

震災風險評估與管理平台之研發與應用

110 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、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 111 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(110)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)新一代強地動預估模式整合應用、(3)整合震損評估與 GIS 軟體研究、(4)震後緊急醫療韌性評估研究、(5)救援路線規劃與震後阻斷風險評估、與(6)宜花東大規模地震災損推估。

Abstract

This research project “Seismic Risk Assessment and Management Platform” aims at providing the government agencies, utility managers, research institutes of disaster prevention with professional tools and services for seismic loss estimation. To achieve this goal, it is necessary to continuously collect and correct the data of disaster potentials and infrastructures, develop and integrate the cutting-edge seismic loss estimation methodology, and devise application software as well as cloud services that cater to users’ needs. Subjects in 2021 include: (1) model improvement for near-fault earthquake loss estimation and applications, (2) the next generation prediction model of strong ground motion and integrated applications, (3) integration of seismic loss estimation and GIS software, (4) resilience evaluation of post-earthquake emergency medical systems, (5) rescue route planning and seismic risk evaluation of blockage, and (6) seismic loss estimation of large-scale earthquake in Yilan, Hualien and Taitung.

目錄

摘要.....	III
Abstract.....	IV
目錄.....	V
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	XI
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 標的設施及其震害.....	4
2.3 工址地震災害潛勢.....	8
2.4 震損推估模式.....	9
2.5 震損推估結果比較.....	11
3 參、新一代強地動預估模式整合應用.....	13
3.1 TELES 場址效應修正模式.....	13
3.2 研究方法與步驟.....	14
3.3 分類地盤之場址效應修正係數.....	15
3.4 個別測站之場址效應修正係數.....	17
3.5 網格格點之場址效應修正係數.....	18
3.6 小結.....	19
4 肆、整合震損評估與 GIS 軟體研究(1/2).....	20
4.1 研究規劃.....	20
4.2 TELES 架構說明.....	22
4.3 資料處理說明.....	23
4.4 小結.....	25

5 伍、震後緊急醫療韌性評估研究.....	26
5.1 前言.....	26
5.2 就醫人流模型和參數設置.....	27
5.3 醫院場址 PGA 推估.....	28
5.4 醫院建築結構損壞推估.....	29
6 陸、救援路線規劃與地震阻斷風險評估.....	33
6.1 背景說明.....	33
6.2 救援道路規劃模式.....	34
6.3 數值路網與救援據點資料庫.....	35
6.4 新北市救援道路規劃.....	36
6.5 大台北地區救援道路地震阻斷風險分析地圖.....	37
6.6 結論與後續發展.....	39
7 柒、宜花東大規模地震災損推估.....	41
7.1 震源情境模型.....	41
7.2 一般建物損害評估結果.....	41
7.3 人員傷亡評估.....	43
7.4 震後火災與消防資源需求推估.....	46
7.5 救災與民生物資需求評估.....	49
7.5.1 避難收容.....	49
7.5.2 救災資源.....	52
7.5.3 民生物資和設備需求.....	53
7.6 一般建物損害經濟損失.....	56
7.7 一般建物廢棄物評估.....	58
7.8 國中小學校舍震損評估.....	60
7.9 公路橋梁損害評估.....	61

7.10 鐵路橋梁損害評估.....	64
7.11 自來水系統損害評估.....	65
7.11.1 自來水設施災損評估結果	75
7.11.2 自來水管線災損推估結果	77
7.11.3 震後缺水率與停水戶數推估結果	81
8 參考文獻.....	84

圖目錄

圖 2-1 九二一地震石岡、豐原附近斷層破裂帶與重要原水與淨水設施分布	5
圖 2-2 豐原第一淨水場平面配置	6
圖 2-3 九二一地震豐原第一淨水場沉澱池損害(台灣自來水公司，2000)	7
圖 2-4 九二一地震豐原第一淨水場清水池損害(台灣自來水公司，2000)	8
圖 2-5 TELES 鄰近斷層設施震損評估模式之空間關係示意圖	9
圖 2-6 豐原第一淨水場之要徑水池邏輯圖	11
圖 2-7 豐原第二淨水場之要徑水池邏輯圖	11
圖 3-1 TELES 場址效應修正模式示意圖	14
圖 3-2 S_{a03} 之岩盤震動強度推估值與地表震動強度實測值的資料分布，以 V_{s30} 介於 360~270 m/s 為例	16
圖 3-3 不同地盤分類之第一區間場址效應迴歸係數	17
圖 3-4 不同地盤分類之第一區間場址效應放大倍率	17
圖 3-5 個別測站之 S_{a03} 在第一區間的場址效應放大倍率	18
圖 3-6 S_{a03} 在第一區間的場址效應修正係數分布	19
圖 4-1 Open GIS 震損評估軟體開發架構	23
圖 4-2 Master Settings 對話框設定資料夾	24
圖 5-1 THospital 使用者介面首頁畫面	27
圖 5-2 地震事件來源	27
圖 5-3 地震事件篩選與區域選擇	28
圖 5-4 評估醫院列表與醫院 PGA	29
圖 5-5 醫院建物屬性資料表	31
圖 5-6 易損性參數對應表	31
圖 5-7 建築物損壞機率	32
圖 6-1 救援路網數學規劃模式示意圖	35

圖 6-2 新北市與周邊城市救援據點示意圖	35
圖 6-3 大台北地區全區救援路網示意圖	37
圖 6-4 大台北地區想定地震境況下建物倒塌引致阻斷風險示意圖	38
圖 6-5 大台北地區想定地震境況下橋樑損壞引致阻斷風險示意圖	39
圖 7-1 花蓮外海震源情境模型.....	41
圖 7-2 宜花東全半倒棟數分布.....	42
圖 7-3 宜花東人員傷亡數量分布	44
圖 7-4 宜花東震後起火總數分布	47
圖 7-5 宜花東震後災防隊需求隊數分布	48
圖 7-6 宜花東需搬遷人數分布.....	50
圖 7-7 宜花東臨時避難收容人數分布	51
圖 7-8 宜花東地區一般建物總經濟損失分布	57
圖 7-9 宜花東一般建物總廢棄物數量分布	59
圖 7-10 宜花東國中小高中職校舍損害推估分布	61
圖 7-11 宜花東省縣道公路無損壞仍須注意橋梁	63
圖 7-12 花蓮外海地震鐵路橋梁地震損害評估結果	65
圖 7-13 自來水供水系統分析模型示意圖	66
圖 7-14 自來水管線管理單位.....	68
圖 7-15 台水八區、九區及十區供水評估單元劃分	69
圖 7-16 台水八區、九區及十區自來水管線分布	70
圖 7-17 供水評估單元之自來水管線災損數分布	80
圖 7-18 供水評估單元之自來水管線缺水率分布	83

表目錄

表 2-1 淨水場之水池結構損害狀態及定義	6
表 2-2 T _{water} 淨水場及水池結構之地震動易損性曲線參數	10
表 2-3 T _{water} 淨水場及水池結構之地表永久變位易損性曲線參數	10
表 2-4 豐原兩座淨水場之實際損害與震損推估結果比較	11
表 3-1 依震動強度與地盤類別統計 $S_{a0.3}$ 實測紀錄資料數量	15
表 3-2 $S_{a0.3}$ 地盤分類之場址效應迴歸結果	16
表 3-3 場址效應迴歸係數 c 於第一震動強度區間之推估經驗式的係數	17
表 4-1 資料夾格式與建置方式說明	24
表 6-1 想定地震震源參數	38
表 7-1 宜花東各鄉鎮區建物全半倒棟數量推估(單位:棟)	42
表 7-2 宜花東各鄉鎮區日間時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)	44
表 7-3 宜花東各鄉鎮區夜間時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)	45
表 7-4 宜花東各鄉鎮區通勤時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)	46
表 7-5 宜花東各鄉鎮區震後火災資源推估數值	48
表 7-6 宜花東震後避難需求推估數值(單位:人)	51
表 7-7 救災資源推估公式	52
表 7-8 宜花東地區震後日間時段救災資源推估數值	53
表 7-9 民生物資推估公式	54
表 7-10 設備需求推估公式	54
表 7-11 宜花東地區震後民生物資和設備需求推估數值(一)	54
表 7-12 宜花東地區震後民生物資和設備需求推估數值(二)	55
表 7-13 宜花東地區一般建物損害總經濟損失推估數值(單位:百萬元) ...	57
表 7-14 台南市一般建物總廢棄物數量推估數值(單位:噸)	59
表 7-15 宜花東省縣道公路無損壞仍須注意橋梁	63

表 7-16 供水評估單元與鄉鎮區之對應說明	71
表 7-17 供水設施數量統計.....	72
表 7-18 管線分類說明.....	73
表 7-19 供水評估單元之自來水管線長度統計	73
表 7-20 自來水設施震損評估結果	75
表 7-21 淨水場震損評估結果分區統計	76
表 7-22 淨水場震損評估結果.....	76
表 7-23 配水池損評估結果分區統計	76
表 7-24 配水池震損評估結果.....	76
表 7-25 水管橋震損評估結果分區統計	77
表 7-26 水管橋損評估結果分區統計	77
表 7-27 自來水管線災損推估結果(依管理單位).....	78
表 7-28 自來水管線災損推估結果(依供水評估單元).....	78
表 7-29 震後停水戶數早缺水量推估結果	81
表 7-30 震後受影響之供水評估單元缺水量和停水戶數情境模擬結果	81

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(110)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)新一代強地動預估模式整合應用、(3)整合震損評估與 GIS 軟體研究、(4)震後緊急醫療韌性評估研究、(5)救援路線規劃與震後阻斷風險評估、與(6)宜花東大規模地震災損推估。

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(第三)年度工作項目, 為收集整理九二一地震大型維生設施震害資料, 進行災損初步分析與 TELES 既有模式檢討。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。

新一代強地動預估模式整合應用方面, 近年以地球科學地震學領域相關理論為基礎的新一代地震動預估模型研究, 逐漸發展成熟成為主流。國震

中心在執行台灣核能電廠之高階地震危害度評估計畫(SSHAC Level3, 2018年)時，即是參考美、日及歐洲等國外新一代地震動預估模型，但採用台灣本土的強震觀測資料，建立適用於台灣地區之地震動預估模型，命名為 NCREE 19(趙書賢, 2019)。TELES 所採用的地震動預估模型已歷經多年，為使 TELES 接軌新一代之地震動預估模式，本研究將整合台灣地區之新一代地震動預估模型 NCREE 19，以 $V_{s30}=760(m/s)$ 為參考岩盤，建立適合廣域震損評估之場址效應模式。整合 NCREE 19 的岩盤震動強度推估結果，並結合本研究的場址效應模式研究成果，期可應用於廣域震損評估，更新精進 TELES 之地震動預估模型。相關階段性成果簡述於「新一代強地動預估模式整合應用」一節。

整合震損評估與 GIS 軟體研究方面，TELES 原先是藉由商用軟體 MapInfo 的資料庫管理、圖形運算與地圖展示等地理資訊系統(GIS)功能，進行地震損失評估與分析結果展示。但因 MapInfo 更改外部應用軟體與其整合介接的方式，未來將無法供 TELES 介接使用。為改善此一問題，運用開源程式庫 Spatialite 與 MapWinGIS 整合既有震損評估模組與 GIS 軟體，可使 TELES 的維護更具彈性，未來推廣台灣地震損失評估相關子系統時，將不再受限於商用軟體之版權和成本限制，更有助於地震風險評估、管理與防災教育等實務應用與推廣。相關階段性成果簡述於「整合震損評估與 GIS 軟體研究」一節。

震後緊急醫療韌性評估研究方面，當災難型地震造成大量傷患時，醫療院所是否保有緊急救護功能且如何確保傷患得到及時緊急醫療救護，是決定地震對社會的衝擊程度與修復速度的關鍵因素之一。以 2018/02/06 花蓮地震為例，訪問當地醫院得知，震後兩小時內處理了高達一百名以上的傷病患。急診壅塞容易使傷患無法得到及時診治，導致惡化或提升死亡風險。除了醫療需求增加外，若醫院本身也受地震影響，醫院震損造成醫療資源減少，進而導致緊急醫療能量下降。因此，為了能夠於震前評估急救責任醫院於地震災害下的震損情況，本研究開發了「臺灣急救責任醫院地震損失評估系統」(THospital)，以供震前應變整備使用。相關階段性成果簡述於「震後緊急

醫療韌性評估研究」一節。

琉球海溝引致宜花東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，110 年協助完成宜花東地區大規模地震情境模擬與對策擬定，琉球海溝引致大規模地震即為想定之情境。「震源情境模擬」小組完成琉球海溝的地動模擬後，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「宜花東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

本計畫旨於探討近斷層效應對於不同工程結構物之震害影響，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，本計畫成果有助於想定地震下，評估及研析近斷層區域之精確災損，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。

考慮維生線系統中，大型設施如淨水場與變電所往往占地遼闊，其間的重要設備一旦蒙受近斷層震害，對於自來水及電力系統將影響甚鉅。因此，本計畫本年度乃以九二一地震中的豐原第一、第二淨水場為案例(近二十年實際發生嚴重設施災損且資料保存相對完整之少數案例)，進行：(1)場站平面配置、設備單元關聯性與結構屬性資料收集，工址災害潛勢(含土層破壞)以及整體災損概況研析；(2)淨水程序中，個別膠羽池、沉澱池、快濾池、清水池等要徑設備，實際震害與修復照片整理比對與損害狀態判定；(3)考慮不同池狀結構之耐震易損性，進行淨水場整體災損分析，並與 TELES 子系統 Twater 既有模式之結果比對。

2.2 標的設施及其震害

九二一地震是台灣近數十年來傷亡損失最嚴重的自然災害，當時大台中地區自來水系統全面損害，供水困難。台中主要水源為鯉魚潭水庫(大安溪)和石岡壩(大甲溪)之水庫原水，並分別經由鯉魚潭淨水場以及豐原第一、第二淨水場處理，再提供清水予大台中地區的用戶。地震導致地盤隆起錯位，車籠埔斷層北段石岡、豐原附近破裂帶與重要原水與淨水設施的空間關係，如圖 21 所示。其中，石岡壩因三座溢洪道閘門毀損，庫水傾洩而出，壩體與閘墩局部開裂，部份閘門及其傳動軸變形，無法運作。由石岡壩取水口導引原水至豐原第一、第二淨水場的南幹渠，其中的引水隧道受車籠埔斷層破裂帶通過，隧道末端斷裂錯動 3.5 公尺，導致兩座淨水場原水中斷(葉純松，

2002)。

豐原第一淨水場因西側被車籠埔斷層直接通過，整場遭嚴重破壞，無法使用，歷經長期整修(含部分重建)方得再度運轉，其損害狀態可訂為嚴重且接近完全損害。豐原第二淨水場則因距離斷層破裂帶稍遠，受損相對較輕，經緊急搶修後可勉強出水，其損害狀態可訂為中度損害。另外，兩座淨水場共同對外的一條管徑 2000 公厘輸水幹管，受地層擠壓嚴重變形破損，無法供水。配置於清水池頂的數台抽水機，均損害不堪使用，其他各項淨水設備、器材大量損壞(台灣自來水公司，2000)。



圖 2-1 九二一地震石岡、豐原附近斷層破裂帶與重要原水與淨水設施分布

本計畫收集整理豐原第一、第二淨水場的基本資料，包含場站平面配置、設備單元關聯性與結構屬性資料，以及個別設備的震害與修復照片。以豐原第一淨水場為例，平面配置如圖 2-2 所示，主要設備均為水池結構，經過比對後，可大致進行標定並作損害情況的判定。參考表 2-1 所列的水池結構的不同損害狀態以及定義，這兩座淨水場的所有受損水池結構，可分別決定確切發生的損害狀態，供本計畫的震損推估結果比較之用。豐原第一淨水場的

一期沉澱池(圖 2-3)、15,000 噸清水池(圖 2-4)，經判定分別為嚴重損害與完全損害。

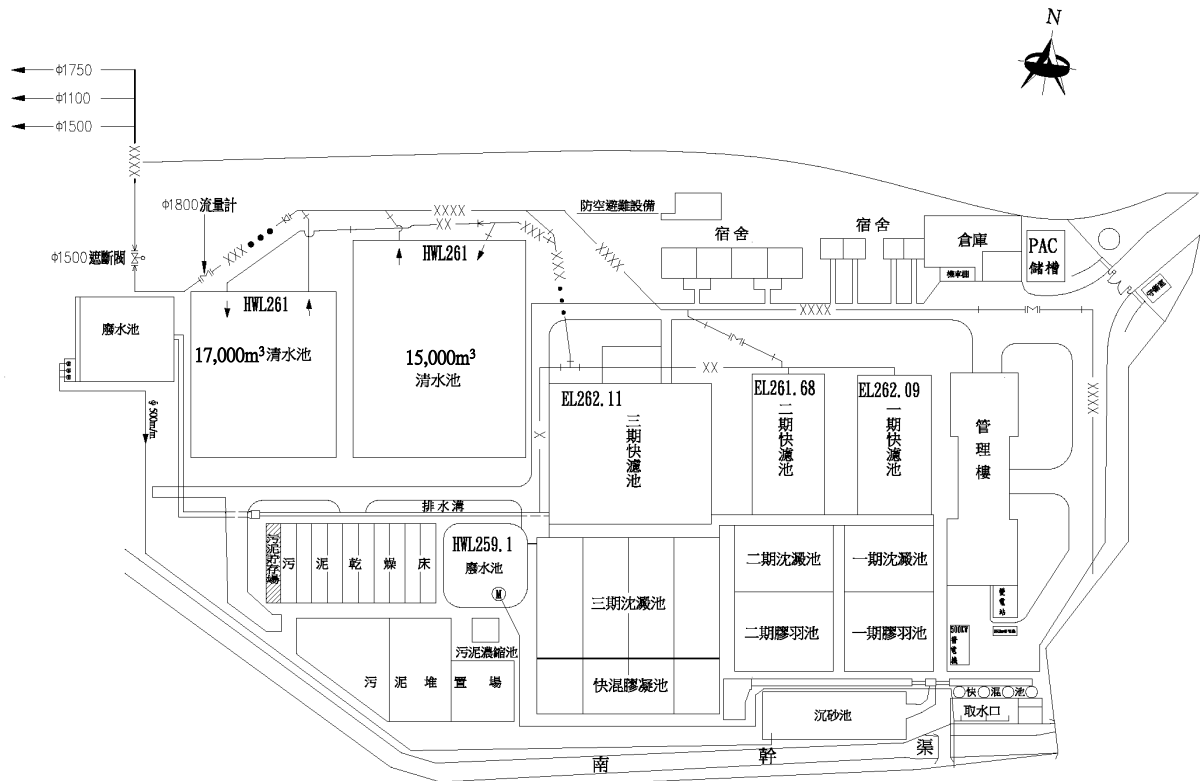


圖 2-2 豐原第一淨水場平面配置

表 2-1 淨水場之水池結構損害狀態及定義

損害狀態	定義
無損壞	無
輕微損害	池體輕微損壞，例如池頂因水面晃動撞擊而輕微損壞、內柱或內梁輕微開裂、池壁輕微開裂但仍保持水密功能
中度損害	池體相當程度受損，例如內柱或內梁開裂變形但仍穩定、池壁中度開裂且開始滲水
嚴重損害	池體嚴重受損，例如池頂崩塌、內柱或內梁嚴重變形、池壁裂損無法儲水
完全損害	池壁極嚴重開裂或倒塌，儲水盡失



圖 2-3 九二一地震豐原第一淨水場沉澱池損害(台灣自來水公司，2000)



圖 2-4 九二一地震豐原第一淨水場清水池損害(台灣自來水公司，2000)

2.3 工址地震災害潛勢

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，豐原兩座淨水場工址的地震動 PGA 達 354.7g。另外，根據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調查，最近此工址的調查點有二處，斷層錯動造成的高差均為 3.5m，水平視位移均為左移約 5m(經濟部中央地質調查所，1999)。由於土層劇烈錯動發生於斷層跡線，經過處為豐原第一淨水場之西北隅(圖 2 3)，該處緊鄰此淨水場的兩座清水池；至於豐原第一淨水場其他地方與豐原第二淨水場，則根據現場勘查，似僅在數個局部地方發生土層變形的情形。因此，本計畫假設前者(兩座清水池)之地表永久變位為 5m，後者(其他)則簡化假設為 40cm。以上稱為實際災害潛勢，將用於後面的損害推估。

倘若根據 TELES 模式推估九二一地震的地震災害潛勢，則豐原兩座淨水場工址的結果為地震動 PGA 達 0.593g，斷層錯動量達 72.27cm，遭遇機率為 0.688，土壤液化災害則可以忽略(算例請參閱經濟部水利署，2019)，此推估災害潛勢亦將用於後面的損害推估。

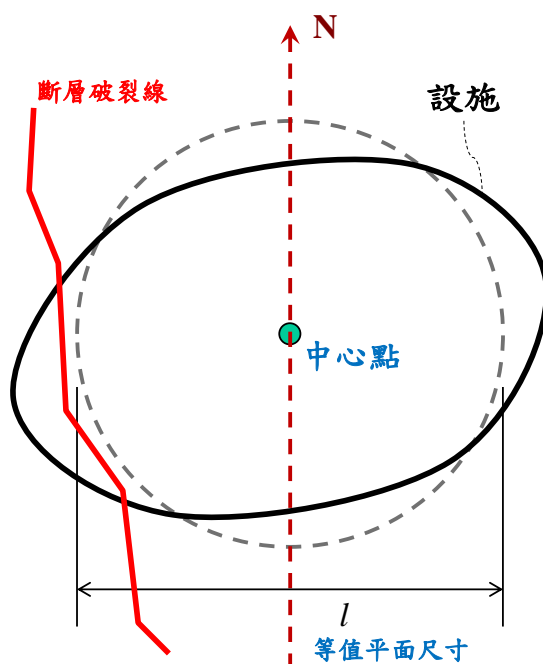


圖 2-5 TELES 鄰近斷層設施震損評估模式之空間關係示意圖

對於鄰近斷層的設施，TELES 雖然採用「點物件」，根據其中心點(座標)計算至斷層面之最短距離，評估所在位置的斷層錯動量及遭遇機率，但也會另外根據設施的規模大小，按預設公式概估其所佔據的面積(圓)以及等值平面尺寸，如圖 2-5 所示，以進一步決定該設施是否被斷層通過以及其後果。詳細的震損評估模式，可參閱經濟部水利署(2019)。

2.4 震損推估模式

本計畫以易損性曲線方式推估損害。易損性曲線用於反映標的物之耐震易損特性，是指發生超越輕微、中度、嚴重、完全損壞狀態的一組四條的超越機率曲線，取對數常態分布(log-normal distribution)之函數型式，由中值和標準差作為參數(FEMA, 2010)。過往研究中，曾針對淨水場及配(清)水池進行易損性曲線參數的研擬，細節可參閱經濟部水利署(2019)。

本計畫之豐原兩座淨水場，按規模均屬該研究中設施分類的大型淨水場。兩座淨水場內的各個水池結構，按底版的連續性以及牆與底版關係，屬於框架式結構，配置方式則均為地上式，另考慮尺寸效應，依容量概分為小型(<1,000 噸)、中型(1,000~10,000 噸)和大型(>10,000 噸)之水池結構。水池

結構由於設計與建造上的共通性，可假設配(清)水池的震損評估模式及參數，同樣適用於淨水場內的膠羽池、沉澱池、快濾池等結構。

經整理之 Twater 淨水場及水池結構易損性曲線參數，包含地震動 PGA (中值單位 g)以及地表永久變位(中值單位 cm，斷層錯動或土壤液化造成)兩類，按設備別分別如表 2-2、表 2-3 所列 (經濟部水利署，2019)。推估淨水場或水池結構發生超越輕微、中度、嚴重、完全損壞狀態的機率時，係採機率集合理論，換言之兩個獨立事件(地震動、地表永久變位分別造成的損害)之聯集的發生機率，為個別獨立事件發生機率之和，再扣掉二者交集的發生機率。

本計畫根據淨水場內的各個水池結構的損害推估，進行淨水場整體的損害推估。推估時考慮對於淨水功能而言屬於必要的設備，亦即所謂的要徑水池，而排除沉砂池、廢水池、汙泥濃縮池非要徑水池不作評估。

表 2-2 Twater 淨水場及水池結構之地震動易損性曲線參數

設備別	輕微損害		中度損害		嚴重損害		完全損害	
	中值	標準差	中值	標準差	中值	標準差	中值	標準差
淨水場	0.432	0.55	0.576	0.50	0.720	0.45	1.080	0.40
小型水池	0.552	0.55	0.736	0.50	0.920	0.45	1.380	0.40
中型水池	0.504	0.55	0.672	0.50	0.840	0.45	1.260	0.40
大型水池	0.456	0.55	0.608	0.50	0.760	0.45	1.140	0.40

表 2-3 Twater 淨水場及水池結構之地表永久變位易損性曲線參數

設備別	輕微損害		中度損害		嚴重損害		完全損害	
	中值	標準差	中值	標準差	中值	標準差	中值	標準差
淨水場	22.0	0.60	30.8	0.50	44.0	0.45	66.0	0.45
小型水池	44.0	0.60	61.6	0.50	88.0	0.45	132.0	0.45
中型水池	37.0	0.60	51.8	0.50	74.0	0.45	111.0	0.45

大型水池	24.0	0.60	33.6	0.50	48.0	0.45	72.0	0.45
------	------	------	------	------	------	------	------	------

以豐原第一淨水場而言，係分三期興(擴)建，所以有三套淨水單元。根據圖 2-2 所示之豐原第一淨水場平面配置，三套淨水單元各自包含膠羽池(快混膠凝池)、沉澱池、快濾池等，依序串聯而成。淨水單元各自獨立運作，三套採並聯方式，統一自取水口進水，淨水後則各自流入兩作相互並聯的清水池後，再出水至供水區域。按照以上說明，可繪製其要徑水池邏輯圖，如圖 2-6 所示。在釐清各淨水單元、各要徑水池的串聯或並聯關係後，可根據一般可靠度分析原理，經由各水池結構的可靠度(損害)，計算並決定整體淨水場的可靠度(損害)。

同理，可繪製豐原第二淨水場的要徑水池邏輯圖，如圖 2-7 所示。

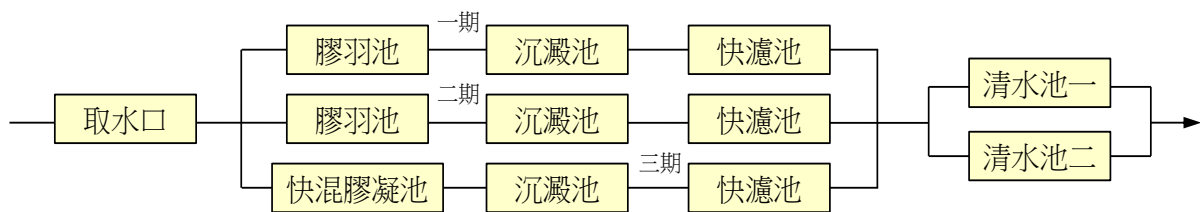


圖 2-6 豐原第一淨水場之要徑水池邏輯圖

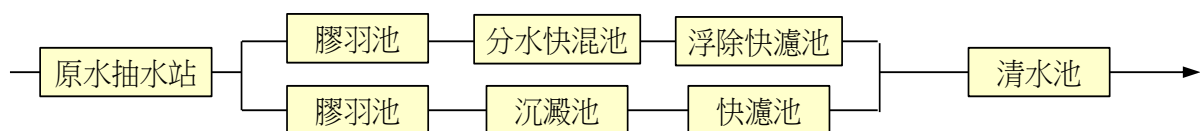


圖 2-7 豐原第二淨水場之要徑水池邏輯圖

2.5 震損推估結果比較

根據所研判的各淨水場與要徑水池實際損害狀態(i)，應用 Twater 以及推估或實際災害潛勢所得到的損害狀態推估(ii、iii)，以及本計畫個別要徑水池災損推估與應用邏輯圖而進一步得到的淨水場整體損害狀態推估(iv)，以上結果可整理如表 2-4 所列。

表 2-4 豐原兩座淨水場之實際損害與震損推估結果比較

推估標的	(i)	(ii)	(iii)	(iv)
------	-----	------	-------	------

	實際損害	Twater 推估損害 (推估災害潛勢)	Twater 推估損害 (實際災害潛勢)	本計畫 推估損害 (實際災害潛勢)
豐原第一整體	嚴重 (近完全)	嚴重	完全	完全
豐原第一 各要徑水池	完全~中度	-	-	完全~中度
豐原第二整體	中度	嚴重	中度	中度
豐原第二 各要徑水池	中度	-	-	中度

比較以上各項結果，可知：(1)使用 TELES 的地震災害潛勢推估值時，所得到的損害狀態與實際差距較大，地震災害潛勢的現象有高度不確定性，近斷層區域內的土層破壞程度與分布更是如此，推估本質即是如此，實屬必然；(2)運用 Twater 既有模式與本計畫方法，結合實際災害潛勢進行推估，結果與實際損害情況相近，Twater 得到淨水場結果，本計畫方法則在過程中同時得到各要徑水池結果，推估細緻度較高，其中豐原第一淨水場的兩座清水池因已賦予實際地表永久變位而均得到完全損害之結果，雖然已知實際災害潛勢屬於「事後諸葛」，但無論如何二者均間接驗證 Twater 既有模式與本計畫方法的合理性。

本計畫剖析大型設施內要徑設備之耐震屬性與易損性，應用於推估個別設備與整體場站之損害，得到較詳細的災損推估資訊。誠而，近斷層區域的土層破壞程度與分布具有隨機性，對於個別設備的損害推估影響極大，此點必須特別留意。

參、新一代強地震動預估模式整合應用

近年以地球科學地震學領域相關理論為基礎的新一代地震動預估模型研究，逐漸發展成熟成為主流。國震中心在執行台灣核能電廠之高階地震危害度評估計畫(SSHAC Level3, 2018年)時，即是參考美、日及歐洲等國外新一代地震動預估模型，但採用台灣本土的強震觀測資料，建立適用於台灣地區之地震動預估模型，命名為 NCREE 19 (趙書賢，2019)。

TELES 所採用的地震動預估模型已歷經多年，為使 TELES 接軌新一代之地震動預估模式，本研究將整合台灣地區之新一代地震動預估模型 NCREE 19，以 $V_{s30} = 760 \text{ m/s}$ 為參考岩盤，建立適合廣域震損評估之場址效應模式。整合 NCREE 19 的岩盤震動強度推估結果，並結合本研究的場址效應模式研究成果，期可應用於廣域震損評估，更新精進 TELES 之地震動預估模型。

3.1 TELES 場址效應修正模式

國震中心研發之台灣地震損失評估系統(TELES)採用的地震動預估模型可概分為「震動衰減律」和「場址效應修正」兩部分。亦即利用與地震規模和距離相關的震動衰減律，概估在參考地盤條件下的震動強度；再利用各地的地盤種類和震動強度等因素，進行場址效應修正。

使用之地震動參數有最大地表加速度(PGA)、0.3 秒週期結構譜加速度($S_{a0.3}$)與一秒週期結構譜加速度($S_{a1.0}$)等。前述三種地震動參數的震動衰減律和場址效應修正係數皆不同，須個別進行迴歸分析。以 PGA 為例，圖 3-1 所示乃 TELES 所採用的場址效應修正模式示意圖。在推估各地之地震動強度時，可先依震動衰減律獲得岩盤的震動強度預估值 PGA_u ，再比較實測地震動強度 PGA_s 與岩盤震動強度 PGA_u ，藉此獲得不同岩盤震動強度下的場址效應修正係數。地震動強度實測值與岩盤震動強度預估值的比率通常大於 1.0，故場址效應修正係數有時也稱工址放大係數。

配合 TELES 廣域震損評估應用之需求，本研究結合 TELES 之地震動

預估模型，成果可供 TELES 進行廣域地震動推估使用。

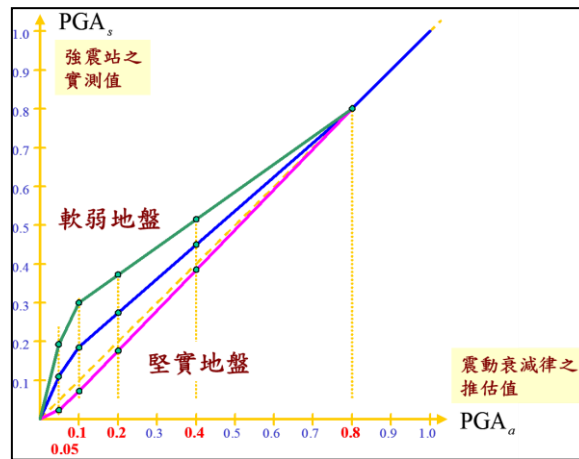


圖 3-1 TELES 場址效應修正模式示意圖

3.2 研究方法與步驟

本研究除採用 NCREE 19 之地震動預估中值模型推估岩盤震動強度外，也運用該研究所蒐錄的強震紀錄資料庫。該資料庫涵蓋民國 70 年至 105 年台灣地區歷年的強震觀測紀錄，包含中央氣象局裝設之 843 個地震站，365 個地震事件，44,600 筆強震紀錄。本研究保留其中解析度較高的 732 個強震站和挑選適用於場址效應分析的強震紀錄。

採用 NCREE 19 之地震動預估中值模型，假設參考地盤(或岩盤)的剪力波速為 760 m/s，推估在不同地震事件下，各測站所在地之岩盤震動強度。比較推估的參考基盤震動強度與地表測站實測強地動紀錄之差異，並進行迴歸分析，歸納不同震動強度下之場址效應。

逐一檢視個別測站之 PGA 、 S_{a03} 和 S_{a10} 紀錄，多數測站均無足夠的實測地震紀錄供探討場址效應，尤其在地震動強度較大的區間更是缺乏資料點。為弭補個別測站資料點不足的窘境，本研究先探討不同地盤分類之場址效應修正係數。當個別測站無足夠資料點時，即可利用該測站之地盤分類來輔助擬訂其場址效應修正係數。再依個別測站之場址效應修正係數，利用空間內插法計算網格格點之場址效應修正係數。最終可獲得 PGA 、 S_{a03} 和 S_{a10} 在不同震動強度下的場址效應修正係數分布。

因篇幅因素，本文後續主要以 S_{a03} 為例，分別就分類地盤、個別測站和

網格格點之場址效應修正係數研究方法與成果進行簡要說明。

3.3 分類地盤之場址效應修正係數

地表下 30 公尺內的平均剪力波速(V_{s30})為工程上普遍應用於區分地盤種類的參數，且各測站皆有 V_{s30} 之量測值或推估值，因此本研究採用 V_{s30} 作為地盤分類的依據。分別以 760、630、540、450、360、270 和 180 m/s 為界，概分成 8 類地盤。此外，為探討隨岩盤震動強度而變的場址效應修正係數，另將岩盤震動強度劃分為數個區間。 S_{a03} 的前三個區間分別為 0~0.1g、0.1g~0.2g 和 0.2g~0.4g，岩盤震動強度由弱至強，分別以第一、第二和第三區間稱之。前三個岩盤震動強度區間與地盤分類分別統計之實測紀錄的數量，如表 3-1 所示。由該表可知，第一區間的資料數量較多，但第二區間和第三區間的資料數量急遽減少。

表 3-1 依震動強度與地盤類別統計 S_{a03} 實測紀錄資料數量

V_{s30} (m/s)	S_{a03} 震動強度(g)		
	0 ~ 0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.4
> 760	423	56	43
760 ~ 630	415	64	31
630 ~ 540	795	155	60
540 ~ 450	1,099	178	78
450 ~ 360	702	101	34
360 ~ 270	572	95	62
270 ~ 180	1,533	179	95
< 180	123	10	8

以 V_{s30} 介於 360~270 m/s 的地盤分類為例， S_{a03} 之岩盤震動強度推估值與地表震動強度實測值的資料分布如圖 2 所示。須留意圖 2 之橫軸與縱軸皆為對數軸。圖中 45 度之斜虛線代表岩盤震動強度推估值等於測站地表震動強度實測值，亦即無場址放大現象。依 S_{a03} 之岩盤震動強度推估值劃分為 0~0.1g、0.1g~0.2g 和 0.2g~0.4g 等三個區間，各區間之資料點分別進行迴歸分析。迴歸分析所使用的數學模型乃固定斜率為 1 的直線，如下式所示：

$$\log_{10}(y_s) = \log_{10}(y_a) + c \dots\dots\dots(1)$$

其中 y_a 為岩盤震動強度推估值， y_s 為測站地表震動強度實測值，截距 c 為迴

歸參數。截距越大表示放大越多，場址效應越明顯。 10^c 則為該區間的場址效應放大倍率，亦即該震動強度區間的場址效應修正係數。

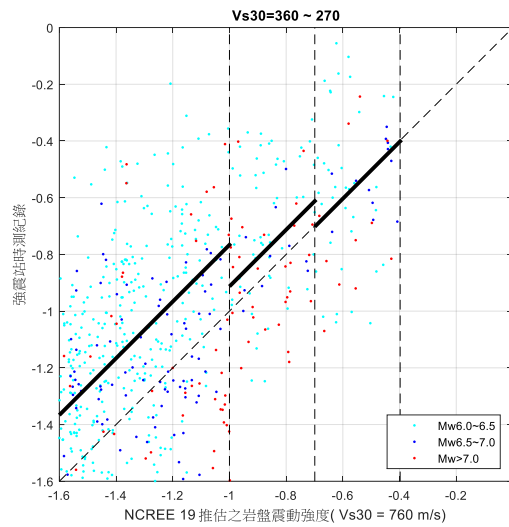


圖 3-2 S_{a03} 之岩盤震動強度推估值與地表震動強度實測值的資料分布，以 V_{s30} 介於 360~270 m/s 為例

圖 3-2 之三條粗的 45 度斜線段分別代表前三個區間的迴歸結果。由三個區間所得之迴歸參數可轉換為場址效應的放大倍率，分別為 1.7、1.2 和 1，其值乃代表在岩盤震動強度區間的平均放大倍率。當岩盤震動強度越大，放大倍率越小，場址效應越不明顯。一般而言，第三區間的資料數量較少且場址效應不明顯，或可推論迴歸結果極不可靠，因此本研究僅探討第一區間和第二區間的迴歸結果。不同地盤分類之 S_{s03} 的場址效應迴歸分析結果，以 c 表示，如表 3-2 所示。

表 3-2 S_{s03} 地盤分類之場址效應迴歸結果

V_{s30} (m/s)	第一區間	第二區間
> 760	0.0833	0.0000
760 ~ 630	0.0850	0.0000
630 ~ 540	0.1214	0.0418
540 ~ 450	0.1756	0.0662
450 ~ 360	0.2790	0.1628
360 ~ 270	0.2336	0.0870
270 ~ 180	0.3328	0.1344
< 180	0.3478	0.2355

將不同地盤分類之第一區間的場址效應迴歸參數 c 的分析結果繪製於

圖 3-3。圖 3-3 中的資料點即為各地盤分類之迴歸參數的分析結果。進一步將圖中各點分別依 PGA、 S_{a03} 與 S_{a10} 進行線性迴歸，迴歸式如下

$$c = a \times V_{s30} + b \geq 0 \dots\dots\dots(2)$$

其中， a 、 b 分別為迴歸係數。依 PGA、 S_{a03} 與 S_{a10} 之平滑化經驗式的迴歸係數 a 、 b 之分析結果如表 3-3 所列，即圖 3-3 中之粗線。如此一來，只要知道某區域的 V_{s30} 即可計算對應的迴歸參數 c 值，並獲得其場址效應修正係數。

對應圖 3-3 的場址效應修正係數的計算結果如圖 3-4 所示。

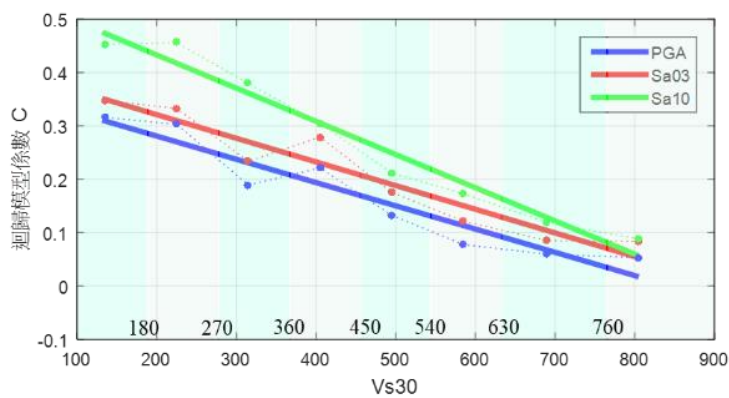


圖 3-3 不同地盤分類之第一區間場址效應迴歸係數

表 3-3 場址效應迴歸係數 c 於第一震動強度區間之推估經驗式的係數

參數	PGA	S_{a03}	S_{a10}
a	-0.000436	-0.000443	-0.000622
b	0.368253	0.409887	0.557492

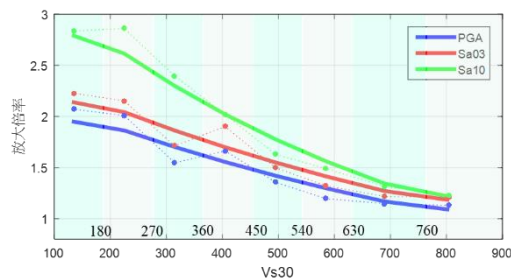


圖 3-4 不同地盤分類之第一區間場址效應放大倍率

3.4 個別測站之場址效應修正係數

探討個別測站在不同岩盤震動強度區間的場址效應時，可採用類似式 (1) 述的迴歸模型，藉以獲得個別測站獨特的場址效應修正係數。但個別測

站的資料筆數有限，無法單憑個別測站的資料點獲得可靠的迴歸分析結果；通常須參考個別測站之 V_{s30} 分類地盤的場址效應修正係數。換言之，個別測站在各區間的場址效應修正係數須參採兩種分析結果，其一為依據個別測站的實測地震紀錄，其二為依據個別測站的 V_{s30} 並運用前節所述分類地盤的場址效應修正係數。兩種分析結果的權重可視個別測站在各區間的資料多寡而定。如區間內的資料越多，則可越採信實測地震紀錄的分析結果；此時，也越能反映個別測站的特性。另一方面，即使在無任何資料的區間，也能參考個別測站之 V_{s30} ，獲得近似的分類地盤場址效應修正係數。如此一來，每個測站在各區間皆可獲得獨特的場址效應修正係數。

個別測站之 S_{a03} 在第一區間的場址效應修正係數繪製，如圖 3-5 所示。圖中粗黑線乃採用 V_{s30} 分類地盤的場址效應修正係數。由圖可窺知，個別測站之場址效應修正係數約略分布於粗黑線的上下，顯示個別測站的場址效應確實與 V_{s30} 相關，但變異性頗大。如單純以 V_{s30} 分類地盤的場址效應修正係數推估想定地震下的地表震動強度，約有一半地區可能有低估的疑慮。

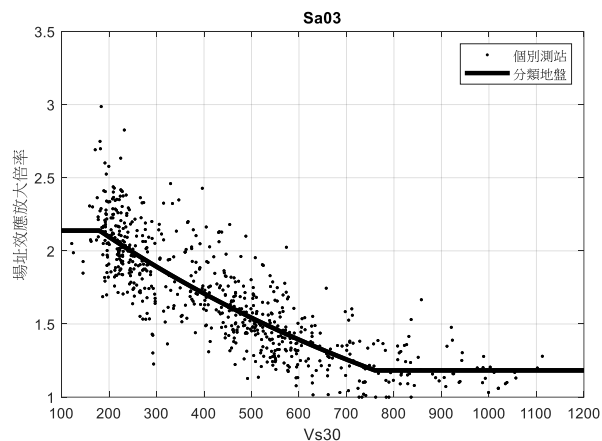


圖 3-5 個別測站之 S_{a03} 在第一區間的場址效應放大倍率

3.5 網格格點之場址效應修正係數

從已計算所有測站之 PGA、 S_{a03} 和 S_{a10} 在第一區間和第二區間的場址效應修正係數。依測站所在座標，可進一步利用空間內插法，分別計算 PGA、 S_{a03} 和 S_{a10} 在第一區間和第二區間之場址效應修正係數的分布。具體而言，本研究以 500 公尺×500 公尺網格進行內插分析，進而獲得全台灣各地每一網

格中心點的場址效應修正係數，以 S_{a03} 在第一區間為例，內插結果如圖 3-6 所示。

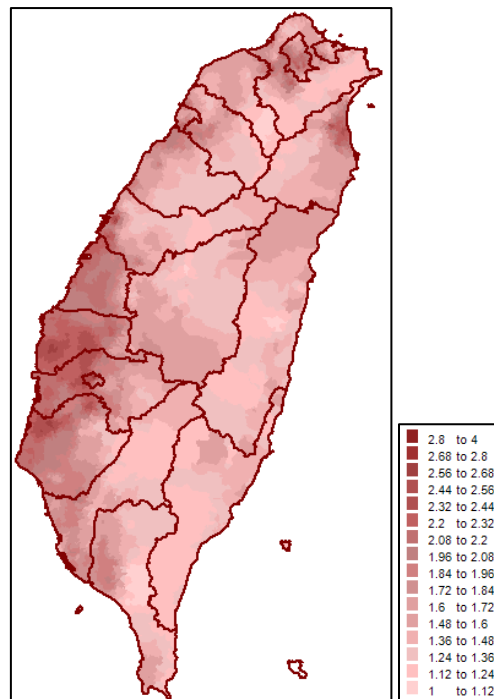


圖 3-6 S_{a03} 在第一區間的場址效應修正係數分布

3.6 小結

本研究結合 TELES 地震動預估模型，以 NCREE 19 參考地盤(或岩盤)的剪力波速為 760 m/s 作為「震動衰減律」，分析各測站 PGA、 S_{a03} 和 S_{a10} 在不同震動強度下的場址效應，並內插至其他無測站之區域，得到廣域的場址效應分布，可作為 TELES 進行廣域震損評估時「場址效應修正」之用。待未來程式更新，即可應用於 TELES 之地震動預估模型。

肆、整合震損評估與 GIS 軟體研究(1/2)

「台灣地震損失評估系統(TELES)」原先是藉由商用軟體 MapInfo 的資料庫管理、圖形運算與地圖展示等地理資訊系統(GIS)功能，進行地震損失評估與分析結果展示。但因 MapInfo 更改外部應用軟體與其整合介接的方式，未來將無法供 TELES 介接使用。為改善此一問題，運用開源程式庫 Spatialite 與 MapWinGIS 整合既有震損評估模組與 GIS 軟體，可使 TELES 的維護更具彈性，未來推廣台灣地震損失評估相關子系統時，將不再受限於商用軟體之版權和成本限制，更有助於地震風險評估、管理與防災教育等實務應用與推廣。

4.1 研究規劃

新版 TELES 以原本 TELES 既有的系統架構與資料流為基礎，運用微軟公司所定義之 MFC 類別程式庫，將震損評估所需 GIS 功能分別以開源程式庫 Spatialite 與 MapWinGIS 取代。需要整合 Spatialite 之資料庫管理與圖形運算、分析…等功能，以及 MapWinGIS 的地圖展示、圖層控制與主題圖繪製…等使用者介面功能，以完成一般建築物地震損失評估子系統(Tgbs)與自來水系統震損評估子系統 Twater 之各項模組的 GIS 功能移轉與更新。本計畫項目期程共兩年，預計在 111 年完成一般建築物地震損失評估子系統(Tgbs)之各項模組的 GIS 功能移轉與更新，工作內容規劃如下：

1. Spatialite 資料庫格式移轉：將既有的各類以 MapInfo 格式儲存之資料表，如行政區界圖資、地震災害潛勢相關參數、一般建築物損害評估所需資料與分析參數、人員傷亡與社會經濟衝擊評估所需資料與分析參數…等檔案移轉為開源程式慣用的 Spatialite 資料庫格式。
2. 系統架構設定：TELES 系統架構設定與主控資料夾之建置，主控資料夾包含基本的行政區界圖資和震損評估所需分析參數資料等檔案外，也存放使用者匯入之評估標的資料。而當新增專案時會建置專案資料夾，並自動匯入震損評估所需各項圖資表格與參數設定，以完成專案資料夾建置。

3. 基本圖資展示與想定地震設定：整合 MapWinGIS 開發圖資展示與使用者溝通平台，在地圖視窗中展示地震事件或斷層等圖資，開發圖層控制對話框，回傳使用者所選取的圖形物件資訊，以提供視覺化的想定地震設定對話框，以完成想定地震事件設定與模擬地震事件資料夾建置等。
4. 震損評估模組之移轉與整合：TELES 包含多個震損評估模組，如推估地震動強度與土壤液化機率的 earthquake 災害潛勢分析模組，Tgbs 子系統獨有的一般建築物損害評估模組以及人員傷亡與經濟損失的模組，以及 Twater 子系統需要的管線類與設施類的損害損失評估模組與推估管網系統損失的模組等，需整合 Spatialite 編輯、儲存、查詢圖形物件等功能，並運用其幾何分析與圖形運算功能，以完成各評估模組的 GIS 功能移轉與更新。
5. 整合 MapWinGIS 與 Spatialite 程式庫：整合 Spatialite 資料庫處理與 MapWinGIS 地圖展示之功能，開發震損評估軟體使用者所需之 UI 介面，藉由查詢介面，讓資料庫能更緊密連結，而資料庫內容、災損模擬結果與查詢結果之表格瀏覽與地圖展示、圖層控制、主題圖繪製等功能，強化使用者操作機制，同時也讓使用者能夠容易掌握資料庫內容。為提升使用者資料展示的方便性，尚須提供完善的地圖展示主題圖繪製功能，包含使用者自訂主題圖繪製介面、震損評估軟體所需之非預設線形樣式與地圖輸出圖形檔案等功能。
6. 子系統之更新與測試：Tgbs 子系統更新完成後需要測試應用程式使用介面各項功能，確認軟體之穩定性和運算效率，並藉由匯入相同的基本圖資、分析參數和設定數個想定地震，比較既有以 MapInfo 為基礎的 Tgbs 和更新後 Tgbs 的各項震損評估結果，以測試及驗證新版 Tgbs 的正確性。由於 Spatialite 對形心 Centroid 的計算方式或定義與 MapInfo 不同，MapInfo 可以強制形心位置在圖形物件中，如多邊形的形心會在多邊形範圍內，線段的形心也會位在線段本體上；而 Spatialite 的形心定義為最小邊界矩形 (minimum bounding

rectangle, MBR)的中點，沒有限定在圖形物件內。因此其結果比較會有微小差異這是可預期的。

目前已完成上述 1-3 項工作項目，包含整合 Spatialite 資料庫管理功能，完成 Tgbs 子系統之架構設定與主控資料夾之建置；新增專案後，依專案設定匯入震損評估所需各項圖資與特殊設定，完成專案資料夾建置。同時整合 MapWinGIS 開發圖資展示與使用者溝通平台，完成想定地震事件設定。預計 111 年持續進行震損評估模組之移轉與整合、MapWinGIS 與 Spatialite 程式庫整合以及 Tgbs 子系統之更新與測試等工作項目，以完成一般建築物地震損失評估子系統(Tgbs)之各項模組的 GIS 功能移轉與更新。

4.2 TELES 架構說明

TELES 程式是應用 Visual Studio 的 MFC(Microsoft Foundation Classes)建立的，除了自行開發的各類震損模式外，其中的 GIS 空間分析運算與地圖展示功能是應用現成的開源程式庫 sqlite、Spatialite 與 MapWinGIS 之軟體功能，TELES 工作項目架構以及與各軟體的相互關係可參見圖 4-1 所示。由 Sqlite 與 Spatialite 軟體提供資料庫管理、資料儲存查詢與空間分析運算功能，而 MapWinGIS 軟體提供地圖展示、圖資套疊等功能，以取代原先商用軟體 MapInfo 功能。但由於開源程式庫 Spatialite 與 MapWinGIS 是兩個不同的軟體，因此如何在兩個程式間傳遞訊息，將 Spatialite 的空間分析結果由 MapWinGIS 來展示是本計畫中最需要克服的難題。其次是開源程式庫不像商用軟體已有成熟的使用者介面，如 圖 4-1 所示之使用者對話框、SQL Select、主題圖繪製、圖層控制視窗、訊息視窗、物件之屬性展示視窗等功能，都需要再重新研發製作。

使用 Spatialite 軟體的優點是可以有效的提升運算效率，由於以往 MapInfo 檔案與 TELES 溝通時，檔案內容都須先以文字方式轉換成所需格式，才能使用其資料，但 Spatialite 資料庫可以直接以 Binary 方式讀寫資料，更有效率。且 Spatialite 資料庫可在記憶體資料庫中完成所有讀取計算分析後再一次性地匯入檔案，不需要一直重複讀取寫入動作，大幅地減短分析時

間。由於 Visual Studio 軟體與 sqlite、Spatialite、MapWinGIS 開源程式庫都仍不定期的需要升級版本，在升級版本時要注意版本間的相互搭配事項。

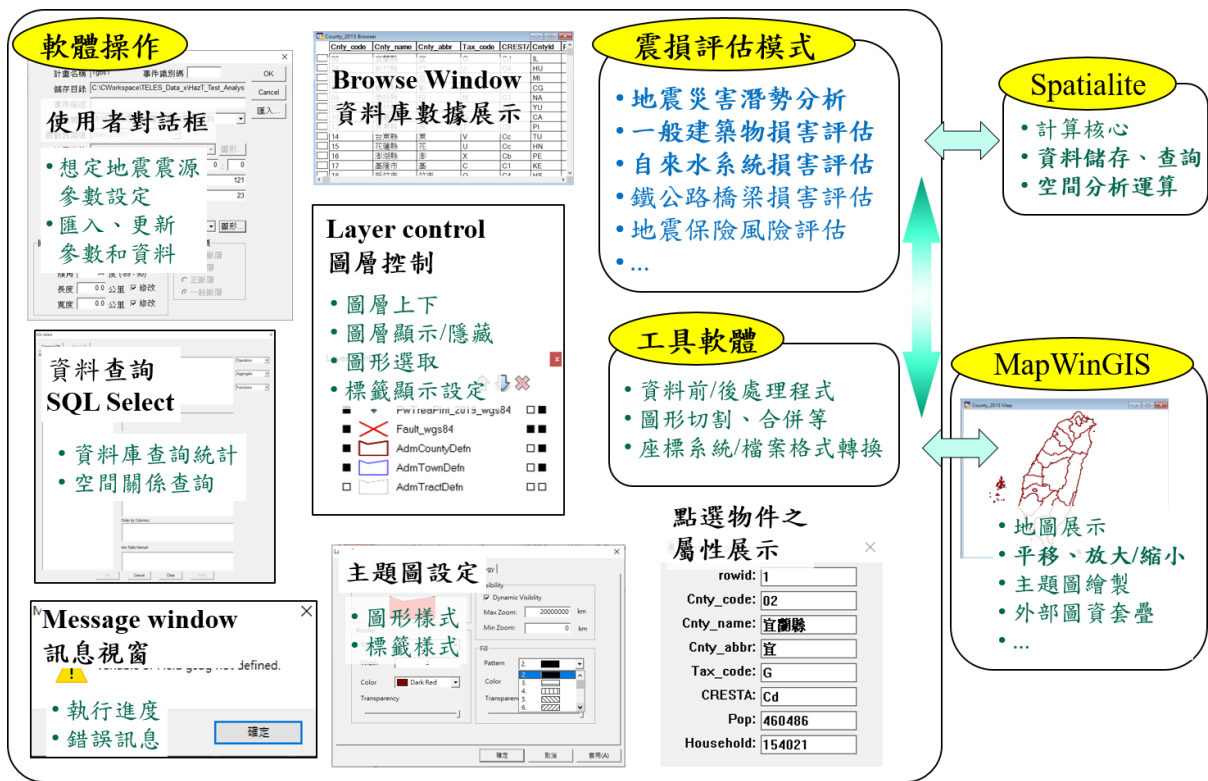


圖 4-1 Open GIS 震損評估軟體開發架構

目前 TELES 程式已完成 Spatialite 資料庫管理與空間分析運算功能，以及 MapWinGIS 之地圖展示與圖層控制等功能之整合，可進行設定想定地震震源之使用者對話框、資料庫數據展示、地圖展示等功能。111 年的工作目標為 Spatialite 與 MapWinGIS 兩個程式庫之間的溝通整合以及使用者所需的 UI 介面如 SQL Select、主題圖繪製等功能，以完成震損評估模組之移轉與整合以及 Tgbs 子系統之更新與測試等工作項目。

4.3 資料處理說明

在 TELES 中採用兩種資料格式，分別為 Shapefile (.shp) 與 Spatialite(.sqlite)資料庫格式。Shapefile (.shp) 格式檔案為資料匯入前的基本資料，主控資料夾、專案資料夾或是模擬地震事件資料夾中的檔案是 Spatialite(.sqlite)資料庫格式。在 TELES 中 Master Settings 功能可以設定基本資料夾、主控資料夾與專案資料夾的路徑，如圖 4-2 對話框所示。而

Register 功能可以將基本資料夾中的 Shapefile (.shp) 格式檔案轉換為 Spatialite(.sqlite)資料庫格式後匯入到主控資料夾中，各資料夾格式與建置方式可參見表 4-1 內容。

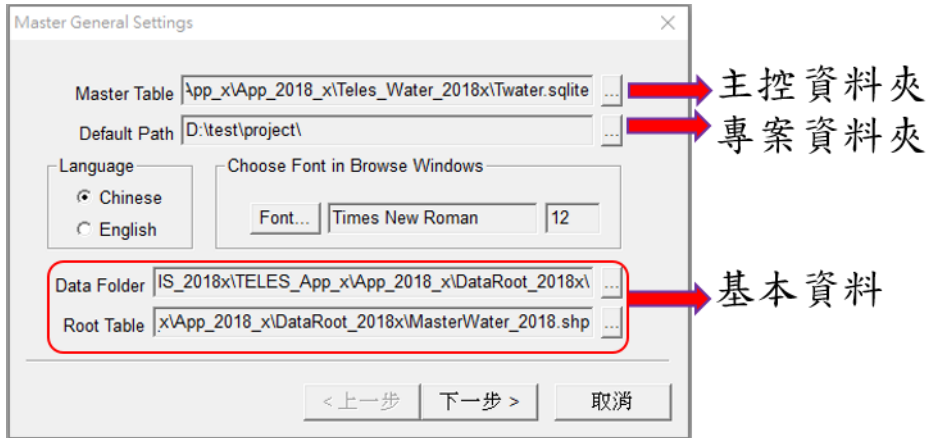


圖 4-2 Master Settings 對話框設定資料夾

表 4-1 資料夾格式與建置方式說明

名稱	資料格式	匯入方式
基本資料夾 DataRoot	shapefile	原始資料須自行建置
主控資料夾 Master Folder	Spatialite	Register：依據MasterWater.shp檔案由基本資料夾匯入
專案資料夾 Project Folder	Spatialite	Aggregate：由主控資料夾匯入 Import：選取 shapefile檔案匯入

主控資料夾包含 4 個資料庫 DataAdmin.sqlite、DataPesh.sqlite、Analysis.sqlite 與如 Tgbs.sqlite。DataAdmin 與 DataPesh 這 2 個資料庫內容是共用的，而 Analysis 與 Tgbs 資料庫內容會隨各子系統需求而有所不同。專案資料夾 Project Folder 是執行建立新專案功能時建置的，建立專案資料夾 Project Folder 的同時會將主控資料夾 Master Folder 中的相關資料，DataAdmin.sqlite、Analysis.sqlite 與專案名稱.sqlite 匯入專案資料夾 Project Folder 內，在專案中匯入建物資料時會將相關資料建置至 DataGbs.sqlite 資料庫中，建立模擬地震事件時會將相關資料建置至 DataDhcs.sqlite 資料庫中。新增模擬地震事件時，會在專案資料夾中建置 SCENARIO 模擬地震事

件資料夾， SCENARIO 資料夾中為各個模擬地震事件的資料夾，以模擬地震事件名稱(m_strScenID)為資料夾名稱，每個模擬地震事件資料夾中都包含地震潛勢分析結果資料庫 ScenPesh.sqlite 與建物震損評估分析結果資料庫 ScenGbs.sqlite。

4.4 小結

TELES 程式運用開源程式庫 Spatialite 的資料庫管理、空間分析運算功能與 MapWinGIS 的地圖展示功能，以取代原先商用軟體 MapInfo 功能，完成既有震損評估模組與 GIS 軟體之更新及整合，可使 TELES 的維護更具彈性。且未來推廣台灣地震損失評估相關子系統時，將不再受限於商用軟體之版權和成本限制，更有助於地震風險評估、管理與防災教育等實務應用與推廣。

使用 Spatialite 資料庫的優點是可以有效的提升運算效率，直接以 Binary 方式讀寫資料。且可在記憶體資料庫中完成所有讀取計算分析後再一次性地匯入檔案內，不需重複進行讀取寫入動作，大幅地減短分析時間。但由於 Spatialite 與 MapWinGIS 是兩個不同的軟體，因此如何將 Spatialite 的空間分析結果資訊傳遞至 MapWinGIS 來進行地圖展示是需要克服的難題。其次是開源程式庫不像商用軟體已有成熟的使用者介面，因此所有的使用者 UI 介面能，都需要再重新研發。

目前已完成整合 Spatialite 資料庫管理與空間分析運算功能，完成 Tgbs 子系統之架構設定與主控資料夾、專案資料夾建置，並整合 MapWinGIS 地圖展示與圖層控制功能以完成想定地震事件設定。預計 111 年持續進行震損評估模組之移轉與整合、MapWinGIS 與 Spatialite 程式庫整合以及 Tgbs 子系統之更新與測試等工作項目，以完成一般建築物地震損失評估子系統 (Tgbs)之各項模組的 GIS 功能移轉與更新。

伍、震後緊急醫療韌性評估研究

5.1 前言

1971 年美國加州 San Fernando 地震、1994 年北嶺地震以及日本阪神地震的醫院建築勘災報告中，都有地震導致災區醫院嚴重受創而無法參與救災的記錄。台灣處於環太平洋地震帶，近年來震度六級以上地震紀錄中，如：1999 年集集地震、2006 年台東、恆春地震、2010 年高雄甲仙地震等，都有發生醫院無法發揮醫療機能的情形。從這些經驗中得知，當災難型地震造成大量傷患時，醫療院所是否保有緊急救護功能且如何確保傷患得到及時緊急醫療救護，是決定地震對社會的衝擊程度與修復速度的關鍵因素之一。

根據我國緊急醫療救護法規定，急救責任醫院需辦理的緊急醫療業務，第一項即為「全天候提供緊急傷病患醫療照護」，故急救責任醫院必須在大地震後仍能執行緊急醫療工作。為能即時掌握與識別大地震發生時，這些醫療重要設施的地震風險，本研究團隊以建置急救責任醫院之地震風險評估系統為目標。

除此之外，以 2018/02/06 花蓮地震為例，訪問當地醫院得知，震後兩小時內處理了高達一百名以上的傷病患。急診壅塞容易使傷患無法得到及時診治，導致惡化或提升死亡風險。除了醫療需求增加外，若醫院本身也受地震影響，醫院震損造成醫療資源減少，進而導致緊急醫療能量下降。因此，為了能夠於震前評估急救責任醫院於地震災害下的震損情況，本研究開發了「臺灣急救責任醫院震損評估系統」（以下簡稱 THospital），以供震前應變整備使用。本章節將介紹 THospital 雛形系統與其功能，功能介面主要分為五大區塊，如圖 5-1 所示：(1) 資料選擇區：選擇地震事件與欲評估之縣市區域、(2) 計算功能區：提供 6 項基本功能、(3) 顯示數值區：顯示計算後的數值、(4) 額外功能區：提供更多使用功能，如：呈現易損性參數曲線、按照能力分級篩選急救責任醫院、進行損壞模擬、(5) 地圖顯示區：圖形化呈現地震潛勢與醫院位置於地圖之上。

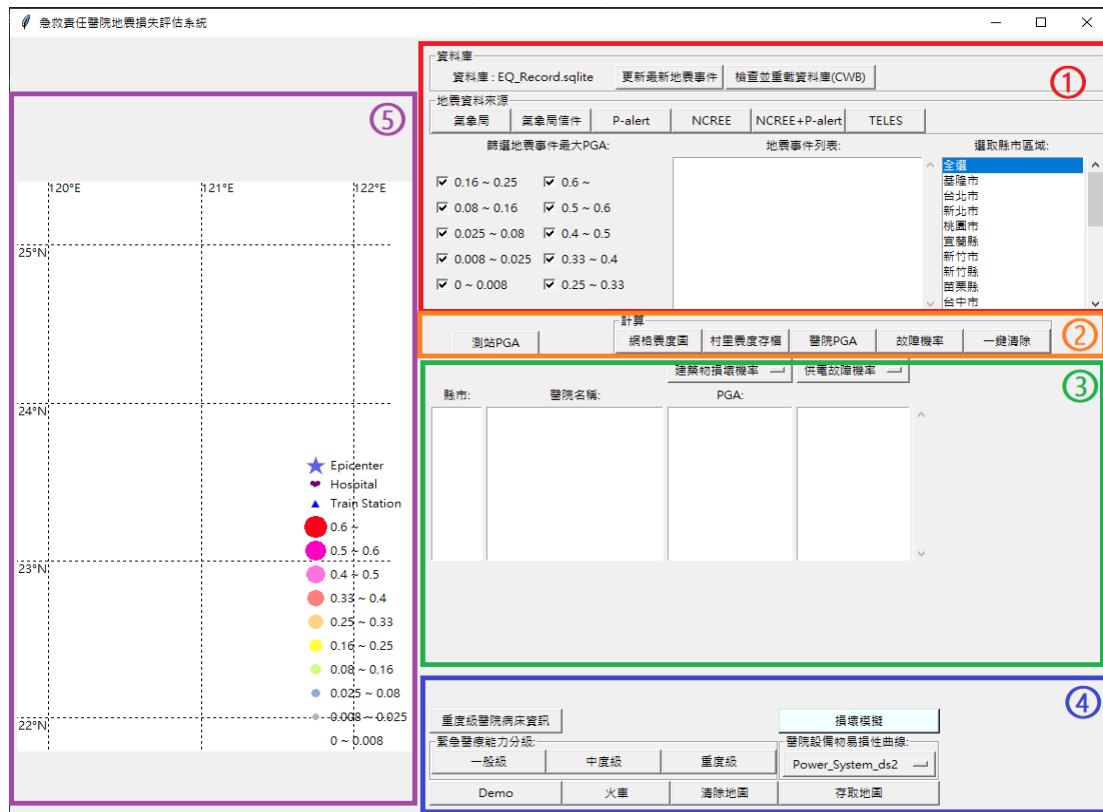


圖 5-1 THospital 使用者介面首頁畫面

5.2 就醫人流模型和參數設置

開始評估前，使用者必須選定地震事件。於資料選擇區塊內，選擇地震事件來源，如圖 5-2 所示，本系統提供六種地震事件資料庫。其中，氣象局、P-alert、NCREE、NCREE+P-alert 為利用 Python 網路爬蟲函式庫(urllib2)擷取網站上的地震資料所建構之地震事件資料庫，分別為收集氣象局地震速報測站 (Rapid Earthquake Information Release System, RTD)、台灣大學吳逸民教授開發之 P-alert 測站以及國震中心 (NCREE) 強地動測站的地震資訊。氣象局郵件則為地震事件發生後，由氣象局主動發送 RTD 測站地震資訊的即時電子郵件。除了以上 5 種實測地震資料外，本系統介接台灣地震損失評估系統 (TELES; Taiwan Earthquake Loss Estimation System) 以取得推測地震事件。以上地震資料均以 SQL 關聯式資料庫儲存。

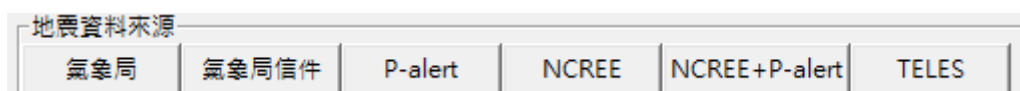


圖 5-2 地震事件來源

選定地震事件來源後，本系統將讀取對應資料庫，並於地震事件列表中列出所有事件，同時顯示事件代碼與最大 PGA (Peak Ground Acceleration)。使用者可於事件列表左方「篩選地震事件最大 PGA」區塊，自行勾選 PGA 範圍，進行資料篩選 (見圖 5-3)。於地震事件列表中選取事件後，該事件會以藍色反白顯示。之後便可選擇評估縣市，預設為「全選」，即評估全臺所有縣市之急救責任醫院。若使用者欲分析特定縣市，則取消「全選」，並選取欲評估之縣市，可同時選取多個縣市，已選取之縣市同樣以藍底反白標示。

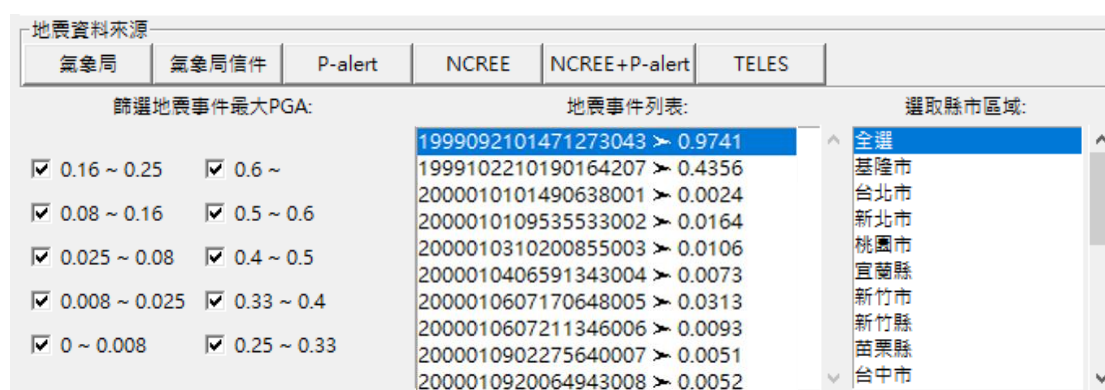


圖 5-3 地震事件篩選與區域選擇

5.3 醫院場址 PGA 推估

完成事件與評估區域選擇後，本系統從醫院資料庫中篩選出座落於該區域內之所有急救責任醫院，並將縣市與醫院名稱列於顯示數值區塊內的「縣市」與「醫院名稱」窗格 (見圖 5-4)。由於醫院之震損受醫院場址 PGA 影響，也就是地震當下，該醫院所在位置之地震動大小。本系統以 Kriging 內插法，從地震事件資料庫取得各測站測得該事件的最大 PGA，以及從醫院資料庫取得醫院位置，再由測站位置到醫院位置以內插方式求得各醫院的場址 PGA。

本系統自動記錄醫院 PGA 計算歷史於資料庫中，開始評估前，系統搜尋事件場址 PGA 資料庫，若資料庫中缺乏該事件之醫院場址資料，則介面顯示「未計算」，提示使用者必須點選計算功能區塊中的「醫院 PGA」進行計算。醫院 PGA 計算結果對應醫院名稱顯示於右方之 PGA 顯示窗格 (見

圖 5-4)。

縣市:	醫院名稱:	PGA:
台北市	台北醫學大學附設醫院	未計算
台北市	國泰醫療財團法人國泰綜合醫院	
台北市	財團法人臺灣基督長老教會馬偕醫院	
台北市	台北市立萬芳醫院 - 委託財團法人	
台北市	國立台灣大學醫學院附設醫院	
台北市	臺北榮民總醫院	
台北市	三軍總醫院附設民眾診療服務處	
台北市	新光醫療財團法人新光吳火獅紀念醫院	
台北市	振興醫療財團法人振興醫院	
台北市	長庚醫療財團法人台北長庚紀念醫院	

圖 5-4 評估醫院列表與醫院 PGA

5.4 醫院建築結構損壞推估

完成上述事件選擇、評估縣市選擇，並取得醫院 PGA 後，便可進行損壞機率評估。點選計算功能區塊內的「故障機率」按鈕開始計算，根據使用者的電腦效能，所需執行時間通常約 2~5 分鐘，執行進度可由標題列得知。若選擇之事件曾經過計算且評估結果存在於本系統的資料庫中，則系統直接從資料庫取出評估結果，毋須重新計算。計算完畢後，點選額外功能區的「Demo」按鈕於介面呈現評估結果。以下將詳細介紹結構物損壞機率評估方法、計算邏輯與系統操作。

結構物的震損狀況主要受到地震動強度與建物本身之屬性影響，本系統之結構分析依賴醫院建築物屬性資料庫與結構物易損性參數。以下將詳述本系統採用之醫院建物屬性資料庫建置方法、建物耐震屬性參數，以及損壞機率評估方法與介面操作。

醫院建築物屬性資料庫資料來源為內政部房屋稅籍資料，房屋稅籍資料中記錄課稅單位的位置描述與建物資料，包含結構損壞推估相關的耐震屬性，如：建造年代、樓層數、構造類別等資訊。根據衛福部公布之急救責任醫院名單，於醫院資訊公開平台取得各家醫院地址，並以地址作為索引，比對房屋稅籍資料庫中的位置敘述，取出各家醫院的建物資料，建置成醫院建築物屬性資料庫。以圖 5-5 為例，比對醫院代號 Demo001 的地址與房屋稅籍資料，成功比對出 13 棟建物，分別取得每棟建物的構造類別

(classification)、樓高 (floors) 與建造年代 (constr_yr)，紀錄於醫院建物屬性資料表。

Liao (2006) 依照構造類別、樓高、耐震設計，將建物分類為不同的模型建物，並將損壞分為四種損壞狀態 (damage state)：輕微損壞、中度損壞、嚴重損壞、完全損壞，提出相應的易損性參數，以評估不同模型建物面臨不同強度 PGA 時，各建築物處於不同損壞狀態的損害機率 (failure probability)。本系統將 Liao 提出的易損性參數建置成表格儲存於醫院建築物關聯性資料庫 (如圖 5-6)。表中耐震等級 (resistance_level) 依照建造年代分為低 (L)、中 (M)、高 (H) 三種層級：1981 年以前 (含) 為低耐震設計規範、1982 年至 1988 年 (含) 為中耐震設計規範、1989 年以後為高耐震設計規範。除此之外，樓高分為低 (L)、中 (M)、高 (H)、超高 (SH)，分別對應 3 樓以下 (含)、4 至 7 樓 (含)、8 至 18 樓 (含)、19 樓以上 (含)。假設易損性是具有中值 x 和對數標準偏差 β 的雙參數對數常態分佈函數，導入地震動 α 可得到損壞概率，如下方程式所示：

$$P(\alpha) = \Phi \left[\frac{\ln(\alpha/x)}{\beta} \right]$$

易損性參數如圖 5-6 中所記， x 為易損性曲線函數中值，代表 PGA 強度達到易損性中值時，超越損害機率為 50%， β 則表示易損性曲線的離散程度。易損性曲線如圖 5-6 所示，X 軸為 PGA，Y 軸為超越損壞機率。建物易損性曲線可於 THospital 額外功能區塊中的易損性曲線選單中選取繪製。

hospital_id	building_id	classification	floors	constr_yr
Demo001	1	C1H	17	2002
Demo001	2	C1H	14	2006
Demo001	3	C1M	4	1983
Demo001	4	C1L	1	1991
Demo001	5	C1L	2	1964
Demo001	6	C1M	4	1965
Demo001	7	RML	3	1964
Demo001	8	C1H	10	1992
Demo001	9	C1M	4	1974
Demo001	10	C1M	6	1976
Demo001	11	C1L	3	2002
Demo001	12	RML	1	1964
Demo001	13	C1H	8	1994

圖 5-5 醫院建物屬性資料表

classification	resistance_level	x	beta	seismic_detail
S1L	L	0.200000	0.500000	鋼構造
S1L	M	0.250000	0.500000	鋼構造
S1L	H	0.300000	0.500000	鋼構造
S1M	L	0.210000	0.500000	鋼構造
S1M	M	0.250000	0.500000	鋼構造
S1M	H	0.300000	0.500000	鋼構造
S1H	L	0.210000	0.500000	鋼構造
S1H	M	0.230000	0.500000	鋼構造
S1H	H	0.290000	0.500000	鋼構造
S1SH	L	0.210000	0.500000	鋼構造
S1SH	M	0.230000	0.500000	鋼構造
S1SH	H	0.290000	0.500000	鋼構造

圖 5-6 易損性參數對應表

本系統將建築物損壞評估結果以獨立視窗呈現，點選顯示數值區塊內的「建築物損壞機率」即開啟新視窗顯示每家醫院每棟建物的損壞機率（圖 5-7）。為方便檢視，醫院名稱下方標註該建物的基本屬性資料。使用者可自行點選視窗上方的區域分頁，自行選擇查看不同區域的醫院建物評估結果。若未於選擇評估縣市時選擇該區域之縣市，則該分頁顯示內容為空白。點選上方欄位名稱「縣市」、「醫院名稱」、「building_id」、「DS1~5」，則可對該欄位進行排序顯示結果。DS 代表損壞狀態，1 至 5 分別為：無損壞、輕微損壞、中度損壞、嚴重損壞、完全損壞。

建築物損壞機率										
台北區	北區	中區	南區	高屏區	東區					
縣市	醫院名稱	building_id	PGA	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1H, constr_year = 2002, floors = 17	1	0.2939	0.592	0.313	0.084	0.008	0.004		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1H, constr_year = 2006, floors = 14	2	0.2939	0.592	0.313	0.084	0.008	0.004		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1M, constr_year = 1983, floors = 4	3	0.2939	0.461	0.420	0.082	0.019	0.018		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1L, constr_year = 1991, floors = 1	4	0.2939	0.461	0.367	0.113	0.035	0.024		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1L, constr_year = 1964, floors = 2	5	0.2939	0.281	0.393	0.170	0.080	0.077		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1M, constr_year = 1965, floors = 4	6	0.2939	0.343	0.458	0.115	0.040	0.045		
台北市	台北醫學大學附設醫院 RML, constr_year = 1964, floors = 3	7	0.2939	0.251	0.267	0.221	0.140	0.120		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1H, constr_year = 1992, floors = 10	8	0.2939	0.403	0.383	0.169	0.027	0.018		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1M, constr_year = 1974, floors = 4	9	0.2939	0.343	0.458	0.115	0.040	0.045		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1M, constr_year = 1976, floors = 6	10	0.2939	0.343	0.458	0.115	0.040	0.045		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1L, constr_year = 2002, floors = 3	11	0.2939	0.592	0.313	0.071	0.010	0.014		
台北市	台北醫學大學附設醫院 RML, constr_year = 1964, floors = 1	12	0.2939	0.251	0.267	0.221	0.140	0.120		
台北市	台北醫學大學附設醫院 C1H, constr_year = 1994, floors = 8	13	0.2939	0.403	0.383	0.169	0.027	0.018		
台北市	臺東醫療財團法人國興綜合醫院 C1M, constr_year = 1976, floors = 6	1	0.3139	0.296	0.462	0.130	0.050	0.062		
台北市	臺東醫療財團法人國興綜合醫院 C1L, constr_year = 1976, floors = 3	2	0.3139	0.239	0.381	0.181	0.096	0.104		
台北市	財團法人臺灣基督長老教會馬偕紀念社會事業基金會馬偕紀念醫院 C1H, constr_year = 1980, floors = 13	1	0.3923	0.143	0.329	0.288	0.106	0.135		
台北市	財團法人臺灣基督長老教會馬偕紀念社會事業基金會馬偕紀念醫院 S1H, constr_year = 1999, floors = 16	2	0.3923	0.273	0.513	0.162	0.031	0.022		
台北市	台北市立萬芳醫院 - 委託財團法人私立臺北醫藥大學辦理 SRC1H, constr_year = 1995, floors = 13	1	0.2823	0.435	0.377	0.153	0.024	0.012		
台北市	台北市立萬芳醫院 - 委託財團法人私立臺北醫藥大學辦理 C1L, constr_year = 1995, floors = 3	2	0.2823	0.493	0.356	0.102	0.029	0.019		
台北市	國立台灣大學醫學院附設醫院 SRC1H, constr_year = 1991, floors = 15	1	0.377	0.229	0.366	0.264	0.080	0.061		

圖 5-7 建築物損壞機率

陸、救援路線規劃與地震阻斷風險評估

6.1 背景說明

救援道路為災害發生時，提供生命救援與快速復原之維生線。負擔機具、車輛、人員、物資之運輸與對外聯絡之重要任務。是故，災前依據地理環境、災害潛勢、路網條件、人口與建物分布等，預先劃定救援道路為防災規劃的重要環節之一。在災中與災後，掌握道路災損與救援是否可及受災區域，亦為重要議題。在災害管理上，不論國內外皆視救援道路規劃與其風險之管理為重要議題。例如，鄰近之日本，部分地方政府即訂定相關政策，列救援道路兩旁之建築物為優先耐震補強之標的。國內內政部營建署亦訂有「防災道路與避難據點規劃準則」 [13]。但由於台灣本島內都會區地形相對複雜、城鄉交錯與道路寬度等級不一等因素，地方政府在實地進行救援道路規劃時面臨相當之挑戰。故，至今除臺北市已公告「臺北市重大災害緊急救援路線」[12]外，其它都會區雖有相關學術研究成果或類似之救援計畫，但未見官方正式版本與統合性規劃。例如，新北市雖訂有「新北市地震廣域救災外部支援作業指南」，但僅規劃重大災害發生時廣域集結點與外部縣市支援之聯絡道路，對新北市內部區域間之連結與台北市跨河之相互支援與風險較無著墨。

本技術之發展，以大台北地區為研究區域，研究過程即緊密與臺北市政府消防局、新北市政府消防局、國立台灣大學土木系與台灣世曦工程顧問有限公司等單位進行協作。近年累積之成果，已建立適用台灣地區的救援道路規劃模式[35]與道路於地震災害衝擊下的阻斷風險評估模式[17, 36, 37]。並透過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的『數值路網與救援據點資料庫』。這個資料庫可配合發展完成的模式，因應在地政府的需求，對現有的救援道路進行地震風險評估與重新規劃。

6.2 救援道路規劃模式

本救援道路規劃模式之建置，參考內政部營建署的「防災道路與避難據點規劃準則」[13]，「防災道路」係指連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，必須隨時保持暢通來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。本模式利用規劃流程可概分為以下幾個步驟：

步驟一：優先候選路線選取：選取 15 公尺以上或道路等級為縣道之道路，這裡的縣道是以道路等級。以新北市為例升格前為台北縣，已成直轄市前的道路等級為參考，考慮台灣特殊地形與歷史變革等因素，在規劃時得特別將此因素列入。

步驟二：區域重要據點選擇：選取區域內人口聚集區、重要救援據點（例如：醫院、消防隊、收容所）、重要交通據點（例如：跨河橋匝道，高速公路與快速公路匝道出入口），選定市政府與各行政區區公所代表救援據點。

步驟三：利用路網設計模型，（請參考圖 6-1），考慮救援據點相互間進行救援之情境下，效益最佳之路徑與周邊替代路徑。考慮區域內既有的道路狀態、優先選取候選路線、連接鄰近縣市的已規劃完成的救援道路。例如，規劃新北市時將台北市已規劃完成的重大災害救援道路的聯絡列為考量。

數學規劃模式的基本原理，大致上是先確立救援據點，例如消防隊視為供給節點。然後將受災區域視為需求節點。最後以地區的數值路網為基礎，建構成一個網路流動問題求解。最適化的目標在求解相互救援時間(成本)最小化。限制式中，有三個最重要的考量條件為，(1)旅行成本:由車輛旅行時間、路寬條件決定。(2)救援需求:以建築人口稠密區與交通要道為主體。(3)節線權重:已規劃救援道路的區域其節線成本折減。

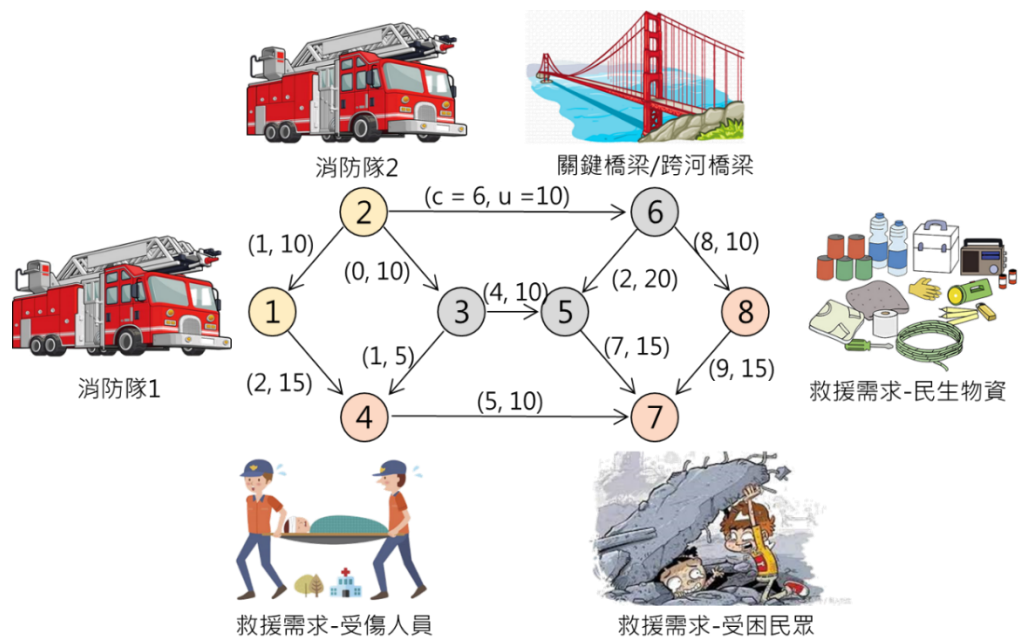


圖 6-1 救援路網數學規劃模式示意圖

6.3 數值路網與救援據點資料庫

本計畫所用之數值路網是以用 104 年交通部數值路網圖為基礎，輔以政府開放資料，並經過研究者 GIS 幾何座標校正建立。校正所得的數值路網圖，如圖 6-2，包含台北市、新北市與基隆市三個行政區。救援據點主要是以政府開放資料為主，包含醫院、收容所、消防、政府機關等。

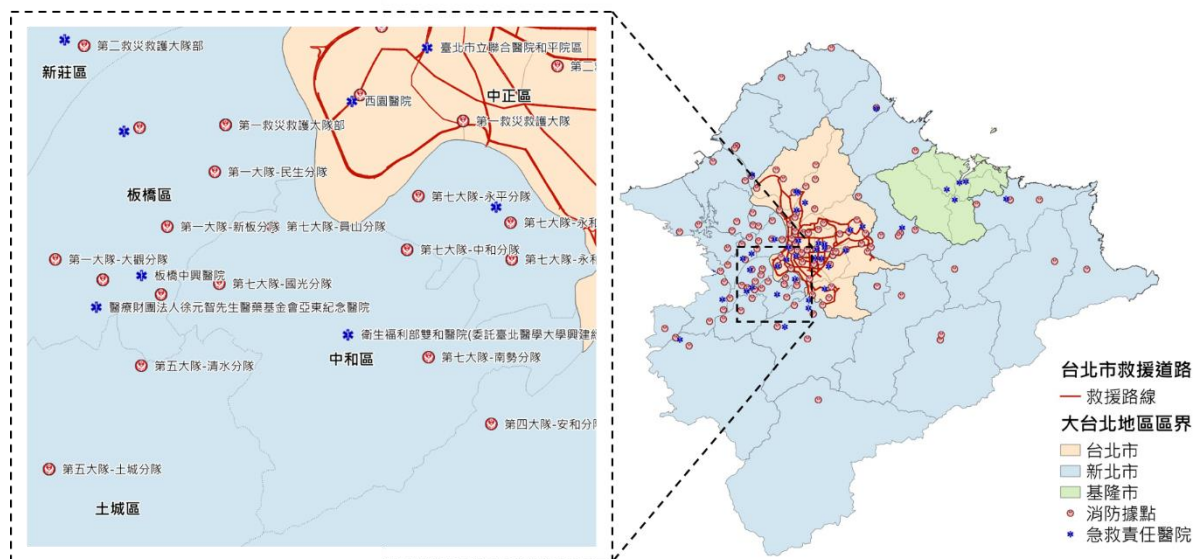


圖 6-2 新北市與周邊城市救援據點示意圖

大台北地區的道路等級多樣，包含高速公路、省快速道路、省縣道、市區道路、市區快速道路、產業道路、無名道路等。除參考行車速限差異外，各種道路等級的路寬條件也因地形出現不均值的變化。以高速公路為例，大部分的情況下國道的路寬比省快速道路的寬度更寬。例如，如果比較特殊地形下的極值，研究區域內的省道快速道路寬度在特殊區域可能會大於國道。因存在這種不均值的現象，在救援道路規劃時如果以嚴格的路寬限定來選擇路線，則道路間的聯通可能會出現斷鏈之情況。透過完整現地資料的收集，本計畫建立『數值路網與救援據點資料庫』。這個資料庫，可配合本數學規劃模式，解決台灣地區因為城鄉區域混合的複雜境況，在規劃救援道路時所造成的挑戰。

6.4 新北市救援道路規劃

配合新北市特殊的地理環境與台北市已經公告的重大災害緊急救援道路，進行新北市的救援道路規劃，將整個大台北地區的路網，以及鄰近的桃園市部分列入考量。利用上節所敘述的規劃原理，以整個新北市都會區的建物稠密區與偏鄉地區的聚落為需求節點，並以大台北地區內可提供救援的據點為供給節點，利用本數學規劃模式完成救援路網規劃，如圖 6-3。救援路網求解時是以整個大台北地區整體的數值路網圖進行求解，數學模式內的變數包含整體北北基地區數值路網圖的所有節線（數量約有 14 萬左右）、新北市內選定的重要交通節點、救援據點與需求節點。求解時，於新北市與基隆市地區的道路節線，旅行時間設置是以道路等級之速度限制為基礎。台北市因為已完成救援道路規劃，其救援道路旅行時間，則乘以折減係數，而非救援道路則遵守同樣的設置原則。此設置在規劃模式上的效果是進入台北市區域優先使用其救援道路。

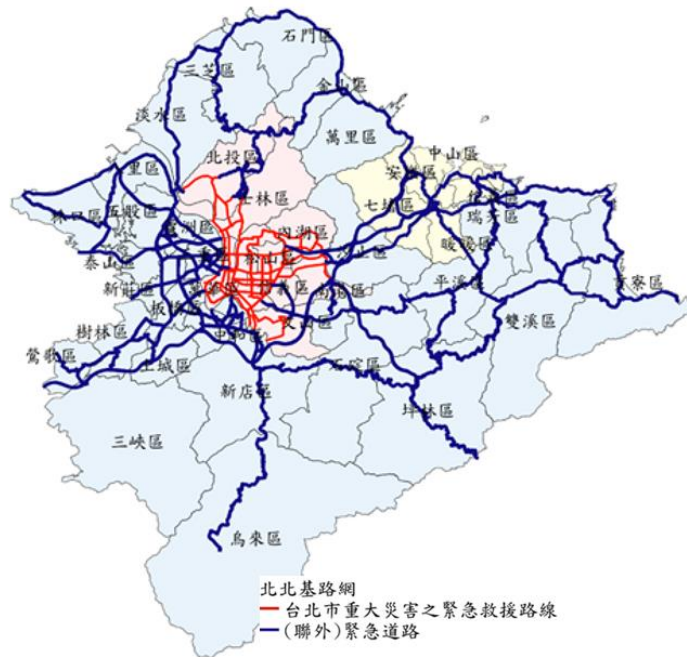


圖 6-3 大台北地區全區救援路網示意圖

6.5 大台北地區救援道路地震阻斷風險分析地圖

救援道路的阻斷，考慮之因子有二，一為臨路建築物倒塌對救援道路之影響，臨救援道路兩旁之建築物係透過彙整房屋稅籍資料與地址定位資料，標定建物耐震特性，識別路段因臨路建物震後倒塌之阻斷風險；二為連接道路之關鍵設施橋梁對救援道路之影響，將透過橋梁資料之整理與想定地震境況模擬，研析與標示其震後損壞引致之路段阻斷風險。

臨路建物震後倒塌而引致的道路阻斷之分析，引用朱易昌等人 [17,36,37] 衍生自 Pho Thanh Tung[38]之分析方法，針對台灣境況發展之量化指標進行。包含建築殘骸散落寬度嚴重性指標與影響路段長度比例指標兩個指標，以下簡略說明兩個指標的計算公式。建築殘骸散落寬度嚴重性指標(指標一)：綜合考量路段相鄰建物樓高、構造類別、倒塌機率、液化程度、最大地表加速度、臨路街廓數等參數，本指標以表現在想定地震境況下，因臨路建築倒塌對路段橫向使用寬度(車輛可用車道)造成危害的嚴重性。建築殘骸散落影響路段長度比例指標(指標二)：考慮街廓形狀因子、建物基地面積、倒塌機率、液化程度、最大地表加速度、臨路街廓數、路段長度等參數。代表在想定地震境況下，路段因臨路街廓內建築倒塌而受影響

的程度。

橋梁損壞震後損壞而引致的道路阻斷之分析，所使用之橋梁資料，包含新北市橋梁 1441 座、台北市橋梁 409 座、基隆市橋梁 221 座，橋梁屬性資料，包含識別橋梁的基礎資料、結構形式、橋頭橋尾座標等。將上述橋梁資料經比對彙整後，轉換為 TELES [14]子系統 Thighway [15, 16]所需的橋梁震損評估資料。資料校正確認後，即採用 TELES 進行想定地震境況下橋梁阻斷風險評估。

請參考圖 6-4 與 6-5 分別為大台北地區，想定地震境況下，建物倒塌引致阻斷風險與橋梁損壞引致阻斷風險地圖，紅色代表高風險而黃色為中風險。這裡分析標的於台北市選定官方公告之路線，新北市則為本數學規劃模式求解所得。想定地震的震源參數，列於表 6-1。

表 6-1 想定地震震源參數

斷層別	規模 (ML)	深度 (km)	傾角 (度)	長度 (km)	寬度 (km)
山腳斷層	6.6	6	65	16.0	13.2



圖 6-4 大台北地區想定地震境況下建物倒塌引致阻斷風險示意圖



圖6-5 大台北地區想定地震境況下橋樑損壞引致阻斷風險示意圖

6.6 結論與後續發展

本年度(110)，即協助臺北市政府建立『臺北市救援路線地震阻斷風險分析地圖』，臺北市政府以其檢視既有救援道路的地震風險。後續，將在救援道路替代方案與臺北市區內其它道路相關地震風險分析方面繼續進行研究。110 年度亦利用本技術協助新北市完成『新北市救援道路規劃與地震阻斷風險分析』。為落實推動新北市之救援道路規畫成果，於本年度年 12 月由本中心主辦，新北市消防局及台灣世曦工程顧問公司協辦，辦理『新北市救援道路規劃工作坊』。彙整在地政府與協力機構意見，成果深獲肯定，目前正與新北市消防局進行技術整合討論，後續本成果將整合於新北市『全災型智慧化指揮監控平臺』，協助新北市政府進行災害管理。

本技術後續亦可應用於大台北地區外之縣市，協助各都會區對救援道路進行規劃，並針對臨路建築與橋梁進行想定地震境況下之風險分析。此分析結果可應用於地震發生時排定優先巡檢之標的，於防災整備時，可針對建物及橋梁之耐震補強進行優選排序，或納入都市更新及階段性補強之名單參考；針對想定地震境況下，高地震阻斷風險之路段鄰近之街廓，建議政府加強推動補強政策。例如，階段性補強方案，可列為優先補助之區

域。而高風險橋梁亦可建議對其現況與耐震能力進行詳細評估，確認其安全性並進行補強與替代方案探討。

柒、宜花東大規模地震災損推估

7.1 震源情境模型

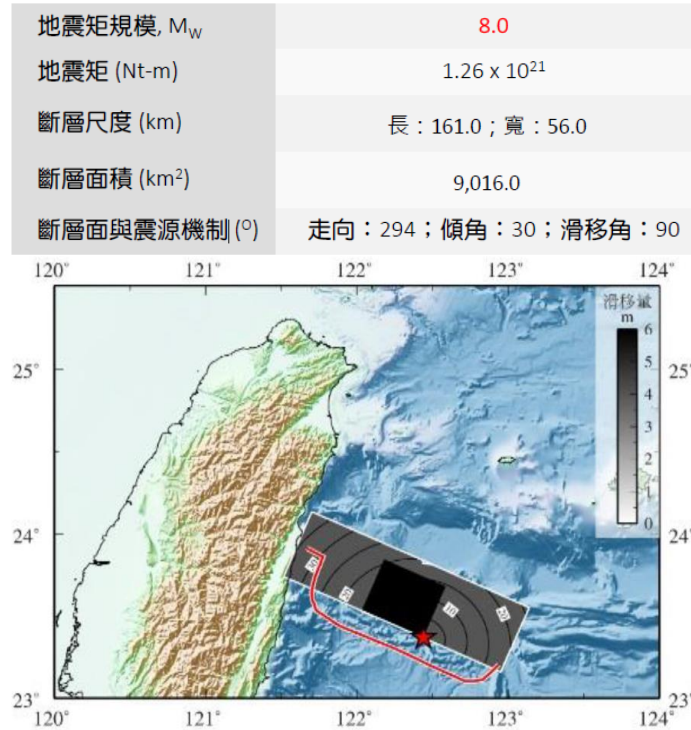


圖 7-1 花蓮外海震源情境模型

7.2 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 7-2 為宜花東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 7-1 為宜花東各鄉鎮區高中低樓層全半倒棟數推估值。由推估數值得知，建物損害較嚴重之行政區為花蓮市(229 棟)、吉安鄉(52 棟)和宜蘭縣的羅東鎮(54 棟)。

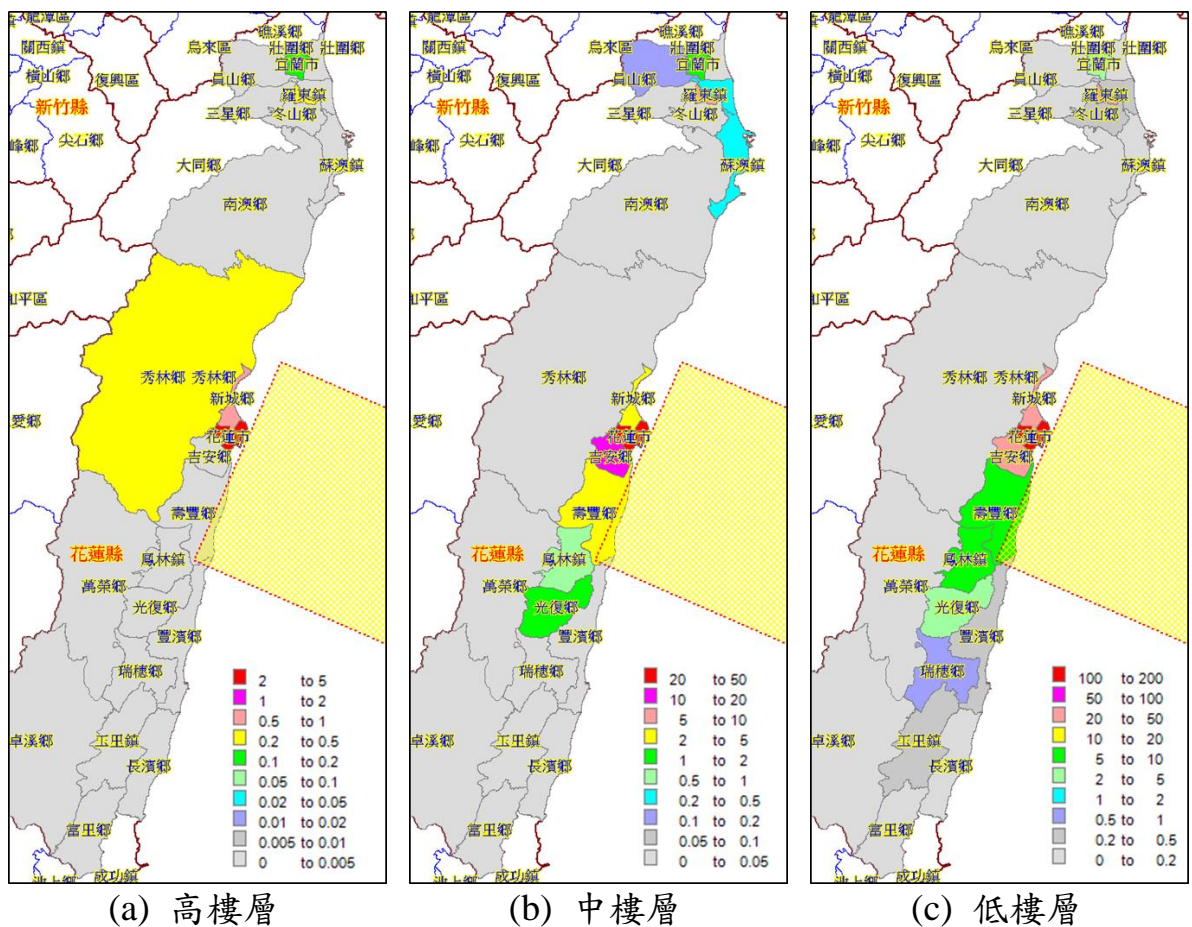


圖 7-2 宜花東全半倒棟數分布

表 7-1 宜花東各鄉鎮區建物全半倒棟數量推估(單位:棟)

縣市	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
花蓮	花蓮市	184	42	2	0	229
	吉安鄉	40	12	0	0	52
	新城鄉	20	2	1	0	23
	壽豐鄉	8	4	0	0	13

	鳳林鎮	9	1	0	0	9
	光復鄉	2	1	0	0	4
	瑞穗鄉	1	0	0	0	1
	豐濱鄉	0	0	0	0	0
	秀林鄉	0	0	0	0	0
	玉里鎮	0	0	0	0	0
	卓溪鄉	0	0	0	0	0
	萬榮鄉	0	0	0	0	0
	富里鄉	0	0	0	0	0
宜蘭	羅東鎮	46	8	0	0	54
	宜蘭市	2	1	0	0	4
	五結鄉	0	0	0	0	1
	蘇澳鎮	0	0	0	0	0
	冬山鄉	0	0	0	0	0
	員山鄉	0	0	0	0	0
	南澳鄉	0	0	0	0	0
	三星鄉	0	0	0	0	0
	壯圍鄉	0	0	0	0	0
台東	長濱鄉	0	0	0	0	0

7.3 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 7-3 為宜花東日間、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 7-2~

表 7-4 為宜花東各鄉鎮區於各時段下之人員傷亡程度統計數值。由推估數值得知，人員傷亡數量較嚴重之行政區為花蓮市、吉安鄉和宜蘭縣的羅東鎮等。

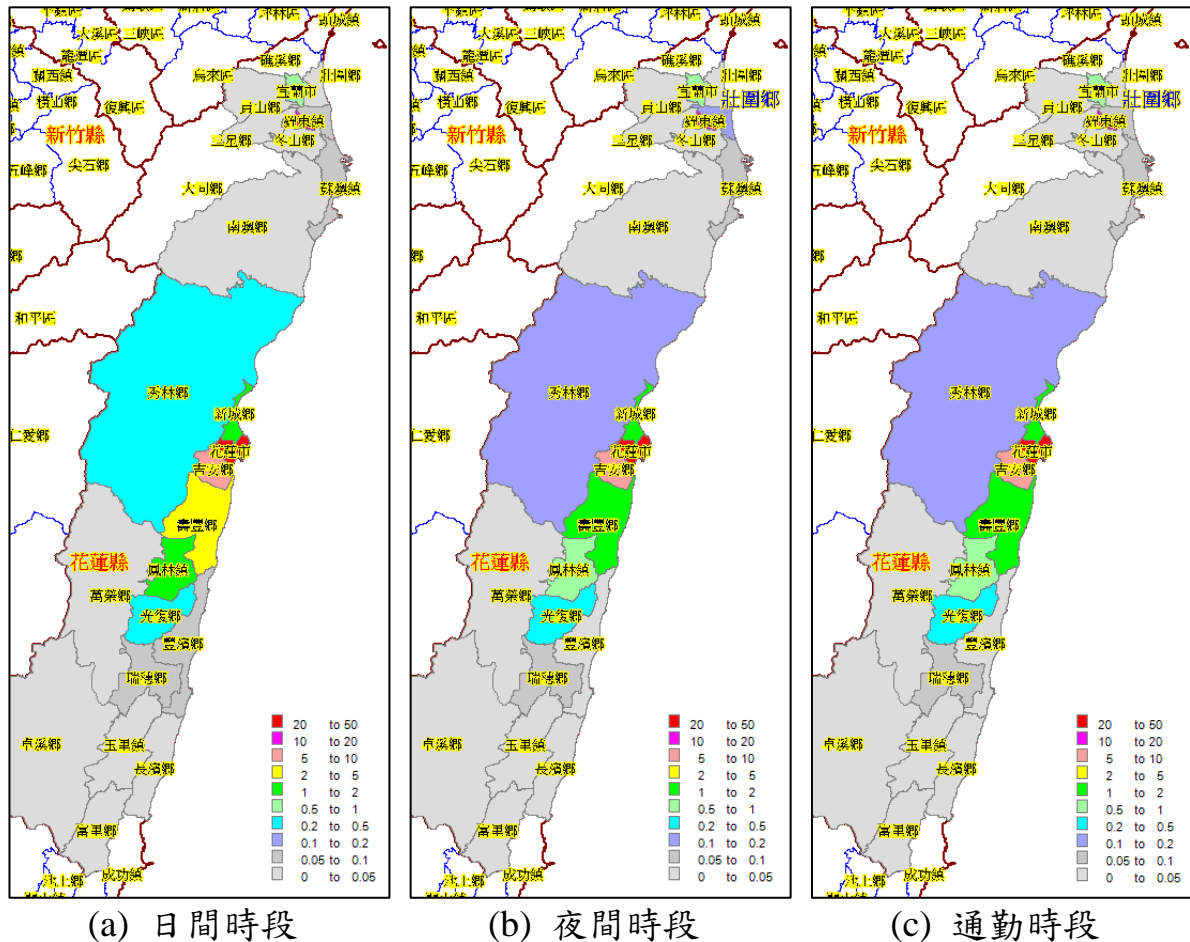


圖 7-3 宜花東人員傷亡數量分布

表 7-2 宜花東各鄉鎮區日間時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)

縣市	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)
花蓮	花蓮市	76	33	21	15	36
	吉安鄉	14	5	3	2	5
	壽豐鄉	10	3	2	1	4
	新城鄉	5	2	1	1	2
	鳳林鎮	3	1	1	1	1
	秀林鄉	1	0	0	0	0
	光復鄉	1	0	0	0	0

	瑞穗鄉	0	0	0	0	0
	豐濱鄉	0	0	0	0	0
	玉里鎮	0	0	0	0	0
	卓溪鄉	0	0	0	0	0
	萬榮鄉	0	0	0	0	0
	富里鄉	0	0	0	0	0
宜蘭	羅東鎮	21	11	7	5	12
	宜蘭市	2	1	0	0	1
	五結鄉	0	0	0	0	0
	蘇澳鎮	0	0	0	0	0
	三星鄉	0	0	0	0	0
	南澳鄉	0	0	0	0	0
	壯圍鄉	0	0	0	0	0
	員山鄉	0	0	0	0	0
台東	冬山鄉	0	0	0	0	0
	長濱鄉	0	0	0	0	0

表 7-3 宜花東各鄉鎮區夜間時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)

縣市	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)
花蓮	花蓮市	83	37	24	17	41
	吉安鄉	18	7	4	3	7
	新城鄉	3	1	1	1	1
	壽豐鄉	3	1	1	0	1
	鳳林鎮	2	1	1	0	1
	光復鄉	1	0	0	0	0
	秀林鄉	0	0	0	0	0
	瑞穗鄉	0	0	0	0	0
	玉里鎮	0	0	0	0	0
	萬榮鄉	0	0	0	0	0
	卓溪鄉	0	0	0	0	0
	豐濱鄉	0	0	0	0	0
	富里鄉	0	0	0	0	0
宜蘭	羅東鎮	21	11	7	5	12
	宜蘭市	2	1	0	0	1
	五結鄉	0	0	0	0	0
	蘇澳鎮	0	0	0	0	0
	冬山鄉	0	0	0	0	0
	員山鄉	0	0	0	0	0
	南澳鄉	0	0	0	0	0
	三星鄉	0	0	0	0	0
	壯圍鄉	0	0	0	0	0

台東	長濱鄉	0	0	0	0	0
----	-----	---	---	---	---	---

表 7-4 宜花東各鄉鎮區通勤時段人員傷亡程度推估數值 (單位:人)

縣市	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)
花蓮	花蓮市	80	36	23	17	40
	吉安鄉	15	6	3	3	6
	新城鄉	4	1	1	1	1
	壽豐鄉	4	1	1	1	1
	鳳林鎮	2	1	1	0	1
	光復鄉	1	0	0	0	0
	秀林鄉	0	0	0	0	0
	瑞穗鄉	0	0	0	0	0
	玉里鎮	0	0	0	0	0
	豐濱鄉	0	0	0	0	0
	卓溪鄉	0	0	0	0	0
	萬榮鄉	0	0	0	0	0
富里鄉	0	0	0	0	0	
宜蘭	羅東鎮	20	10	6	5	11
	宜蘭市	2	1	0	0	1
	五結鄉	0	0	0	0	0
	蘇澳鎮	0	0	0	0	0
	冬山鄉	0	0	0	0	0
	三星鄉	0	0	0	0	0
	南澳鄉	0	0	0	0	0
	員山鄉	0	0	0	0	0
壯圍鄉	0	0	0	0	0	
台東	長濱鄉	0	0	0	0	0

7.4 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 7-4 為宜花東地區震後火災總數分布、圖 7-5 為宜花東震後消防隊需求隊數分布。表 7-5 為宜花東地區震後火災資源推估數值。由推估

數值得知，宜花東地區震後較有可能引致火災之行政區為花蓮市。

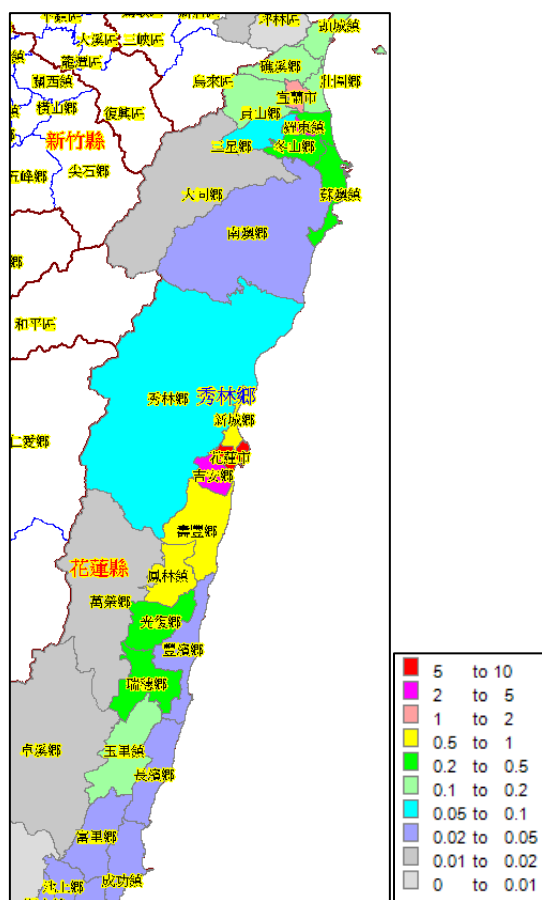


圖 7-4 宜花東震後起火總數分布

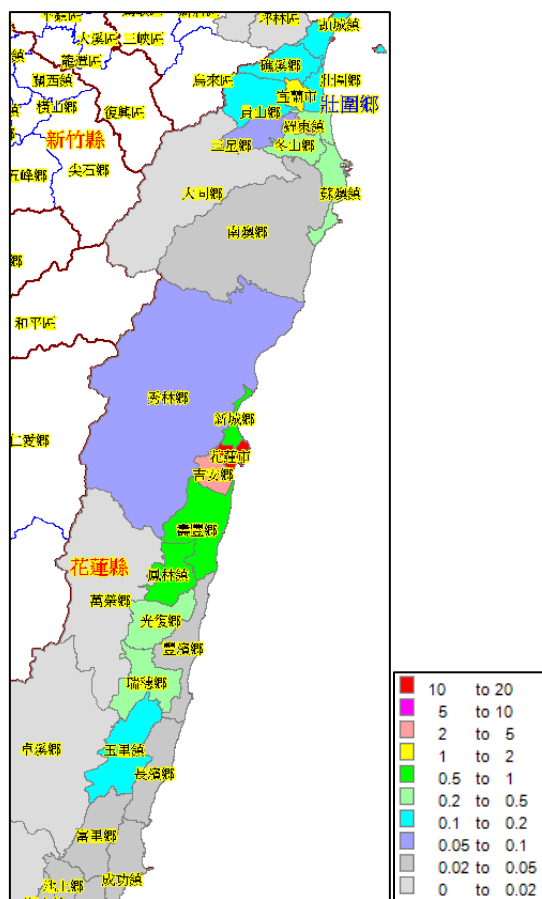


圖 7-5 宜花東震後災防隊需求隊數分布

表 7-5 宜花東各鄉鎮區震後火災資源推估數值

縣市	鄉鎮區	人口數	震後火災總數	消防隊數量	消防用水量
		(單位：人)	(單位：起)	(單位：隊)	(單位：噸)
花蓮	花蓮市	109,251	8	12	464
	吉安鄉	79,688	2	2	88
	壽豐鄉	18,660	1	1	35
	新城鄉	20,206	1	1	28
	鳳林鎮	11,957	1	1	22
	光復鄉	14,120	0	0	12
	瑞穗鄉	12,863	0	0	9
	玉里鎮	26,879	0	0	4
	秀林鄉	15,244	0	0	2
	豐濱鄉	5,065	0	0	2
	富里鄉	11,667	0	0	1
	卓溪鄉	6,349	0	0	0
	萬榮鄉	6,856	0	0	0
宜蘭	羅東鎮	72,958	2	2	94
	宜蘭市	95,568	1	1	40
	五結鄉	38,850	0	0	15

	冬山鄉	52,635	0	0	12
	蘇澳鎮	42,986	0	0	10
	礁溪鄉	35,876	0	0	6
	壯圍鄉	25,004	0	0	6
	頭城鎮	30,899	0	0	5
	員山鄉	32,347	0	0	5
	三星鄉	21,362	0	0	4
	南澳鄉	6,014	0	0	1
	大同鄉	5,987	0	0	0
台東	台東市	108,870	0	0	11
	成功鎮	15,810	0	0	2
	長濱鄉	8,291	0	0	1
	關山鎮	9,715	0	0	1
	鹿野鄉	8,584	0	0	1
	卑南鄉	18,231	0	0	1
	池上鄉	9,196	0	0	1
	東河鄉	9,329	0	0	1
	麻里鄉	12,014	0	0	0
	延平鄉	3,599	0	0	0
	海端鄉	4,510	0	0	0

7.5 救災與民生物資需求評估

7.5.1 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 7-6 為宜花東需搬遷人數分布、圖 7-7 為宜花東臨時避難收容人數分布。表 7-6 為宜花東震後避難需求推估數值。由推估數值得知，宜花東震後臨時避難收容人數需求較高之行政區為花蓮縣的花蓮市和吉安鄉。

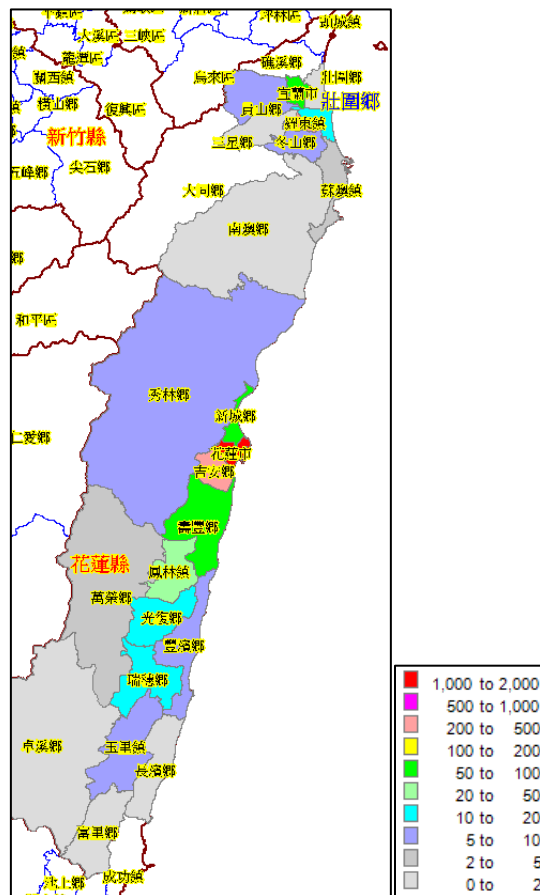


圖 7-6 宜花東需搬遷人數分布

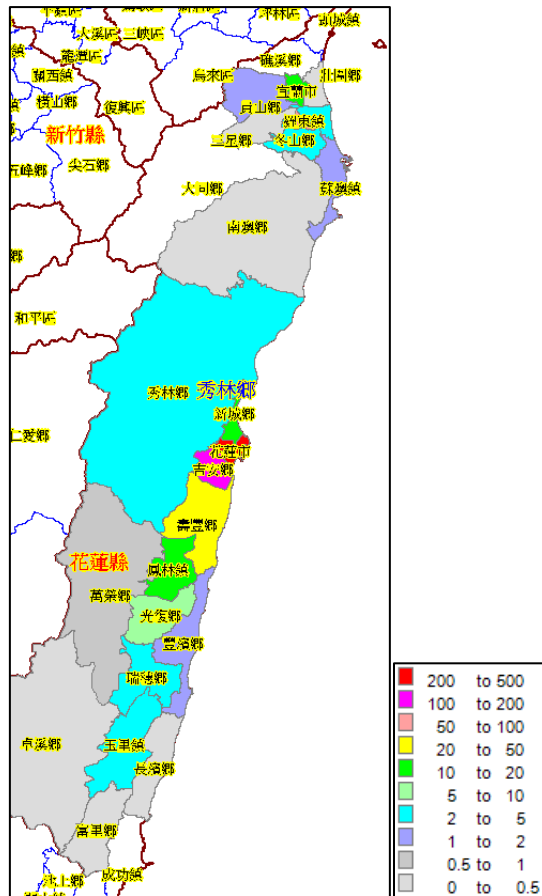


圖 7-7 宜花東臨時避難收容人數分布

表 7-6 宜花東震後避難需求推估數值(單位：人)

縣市	鄉鎮區	需搬遷人數	臨時避難人數
花蓮	花蓮市	1,258	424
	吉安鄉	361	119
	壽豐鄉	70	22
	新城鄉	58	18
	鳳林鎮	40	12
	光復鄉	19	6
	瑞穗鄉	11	4
	玉里鎮	8	2
	秀林鄉	7	2
	豐濱鄉	5	2
	萬榮鄉	2	1
	富里鄉	0	0
	卓溪鄉	-	-
宜蘭	羅東鎮	230	68
	宜蘭市	53	16
	五結鄉	11	3
	冬山鄉	6	2

	蘇澳鎮	5	1
	員山鄉	5	1
	壯圍鄉	1	0
	三星鄉	1	0
	南澳鄉	1	0
台東	長濱鄉	2	0

7.5.2 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 7-7 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 7-8 為宜花東地區日間時段救災需求推估數值。由推估數值得知，震後救災資源需求較高之行政區為花蓮縣的花蓮市。

表 7-7 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	$\frac{(\text{中度傷害人數} + \text{重度傷害人數} + \text{死亡} \times 0.01)}{\text{一日可運送之人}}$ 1 輛救護車 1 日可運送人數： 人口 15 萬以上 — $\frac{10 \text{ 人}}{\text{日}}$

		人口 10 至 15 萬之間 — 7.5 人/日 人口 10 萬以下 — 5 人/日
直升 機飛 行次 數	趟次	$(\text{重度傷害人數} + \text{死亡人數}) \times 0.1$

表 7-8 宜花東地區震後日間時段救災資源推估數值

縣市	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)
花蓮	花蓮市	5	56	20	7	4
	吉安鄉	1	9	3	2	1
	壽豐鄉	1	6	2	1	0
	新城鄉	0	3	1	1	0
	鳳林鎮	0	2	1	0	0
	秀林鄉	0	0	0	0	0
	光復鄉	0	0	0	0	0
	玉里鎮	0	0	0	0	0
	豐濱鄉	0	0	0	0	0
	瑞穗鄉	0	0	0	0	0
宜蘭	羅東鎮	2	18	7	4	1
	宜蘭市	0	1	0	0	0
	五結鄉	0	0	0	0	0
	蘇澳鎮	0	0	0	0	0
	冬山鄉	0	0	0	0	0
	員山鄉	0	0	0	0	0

7.5.3 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 7-9 及

表 7-10 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 7-11 和

表 7-12 為宜花東地區民生物資及設備需求推估數值。由推估數值得知，宜花東地區震後民生物資及設備需求較高之行政區為花蓮市。

表 7-9 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 7-10 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 7-11 宜花東地區震後民生物資和設備需求推估數值(一)

縣市	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)
花蓮	花蓮市	1,258	629	4	25	13	70	2
	吉安鄉	361	180	1	7	4	20	1
	壽豐鄉	70	35	0	1	1	4	-
	新城鄉	58	29	0	1	1	3	-

	鳳林鎮	40	20	0	1	-	2	-
	光復鄉	19	10	0	0	-	1	-
	瑞穗鄉	11	6	-	0	-	1	-
	玉里鎮	8	4	-	0	-	-	-
	秀林鄉	7	3	-	0	-	-	-
	豐濱鄉	5	3	-	0	-	-	-
	萬榮鄉	2	1	-	-	-	-	-
	富里鄉	-	-	-	-	-	-	-
宜蘭	羅東鎮	230	115	1	5	2	13	-
	宜蘭市	53	26	0	1	1	3	-
	五結鄉	11	5	-	0	-	1	-
	冬山鄉	6	3	-	0	-	-	-
	員山鄉	5	3	-	0	-	-	-
	蘇澳鎮	5	2	-	0	-	-	-
	壯圍鄉	1	1	-	-	-	-	-
	三星鄉	1	-	-	-	-	-	-
	南澳鄉	1	-	-	-	-	-	-
台東	長濱鄉	2	1	-	-	-	-	-

表 7-12 宜花東地區震後民生物資和設備需求推估數值(二)

縣市	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)
花蓮	花蓮市	1	9	4	24	1
	吉安鄉	0	2	1	7	-
	壽豐鄉	0	0	-	1	-
	新城鄉	0	0	-	1	-
	鳳林鎮	-	0	-	1	-
	光復鄉	-	0	-	-	-
	瑞穗鄉	-	0	-	-	-
	玉里鎮	-	-	-	-	-
	秀林鄉	-	-	-	-	-
	豐濱鄉	-	-	-	-	-
	萬榮鄉	-	-	-	-	-
	富里鄉	-	-	-	-	-
宜蘭	羅東鎮	0	1	1	4	-
	宜蘭市	-	0	-	1	-
	五結鄉	-	0	-	-	-
	冬山鄉	-	-	-	-	-
	員山鄉	-	-	-	-	-
	蘇澳鎮	-	-	-	-	-
	壯圍鄉	-	-	-	-	-
	三星鄉	-	-	-	-	-

	南澳鄉	-	-	-	-	-
台東	長濱鄉	-	-	-	-	-

7.6 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 7-8 為宜花東地區一般建物總經濟損失分布。表 7-13 為宜花東地區一般建物損害總經濟損失推估數值。由推估數值得知，宜花東地區一般建物損害經濟損失較高之行政區為花蓮市。

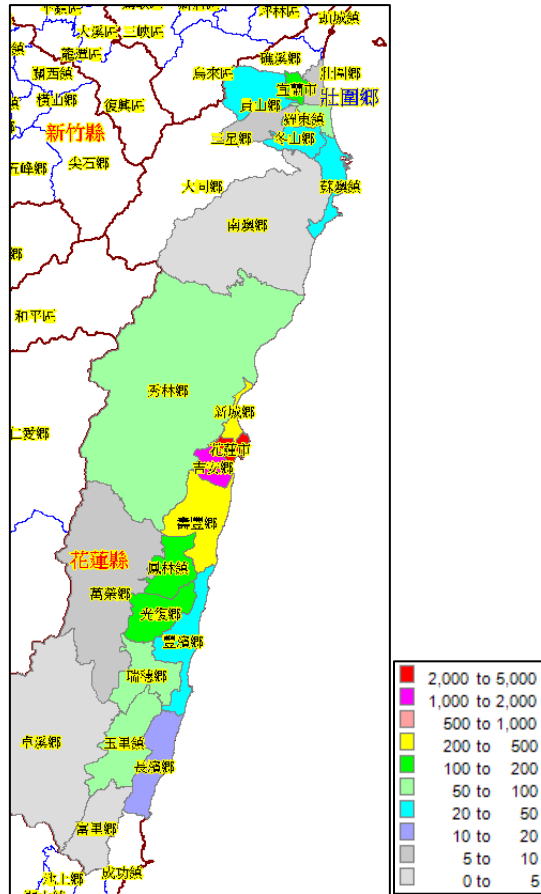


圖 7-8 宜花東地區一般建物總經濟損失分布

表 7-13 宜花東地區一般建物損害總經濟損失推估數值(單位：百萬元)

縣市	鄉鎮區	總損失
		(單位：百萬)
花蓮	花蓮市	2,523
	吉安鄉	1,027
	新城鄉	383
	壽豐鄉	340
	鳳林鎮	151
	光復鄉	102
	秀林鄉	80
	瑞穗鄉	56
	玉里鎮	54
	豐濱鄉	22
	萬榮鄉	7
	富里鄉	2
	卓溪鄉	0
	宜蘭	羅東鎮
宜蘭市		155
五結鄉		63

	冬山鄉	47
	員山鄉	31
	蘇澳鎮	22
	壯圍鄉	8
	三星鄉	7
	南澳鄉	3
台東	長濱鄉	12

7.7 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 7-9 為宜花東一般建物總廢棄物數量分布。表 7-14 為宜花東地區一般建物總廢棄物數量推估數值。由推估數值得知，宜花東地區一般建物總廢棄物數量較高之行政區為花蓮市。

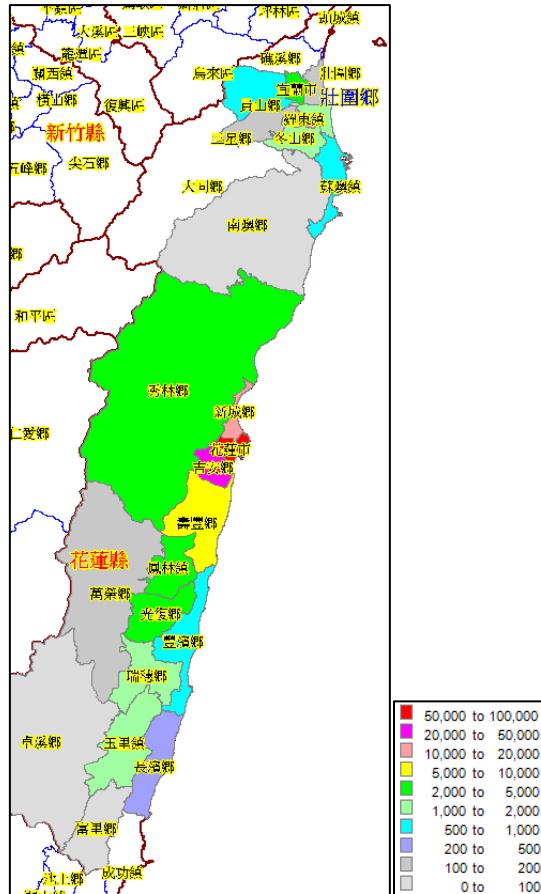


圖 7-9 宜花東一般建物總廢棄物數量分布

表 7-14 台南市一般建物總廢棄物數量推估數值(單位：噸)

縣市	鄉鎮區	總廢棄物量
花蓮	花蓮市	88,538
	吉安鄉	29,717
	新城鄉	11,449
	壽豐鄉	9,667
	鳳林鎮	4,103
	秀林鄉	2,769
	光復鄉	2,549
	瑞穗鄉	1,289
	玉里鎮	1,212
	豐濱鄉	548
	萬榮鄉	149
	富里鄉	49
	卓溪鄉	1
宜蘭	羅東鎮	14,958
	宜蘭市	4,378
	五結鄉	1,515
	冬山鄉	1,012

	員山鄉	685
	蘇澳鎮	614
	壯圍鄉	164
	三星鄉	158
	南澳鄉	66
台東	長濱鄉	258

7.8 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，進行宜花東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。高中職校舍皆無損壞疑慮，僅部分國中小校舍有輕微損壞疑慮，其分布如圖 7-10 所示。

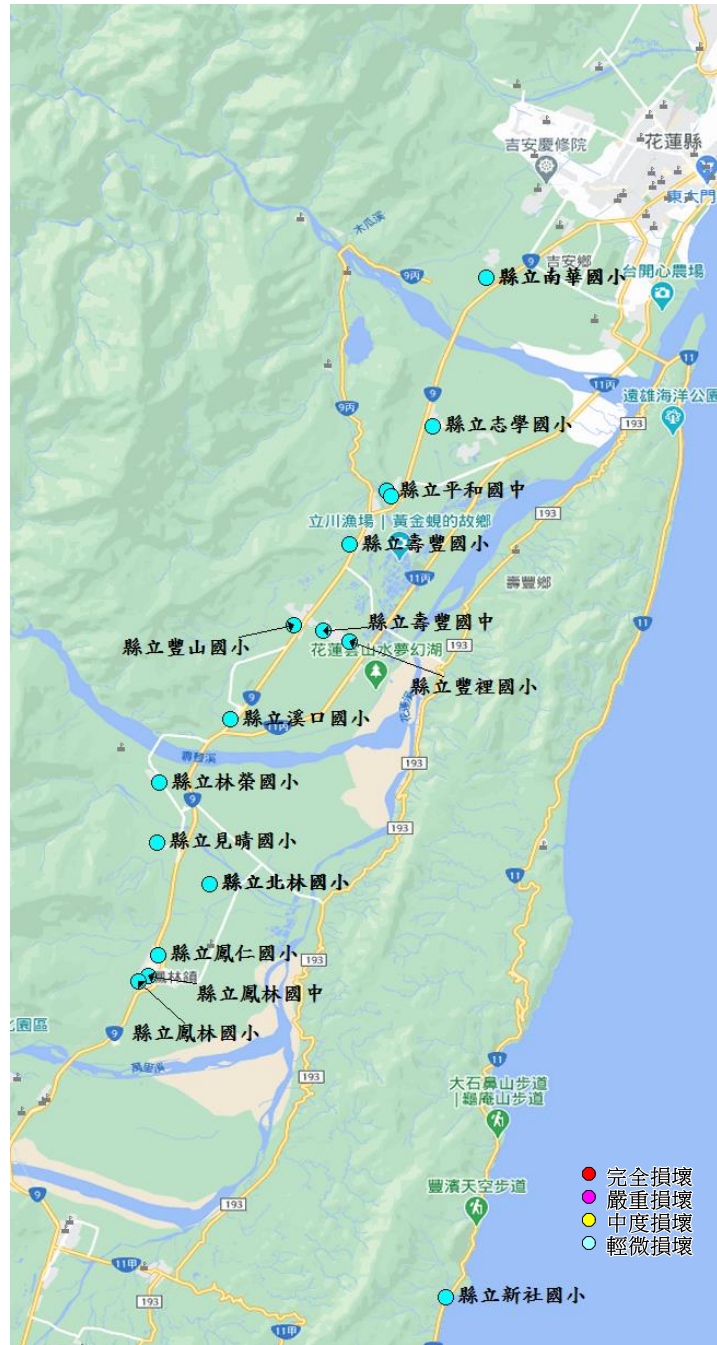


圖 7-10 宜花東國中小高中職校舍損害推估分布

7.9 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。

宜花東交通路網較西部都會區單純，僅宜蘭有國道 5 號，花蓮、台東皆無國道。因震源於花蓮外海，位於陸路上的公路橋梁無遭受斷層錯動引致地表破壞之疑慮，且因距離較遠，震動強度較小，因此國道和省縣道公路橋梁的損害推估結果皆無損壞。部分橋梁評估結果雖無損壞，但仍建議震後仍須注意其狀況，其分布如圖 7-11 所示，大致可看出皆是位於花蓮縣較近震源的公路橋梁。



圖 7-11 宜花東省縣道公路無損壞仍須注意橋梁

表 7-15 宜花東省縣道公路無損壞仍須注意橋梁

橋名	工程處	工務段	路線名	里程數	橋長	橋寬	跨數
北清水溪橋	四區	花蓮	台 9	234	48	13	4
平林陸橋	四區	花蓮	台 9	233	90.8	13	4
十九號橋	四區	花蓮	台 11	33	17.8	8.3	1
二十號橋	四區	花蓮	台 11	35	17.6	8	1
15 號橋-台 11 線	四區	花蓮	台 11	20	51.2	9	3

橋名	工程處	工務段	路線名	里程數	橋長	橋寬	跨數
東富田橋	四區	花蓮	台 11 甲	3	31.2	7.5	2
豐平橋(舊)	四區	花蓮	台 9	230	550	10.5	22
豐平橋(拓寬)	四區	花蓮	台 9	230	550	10.5	22
東興橋	四區	花蓮	台 11	45	25	12.8	1
新磯橋	四區	花蓮	台 11	38	10	8.2	1
明義橋	四區	花蓮	台 9	205	11.2	11	1
漁港橋	四區	花蓮	台 11	63	20.6	8.8	1
豐港橋	四區	花蓮	台 11	61	12.1	10	1
石梯橋	四區	花蓮	台 11	62	5.9	8.1	1
萬里橋	四區	花蓮	台 16	142	3.4	6.9	1

7.10 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，進行花蓮外海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 7-12 所示，木瓜溪橋可能嚴重損壞，仔漏溪橋可能中度損壞，其他 6 座可能輕微損壞，研判花東鐵路將受此影響而停駛搶修。



圖 7-12 花蓮外海地震鐵路橋梁地震損害評估結果

7.11 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。

參考圖 7-13，自來水供水系統包含設施與管線兩類。管線部分由源頭至末端用戶，依序以導水管、送水管、配水管、給水管(用戶外線)所構成；設施部分主要包含淨水場，以及必要時須設立的加壓站、配水池等。水管橋(過橋管)雖可視為設施之一，但依功能應屬管線的一環。這些設施與管線一旦受損，將影響服務效能，導致缺水甚或斷水。Twater 為評估供水系統的震後服務效能，必須界定標的供水系統的服務範圍，並建構可供分析模型，內含個別的自來水設施與管線在系統內扮演的角色。

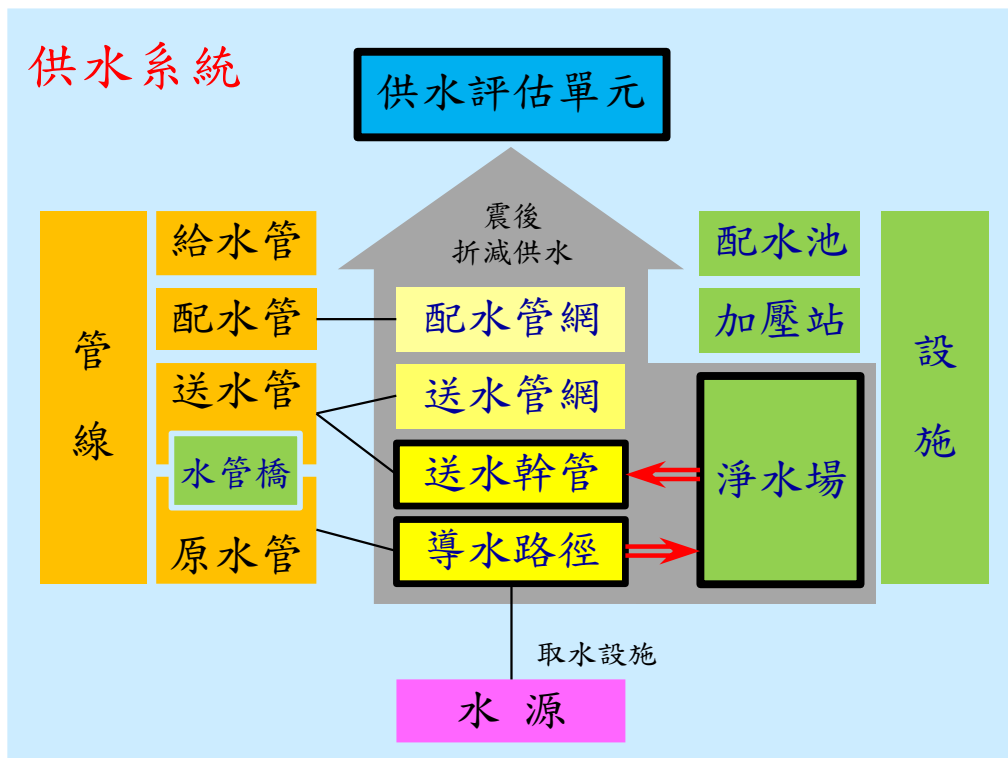


圖 7-13 自來水供水系統分析模型示意圖

琉球海溝位於台灣和日本列島之間的菲律賓海中，是歐亞板塊與菲律賓海板塊之間的邊界，鄰近台灣東部，與琉球海溝鄰近台灣的三個行政區域由北至南為宜蘭、花蓮及台東三個區域，期間的自來水管線屬台灣自來水公司台水八區、台水九區及台水十區所管轄，範圍如圖 7-14 所示。圖 7-15 為供水評估單元與行政區之對應關係分布圖，供水評估單元、縣市與鄉鎮區等資訊如

表 7-16 所列。

自來水系統之重要設施包含淨水場、配(清)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。倘能掌握其耐震易損性，並應用於推估這些設施在想定地震作用下的損害狀態、修復所需費用和時間等，當有助於自來水系統的震前防災整備及震後應變復原工作。台水八區、台水九區及台水十區之供水設施數量統計如表 7-17 所列，其中台水十區之加壓站及水管橋尚無資料。

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。各管線所屬之管徑分類(S1、S2、S3、S4 或 S5)與耐震等級(T1、T2、T3、T4、T5 或 T6)，分類方式詳

表 7-18 所列。圖 7-16 為台水八區、台水九區及台水十區之管線分布圖，依供水評估單元分別統計管線長度結果如表 7-19 所列。

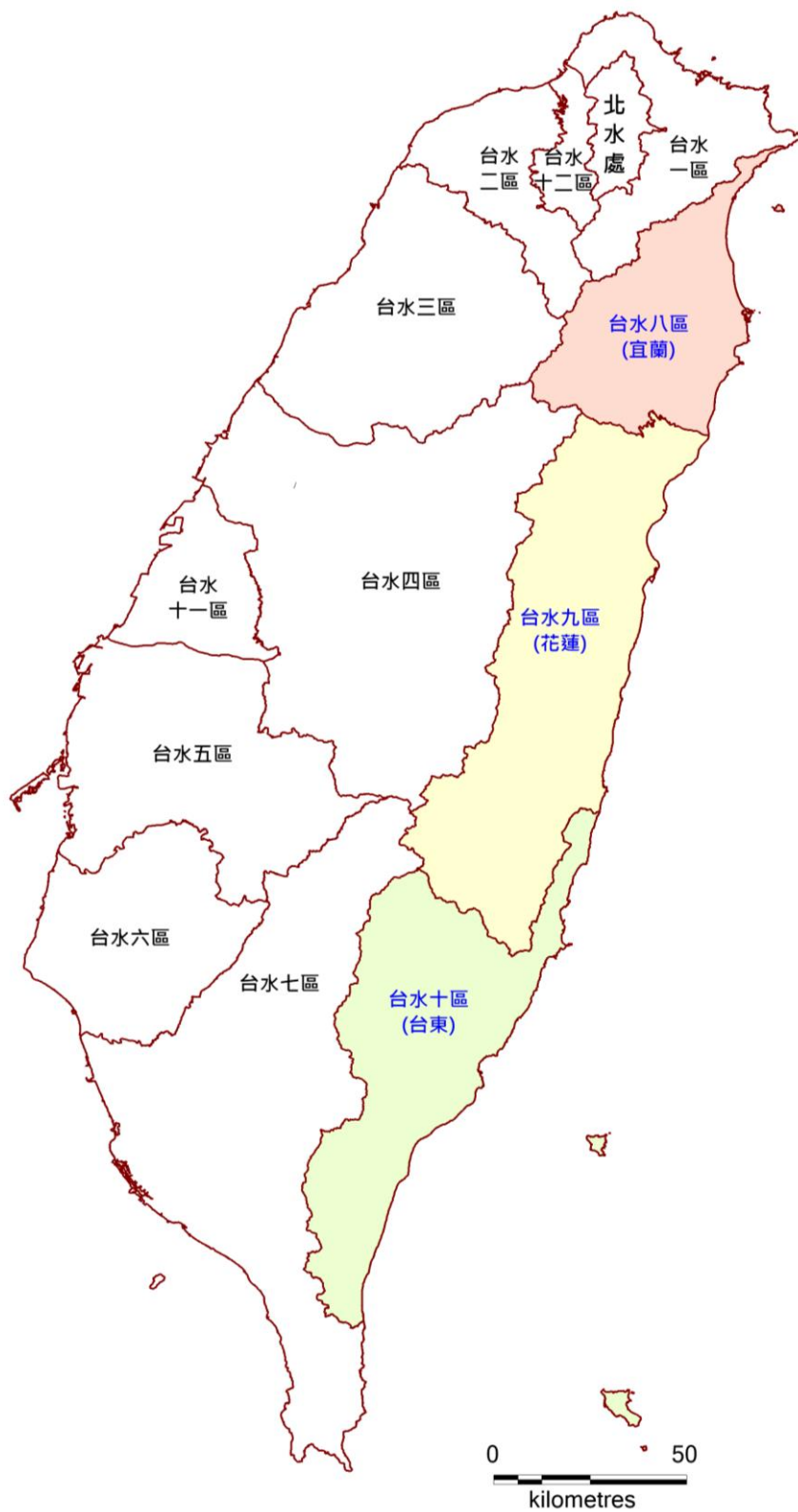


圖 7-14 自來水管線管理單位

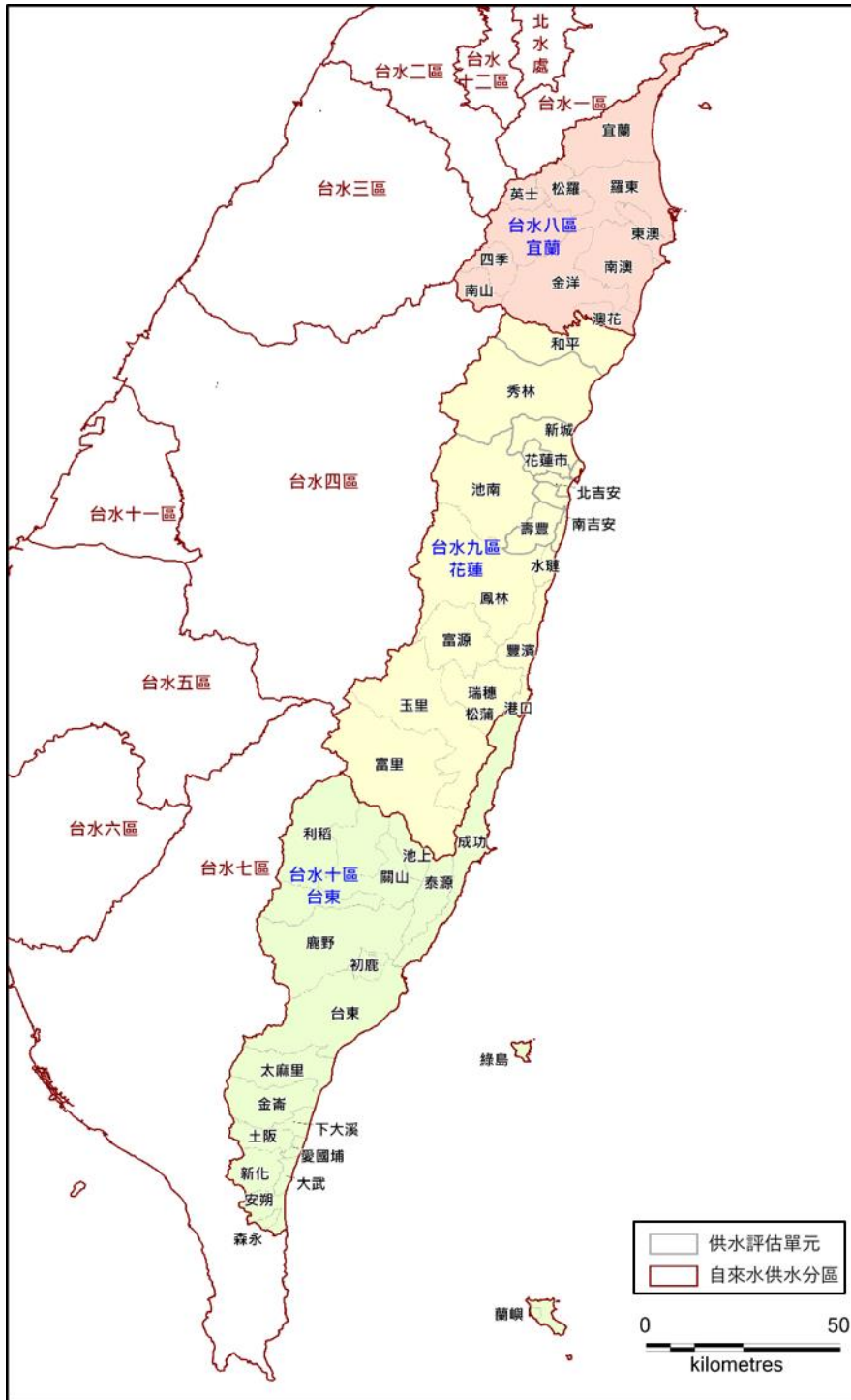


圖 7-15 台水八區、九區及十區供水評估單元劃分

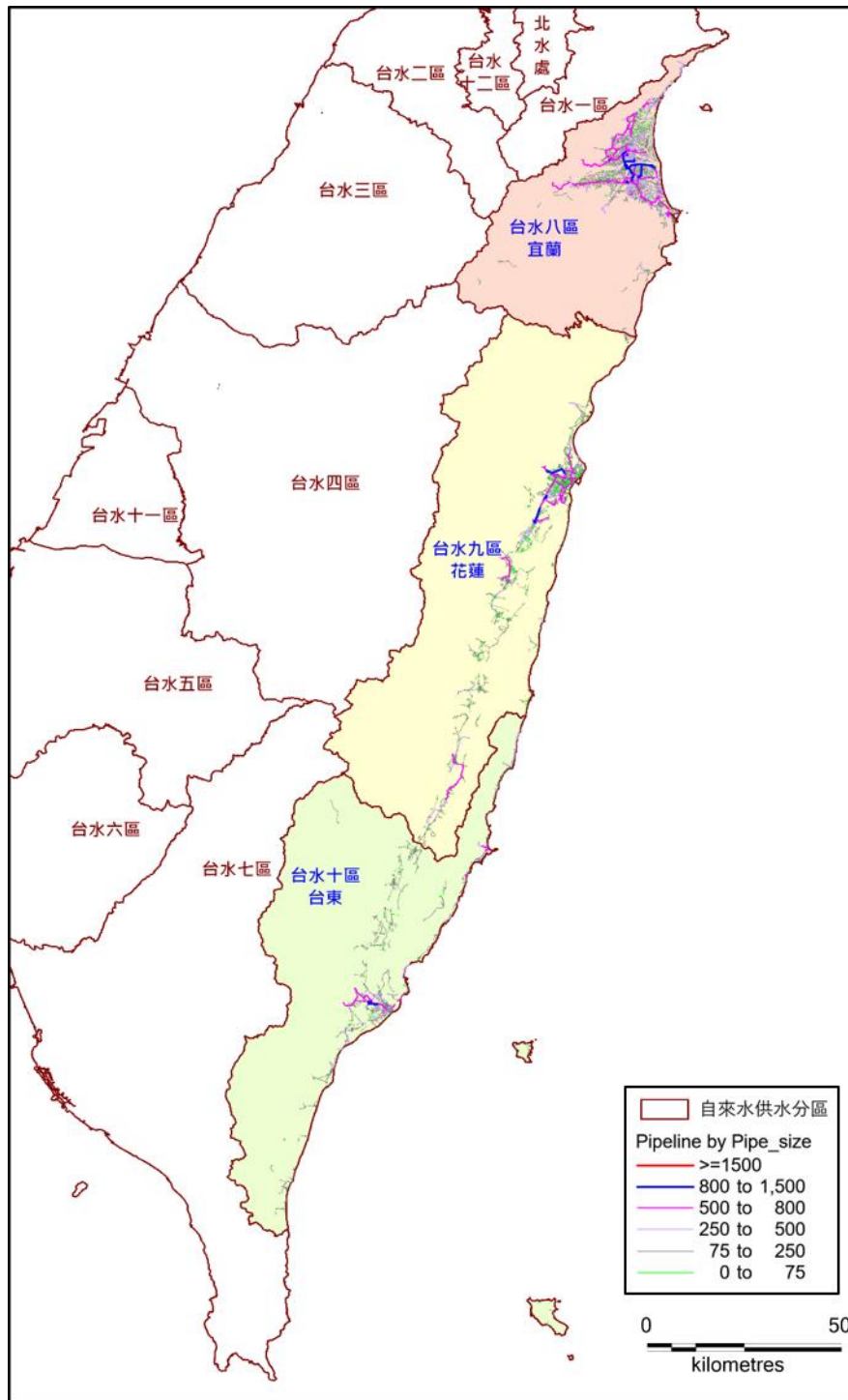


圖 7-16 台水八區、九區及十區自來水管線分布

表 7-16 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
台水八區	宜蘭系統	宜蘭縣	宜蘭市、頭城震、礁溪鄉、壯圍鄉、員山鄉
	羅東系統	宜蘭縣	羅東鎮、蘇澳鎮、冬山鄉、五結鄉、三星鄉、大同鄉
	南澳系統	宜蘭縣	蘇澳鎮、南澳鄉
	松羅系統	宜蘭縣	三星鄉、大同鄉
	英士系統	宜蘭縣	大同鄉
	四季系統	宜蘭縣	大同鄉
	南山系統	宜蘭縣	大同鄉
	東澳系統	宜蘭縣	蘇澳鎮、南澳鄉
	金洋系統	宜蘭縣	南澳鄉
	澳花系統	宜蘭縣	南澳鄉
台水九區	和平系統	花蓮縣	南區、北區、安南區、安平區、中西區、東區
	水璉系統	花蓮縣	壽豐鄉
	鳳林系統	花蓮縣	鳳林鎮、壽豐鄉、光復鄉、萬榮鄉
	豐濱系統	花蓮縣	豐濱鄉
	瑞穗系統	花蓮縣	玉里鎮、瑞穗鄉、萬榮鄉
	富源系統	花蓮縣	光復鄉、瑞穗鄉、萬榮鄉
	港口系統	花蓮縣	豐濱鄉
	玉里系統	花蓮縣	玉里鎮、富里鄉、卓溪鄉
	富里系統	花蓮縣	鹽水區、柳營區、新營區
	池南系統	花蓮縣	壽豐鄉、秀林鄉
	松蒲系統	花蓮縣	歸仁區、關廟區、龍崎區、仁德區
	北吉安	花蓮縣	花蓮市、吉安鄉
	花蓮市	花蓮縣	花蓮市、吉安鄉、秀林鄉
	南吉安	花蓮縣	吉安鄉
	美崙	花蓮縣	花蓮市
	秀林	花蓮縣	新城鄉、秀林鄉
	新城	花蓮縣	新城鄉、秀林鄉
壽豐	花蓮縣	壽豐鄉	

管理單位	供水評估單元	縣市	鄉鎮區
台水十區	台東系統	台東縣	台東市、卑南鄉、太麻里鄉
	初鹿系統	台東縣	卑南鄉
	鹿野系統	台東縣	鹿野鄉、延平鄉
	池上系統	台東縣	池上鄉、海端鄉
	關山系統	台東縣	關山鎮、池上鄉、海端鄉
	大武系統	台東縣	大武鄉
	金崙系統	台東縣	太麻里鄉、金峰鄉
	太麻里系統	台東縣	太麻里鄉、金峰鄉
	泰源系統	台東縣	東河鄉
	森永系統	台東縣	達仁鄉
	安朔系統	台東縣	大武鄉、達仁鄉
	成功系統	台東縣	成功鎮、東河鄉、長濱鄉
	新化系統	台東縣	達仁鄉
	愛國埔系統	台東縣	大武鄉
	綠島系統	台東縣	綠島鄉
	蘭嶼系統	台東縣	蘭嶼鄉
	土阪系統	台東縣	達仁鄉
	利稻系統	台東縣	海端鄉
下大溪系統	台東縣	太麻里鄉、達仁鄉	

表 7-17 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
台水八區	24	28	12	2	66
台水九區	32	11	7	56	106
台水十區	43	3	尚無資料	尚無資料	46
總計	99	42	19	58	218

表 7-18 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 - 75mm
T2	K 型接頭 DIP 管、SP(鋼管)、HDPE 管	S2	75 - 250mm
T3	PVCP 之 RR 型(活套接頭)、PE 管、HIWP	S3	250 - 500mm
T4	A 型接頭 DIP 管	S4	500 - 800mm
T5	CIP、PCCP 與 PVCP 之 TS 型(膠接接頭)	S5	800mm 以上
T6	RCP、ACP		

表 7-19 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 $\phi < 75\text{mm}$	配水管 $100 \leq \phi < 500$	送水幹管 $\phi \geq 500\text{mm}$	總管長
台水八區	宜蘭系統	145.4	1065.2	76.4	1286.9
	羅東系統	154.5	1204.7	83.6	1442.9
	南澳系統	8.4	34.3	0.0	42.7
	松羅系統	4.1	19.2	6.5	29.8
	英士系統	1.3	2.7	0.0	4.0
	四季系統	1.1	9.7	0.0	10.8
	南山系統	1.0	4.1	0.0	5.1
	東澳系統	1.1	6.6	0.0	7.7
	金洋系統	1.4	2.8	0.0	4.3
	澳花系統	1.6	2.6	0.0	4.2
台水八區總長度(公里)		320.0	2351.9	166.5	2838.3
台水九區	和平系統	5.4	25.3	0.0	30.7
	水璉系統	1.9	5.5	0.0	7.4
	鳳林系統	93.3	257.9	9.4	360.7
	豐濱系統	11.0	36.4	0.0	47.4
	瑞穗系統	26.7	100.1	0.1	126.9
	富源系統	17.8	60.1	0.0	77.9
	港口系統	8.4	15.3	0.0	23.7
	玉里系統	52.8	152.8	16.0	221.6

管理單位	供水評估單元	給水管 $\phi < 75\text{mm}$	配水管 $100 \leq \phi < 500$	送水幹管 $\phi \geq 500\text{mm}$	總管長
	富里系統	19.3	69.6	0.0	88.8
	池南系統	8.8	21.9	0.0	30.7
	松蒲系統	2.5	8.8	0.0	11.3
	北吉安	186.7	305.0	23.2	514.9
	花蓮市	69.9	141.4	19.5	230.7
	南吉安	48.2	166.7	13.6	228.5
	美崙	51.2	122.7	4.6	178.5
	秀林	24.9	71.5	0.0	96.4
	新城	54.2	106.5	5.8	166.5
	壽豐	63.8	170.2	10.8	244.8
台水九區總長度(公里)		746.7	1837.6	103.1	2687.4
台水十區	台東系統	37.6	613.1	30.2	680.8
	初鹿系統	3.2	23.6	0.0	26.8
	鹿野系統	13.7	116.9	0.0	130.6
	池上系統	7.9	72.3	0.0	80.2
	關山系統	8.3	78.2	0.0	86.5
	大武系統	0.9	40.8	0.0	41.8
	金崙系統	0.1	16.3	0.0	16.4
	太麻里系統	1.9	61.3	0.0	63.1
	泰源系統	5.2	21.5	0.0	26.7
	森永系統	0.0	2.0	0.0	2.1
	安朔系統	0.6	16.1	0.0	16.7
	成功系統	10.6	226.6	3.8	241.1
	新化系統	0.1	2.8	0.0	2.9
	愛國埔系統	0.1	3.3	0.0	3.4
	綠島系統	2.4	15.2	0.0	17.7
	蘭嶼系統	1.5	12.6	0.0	14.1
	土阪系統	0.0	3.0	0.0	3.0
	利稻系統	0.2	8.0	0.0	8.2
	下大溪系統	0.0	6.1	0.0	6.1
台水十區總長度(公里)		94.5	1339.7	34.0	1468.2
總長度(公里)		1161.2	5529.1	303.5	6993.9

註：部分地區因用戶外線圖資未完整，故給水管與總管長可能低估。

7.11.1 自來水設施災損評估結果

本次模擬琉球海溝想定事件，供水設施震損推估結果彙整如表 7-20 自來水設施震損評估結果。大致而言，各項自來水設施震損推估結果並不嚴重，震後主要設施包含淨水場、配水池、加壓站及水管橋均無損壞，但台水九區淨水場、配水池及水管橋，仍有部分設施標示無損害，然而輕微損害之機率仍存在，建議須作警戒，這些設施所需修復所需金額約 4.2 百萬元，修復所需天數為 38 天。

表 7-20 自來水設施震損評估結果

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	無損壞， 但仍需注 意	總數 量	無損壞， 但仍需注 意	總數 量	無損壞， 但仍需注 意	總數 量	無損壞， 但仍需注 意		
99	10	42	1	19	0	58	11	4.2	38

淨水場震損評估結果統計如表 7-21 淨水場震損評估結果分區統計所列，受影響淨水場有 5 座，皆屬台水九區管轄，分別為壽豐淨水場、光華淨水場、南華淨水場、萬榮淨水場及鳳林淨水場，損壞狀態屬「無，但仍須注意」，值得注意的是壽豐淨水場，在台水九區屬第 2 大供水量之淨水場，提供壽豐鄉及人口較為稠密的吉安鄉用水，淨水場震損評估結果如

表 7-22 所列，所需修復所需金額約 4.0 百萬元，修復所需天數為 10 天。

配水池震損評估結果統計如

表 7-23 所列，受影響配水池有 1 座，屬台水九區管轄為光華淨水場高架水塔(備援)，損壞狀態屬「無，但仍須注意」，震損評估結果如

表 7-24 所列，所需修復所需金額約 0.2 百萬元，修復所需天數為 1 天。

加壓站震損評估結果於三個自來水管理轄區皆無損壞。

水管橋震損評估結果統計如

表 7-25 所示，受影響水管橋有 11 座，皆屬台水九區管轄，管徑 200-300 mm 間之管線，皆屬台水九區所轄，損壞狀態屬「無，但仍須注意」，震損評估結果如

表 7-26 所列修復所需天數為 27 天。

表 7-21 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
		完全損壞	嚴重損壞	中度損壞	輕微損壞	無，但仍需注意		
台水八區	24	-	-	-	-	-	-	-
台水九區	32	-	-	-	-	10	4.0	10
台水十區	43	-	-	-	-	-	-	-
總計	99	-	-	-	-	10	4.0	10

表 7-22 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
台水九區	壽豐淨水場	45,000	22,716	212.1	1.6	2	無，但仍需注意
	光華淨水場	17,000	4,501	130.4	0.4	1	無，但仍需注意
	南華淨水場	11,700	239	108.2	0.4	1	無，但仍需注意
	萬榮淨水場	8,000	516	89.4	0.3	1	無，但仍需注意
	鳳林淨水場	8,000	2,786	89.4	0.3	1	無，但仍需注意

表 7-23 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		
台水八區	28	-	-	-	-	-	-	-
台水九區	11	-	-	-	-	1	0.2	1
台水十區	3	-	-	-	-	-	-	-
總計	42	-	-	-	-	1	0.2	1

表 7-24 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
台水九區	光華淨水場高架水塔(備援)	1,800	21.2	0.2	1	無，但仍需注意

表 7-25 水管橋震損評估結果分區統計

管理單位	水管橋數量	損壞狀態數量					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	
台水八區	2	-	-	-	-	-	-
台水九區	56	-	-	-	-	11	27
台水十區	-	-	-	-	-	-	-
總計	58	-	-	-	-	11	27

表 7-26 水管橋損評估結果分區統計

管理單位	設施名稱	管徑(mm)	管線數量	修復所需天數	損壞狀態
台水九區	無名橋-4(農墾)	300	1	0	無，但仍需注意
	農墾橋	300	1	0	無，但仍需注意
	光榮橋	200	1	6	無，但仍需注意
	吉安溪橋	200	1	3	無，但仍需注意
	無名橋-2(農墾)	200	1	0	無，但仍需注意
	無名橋-5086(壽豐)	200	1	0	無，但仍需注意
	無名橋-5043(三農場)	200	1	0	無，但仍需注意
	農兵橋	200	1	1	無，但仍需注意
	米棧大橋	200	1	9	無，但仍需注意
	花蓮大橋(北上)	200	1	3	無，但仍需注意
	花蓮大橋(南下)	200	1	3	無，但仍需注意

註：表中羅列水管橋含公路橋梁附掛之管線

7.11.2 自來水管線災損推估結果

自來水管線災損推估結果，依管理單位統計如表 7-27 所列，概分為給水管(管徑小於 75 mm)、配水管(100-500 mm)與送水幹管(500 mm 以上)的災損數，以及總災損數以及整體修復所需人時、金額等，Twater 推估之管線災損數，係以「處」為單位，乃按機率模型計算之期望值，因此數值為非整數，有效位數經四捨五入至整數。

想定地震作用下，自來水管線總災損數約為 2,004 個，主要發生於給水

管，約有 1,750 個災損點；其次為配水管，約有 252 個災損點。輸水管的災損數則較少，推估僅有 1 個。

供水評估單元之管線災損結果，如表 7-28 所列，後續以中括號[.]代表供水評估單元名稱，其中以台水九區的[鳳林系統]、[北吉安]、[壽豐]、[花蓮市]、[南吉安]和[美崙]的管線災損推估數較多，這 6 個供水評估單元的各別災損數皆在 100 處以上，總計約 1,557 個，占整體管線的 77.7%。其因為斷層破裂面延伸花蓮外海鄰近台水九區，因此對於台水九區之管線較具影響，想定地震情境下供水評估單元別自來水管線災損數分布如圖 7-17 供水評估單元之自來水管線災損數分布所示。

整體管線之修復所需金額，推估約 26,599,800 元，修復所需人時，推估約 28,745 人時，倘若以 100 人的工班投入搶修，並以每日工作 10 小時估計，則約需 1 個月的時間方能完全修復。

表 7-27 自來水管線災損推估結果(依管理單位)

管理單位	災損數			總 災損數 (處)	修復 所需人時 (人時)	修復 所需金額 (千元)
	給水管 $\phi < 75\text{mm}$	配水管 $100 \leq \phi < 500$	送水幹管 $\phi \geq 500\text{mm}$			
台水八區	30	14	0	44	737	703.1
台水九區	1,719	236	1	1,957	27,935	25,815.1
台水十區	1	2	0	4	74	81.6
總計	1,750	252	1	2,004	28,745	26,599.8

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 7-28 自來水管線災損推估結果(依供水評估單元)

管理 單位	供水 評估單元	災損數			總 災損數 (處)	修復 所需人時 (人時)	修復 所需金額 (千元)
		給水管 $\phi < 75\text{mm}$	配水管 $100 \leq \phi < 500$	送水幹管 $\phi \geq 500\text{mm}$			
台水 八區	羅東系統	19	9	0	28	482	464.9
	宜蘭系統	8	4	0	12	207	195.9
	南澳系統	1	0	-	2	28	24.9
	澳花系統	1	0	-	1	8	7.5
	金洋系統	0	0	-	0	5	4.2

管理單位	供水評估單元	災損數			總災損數(處)	修復所需人時(人時)	修復所需金額(千元)
		給水管 $\phi < 75\text{mm}$	配水管 $100 \leq \phi < 500$	送水幹管 $\phi \geq 500\text{mm}$			
	松羅系統	0	0	-	0	4	3.1
	東澳系統	0	0	-	0	3	2.6
台水八區總計		30	14	0	44	737	703
台水九區	鳳林系統	369	53	0	422	6,085	5,675.7
	北吉安	353	35	0	389	5,373	4,890.5
	壽豐	274	39	0	313	4,529	4,134.3
	花蓮市	139	14	0	153	2,113	1,956.6
	南吉安	121	25	0	146	2,193	2,072.2
	美崙	119	16	0	134	1,906	1,770.3
	新城	88	8	0	96	1,321	1,200.2
	瑞穗系統	57	10	-	67	970	896.3
	豐濱系統	53	10	-	63	936	871.9
	富源系統	48	11	-	60	898	864.4
	港口系統	26	3	-	29	402	369.2
	池南系統	22	4	-	26	375	341.9
	秀林	20	3	-	23	326	302.9
	水璉系統	13	2	-	15	214	192.9
	玉里系統	13	2	0	15	216	201.1
	和平系統	2	1	-	3	45	41.2
松蒲系統	2	1	-	2	33	32.5	
富里系統	0	0	0	0	1	1.0	
台水九區總計		1,719	1,719	237	-	1,956	2,5815.1
台水十區	成功系統	1	2	0	4	74	81.6
台水十區總計		1	2	0	4	74	81.6
總計		1,750	252	1	2,004	28,745	26,599.8

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。

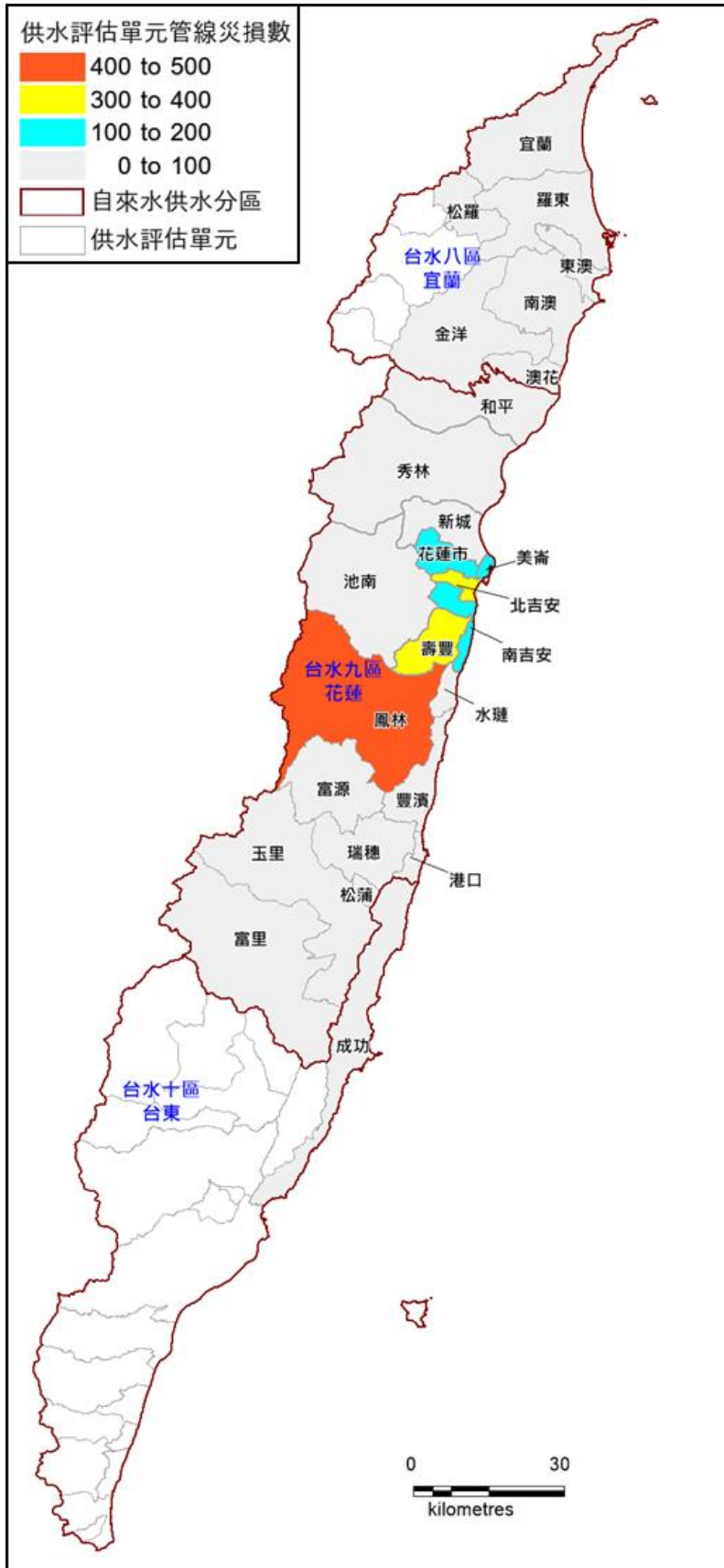


圖 7-17 供水評估單元之自來水管線災損數分布

7.11.3 震後缺水率與停水戶數推估結果

綜合供水管網之震後災損，推估各管理單位之震後缺水率與停水戶數推估結果如表 7-29 所列，整體缺水率達 9.7%，停水戶數總計達 15,970 戶，台水九區影響最多占 14,527 戶，詳細供水評估單元震後缺水率和停水戶數統計結果，如表 7-30 所列，由震後缺水率推估結果以[壽豐]、[北吉安]、[鳳林系統]和[南吉安]之震後缺水率較高，達用水量的兩成，需適時實施限水措施，供水評估單元之缺水率分布如圖 7-18 供水評估單元之自來水管線缺水率分布所示。

表 7-29 震後停水戶數早缺水量推估結果

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
台水八區	80,269	105,654	2,683	2.54	1,422
台水九區	107,315	112,897	19,047	16.87	14,527
台水十區	6,945	5,118	21	0.41	21
總計	194,529	223,669	21,751	9.72	15,970

表 7-30 震後受影響之供水評估單元缺水量和停水戶數情境模擬結果

管理單位	供水評估單元	受影響人口數	受影響戶數	每日配水量 (CMD)	停水戶數	缺水量 (CMD)	缺水率 (%)
台水八區	羅東系統	219,508	78,612	103,306	1,415	2,670	2.6
	澳花系統	476	145	282	1	3	1.1
	南澳系統	3,371	1,183	1,795	5	9	0.5
	東澳系統	853	262	239	1	1	0.4
	金洋系統	196	67	32	-	-	0.0%
台水八區總計		224,404	80,269	105,654	1,422	2,683	2.54
台水九區	壽豐	15,896	5,648	16,586	1,135	4,383	26.4
	北吉安	104,400	37,906	19,903	7,126	4,937	24.8
	鳳林系統	21,699	8,422	7,275	1,314	1,517	20.9
	南吉安	15,487	5,497	13,269	830	2,677	20.2
	花蓮市	44,541	16,553	12,163	2,135	2,116	17.4
	美崙	26,449	10,196	14,375	1,091	2,097	14.6
	水璉系統	456	198	76	21	11	14.5
	豐濱系統	1,933	736	686	74	95	13.8

管理單位	供水評估單元	受影響人口數	受影響戶數	每日配水量(CMD)	停水戶數	缺水量(CMD)	缺水率(%)
	富源系統	3,325	1,228	1,276	85	122	9.6
	港口系統	1,067	402	369	27	34	9.2
	池南系統	1,395	470	1,051	28	88	8.4
	新城	20,838	7,434	6,413	416	498	7.8
	瑞穗系統	8,522	3,284	3,502	115	171	4.9
	松蒲系統	736	246	467	5	13	2.8
	秀林	8,800	2,833	6,453	45	139	2.2
	玉里系統	16,491	5,900	7,638	77	134	1.8
	和平系統	1,159	362	1,395	3	15	1.1
	台水九區總計	293,194	107,315	112,897	14,527	19,047	16.87
台水十區	成功系統	18,054	6,945	5,118	21	21	0.4
	台水十區總計	18,054	6,945	5,118	21	21	0.4
	總計	535,652	194,529	223,669	15,970	21,751	2.05

註：本表係統計各管理單位中供水受影響之供水評估單元

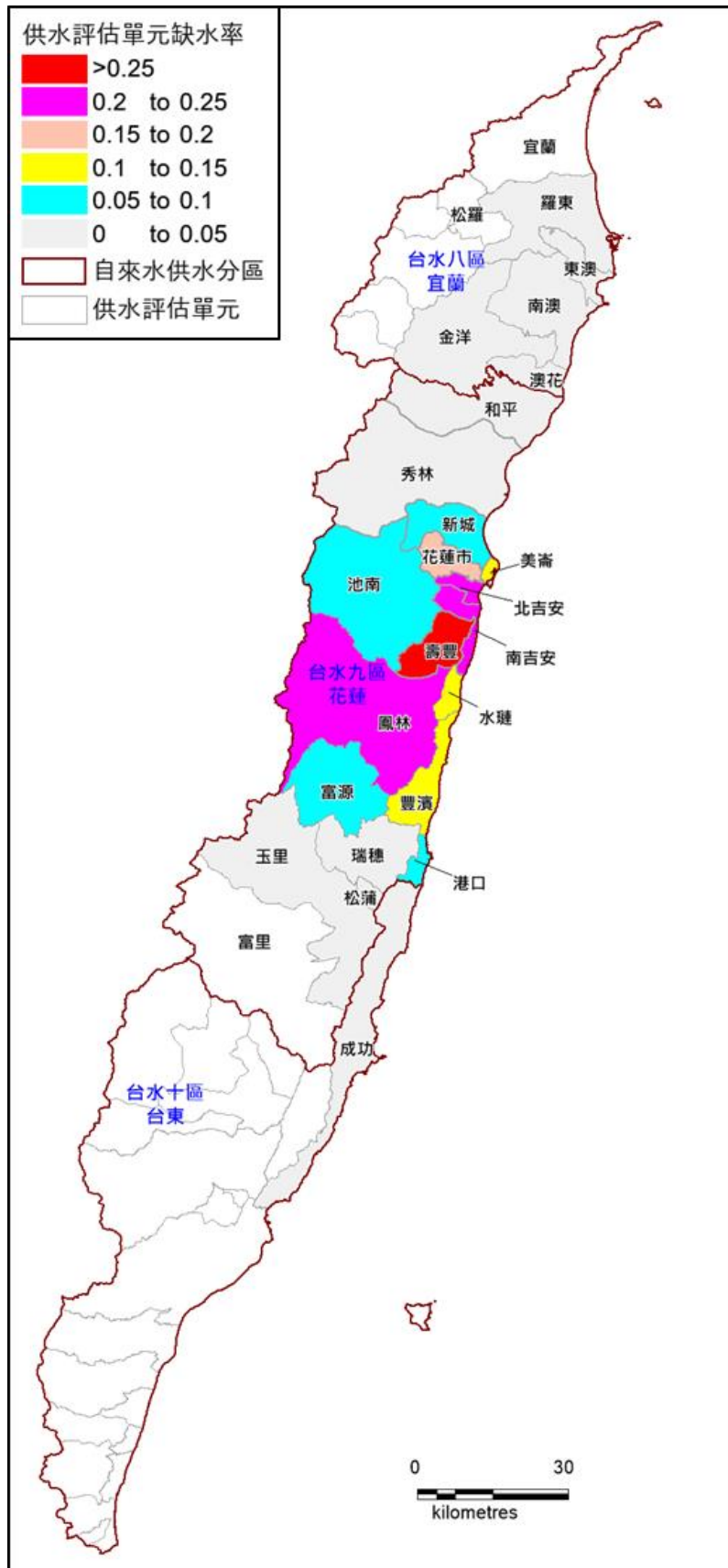


圖 7-18 供水評估單元之自來水管線缺水率分布

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. 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.
6. 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
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 台北市政府交通局交通管制工程處，2019。行車管制/台北市重大災害之緊急救援路線，網址取自：<https://www.bote.gov.taipei/News.aspx?n=ABCA7DF2180572E8&sms=E3EF5A43DA22E1CB>（資料取得時間：29/06/2021）。
13. 內政部營建署，2011。防災與救援據點規劃準則，內政部營建署。

14. 葉錦勳，2003。台灣地震損失評估系統-TELES，國家地震工程研究中心，NCREE-03-002。
15. 劉季宇、葉錦勳、張國鎮，2011。公路橋梁地震早期損失評估資料庫建置與模組開發之研究，交通部運輸研究所委託研究報告，國家地震工程研究中心。
16. 葉錦勳、黃李暉、劉季宇，2014。國道橋梁 TELES 系統地震損失評估之研究（含地震特別檢測時機建議），林同棧工程顧問公司委託研究報告，國家地震工程研究中心。
17. 朱易昌、林偲妘、楊承道、曹雅筑，2021。台北市救援道路受震損建物殘骸阻斷風險分析，營建工程與管理學術研討會暨國際會議，台北，台灣。
18. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. Retrieved from https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf.
19. 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>.
20. 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.
21. Côté, M.J. (1999). Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic. *Socio-Economic Planning Sciences*, 33, 231-245.
22. Müller, K. and Vignaux, T. (2003). SimPy: Simulating Systems in Python. ONLamp.com Python Devcenter.
23. Ministry of the Interior. 2019. Summary report by central emergency operation center for 0206 Hualien Earthquake.
24. 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.

25. 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).
26. 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.
27. 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.
28. Housner, G.W. (1963). “The behavior of inverted pendulum structures during earthquakes,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53, 403-417.
29. 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.
30. Ishiyama, Y. (1982). “Motions of rigid bodies and criteria for overturning by earthquake excitations, ” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10, 635–650.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. Cheng-Tao Yang, Chi-Hao Lin, Yi-Jie Chuang, Wei-Hsueh Huang, 2019. *Development of Seismic Impact Assessment for Taiwan Road Network*,

International Conference in Commemoration of 20th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake, Taipei, Taiwan.

36. Yi-Chang Chu, Szu-Yun Lin, 2022. Post-Earthquake Risk and Vulnerability Assessment of Rescue Roads, 12th National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Salt Lake City, UT.

37. Yi-Chang Chu, Szu-Yun Lin, Cheng-Tao Yang, 2022. Post-earthquake road risk and vulnerability assessment: A case study of Taipei City. National Taiwan University, Taipei, Taiwan. (文稿處理中)

38. Pho Thanh Tung, 2004. Road vulnerability assessment for earthquakes. ITC-Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Nepal