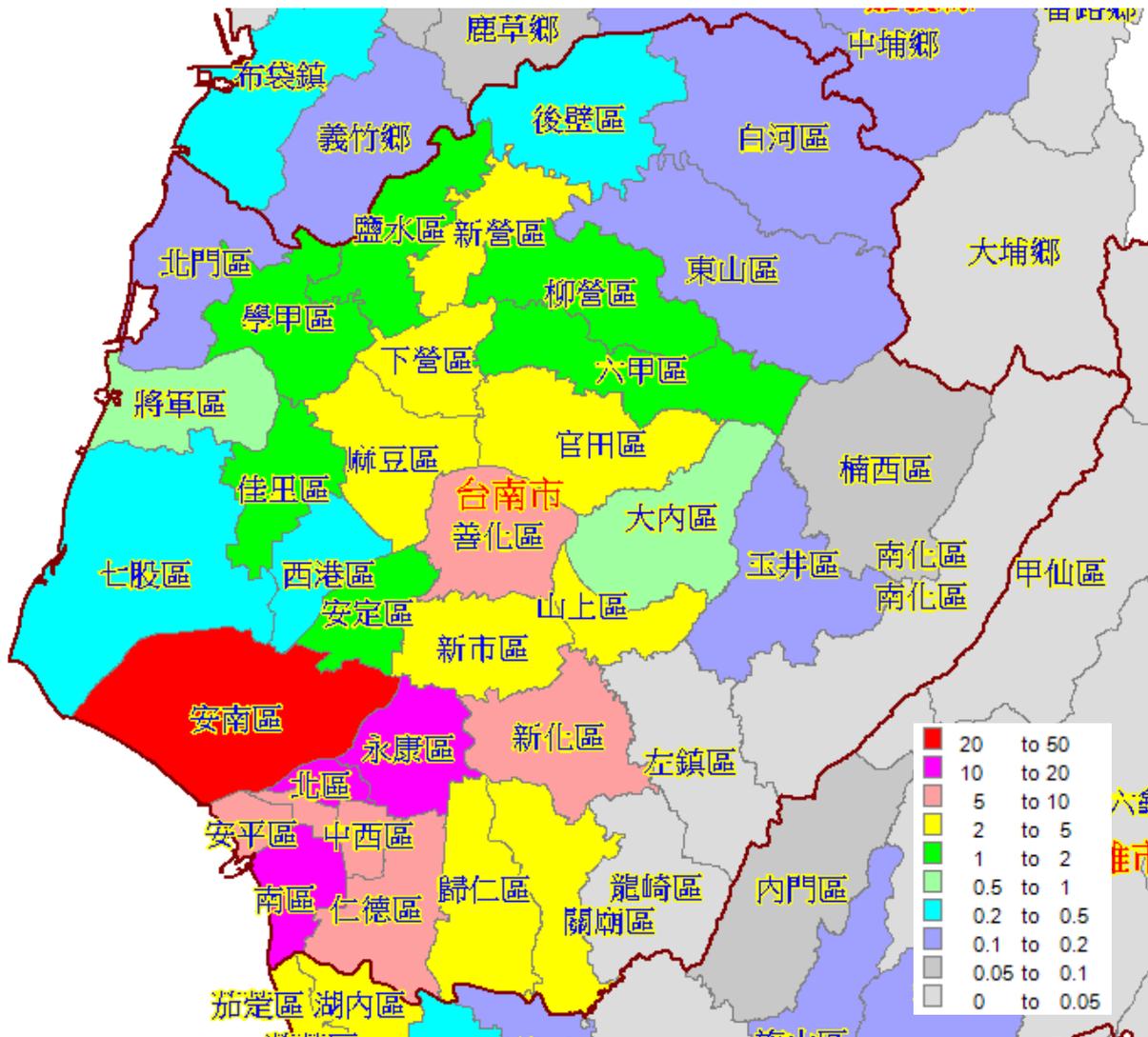


圖 6-9 台南地區震後災防隊需求隊數分布

表 6-5 台南市震後火災資源推估數值

鄉鎮區	人口數 (單位：人)	震後火災總數 (單位：起)	消防隊數量 (單位：隊)	消防用水量 (單位：噸)
南區	126,173	13	19	750
安南區	178,119	12	20	817
中西區	79,271	10	10	388
安平區	62,602	9	9	363
永康區	216,748	8	13	529
善化區	43,477	8	8	304
北區	131,925	7	10	406
仁德區	69,343	6	6	229
東區	194,183	5	9	364
新化區	44,096	5	5	206
新市區	34,740	4	4	172

歸仁區	65,819	4	4	163
新營區	78,105	3	3	136
官田區	22,212	3	3	133
關廟區	36,026	3	3	106
下營區	26,119	2	2	95
麻豆區	45,795	2	2	90
山上區	7,864	2	2	81
學甲區	27,864	2	2	76
柳營區	22,726	2	2	65
佳里區	59,269	1	1	58
六甲區	23,694	1	1	50
安定區	30,232	1	1	46
鹽水區	27,160	1	1	42
大內區	10,899	1	1	30
將軍區	21,579	1	1	30
七股區	24,815	0	0	15
西港區	25,200	0	0	14
後壁區	25,884	0	0	9
白河區	31,395	0	0	6
北門區	12,468	0	0	6
東山區	23,117	0	0	4
玉井區	15,413	0	0	4
楠西區	10,663	0	0	2
左鎮區	5,492	0	0	2
南化區	8,925	0	0	1
龍崎區	4,382	0	0	1

6.5 救災與民生物資需求評估

6.5.1 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。目前 TELES 主要僅探討震後緊急避難和短期收容數量之推估模式和校正分析參數值(葉錦勳, 2006)。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。理論上，需配合各地區可能缺水、缺瓦斯或缺電的比率，以及震後火災的延燒面積等來加以概估；但目前 TELES 僅考慮建築物損害所導致的避難需求，將其它因素引致的需求隱含於模式中。

根據過去國內、外震災、水災或風災經驗，被迫遷離住所的災民多數會尋求親友協助收容，但部分災民需尋求由政府、民間救難組織所提供的短期公共避難收容場所，或選擇暫住旅館或承租公寓。本計畫所探討的短期避難收容數量乃針對震後尋求公共避難收容場所的災民。影響災民避難行為的因素有家庭收入、住宅自有率與年齡等。尋找公共避難收容場所的災民大多為低收入戶，因為其避難方式的選擇性相對較少；其次，小孩與老人由於行動能力和經濟狀況等因素，通常較需公共避難收容場所提供飲食與安全住所。

圖 6-10 為台南地區需搬遷人數分布、圖 6-11 為台南地區臨時避難收容人數分布。表 6-6 為台南市震後避難需求推估數值。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)。

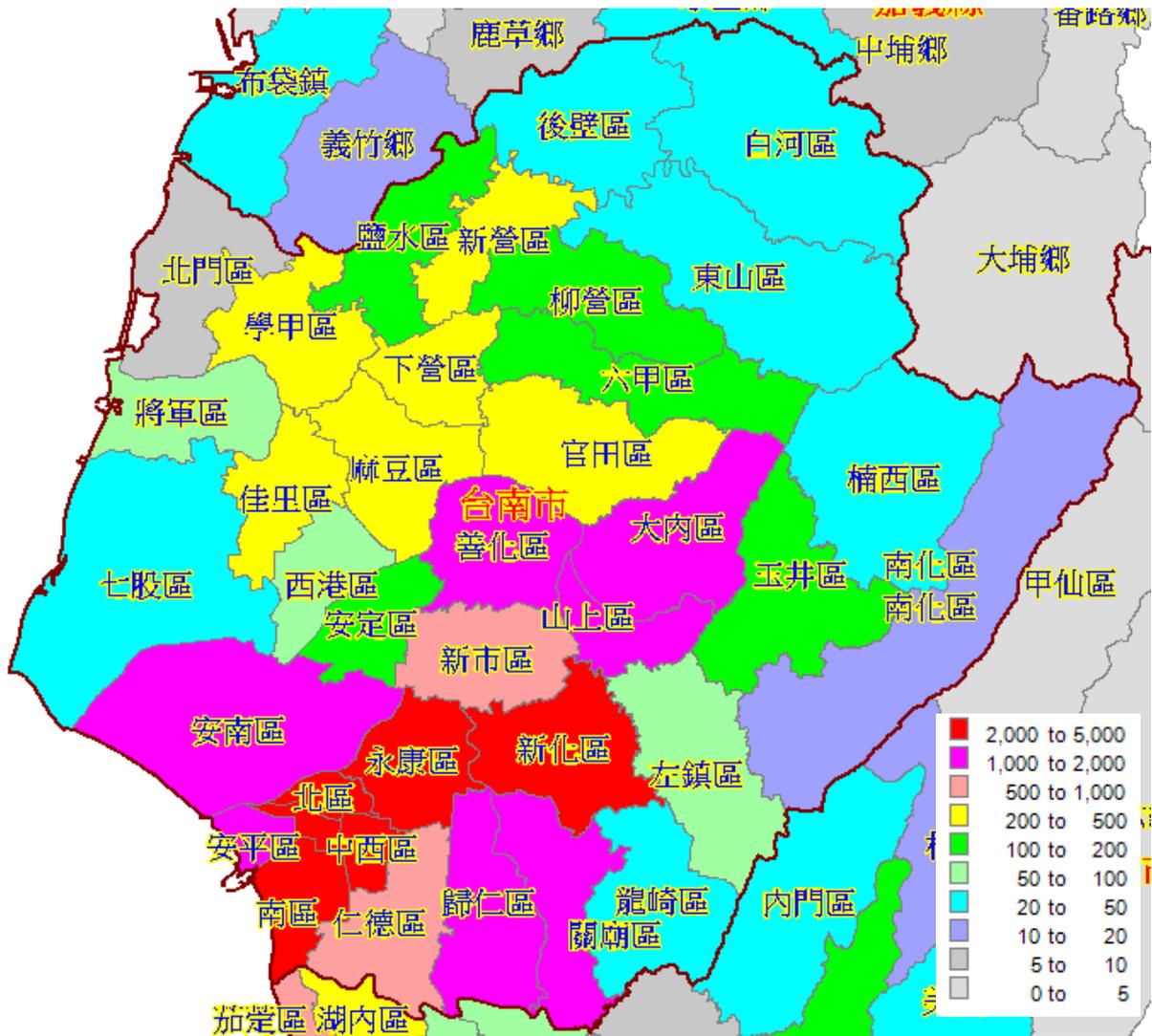


圖 6-10 台南地區需搬遷人數分布

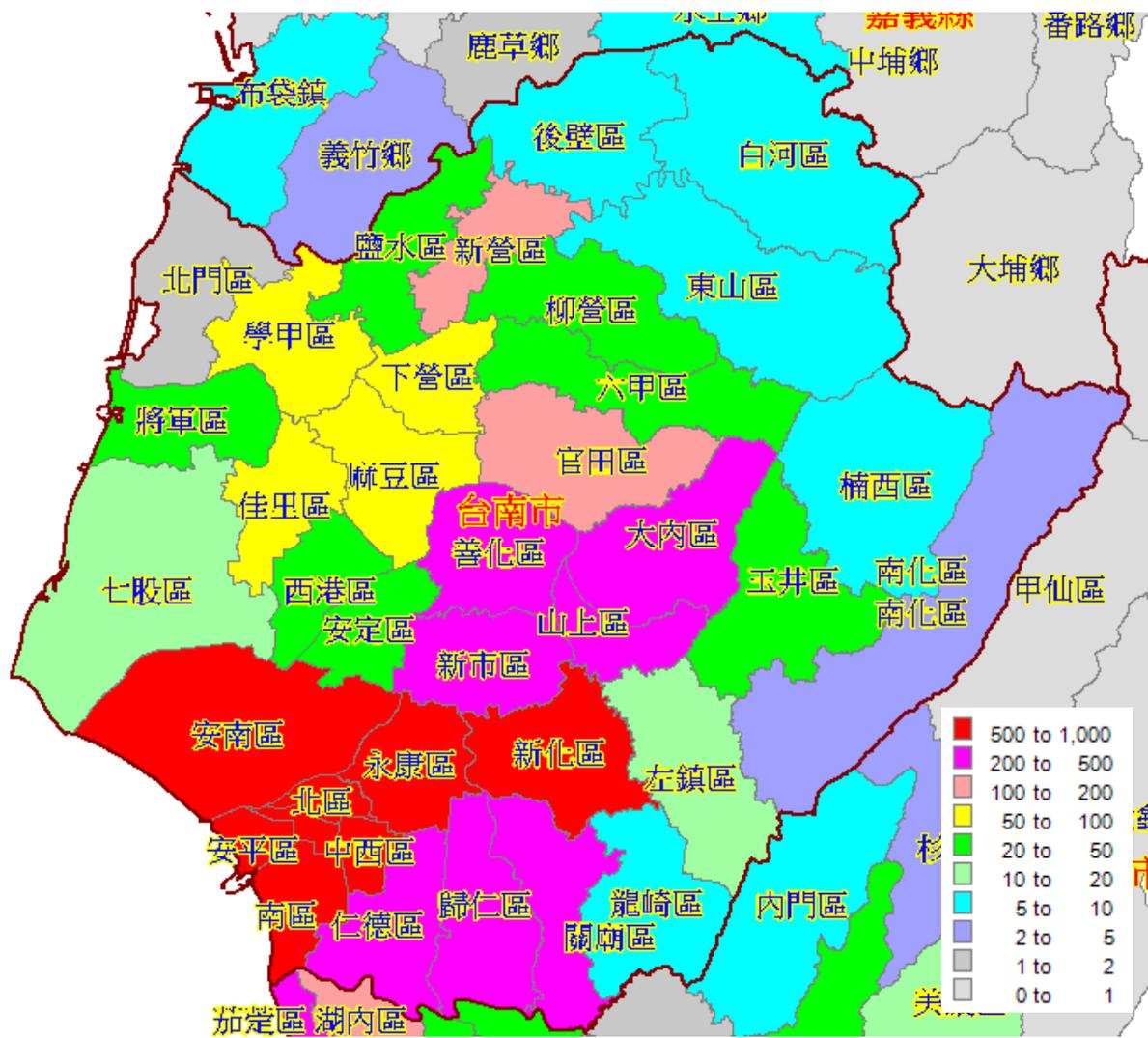


圖 6-11 台南地區臨時避難收容人數分布

表 6-6 台南市震後避難需求推估數值(單位：人)

鄉鎮區	需搬遷人數	臨時避難人數
永康區	3,088	989
東區	3,278	985
新化區	3,137	932
南區	2,696	772
中西區	2,466	681
北區	2,327	669
安平區	1,983	596
安南區	1,918	579
歸仁區	1,168	364
大內區	1,235	335
關廟區	1,098	320
善化區	1,033	306
山上區	1,009	285

仁德區	798	241
新市區	645	201
新營區	499	148
官田區	474	135
麻豆區	306	89
佳里區	266	80
學甲區	266	78
下營區	269	76
六甲區	145	43
玉井區	130	36
安定區	113	33
鹽水區	109	32
柳營區	111	32
將軍區	78	21
西港區	70	21
左鎮區	65	16
七股區	42	12
楠西區	33	9
白河區	36	9
龍崎區	29	7
後壁區	22	5
東山區	21	5
南化區	18	5
北門區	7	2

6.5.2 救災資源

藉由一般建築物之震損評估、人員傷亡和避難需求推估結果，可再進一步推估救災、醫療與民生物資需求等資源。救災與醫療資源需求相關推估公式如表 6-7 所列，細節可參考(國科會)台灣地震損失評估系統之強化與落實應用整合型研究—總計畫暨子計畫(施邦築教授):台灣地震損失評估系統於地震災害初期災情即時推估及應變決策之應用(III)。表 6-8 為台南市日間時段救災需求推估數值。由推估數值得知，台南市震後救災資源需求較高之行政區為新化區、大內區。

表 6-7 救災資源推估公式

救災資源	單位	推估模式
受困人數	人數	中度傷害人數 × 0.01 + 重度傷害人數 × 0.1
病床數	床	中度傷害人數 + 重度傷害人數 + 死亡人數 × 0.1
屍袋數	屍	重度傷害人數 × 0.1 + 死亡人數
救護車次	車次	$\frac{(\text{中度傷害人數} + \text{重度傷害人數} + \text{死亡} \times 0.01)}{\text{一日可運送之人}}$ <p>1 輛救護車 1 日可運送人數：</p> <p>人口 15 萬以上 — 10 人/日</p> <p>人口 10 至 15 萬之間 — 7.5 人/日</p> <p>人口 10 萬以下 — 5 人/日</p>
直升機飛行次數	趟次	(重度傷害人數 + 死亡人數) × 0.1

表 6-8 台南市震後日間時段救災資源推估數值

鄉鎮區	受困人數	病床數	屍袋數	救護車次	直升機飛行次數
	(單位：人)	(單位：床)	(單位：袋)	(單位：車次)	(單位：趟次)
新化區	59	605	219	121	41
大內區	19	196	72	39	13
永康區	19	191	66	19	12
東區	16	166	58	17	11
南區	16	162	58	22	11
中西區	14	144	50	29	9
山上區	14	139	50	28	9
善化區	11	117	42	23	8
新市區	11	108	38	22	7
仁德區	10	100	35	20	7
安平區	9	91	33	18	6
安南區	7	74	26	7	5
關廟區	7	72	26	14	5
北區	6	62	21	8	4
歸仁區	4	41	14	8	3
官田區	3	35	12	7	2
新營區	2	19	7	4	1
麻豆區	1	14	5	3	1
柳營區	1	14	5	3	1
下營區	1	14	5	3	1
學甲區	1	11	4	2	1
佳里區	1	7	2	1	0
玉井區	0	4	1	1	0
六甲區	0	4	1	1	0
將軍區	0	3	1	1	0
鹽水區	0	3	1	1	0
安定區	0	2	1	0	0
左鎮區	0	2	1	0	0
西港區	0	1	0	0	0
七股區	0	1	0	0	0
龍崎區	0	1	0	0	0
白河區	0	0	0	0	0
楠西區	0	0	0	0	0
東山區	0	0	0	0	0
南化區	0	0	0	0	0
後壁區	0	0	0	0	0
北門區	0	0	0	0	0

6.5.3 民生物資和設備需求

藉由短期避難收容需求推估民生物資及設備需求，相關推估公式如表 6-9 及表 6-10 所列，細節可參考(國科會)台灣地震損失評估系統之強化與落實應用整合型研究—總計畫暨子計畫(施邦築教授):台灣地震損失評估系統於地震災害初期災情即時推估及應變決策之應用(III)。表 6-11 為台南市民生物資及設備需求推估數值。由推估數值得知，台南市震後民生物資及設備需求較高之行政區為東區、新化區、永康區和南區等區。

表 6-9 民生物資推估公式

項目	單位	估算
寢具	套	需搬遷人數
帳篷	座	需搬遷人數 / 2
必要 用水 量	噸 / 日	飲用水：收容人數 × 3L
	噸 / 日	生活用水：收容人數 × 50L
	噸 / 日	必要用水量=飲用水+生活用水

表 6-10 設備需求推估公式

項目	單位	推估公式
臨時廁所	間	收容人數 / 100
盥洗設備	套	收容人數 / 18
垃圾及排泄物量	噸 / 日	收容人數 / 300

表 6-11 台南市震後民生物資和設備需求推估數值(一)

鄉鎮區	寢具數量	帳篷數量	飲用水量 (三日內)	生活用水量 (三日內)	廁所數量 (3日內)	盥洗設施數 量(3日內)	垃圾及排泄物 量(三日內)
	(單位： 套)	(單位： 座)	(單位：噸 /日)	(單位：噸/ 日)	(單位： 間)	(單位：套)	(單位：噸/日)
東區	3,278	1,639	10	66	33	182	6
新化區	3,137	1,568	9	63	31	174	5
永康區	3,088	1,544	9	62	31	172	5
南區	2,696	1,348	8	54	27	150	5
中西區	2,466	1,233	7	49	25	137	4
北區	2,327	1,163	7	47	23	129	4
安平區	1,983	992	6	40	20	110	3
安南區	1,918	959	6	38	19	107	3
大內區	1,235	618	4	25	12	69	2
歸仁區	1,168	584	4	23	12	65	2
關廟區	1,098	549	3	22	11	61	2
善化區	1,033	516	3	21	10	57	2
山上區	1,009	504	3	20	10	56	2
仁德區	798	399	2	16	8	44	1
新市區	645	322	2	13	6	36	1
新營區	499	249	2	10	5	28	1
官田區	474	237	1	10	5	26	1
麻豆區	306	153	1	6	3	17	1
下營區	269	135	1	5	3	15	1
佳里區	266	133	1	5	3	15	1
學甲區	266	133	1	5	3	15	1
六甲區	145	73	0	3	1	8	-
玉井區	130	65	0	3	1	7	-
安定區	113	56	0	2	1	6	-
柳營區	111	56	0	2	1	6	-
鹽水區	109	55	0	2	1	6	-
將軍區	78	39	0	2	1	4	-
西港區	70	35	0	1	1	4	-
左鎮區	65	32	0	1	1	4	-
七股區	42	21	0	1	-	2	-
白河區	36	18	0	1	-	2	-
楠西區	33	16	0	1	-	2	-
龍崎區	29	15	0	1	-	2	-
後壁區	22	11	0	0	-	1	-
東山區	21	10	0	0	-	1	-
南化區	18	9	0	0	-	1	-
北門區	7	3	-	0	-	-	-

表 6-12 台南市震後民生物資和設備需求推估數值(二)

鄉鎮區	飲用水量 (一個月內)	生活用水量 (一個月內)	廁所數量 (一個月內)	盥洗設施數量 (一個月內)	垃圾及排泄物量 (一個月內)
	(單位：噸/日)	(單位：噸/日)	(單位：間)	(單位：套)	(單位：噸/日)
東區	3	20	10	55	2
新化區	3	19	9	52	2
永康區	3	20	10	55	2
南區	2	15	8	43	1
中西區	2	14	7	38	1
北區	2	13	7	37	1
安平區	2	12	6	33	1
安南區	2	12	6	32	1
大內區	1	7	3	19	1
歸仁區	1	7	4	20	1
關廟區	1	6	3	18	1
善化區	1	6	3	17	1
山上區	1	6	3	16	1
仁德區	1	5	2	13	-
新市區	1	4	2	11	-
新營區	0	3	1	8	-
官田區	0	3	1	7	-
麻豆區	0	2	1	5	-
下營區	0	2	1	4	-
佳里區	0	2	1	4	-
學甲區	0	2	1	4	-
六甲區	0	1	-	2	-
玉井區	0	1	-	2	-
安定區	0	1	-	2	-
柳營區	0	1	-	2	-
鹽水區	0	1	-	2	-
將軍區	0	0	-	1	-
西港區	0	0	-	1	-
左鎮區	-	0	-	1	-
七股區	-	0	-	1	-
白河區	-	0	-	1	-
楠西區	-	0	-	1	-
龍崎區	-	0	-	-	-
後壁區	-	0	-	-	-
東山區	-	0	-	-	-
南化區	-	0	-	-	-
北門區	-	-	-	-	-

6.6 一般建物損害經濟損失

一般建築物之修復或重建成本大致包含三項：結構系統、加速度敏感型的非結構構件、和位移敏感型的非結構構件。單純之結構系統的重建成本假設僅與模型建物有關，而非結構構件的重置成本則假設僅與用途分類有關(葉錦勳，2003)。令損失比指損失金額與重建成本的比值；不同模型建物與用途分類在不同損害程度下之損失比的訂定已考慮下列幾項因素：(1)隨建築物的高度增加，由於需增加結構設計、材料強度、開挖地下室等費用，其單位樓地板面積的造價應酌量提高；(2)在結構系統未完全損害前，補強或修復費用雖然隨樓層高度遞增，但結構系統的損害通常集中於較底層的部份，因此單位面積的平均損失金額反而較少；(3)木造與未加強磚造由於未經韌性設計，在相同損害程度時應具較高的損失比。

TELES 輸出之一般建物損害引致的經濟損失分為四個項目包含：1.建物維修與重建成本(含建築物結構系統與非結構構件)；2.建物內部財物損失；3.建物內存之商業貨品庫存損失；4.建物維修期間可能之損失估計，包括：(1)重安置成本(relocation costs)；(2)租金損失。圖 6-12 為台南地區一般建物總經濟損失分布。表 6-13 為台南市一般建物損害總經濟損失推估數值。由推估數值得知，台南市一般建物損害經濟損失較高之行政區為永康區、新化區。

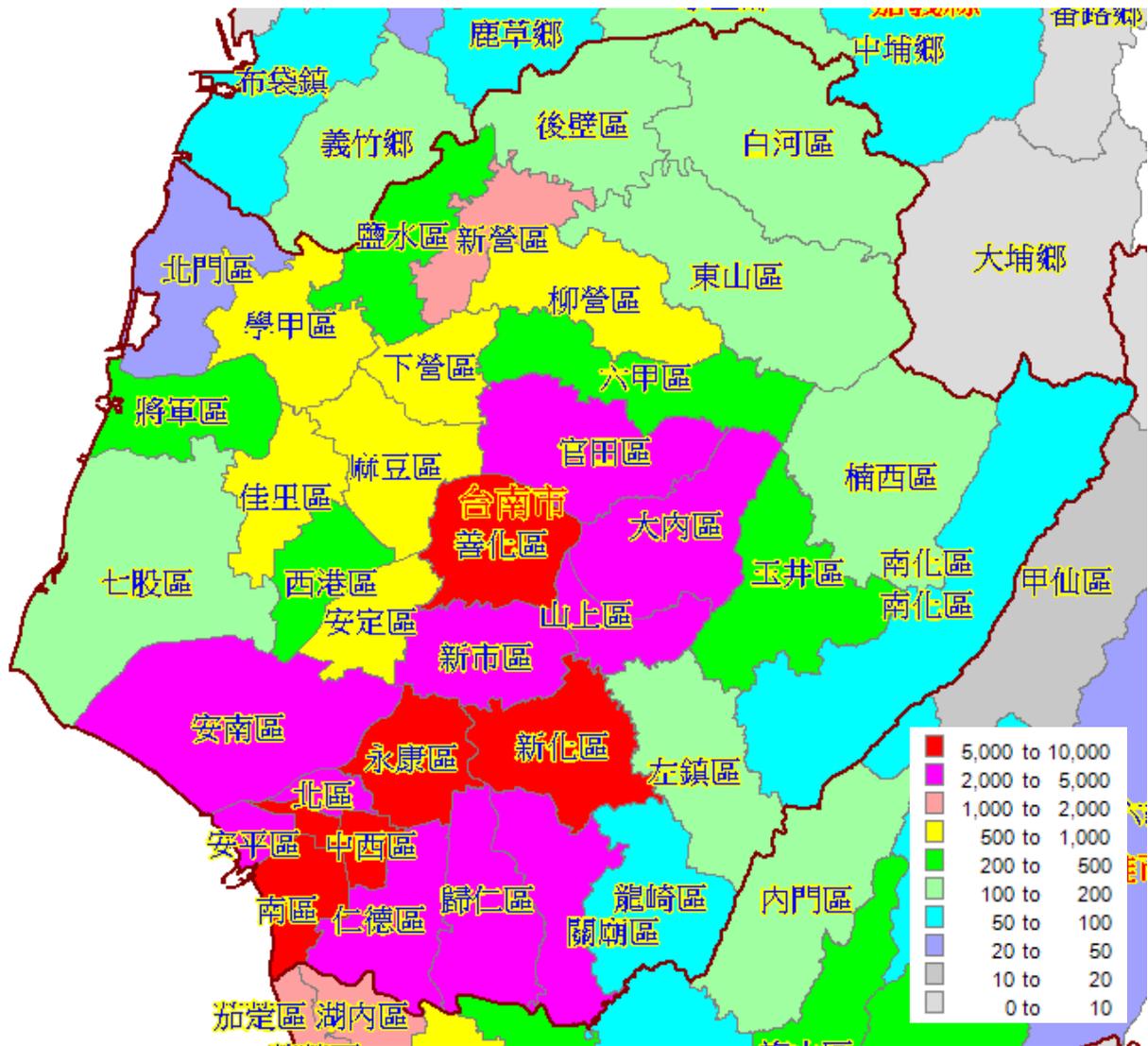


圖 6-12 台南地區一般建物總經濟損失分布

表 6-13 台南市一般建物損害總經濟損失推估數值(單位：百萬元)

鄉鎮區	總損失 (單位：百萬)
永康區	9,817
新化區	7,937
東區	7,920
中西區	6,490
南區	5,568
善化區	5,377
新市區	4,619
仁德區	4,471
北區	4,398
安南區	3,921
山上區	3,834

安平區	3,630
關廟區	3,172
歸仁區	2,713
官田區	2,263
大內區	2,029
新營區	1,651
麻豆區	989
佳里區	927
柳營區	688
學甲區	635
下營區	557
安定區	532
六甲區	471
鹽水區	391
玉井區	391
西港區	312
將軍區	231
白河區	182
左鎮區	176
七股區	173
後壁區	155
東山區	127
楠西區	115
南化區	89
龍崎區	73
北門區	44

6.7 一般建物廢棄物評估

TELES 推估因建築物損害可能造成的廢棄物數量以重量表示(葉錦勳、簡文郁，2007)。地震引致的廢棄物概分兩類：一類是需要大型機具處理、切割後方能搬移的廢棄物，如大型鋼筋混凝土塊、鋼構件等；另一類是小型挖土機或搬運機具即可處理的廢棄物，如磚塊、木頭和其它雜物。這些建築物廢棄物不是平常環保清潔隊或垃圾車可處理或清運的。圖 6-13 為台南地區一般建物總廢棄物數量分布。表 6-14 為台南市一般建物總廢棄物數量推估數值。由推估數值得知，台南市一般建物總廢棄物數量較高之行政區為新化區、永康區。

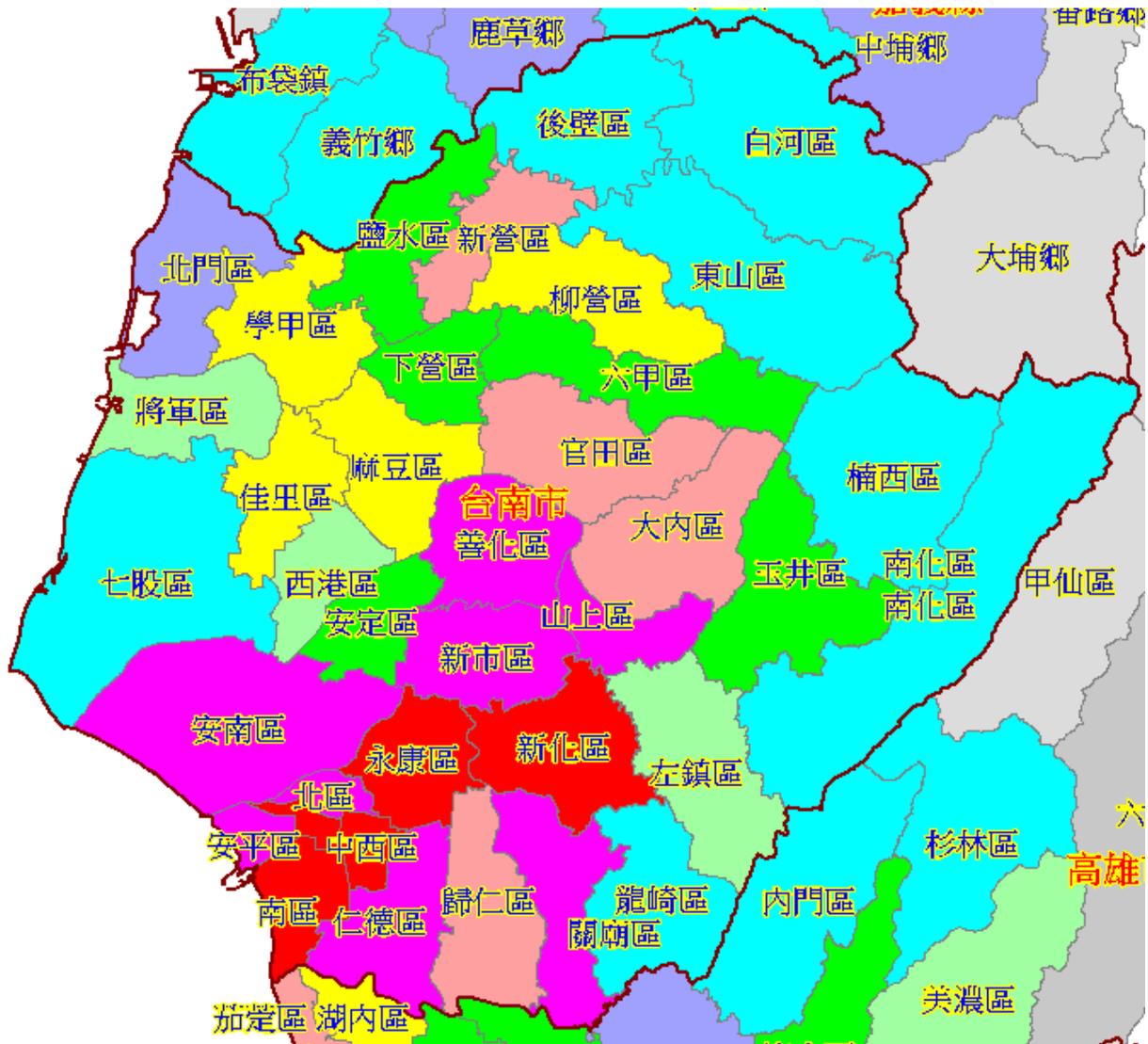


圖 6-13 台南地區一般建物總廢棄物數量分布

表 6-14 台南市一般建物總廢棄物數量推估數值(單位：噸)

鄉鎮區	總廢棄物量
新化區	371,194
永康區	344,416
東區	266,271
中西區	225,173
南區	215,642
善化區	192,358
山上區	181,659
新市區	175,732
仁德區	162,671
北區	151,458
安南區	139,564
安平區	139,226

關廟區	124,683
歸仁區	90,817
大內區	84,736
官田區	80,063
新營區	52,714
麻豆區	32,362
佳里區	28,201
柳營區	25,507
學甲區	21,764
下營區	19,432
安定區	14,930
六甲區	13,967
鹽水區	11,172
玉井區	11,070
西港區	8,193
將軍區	6,867
左鎮區	5,752
七股區	4,669
白河區	4,652
後壁區	4,015
東山區	2,926
楠西區	2,902
南化區	2,165
龍崎區	2,123
北門區	1,177

6.8 國中小學校舍震損評估

教育部委託國家地震工程研究中心進行『國中小校舍耐震補強計畫』，此計畫逐一調查每一所學校之校舍的耐震能力和師生人數，並有系統地建置全國的國中小學校舍資料庫。受惠於此資料庫的建置，得以研究典型國中小學校舍的地震損害評估模式與參數校正。本計畫利用其研究成果以及建置的國中小學校舍資料，進行台南地區國中小學暨高中職校社的損害評估。TELES 採用與一般建築物震損評估模式相似的能耐譜法進行校舍的損害評估，損害程度概分為無損害、輕微損害、中度損害、嚴重損害與完全損害等五級。推估結果如圖 6-14 所示，19 棟校舍有超過中度損壞之疑慮 99 棟校舍有輕微損壞之疑慮

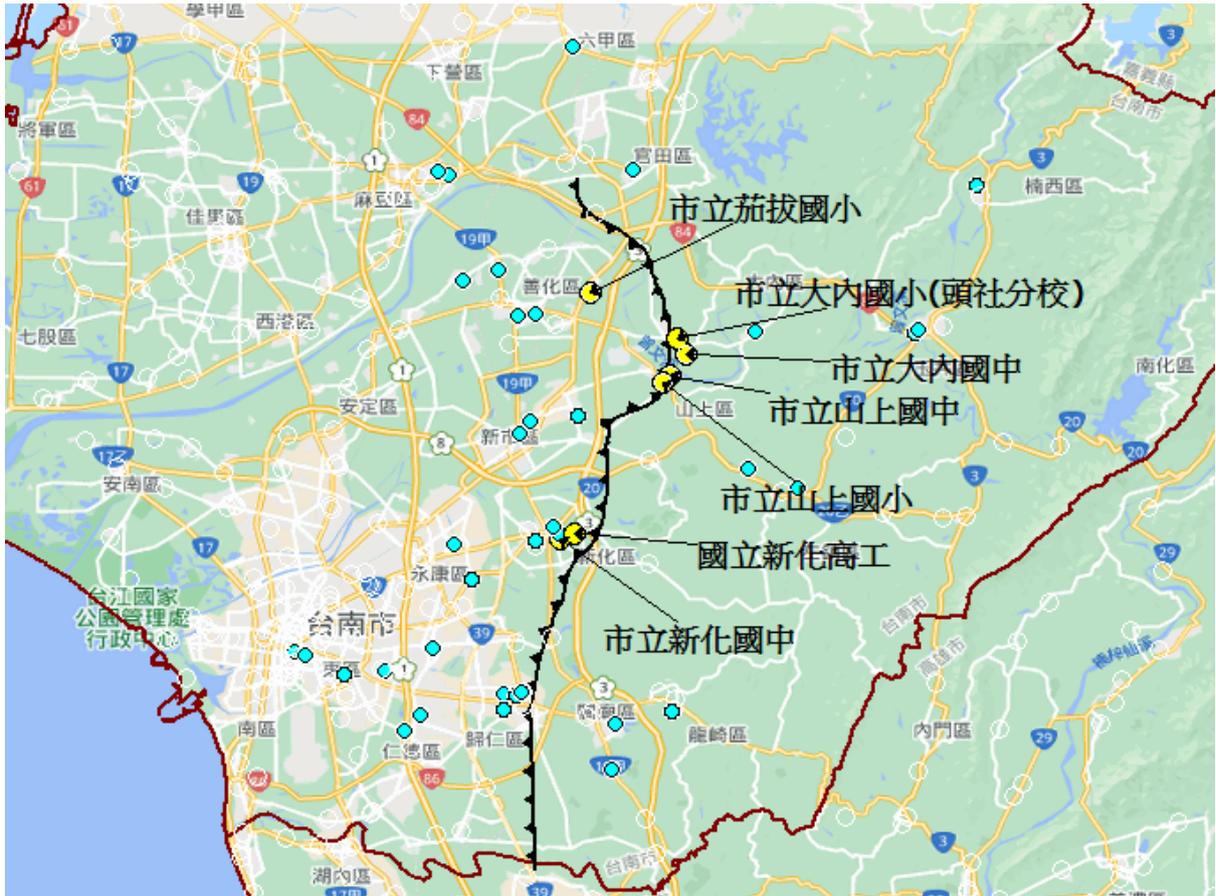


圖 6-14 台南地區國中小高中職校舍損害推估分布

6.9 公路橋梁損害評估

國家地震工程研究中心參與公路總局委託台灣世曦公司執行之「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」(交通部公路總局, 2008)。該委託研究計畫中, 共挑選 148 座具代表性的各類典型橋梁進行耐震詳細評估, 並據以研擬各類典型橋梁在耐震補強前、後的易損性曲線參數。個別橋梁之耐震易損性曲線的參數值可再根據橋梁的建造、設計或補強年份、所處地盤種類、橋柱基礎型式和沖刷深度、橋面版的幾何特性等進行微調, 藉以提高損害暨損失評估結果的精度。為考慮橋梁長度或振動單元數對整體橋梁之通行失敗機率和損失的影響, 該計畫也首度提出橋梁基本評估單元的概念, 使評估結果更能反映實際災情調查的結果。

台灣世曦的委託計畫收集全國 2,484 座省道公路橋梁資料。隨後國家地震工程研究中心執行「公路橋梁地震早期評估資料庫建置與模組開發之研

究』計畫(交通部運輸研究所，2010)，進行 1,173 座公路總局代管縣道橋梁的現地調查和資料收集。此外，各縣市政府陸續展開橋梁的耐震補強計畫，透過委託研究計畫也收集一些縣市政府管轄的橋梁資料。為健全國、省、縣道橋梁的資料收集與校正，高速公路局也提供其所管轄的 2,155 座橋梁資料給國家地震工程研究中心。

公路橋梁的地震損害暨損失評估模式已發展多年，蒐集的橋梁資料也日趨完善。受惠於以往橋梁資料的收集建置和評估模式的研發，本計畫得以引用其成果，針對台南市區域內的主要橋梁進行大規模地震的損害評估；評估結果將損害程度概分為無、輕微損害、中度損害、嚴重損害和完全損害等五級，同時可提供個別橋梁的通行失敗機率。台南地區交通路網複雜，以下依路線等級分類，檢視台南地區面臨大規模地震後道路橋梁的損害評估結果。

6.5.4 省縣道橋梁

表 6-15 中列出評估結果可能超越嚴重損害的橋梁，共有 13 筆資料。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 6-15 和表 6-15 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。

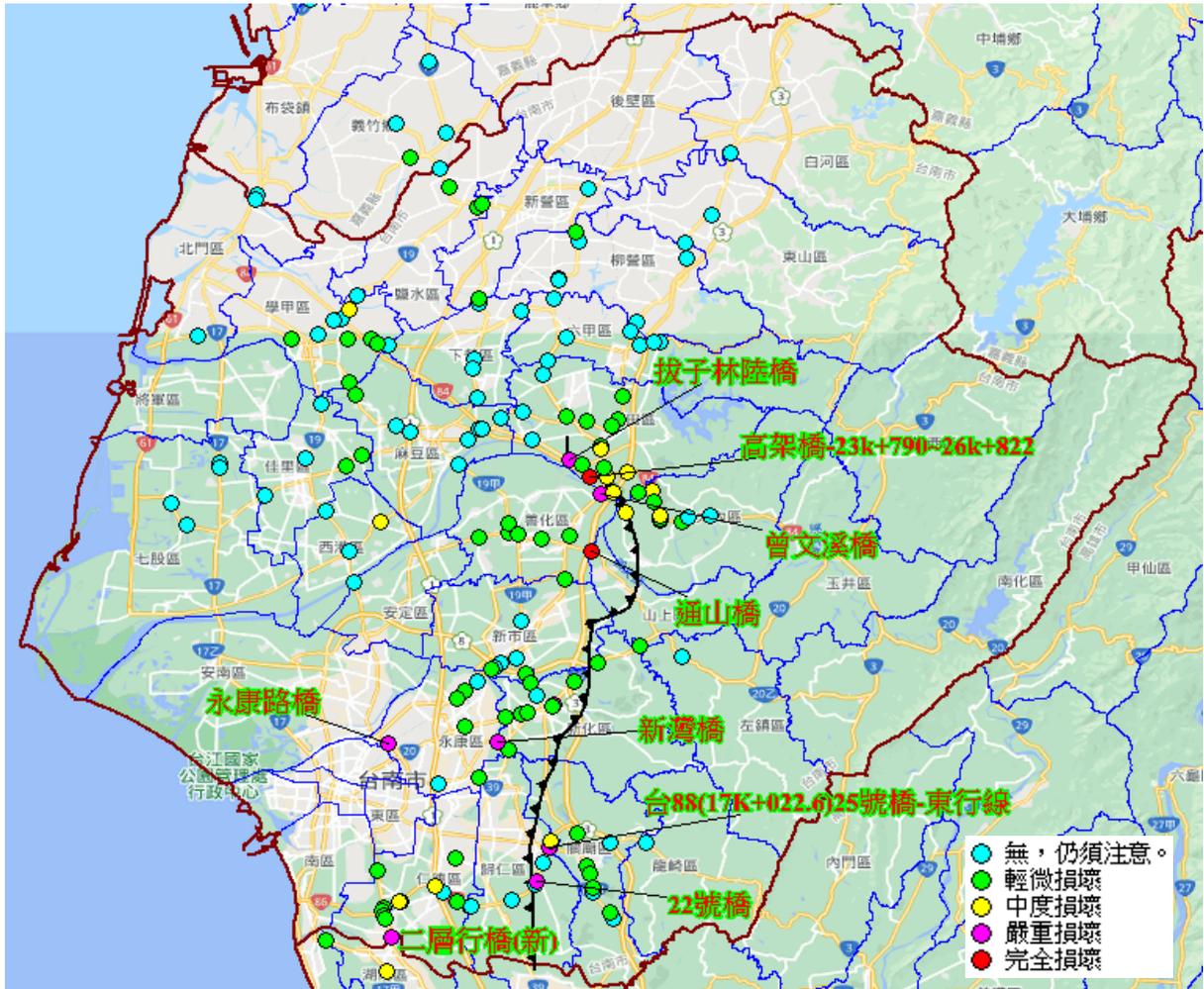


圖 6-15 台南地區省縣道公路橋梁損害評估結果

表 6-15 台南市省縣道公路可能損害橋梁

橋名	工程處	工務段	路線名	里程數	橋長	橋寬	跨數	損壞狀態
通山橋	五區	新化	縣 178	21.8	40.00	33.00	1	5
高架橋-23k+790~26k+822	五區	新營	台 84	23.8	3032.00	49.40	74	5
曾文溪橋	五區	新營	台 1	309.6	400.00	25.90	10	4
台 88(17K+022.6)25 號橋-東行線	五區	新化	台 86	17.0	576.00	11.40	13	4
新灣橋	五區	新化	縣 180	8.5	208.50	8.00	7	4
台 86(7K+022.6)25 號橋西行線	五區	新化	台 86	17.0	576.00	11.40	13	4
22 號橋	五區	新化	台 86	15.3	420.00	24.80	10	4
二層行橋(舊)	五區	新化	台 1	344.8	175.00	25.00	7	4
永康路橋	五區	新化	台 1	331.1	297.00	19.00	13	4
拔子林陸橋	五區	新營	縣 171	25.3	180.00	17.00	7	4
二層行橋(新)	五區	新化	台 1	344.8	175.00	25.00	7	4
穗芳橋-舊	五區	新化	台 20	13.0	45.50	17.90	3	4
穗芳橋-拓寬部分	五區	新化	台 20	13.0	45.50	17.90	3	4

6.5.5 高速公路橋梁

整體而言，國道 3 號與中洲構造大致平行，如圖 6-16，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。

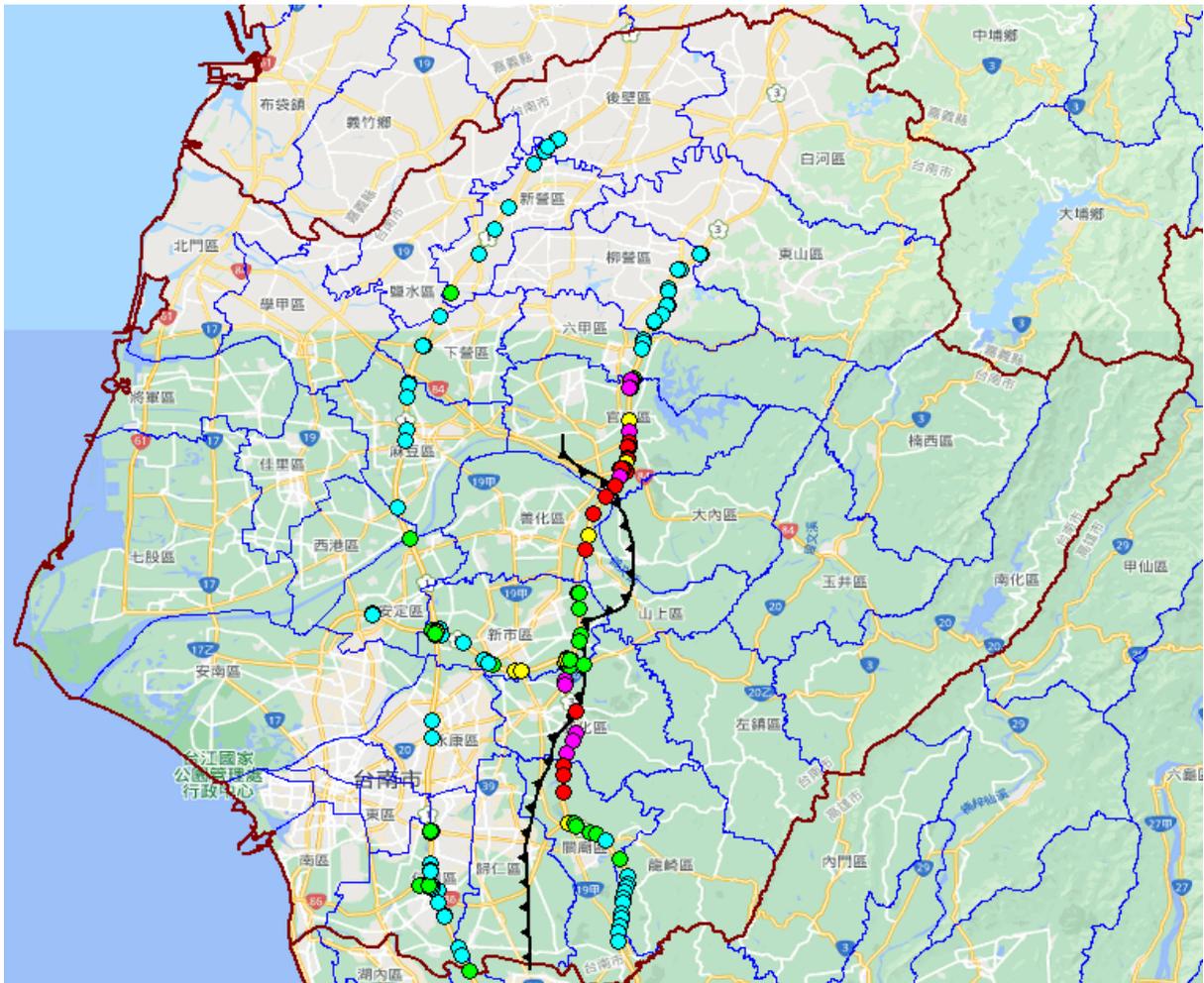


圖 6-16 台南地區高速公路橋梁損害評估結果

6.10 鐵路橋梁損害評估

臺灣鐵路管理局委託中興工程顧問公司執行『環島鐵路整體系統安全提昇計畫(全縣橋梁總檢查及耐震補強延壽規劃)委託技術服務』。該計畫收集調查 708 座鐵路橋梁資料，並應用 TELES 的地震風險評估技術，進行鐵路橋梁之耐震補強排序分析。利用所收集到的鐵路橋梁資料，進行台南地區

發生大規模地震的鐵路橋梁損害評估。鐵路橋梁的損害評估結果如圖 6-17 所示。

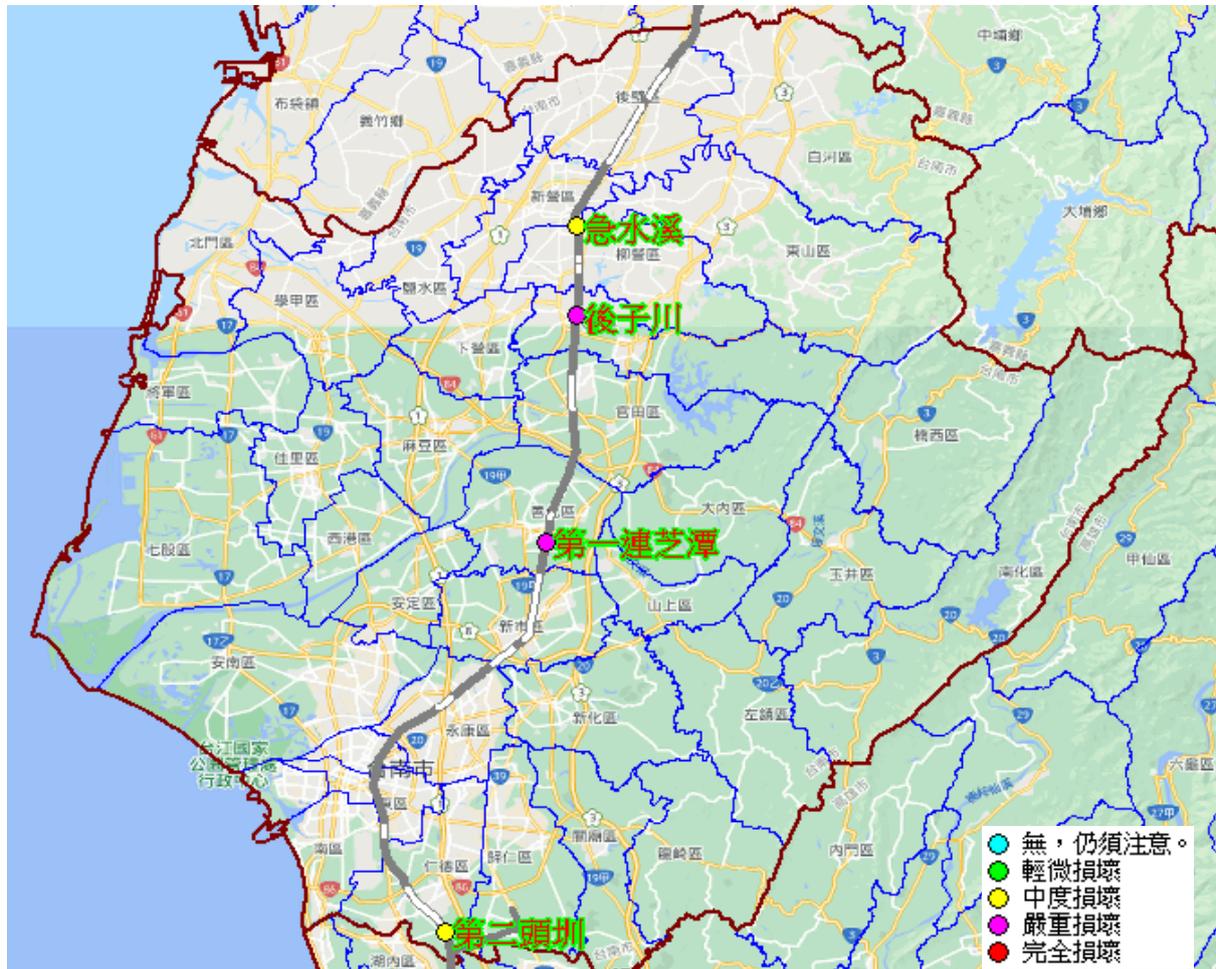


圖 6-17 台南地區鐵路橋梁地震損害評估結果

6.11 自來水系統損害評估

TELES 評估自來水系統地震災損之子系統 Twater，採用適合於台灣地區的自來水管線災損率經驗公式(台灣自來水公司，2019)，考慮不同管材、接頭型式和管徑等影響耐震性能的因素，以及地震所引起之最大地表加速度、斷層破裂引致的地表永久位移、土壤液化引致的地表永久位移(震陷量)與機率等因素對管線災損的影響。為進行埋置地下管線的震損評估，須依管線災損率推估式、管材與管徑修正係數之分類，對於所收集到的自來水管線 GIS 圖資進行管材與管徑分類，以利後續災損推估之用。管線可依據材質與接頭型式區分為六類耐震等級，而管徑則依大小區分為 5 類，分類方式詳

表 6-16。

表 6-16 管線分類說明

耐震等級	材質與接頭型式	管徑類別	管徑分類說明
T1	具優異耐震性能接頭的管材	S1	10 - 80mm
T2	K 型接頭 DIP 管、SP(鋼管)、HDPE 管	S2	100 - 250mm
T3	PVCP 之 RR 型(活套接頭)、PE 管、HIWP	S3	300 - 450mm
T4	A 型接頭的 DIP 管	S4	500 - 800mm
T5	CIP、PCCP 與 PVCP 之 TS 型(膠接接頭)	S5	900mm 以上
T6	RCP、ACP		

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，中洲構造鄰近區域之台水管理區處範圍如圖 6-18 所示。台水五、六、七區的供水設施數量統計如表 6-17 所示，自來水管線分布如圖 6-19 所示。Twater 評估自來水系統推估自來水系統之震後供水能力，乃依據自來水系統的供水概況，劃定具相似供水特性之區域作為同一供水評估單元，藉由串聯水源、淨水場至各供水區域之導、送、配水管線與設施等元件之震後功能，模擬管線與設施之災損引致之缺水狀況。台水五、六、七區之供水評估單元與行政區之對應關係如表 6-18 與圖 6-20 所示。依供水評估單元統計之自來水管線長度如表 6-19 所示

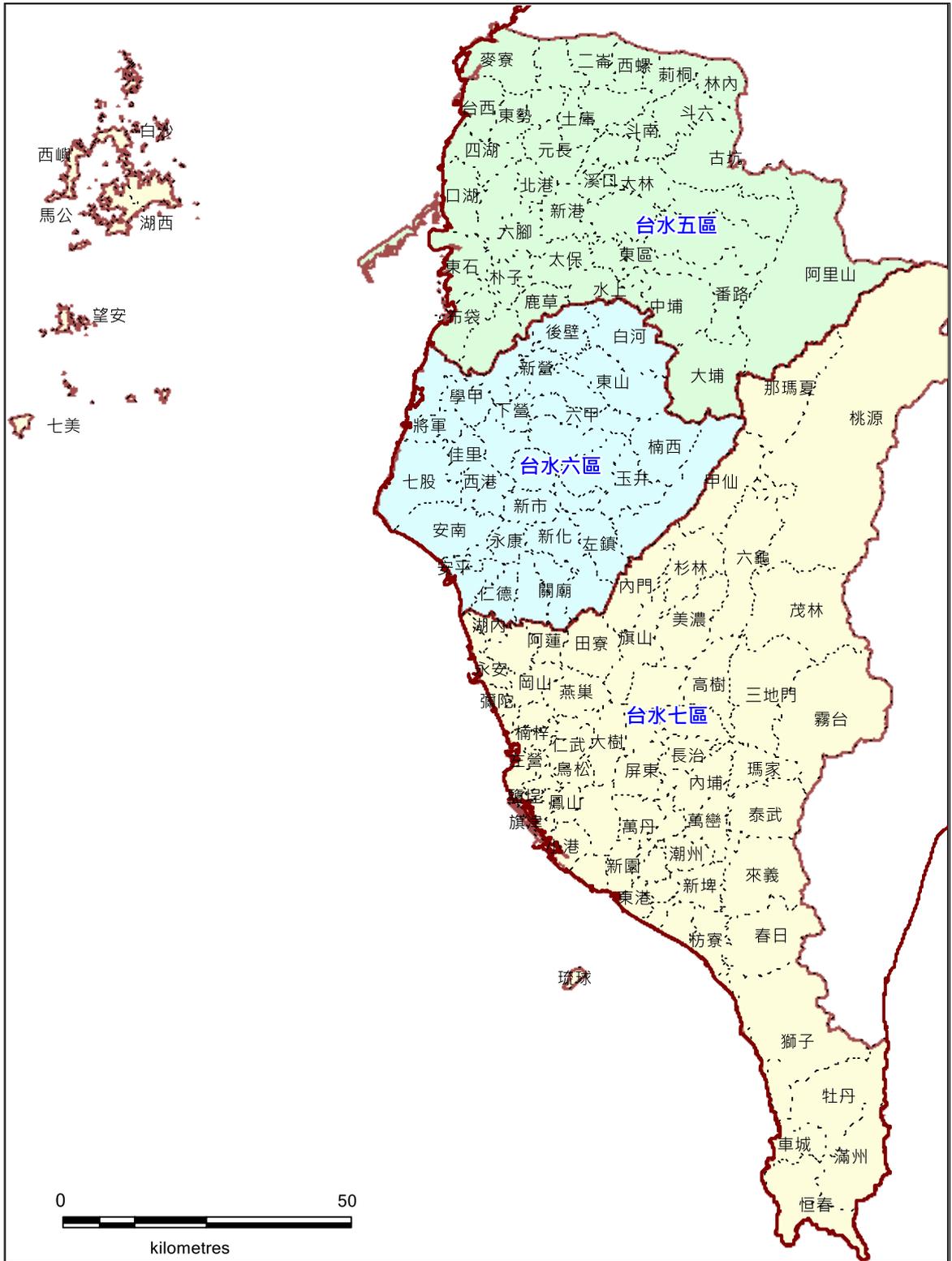


圖 6-18 自來水管理單位

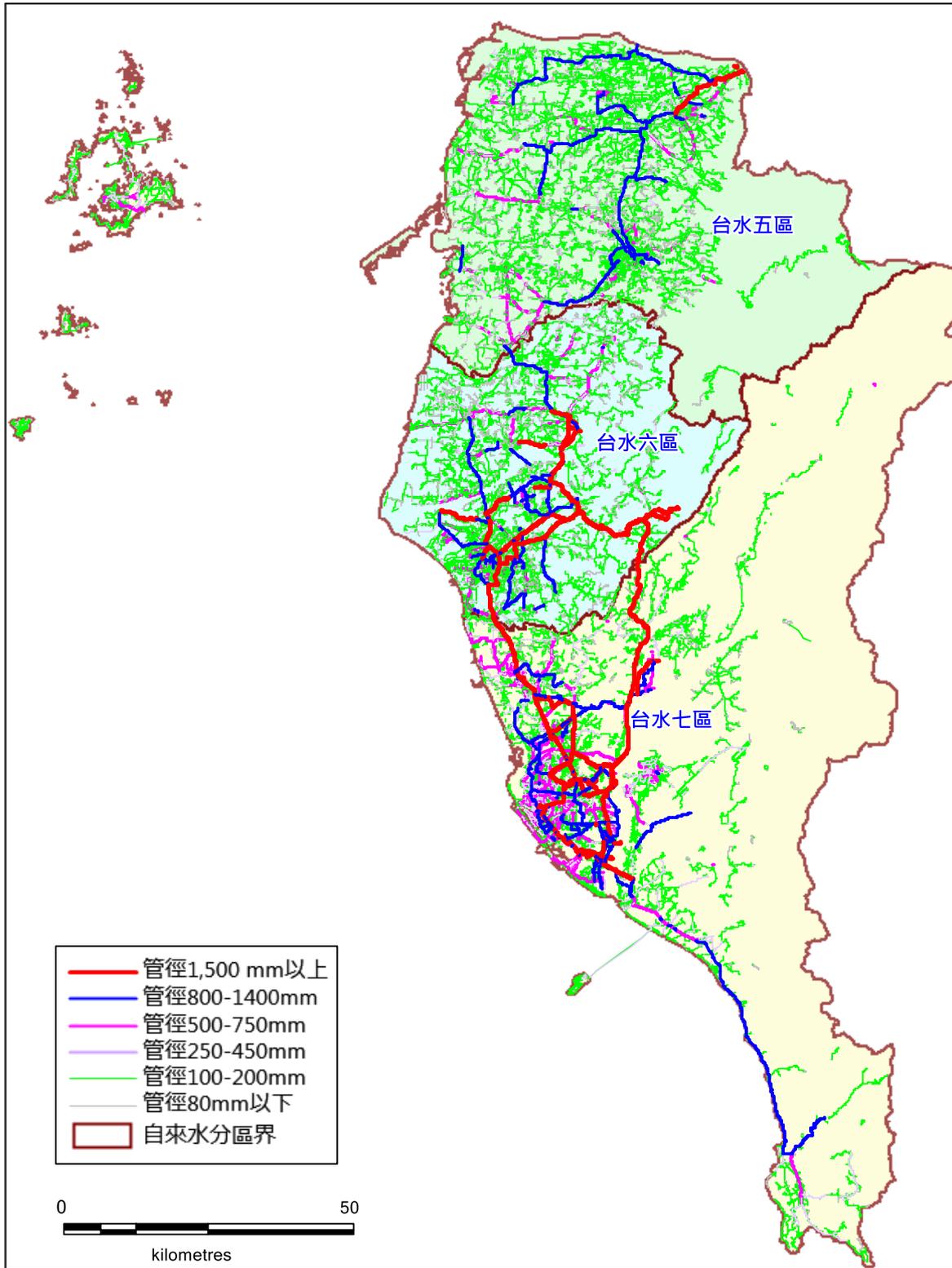


圖 6-19 自來水管線分布

表 6-17 供水設施數量統計

管理單位	淨水場	配水池	加壓站	水管橋	供水設施總量
台水五區	41	35	6	尚無資料	82
台水六區	8	18	6	尚無資料	32
台水七區	79	30	31	1	141
總計	128	83	43	1	255

表 6-18 供水評估單元與鄉鎮區之對應說明

管理單位	供水評估單元	縣市	鄉鎮區	
台水五區	斗六營運所	雲林縣	林內鄉、斗六市	
	斗南營運所	雲林縣	大埤鄉、斗南鎮	
	北港營運所	雲林縣	元長鄉、口湖鄉、水林鄉、北港鎮	
	古坑系統	雲林縣	古坑鄉	
	四湖系統	雲林縣	四湖鄉	
	西螺	雲林縣	西螺鎮、莿桐鄉	
	虎尾服務所	雲林縣	土庫鎮、東勢鄉、褒忠鄉、虎尾鎮	
	崙背系統	雲林縣	崙背鄉、二崙鄉	
	麥寮系統	雲林縣	台西鄉、麥寮鄉	
	嘉義服務所	嘉義服務所	嘉義縣	水上鄉
			嘉義市	東區、西區
	民雄營運所	嘉義縣	大林鎮、民雄鄉、溪口鄉	
	新港營運所	嘉義縣	太保市、新港鄉	
	義竹服務所	嘉義縣	東石鄉、義竹鄉、鹿草鄉、布袋鎮	
	竹崎	嘉義縣	中埔鄉、竹崎鄉	
	大埔系統	嘉義縣	大埔鄉	
	吳鳳系統	嘉義縣	阿里山鄉	
	樂野系統	嘉義縣	番路鄉	
	朴子服務所	嘉義縣	六腳鄉、朴子市	
台水六區	台南市服務所	台南市	南區、北區、安南區、安平區、中西區、東區	
	永康服務所	台南市	永康區	
	玉井	台南市	南化區	
高雄市		內門區		

管理單位	供水評估單元	縣市	鄉鎮區
	白河營運所	台南市	後壁區、東山區、白河區
	佳里服務所	台南市	學甲區、西港區、七股區、將軍區、北門區、佳里區
	麻豆服務所	台南市	下營區、六甲區、官田區、麻豆區
	新市服務所	台南市	新化區、善化區、新市區、安定區、山上區、左鎮區、大內區
	新營營運所	台南市	鹽水區、柳營區、新營區
	楠西玉井系統	台南市	楠西區、玉井區
	歸仁服務所	台南市	歸仁區、關廟區、龍崎區、仁德區
台水七區	楠梓岡山梓官	高雄市	橋頭區、岡山區、阿蓮區、彌陀區、梓官區、楠梓區
	路竹茄萣湖內	高雄市	湖內區、茄萣區、永安區、路竹區
	燕巢田寮	高雄市	田寮區、燕巢區
	三民左營鼓山	高雄市	左營區、三民區、鳥松區、鼓山區
	苓雅新興前金	高雄市	新興區、前金區、苓雅區、鹽埕區
	前鎮小港旗津	高雄市	旗津區、小港區、前鎮區
	大寮	高雄市	大寮區
	林園	高雄市	林園區
	鳳山	高雄市	鳳山區
	仁武大社	高雄市	大社區、仁武區、大樹區
	臨海工業區	高雄市	小港區
	大發工業區	高雄市	大寮區
	林園工業區	高雄市	林園區
	多納系統	高雄市	茂林區、六龜區
	茂林系統	高雄市	六龜區、茂林區
	甲仙系統	高雄市	甲仙區
	民生系統	高雄市	那瑪夏區
	木梓系統	高雄市	杉林區
	寶隆系統	高雄市	杉林區
	寶來系統	高雄市	桃源區、六龜區
	六龜系統	高雄市	六龜區
寶來系統	高雄市	六龜區	
新威系統	高雄市	六龜區	
美濃系統	高雄市	美濃區	

管理單位	供水評估單元	縣市	鄉鎮區
	信國系統	高雄市	美濃區、內門區、杉林區
		屏東縣	里港鄉
	旗山系統	高雄市	旗山區
		屏東縣	里港鄉
	屏東系統	屏東縣	萬丹鄉、麟洛鄉、屏東市
	北勢系統	屏東縣	長治鄉
	牡丹系統	屏東縣	恆春鎮、新園鄉、崁頂鄉、林邊鄉、南州鄉、佳冬鄉、琉球鄉、車城鄉、滿州鄉、枋山鄉、獅子鄉、東港鎮、牡丹鄉
	來義系統	屏東縣	萬巒鄉
	四春系統	屏東縣	潮州鎮
	武潭系統	屏東縣	泰武鄉、萬巒鄉
	萬安系統	屏東縣	泰武鄉
	佳興系統	屏東縣	泰武鄉
	瑪家系統	屏東縣	瑪家鄉
	三地系統	屏東縣	瑪家鄉、內埔鄉、鹽埔鄉、長治鄉、三地門鄉
	南和系統	屏東縣	春日鄉
	餉潭系統	屏東縣	新埤鄉、來義鄉
	霧台系統	屏東縣	霧台鄉
	高樹系統	屏東縣	高樹鄉
	廣興系統	屏東縣	高樹鄉、三地門鄉
	崙東系統	屏東縣	潮州鎮
	枋寮系統	屏東縣	枋寮鄉
	東源系統	屏東縣	牡丹鄉
	高士系統	屏東縣	牡丹鄉
	白沙系統	澎湖縣	白沙鄉
	西嶼系統	澎湖縣	西嶼鄉
	馬公系統	澎湖縣	馬公市、湖西鄉
	望安系統	澎湖縣	望安鄉
	吉貝系統	澎湖縣	白沙鄉
	七美系統	澎湖縣	七美鄉

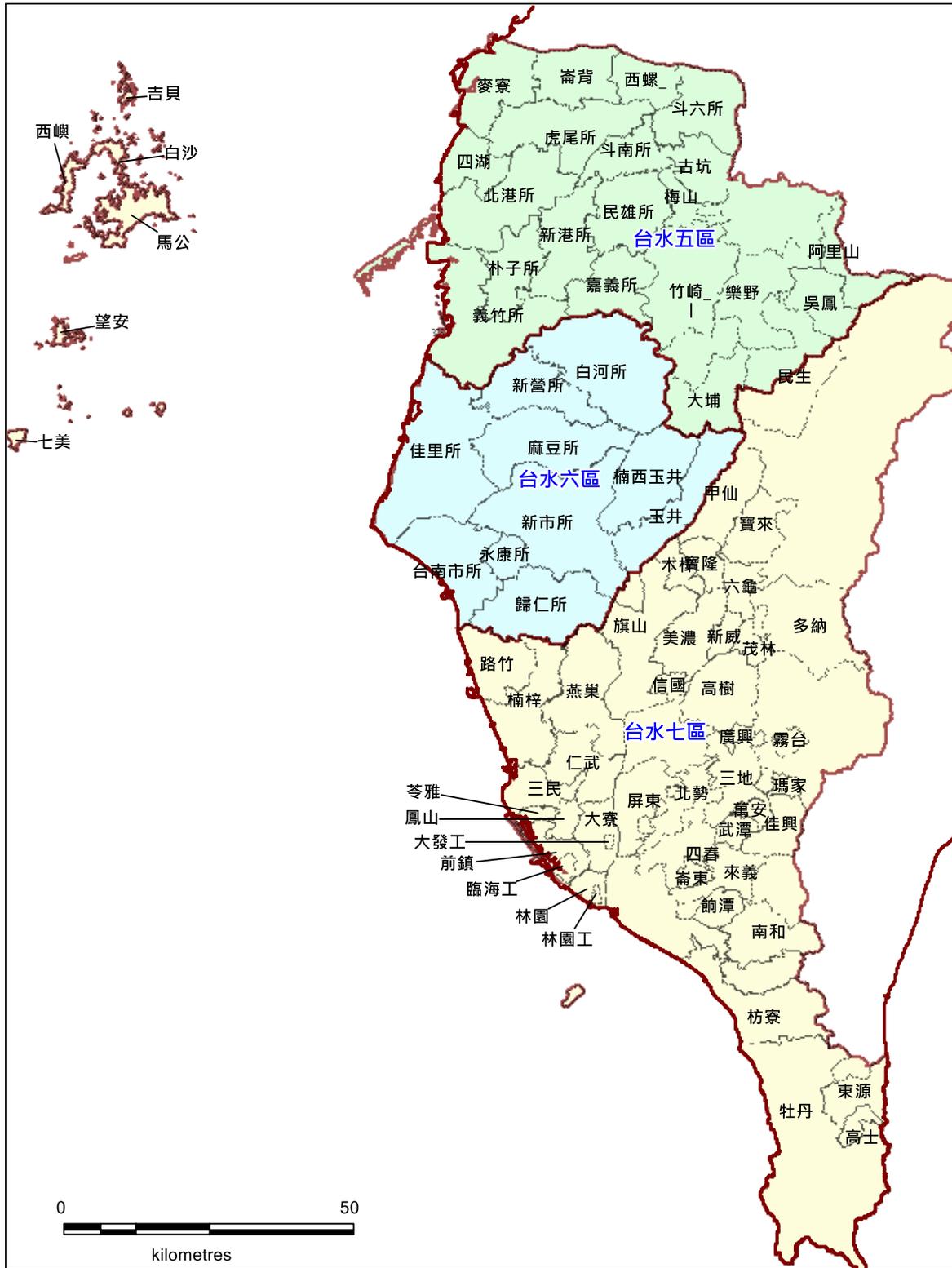


圖 6-20 供水評估單元之劃分結果

表 6-19 供水評估單元之自來水管線長度統計

管理單位	供水評估單元	給水管 75 mm 以下	配水管網 100-450 mm	輸水幹管 500 mm 以上	總管長
台水五區	吳鳳系統	2.1	3.0	0.0	5.1
	大埔系統	8.7	35.5	0.0	44.2
	梅山系統	15.9	102.0	0.2	118.1
	古坑系統	30.0	201.2	9.5	240.7
	崙背系統	83.9	353.4	17.9	455.2
	麥寮系統	95.4	301.7	12.0	409.1
	四湖系統	73.3	213.8	11.0	298.2
	阿里山系統	0.9	32.3	0.0	33.2
	樂野系統	6.0	48.4	0.0	54.5
	嘉義服務所	136.4	935.7	81.3	1153.4
	虎尾服務所	197.7	889.4	49.9	1137.0
	民雄營運所	191.3	556.0	38.8	786.0
	義竹服務所	160.6	481.1	57.9	699.6
	朴子服務所	96.0	380.6	16.4	493.0
	北港營運所	189.4	545.3	43.4	778.1
	斗六營運所	112.5	620.1	58.3	790.9
	斗南營運所	70.8	369.3	26.1	466.1
	新港營運所	117.1	438.8	4.9	560.8
	竹崎	97.3	352.1	11.0	460.3
	西螺	46.0	340.5	21.1	407.6
台水五區總長度(公里)		1731.3	7200.2	459.6	9391.0
台水六區	楠西玉井系統	40.9	213.2	0.9	255.0
	台南市服務所	92.9	1879.1	111.3	2083.3
	歸仁服務所	229.2	753.3	59.3	1041.7
	佳里服務所	231.2	1039.2	52.7	1323.0
	永康服務所	118.9	500.4	42.4	661.7
	新市服務所	215.8	923.5	148.5	1287.8

	麻豆服務所	142.1	641.4	88.7	872.2
	新營營運所	137.6	573.1	37.7	748.4
	白河營運所	144.0	485.2	15.4	644.6
	玉井	24.2	170.0	33.9	228.1
台水六區總長度(公里)		1376.7	7178.4	590.7	9145.8
台水七區	路竹茄苳湖內	90.5	415.1	72.8	578.3
	廣興系統	3.5	12.6	0.0	16.2
	吉貝系統	1.4	7.0	0.0	8.4
	屏東系統	30.0	570.9	31.6	632.5
	餉潭系統	0.0	16.7	0.0	16.7
	高樹系統	41.2	104.8	0.0	146.1
	高士系統	0.0	3.2	0.0	3.2
	三地系統	9.7	72.0	0.0	81.7
	南和系統	0.2	8.9	0.0	9.1
	四春系統	3.6	5.5	0.0	9.0
	信國系統	1.9	7.4	0.7	10.0
	馬公系統	101.0	345.6	11.1	457.7
	崙東系統	2.8	15.9	0.4	19.1
	枋寮系統	19.3	103.0	18.8	141.0
	瑪家系統	1.4	2.0	0.0	3.3
	佳興系統	1.6	0.9	0.0	2.5
	萬安系統	0.0	2.7	0.0	2.7
	武潭系統	0.0	19.1	0.0	19.1
	來義系統	5.1	37.7	0.0	42.8
	北勢系統	2.1	54.1	9.2	65.3
	霧台系統	10.9	1.7	0.0	12.6
	白沙系統	14.4	95.5	0.0	109.9
	望安系統	12.0	19.5	0.0	31.5
西嶼系統	26.8	55.1	0.0	81.8	
七美系統	8.2	40.1	0.0	48.3	

東源系統	0.0	23.6	0.0	23.6
牡丹系統	88.6	960.5	98.7	1147.8
多納系統	4.2	7.3	0.0	11.5
民生系統	0.4	6.1	0.0	6.5
茂林系統	0.1	10.2	0.0	10.3
美濃系統	25.3	186.6	0.0	211.9
新威系統	2.3	21.5	0.0	23.7
六龜系統	7.4	40.7	0.0	48.1
寶來系統	8.4	57.2	0.4	65.9
甲仙系統	7.0	45.9	0.1	53.0
木梓系統	2.3	16.1	0.0	18.4
寶隆系統	2.8	8.9	0.1	11.7
旗山系統	37.4	335.7	48.6	421.6
楠梓岡山梓官	123.0	1078.2	98.1	1299.3
燕巢田寮	30.2	238.0	52.7	320.9
三民左營鼓山	8.5	1096.5	104.1	1209.1
苓雅新興前金	0.2	461.3	35.9	497.3
前鎮小港旗津	7.0	729.4	113.5	849.8
林園	3.6	154.6	25.9	184.1
大寮	15.8	329.7	102.4	447.9
仁武大社	28.9	608.5	195.0	832.4
鳳山	3.9	597.5	40.4	641.8
大發工業區	0.0	29.3	10.7	40.0
林園工業區	0.0	7.8	18.7	26.6
臨海工業區	0.0	18.2	15.3	33.5
台水七區總長度(公里)	794.5	9086.2	1105.2	10985.9
總長度(公里)	3904.6	23464.8	2155.5	29522.7

管線長度單位：公里

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 6-20，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 6-21 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。台水各區處之淨水場震損評估結果統計如表 6-22 所示，受影響淨水場之震損停估結果如表 6-23 所。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。台水六區之配水池震損評估結果統計如表 6-24 所示，受影響配水池之震損停估結果如表 6-25 所示。配水池之損壞狀態推估結果，以曾文淨水場清水池為中度損壞最為嚴重，其餘配水池之推估損壞狀態均為輕度損壞或無損壞

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。各自來水供水系統管理單位之自來水管線震損評估結果統計如表 6-26 所示，各地區之管線災損統計如

表 6-27 所示，各供水評估單元之管線災損統計如

表 6-28 所示，其分布如圖 6-21 所示。自來水管線修復所需時間以單一災損點所需之搶修人時估算。不同管徑之修復工程所需的維修小隊人數不同，假設修理管徑 200 mm 以下管線一隊需 4 人，修理 400-500 mm 管線需 6 人，修理管徑 900-1,200 mm 管線則需 8 人。一組維修小隊一天可以維修多處較輕微的災損事件，可降低單一災損點之人力成本；反之，若需在搶修

時限內完成修復嚴重之災損事件，則動員人力勢必提高，所需人力成本增加，實作結算之施工費用也會拉高。以災損最嚴重的台南市為例，其管理單位為台水六區，推估之自來水管線災損之修復時間需 112,364 人-時，若投入 300 人、一天工作 12 小時進行搶修，則需約一個月方能大致完成管線修復，而修復所需經費達 1 億餘元。

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，統計如表 6-29 所示，各供水評估單元之震後缺水率和停水戶數結果統計結果如表 6-30 所示，其分部如圖 6-22 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 6-20 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 6-21 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

表 6-22 淨水場震損評估結果分區統計

管理單位	淨水場 數量	損壞狀態數量					總損失 (百萬)	修復所需 天數之和
		完全 損壞	嚴重 損壞	中度 損壞	輕微 損壞	無，但仍 需注意		
台水五區	41	-	-	-	-	-	-	-
台水六區	8	-	1	2	1	-	161.1	189
台水七區	79	-	-	-	-	-	-	-

總計	128	-	1	2	1	-	161.1	189
----	-----	---	---	---	---	---	-------	-----

表 6-23 淨水場震損評估結果

管理單位	設施名稱	設計出水量 (CMD)	每日出水量 (CMD)	重置成本 (百萬)	損失 (百萬)	修復所需天數	損壞狀態
台水六區	烏山頭淨水場	240,000	223,159	489.9	53.8	55	中度
	潭頂淨水場	195,000	127,949	441.6	19.3	24	輕微
	曾文淨水場	65,000	42,192	255.0	56.7	66	嚴重
	山上淨水場	42,000	35,023	204.9	31.3	44	中度

僅列設計出水量大於 20,000 CMD 之淨水場。

表 6-24 配水池損評估結果分區統計

管理單位	配水池數量	損壞狀態數量					總損失 (百萬)	修復所需天數
		完全損壞	嚴重損壞	中度損壞	輕微損壞	無，但仍需注意		
台水五區	35	-	-	-	-	-	-	-
台水六區	18	-	-	1	1	5	5.9	73
台水七區	30	-	-	-	-	-	-	-
總計	83	-	-	1	1	5	5.9	73

表 6-25 配水池震損評估結果

管理單位	設施名稱	容量(噸)	重置成本(百萬)	損失(百萬)	修復所需天數	損壞狀態
台水六區	豐德 40,000 噸配水池 A	40,000	111.8	0.2	4	無，但仍需注意
	豐德 40,000 噸配水池 B	40,000	111.8	0.2	4	無，但仍需注意
	永康科配水池	30,000	100.0	0.1	2	無，但仍需注意
	柳營科技園區配水池	30,000	100.0	0.1	2	無，但仍需注意
	烏山頭淨水場清水池	10,000	86.6	0.9	11	輕微
	曾文淨水場清水池	10,000	86.6	3.9	46	中度
	潭頂淨水場	10,000	86.6	0.4	5	無，但仍需注意

僅列容量大於 10,000 噸之配水池。

表 6-26 自來水管線災損統計(依管理單位)

管理單位	災損數			總災損數	修復時間(人-時)	修復成本(千元)
	給水管	配水管	送水管			
台水五區	91	17	0	109	1,585	1,447.3
台水六區	5,216	1,623	20	6,859	112,364	108,066.7
台水七區	138	42	0	180	2,850	2,769.0
總計	5,445	1,682	20	7,148	116,799	112,283.0

註：部分地區因用戶外線圖資未完整，致給水管災損數及總災損數均可能低估。

表 6-27 各地區之自來水管線災損統計

鄉鎮區	縣市	管理單位	配水管災損數	送水管災損數	總災損數	修復時間(人-時)	修復金額(千元)
新化區	台南市	台水六區	149	1	688	11,317	11,036
歸仁區	台南市	台水六區	98	2	619	9,504	8,911
善化區	台南市	台水六區	88	1	559	8,663	8,245
永康區	台南市	台水六區	93	1	497	7,620	7,292
山上區	台南市	台水六區	70	3	467	7,495	7,251
大內區	台南市	台水六區	118	0	463	7,768	7,448

鄉鎮區	縣市	管理單位	配水管 災損數	送水管 災損數	總災損數	修復時間 (人-時)	修復金額 (千元)
仁德區	台南市	台水六區	59	0	421	6,176	5,770
關廟區	台南市	台水六區	122	0	383	6,746	6,541
官田區	台南市	台水六區	124	3	316	6,136	6,180
新營區	台南市	台水六區	43	0	227	3,465	3,255
下營區	台南市	台水六區	37	1	201	3,104	2,938
麻豆區	台南市	台水六區	36	1	198	3,039	2,872
新市區	台南市	台水六區	44	2	197	3,352	3,403
六甲區	台南市	台水六區	42	2	168	2,881	2,868
學甲區	台南市	台水六區	23	0	147	2,148	2,008
東區	台南市	台水六區	71	1	113	2,395	2,317
柳營區	台南市	台水六區	25	0	109	1,777	1,715
鹽水區	台南市	台水六區	16	0	105	1,525	1,407
南區	台南市	台水六區	55	1	90	1,926	1,905
佳里區	台南市	台水六區	21	0	88	1,398	1,338
左鎮區	台南市	台水六區	18	0	81	1,269	1,218
玉井區	台南市	台水六區	16	0	80	1,215	1,111
安南區	台南市	台水六區	40	0	76	1,495	1,447
安定區	台南市	台水六區	11	0	68	992	931
北區	台南市	台水六區	41	0	68	1,399	1,348
龍崎區	台南市	台水六區	14	0	57	889	844
茄苳區	高雄市	台水七區	11	0	52	822	775
中西區	台南市	台水六區	43	1	51	1,272	1,339
安平區	台南市	台水六區	41	0	46	1,118	1,077
湖內區	高雄市	台水七區	13	0	44	734	703
西港區	台南市	台水六區	12	0	43	689	657
義竹鄉	嘉義縣	台水五區	6	0	43	615	557
後壁區	台南市	台水六區	8	0	37	563	526
東山區	台南市	台水六區	6	0	37	527	494

鄉鎮區	縣市	管理單位	配水管 災損數	送水管 災損數	總災損數	修復時間 (人-時)	修復金額 (千元)
將軍區	台南市	台水六區	13	0	34	589	566
路竹區	高雄市	台水七區	5	0	33	465	431
北門區	台南市	台水六區	5	0	29	419	391
七股區	台南市	台水六區	8	0	28	443	428
白河區	台南市	台水六區	5	0	26	384	364
鹿草鄉	嘉義縣	台水五區	3	0	19	278	254
南化區	台南市	台水六區	5	0	19	309	327
內門區	高雄市	台水七區	4	0	18	280	297
楠西區	台南市	台水六區	5	0	16	256	236
阿蓮區	高雄市	台水七區	3	0	16	228	213
布袋鎮	嘉義縣	台水五區	3	0	15	225	205
水上鄉	嘉義縣	台水五區	2	0	11	155	145
美濃區	高雄市	台水七區	3	0	10	153	143
朴子市	嘉義縣	台水五區	2	0	9	126	116
旗山區	高雄市	台水七區	3	0	8	143	147
東石鄉	嘉義縣	台水五區	1	0	5	73	69
田寮區	高雄市	台水七區	2	0	4	76	73
太保市	嘉義縣	台水五區	1	0	4	54	51
大埔鄉	嘉義縣	台水五區	0	0	2	31	25
中埔鄉	嘉義縣	台水五區	0	0	2	24	22
杉林區	高雄市	台水七區	1	0	2	27	26
甲仙區	高雄市	台水七區	0	0	1	19	18
六龜區	高雄市	台水七區	0	0	0	4	3
高樹鄉	屏東縣	台水七區	0	0	0	3	3
番路鄉	嘉義縣	台水五區	0	0	0	4	4
西區	嘉義市	台水五區	0	0	0	1	1
桃源區	高雄市	台水七區	0	0	0	0	0
總和			1,682	20	7,148	116,801	112,285

註：部分地區因用戶外線圖資未完整，致給水管災損數及總災損數均可能低估。

表 6-28 管線災損統計(依供水評估單元)

管理單位	供水評估單元	災損數			總災損數	修復時間 (人-時)	修復成本 (千元)
		給水管	配水管	送水管			
台水五區	大埔系統	2	0	0	2	31	25
	嘉義服務所	9	2	0	11	159	149
	義竹服務所	69	12	0	81	1,172	1,065
	朴子服務所	8	2	0	10	146	136
	新港營運所	3	1	0	4	54	50
	竹崎	1	0	0	2	23	22
台水五區總計		91	17	0	109	1,585	1,447.3
台水六區	楠西玉井系統	75	21	0	96	1,478	1,356
	台南市服務所	151	290	2	443	9,611	9,441
	歸仁服務所	1,186	292	2	1,480	23,306	22,059
	佳里服務所	287	81	0	368	5,672	5,377
	永康服務所	404	93	1	498	7,636	7,305
	新市服務所	2,017	497	7	,521	40,836	39,510
	麻豆服務所	639	240	6	885	15,175	14,874
	新營營運所	357	84	1	442	6,759	6,365
	白河營運所	81	19	0	100	1,481	1,390
	玉井	19	7	0	26	411	390
台水六區總計		5,216	1,623	20	6,859	112,364	108,068
台水七區	高樹系統	0	0	0	0	3	3
	美濃系統	7	0	0	10	152	142
	新威系統	0	0	0	0	3	3
	甲仙系統	1	0	0	1	18	16
	木梓系統	1	0	0	1	16	15

	寶隆系統	0	0	0	0	3	3
	旗山系統	13	0	6	19	308	293
	路竹茄苳湖內	101	1	28	129	2,022	1,911
	楠梓岡山梓官	13	0	3	16	227	212
	燕巢田寮	3	0	2	4	75	72
	仁武大社	0	0	0	0	24	99
	台水七區總計	138	42	0	180	2,850	2,769
	總計	5,445	1,682	21	7,148	116,799	112,283

註：部分地區因用戶外線圖資未完整，致給水管災損數及總災損數均可能低估

表 6-29 震後缺水率和停水戶數結果統計

管理單位	戶數	每日配水量 (CMD)	缺水量 (CMD)	缺水率 (%)	停水戶數
台水五區	32,171	36,693	3,967	10.81	2,520
台水六區	666,321	924,691	679,505	73.48	441,965
台水七區	95,161	95,059	10,698	11.25	4,780
總計	793,653	2,539,115	694,170	27.34	449,265

註：本表係統計各管理單位中供水受影響之供水評估單元

表 6-30 震後受影響之供水評估單元缺水率和停水戶數情境模擬結果

管理單位	供水評估單元	人口數	戶數	每日配水量 (CMD)	缺水量 (CMD)	停水戶數
台水五區	大埔系統	1,680	706	747	4	3
	義竹服務所	88,414	31,465	35,946	3,963	2,517
台水五區總計		90,094	32,171	36,693	3,967	2,520
台水六區	楠西玉井系統	24,381	8,637	7,852	411	320
	台南市服務所	769,838	274,451	396,241	285,286	176,472
	歸仁服務所	175,016	62,394	82,445	69,369	49,104
	佳里服務所	170,655	60,839	80,391	61,112	41,918
	永康服務所	216,064	77,028	104,610	63,624	40,132
	新市服務所	176,242	62,831	94,407	86,892	55,920
	麻豆服務所	117,448	41,871	55,323	49,546	35,925
	新營營運所	127,587	45,486	60,103	46,077	31,704
	白河營運所	80,142	28,571	37,753	16,692	10,200
	玉井	11,817	4,213	5,566	496	270
台水六區總計		1,869,190	666,321	924,691	679,505	441,965
台水七區	美濃系統	40,574	13,403	8,734	55	54
	甲仙系統	6,393	2,259	1,115	2	2
	木梓系統	3,583	1,377	791	5	6
	旗山系統	62,963	21,311	10,515	205	277
	路竹茄苳湖內	128,352	41,571	71,757	10,294	4,365
	燕巢田寮	45,194	15,240	19,267	137	76
台水七區總計		287,059	95,161	112,179	10,698	4,780
總計		2,246,343	793,653	1,073,563	694,170	449,265

註：本表係統計各管理單位中供水受影響之供水評估單元

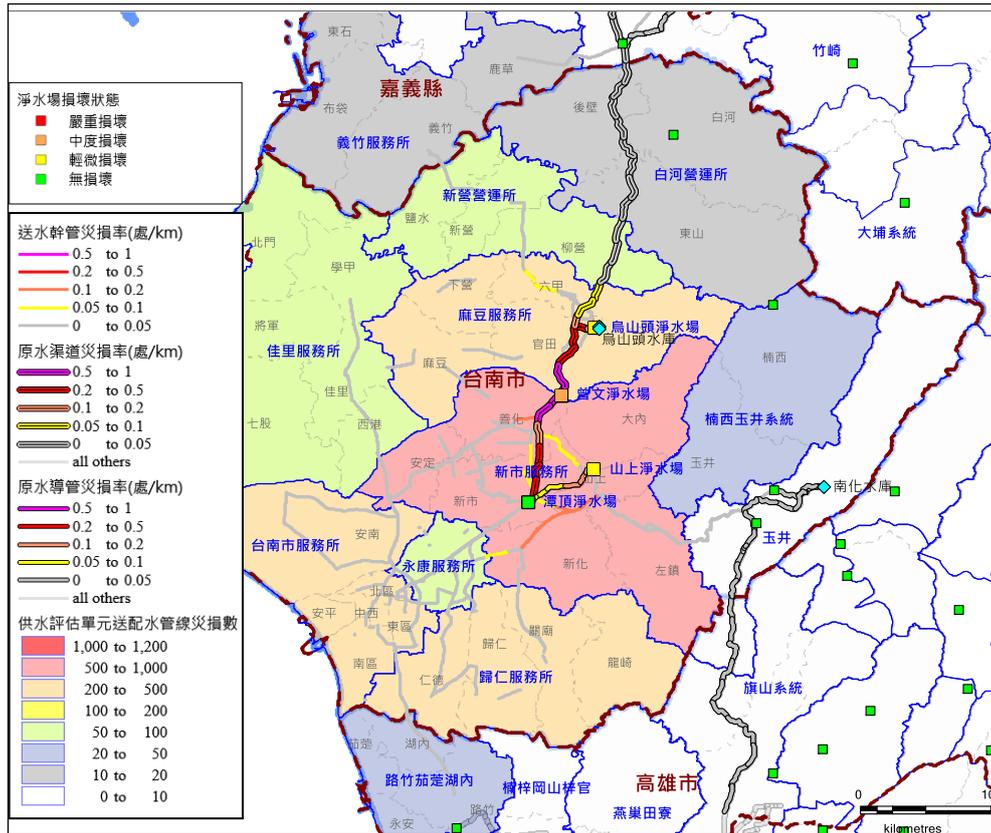


圖 6-21 供水評估單元之自來水管線災損分布

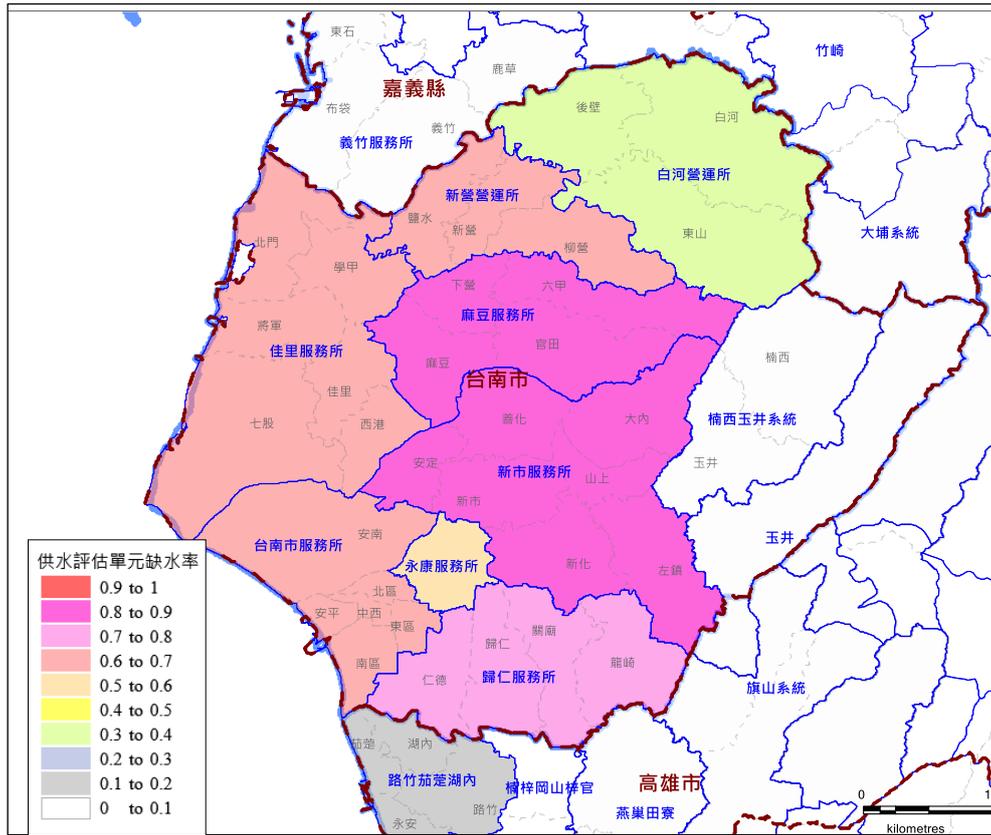


圖 6-22 供水評估單元之缺水率分布

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>
6. 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.
7. 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
8. 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
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
13. 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。

14. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. Retrieved from https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf.
15. 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>.
16. 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.
17. Côté, M.J. (1999). Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic. *Socio-Economic Planning Sciences*, 33, 231-245.
18. Müller, K. and Vignaux, T. (2003). SimPy: Simulating Systems in Python. ONLamp.com Python Devcenter.
19. Ministry of the Interior. 2019. Summary report by central emergency operation center for 0206 Hualien Earthquake.
20. 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.
21. 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).
22. 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.
23. 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.
24. Housner, G.W. (1963). “The behavior of inverted pendulum structures during earthquakes,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53, 403-417.

25. 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.
26. Ishiyama, Y. (1982). "Motions of rigid bodies and criteria for overturning by earthquake excitations, " Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 10, 635–650.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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.