

震災風險評估與管理平台之研發與應用

111 年度期末成果報告

葉錦勳、林祺皓、楊承道、劉季宇、黃李暉、洪祥瑗

陳志欣、陳世良、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 112 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。111 年度主要工作項目包含：(1)整合震損評估模組與 GIS 軟體研究、(2)THospital 之非結構物震損評估模式研發、(3)都會區災害救援路網 QGIS 嵌入式套件開發、(4)地震損失評估線上服務之研發、與(5)桃竹苗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 2022 include: (1) integration of the seismic loss estimation module and GIS software, (2) research and development of the estimation module for nonstructural damage in THospital, (3) development of the QGIS plug-in package for metropolitan rescue road networks, (4) research and development of the online services of earthquake loss estimation, and (5) large-scale earthquake loss estimation in Taoyuan, Hsinchu and Miaoli.

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、整合震損評估與 GIS 軟體研究.....	4
2.1 研究工作項目.....	4
2.2 新式強地動預估模式整合.....	5
2.3 震損評估模組之移轉與程式庫整合.....	7
2.4 Tgbs 子系統驗證.....	8
2.5 小結.....	9
3 參、THOSPITAL 之非結構物震損評估模式研發.....	10
3.1 非結構物易損性參數.....	10
3.2 非結構物放置建築物樓層邏輯.....	13
3.3 建築物樓板反應預估.....	14
3.4 小結.....	16
4 肆、都會區災害救援路網 QGIS 嵌入式套件開發.....	18
4.1 背景說明.....	18
4.2 軟體架構設計.....	18
4.3 應用實例-新城斷層想定地震.....	19
4.4 結論與後續發展.....	21
5 伍、地震損失評估線上服務之研發.....	23
5.1 前言.....	23

5.2	地震損失評估線上服務運算架構.....	23
5.3	震源參數設定介面.....	25
5.4	TELES 評估結果自動匯入機制.....	27
5.5	震損評估結果查詢.....	27
5.6	結論及後續發展.....	30
6	陸、桃竹苗大規模地震災損推估.....	32
6.1	震源情境模型.....	32
6.2	一般建物損害評估結果.....	33
6.3	人員傷亡評估.....	35
6.4	震後火災與消防資源需求推估.....	40
6.5	救災與民生物資需求評估.....	43
6.5.1	避難收容.....	43
6.5.2	救災資源.....	46
6.5.3	民生物資和設備需求.....	48
6.6	一般建物損害經濟損失.....	50
6.7	一般建物廢棄物評估.....	53
6.8	國中小學校舍震損評估.....	55
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.....	62
6.11.1	自來水設施災損評估結果.....	70
6.11.2	自來水管線災損推估結果.....	75
6.11.3	震後缺水率與停水戶數推估結果.....	78
7	參考文獻.....	83

圖目錄

圖 2-1 921 集集地震測站 PGA 推估結果與量測值差異	6
圖 2-2 Open GIS 震損評估軟體架構	7
圖 3-1 THospital 使用者介面首頁畫面.....	10
圖 4-1 ROSA 介面	19
圖 4-2 想定地震下街廓內建築物完全損壞棟數	20
圖 4-3 新竹縣市道路阻斷風險指標分析結果	21
圖 5-1 系統運算架構圖.....	24
圖 5-2 運算佇列圖.....	25
圖 5-3 震源參數設定介面圖.....	26
圖 5-4 想定地震事件查詢列表.....	28
圖 5-5 震損評估摘要.....	28
圖 5-6 建築物損害震損評估介面	29
圖 5-7 人員傷亡震損評估介面.....	29
圖 5-8 人員重傷與死亡評估數量與統計圖	30
圖 6-1 新城斷層震源情境模型.....	33
圖 6-2 桃竹苗全半倒棟數分布.....	34
圖 6-3 桃竹苗人員傷亡數量分布	37
圖 6-4 桃竹苗震後起火總數分布	41
圖 6-5 桃竹苗震後災防隊需求隊數分布	42
圖 6-6 桃竹苗需搬遷人數分布.....	44
圖 6-7 桃竹苗臨時避難收容人數分布	45
圖 6-8 桃竹苗地區一般建物總經濟損失分布	51
圖 6-9 桃竹苗一般建物總廢棄物數量分布	54
圖 6-10 高中職校舍損害推估分布	56

圖 6-11 國中小校舍損害推估分布.....	57
圖 6-12 國道公路橋梁震損評估結果.....	58
圖 6-13 省縣道公路橋梁震損評估結果.....	59
圖 6-14 新城斷層引致大規模地震鐵路橋梁地震損害評估結果.....	61
圖 6-15 自來水供水系統分析模型示意圖.....	62
圖 6-16 自來水管線管理單位.....	64
圖 6-17 北水處及台水二區、三區、十二區供水評估單元劃分.....	65
圖 6-18 北水處及台水二區、三區、十二區自來水管線分布.....	66
圖 6-19 供水評估單元之自來水管線災損數分布.....	78
圖 6-20 供水評估單元之自來水管線缺水率分布.....	82

表目錄

表 2-1 集集地震全半倒建築物損壞推估結果統計	8
表 2-2 集集地震人員傷亡推估結果統計	8
表 3-1 各系統設備物列表.....	11
表 3-2 一般加速度敏感型非結構物易損性參數（高耐震等級）	12
表 3-3 醫院設備物調查表.....	13
表 3-4 非結構物擺放建物與樓層邏輯	13
表 3-5 醫院建物屬性資料表.....	14
表 3-6 加速度修正因子之參數（適用 2-9 層樓建築）	15
表 3-7 醫院建築物損害推估.....	16
表 3-8 醫院建築物損害推估.....	16
表 3-9 醫院病床供需推估.....	17
表 4-1 ROSA 功能總表.....	22
表 6-1 新城斷層引致大規模地震之震源參數	32
表 6-2 桃竹苗各鄉鎮區建物全半倒棟數量推估(單位:棟)	34
表 6-3 桃竹苗各鄉鎮區日間時段人員傷亡程度推估數值（單位:人）	37
表 6-4 桃竹苗各鄉鎮區夜間時段人員傷亡程度推估數值（單位:人）	38
表 6-5 桃竹苗各鄉鎮區通勤時段人員傷亡程度推估數值（單位:人）	39
表 6-6 桃竹苗各鄉鎮區震後火災資源推估數值	42
表 6-7 桃竹苗震後避難需求推估數值(單位：人).....	45
表 6-8 救災資源推估公式.....	46
表 6-9 桃竹苗地區震後日間時段救災資源推估數值	47
表 6-10 民生物資推估公式.....	48
表 6-11 設備需求推估公式.....	49
表 6-12 桃竹苗地區震後民生物資和設備需求推估數值(一).....	49

表 6-13	桃竹苗地區一般建物損害總經濟損失推估數值(單位：百萬元) ...	51
表 6-14	桃竹苗一般建物總廢棄物數量推估數值(單位：噸).....	54
表 6-15	國道公路橋梁震損評估結果(輕微損壞以上).....	59
表 6-16	省縣道公路橋梁震損評估結果(輕微損壞以上).....	60
表 6-17	供水評估單元與鄉鎮區之對應說明	67
表 6-18	供水設施數量統計.....	68
表 6-19	管線分類說明.....	68
表 6-20	供水評估單元之自來水管線長度統計	69
表 6-21	自來水設施震損評估結果綜整	70
表 6-22	淨水場震損評估結果分區統計	71
表 6-23	淨水場震損評估結果.....	71
表 6-24	配水池損評估結果分區統計	72
表 6-25	配水池震損評估結果.....	72
表 6-26	加壓站震損評估結果分區統計	73
表 6-27	加壓站震損評估結果.....	74
表 6-28	水管橋震損評估結果分區統計	74
表 6-29	水管橋損評估結果分區統計	74
表 6-30	自來水管線災損推估結果(依管理單位).....	75
表 6-31	自來水管線災損推估結果(依供水評估單元).....	76
表 6-32	震後停水戶數早缺水量推估結果	79
表 6-33	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	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, 111 年度主要工作項目包含: (1)整合震損評估模組與 GIS 軟體研究、(2)THospital 之非結構物震損評估模式研發、(3)都會區災害救援路網 QGIS 嵌入式套件開發、(4)地震損失評估線上服務之研發、與(5)桃竹苗大規模地震災損推估。

整合震損評估與 GIS 軟體研究方面, 開發以開源程式庫為基礎的新版「台灣地震損失評估系統(TELES)」, 以原本 TELES 既有的系統架構與資料流為基礎, 將震損評估所需之 GIS 空間分析與地圖展示功能分別以開源程式庫 Spatialite 與 MapWinGIS 取代。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)之各項模組的 GIS 功能移轉與更新。同時參考新一代強地動預估模式整合應用計畫之研究成果, 開發新版的地震動預估模式, 精進台灣地震損失評估系統(TELES)。相關階段性成果簡述於「整合震損評估與 GIS 軟體研究」一節。

THospital 研究方面, 大量傷病患事件發生時, 急救責任醫院為提供緊急醫療援助的關鍵設施, 通過及時有效的醫療處置, 降低死亡人數並控制傷患狀態, 以此降低災害對社會的衝擊。然而, 大規模地震發生時, 醫院本身亦受地震影響。醫院結構或非結構物受損造成醫療量能下降, 導致緊急醫療量能無法充足供應震後大量傷病患的需求。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。依事先建置的全臺急救責任醫院基本資料與震損評估相關參數，對各家醫院結構與非結構物進行評估，了解地震事件下，醫院功能損壞的可能狀況。相關階段性成果簡述於「THOSPITAL 之非結構物震損評估模式研發」一節。

都會區災害救援路網 QGIS 嵌入式套件開發方面，主要為建立一個標準資料模型與軟體工具，以協助推廣救援道路規劃之研究成果。本計畫目標產品為可應用於台灣六大都區的救援道路規劃軟體工具。本軟體整合救援道路規劃理論、防災需求與 GIS 軟體介面，擬以兩年期程完成（111 年至 112 年）。第一年為建立資料模型與軟體實作，第二年配合地方政府應用進行驗證。本年度(111)，已建立適用救援路網規劃的關聯式資料庫模型並且完成 QGIS plugin 的原型實作。基礎資料庫資料之收集，是藉由與地方政府的消防局、交通局、工務局等交流進行，透過歷年耕耘累積與本年度的校正更新建立。目前已經完成台北市與新北市的市管橋樑、建物、人口分布、關鍵救援據點等重要救援資料之彙整。軟體介面之實作，是利用 Python 程式語言，實作 QGIS 的嵌入式套件(Plugin)，以實現理論模型、防災需求與使用者介面之整合。實作的功能目前已經完成救援據點與數值路網管理、救援道路規劃與地震境況下阻斷風險檢視等功能之雛形，並以大台北地區為實例完成初步驗證。相關階段性成果簡述於「都會區災害救援路網 QGIS 嵌入式套件開發」一節。

地震損失評估線上服務之研發方面，「近年來由於防災意識抬頭，舉凡政府防救災單位、協力機構、學術單位等，對震損評估技術之需求與日俱增，雖然 TELES 為免費提供使用之軟體，然軟體執行時所需之機敏資料，一般使用者不易取得；且由於 TELES 採用商用 GIS 軟體作為地圖空間運算與評估結果展示之平台，故使用者須購買 GIS 軟體方能運行 TELES。由於上述問題增加了使用門檻與限制，故本研究期望以 TELES 為核心，建立地震損失評估線上服務(TELES Online)，透過資訊網與網路地理資訊系統之輔助，除免除機敏資料外流之風險與 GIS 軟體取得之負擔，更有利於防救災作業

之應用及震損評估技術之推廣。相關階段性成果簡述於「地震損失評估線上服務之研發」一節。

新城斷層引致桃竹苗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內政部消防署之需求，111年協助完成桃竹苗大規模地震情境模擬與對策擬定，以新城斷層引致大規模地震為想定之情境。「震源情境模擬」小組完成新城斷層的地動模擬後，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、自來水系統、交通路網與醫療設施等標的之「災損推估」工作，有關地震情境災損推估結果簡述於「桃竹苗大規模地震災損推估」一節。

貳、整合震損評估與 GIS 軟體研究

開發以開源程式庫為基礎的新版「台灣地震損失評估系統(TELES)」，以原本 TELES 既有的系統架構與資料流為基礎，將震損評估所需之 GIS 空間分析與地圖展示功能分別以開源程式庫 Spatialite 與 MapWinGIS 取代。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)之各項模組的 GIS 功能移轉與更新。同時參考新一代強地動預估模式整合應用計畫之研究成果，開發新版的地震動預估模式，精進台灣地震損失評估系統(TELES)。

2.1 研究工作項目

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。需整合 Spatialite 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。同時新版 TELES 也不斷精進其中的震損評估模組，目前已完成新一代強地動預估模式整合應用，以及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，完成之工作內容項目如下：

1. 系統架構設定與 Spatialite 資料庫格式移轉：TELES 系統架構設定與主控資料夾之建置，並將既有的各類以 MapInfo 格式儲存之資料表移轉為開源程式慣用的 Spatialite 資料庫格式。在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。
2. 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，以視覺化的想定地震設定對話框，完成想定地震事件設定與模擬地震事件資料

夾建置等。

3. 開發新版強地動預估模組：新式強地動預估模型(NCREE 2019)已可綜合考量規模飽和效應、距離效應、場址效應、震源效應、斷層上/下盤效應等，並區分地殼地震與隱沒帶地震所引致的地震動特性差異。應用新一代強地動預估模式整合應用計畫之研究成果，將模式整合於新版 TELES 軟體中。
4. 震損評估模組之移轉與整合：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 TELES 中多個震損評估模組之 GIS 功能移轉與更新。包含推估地震動強度與土壤液化機率的地震災害潛勢分析模組，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模組。
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，開發使用者 UI 介面，藉由資料庫查詢介面，讓使用者可以瀏覽加密之資料庫檔案內容與圖形物件之地圖展示，同時也完成基本資料與模擬結果之表格瀏覽與地圖展示、圖層控制、主題圖繪製等功能。
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，並藉由匯入相同基本圖資、分析參數和相同想定地震事件設定，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。

2.2 新式強地動預估模式整合

TELES 新版地震動預估模式的研發包含「岩盤震動衰減律」和「廣域場址效應修正模式」。回顧近年台灣地區新式地震動預估模式的研發成果，進一步對廣域震損評估的適用性和應用方式進行探討，建立新版的「岩盤震

動衰減律」，並研發「廣域場址效應修正模式」。完成模式研發後，以曾引致災害之歷史地震震損資料進行驗證，在歷史地震之想定地震情境下，探討新/舊版地震動預估模型之差異，包比較地震動分布、與測站實測紀錄之差異，以及災情推估結果與實際災情比較，確認新開發強地動預估模式之合理性。

透過 TELES 之模組化設計和軟體架構的特色，新版地震動預估模型可直接應用於 TELES 各項子系統，以及其它相關模組(包含土壤液化潛勢評估、各類工程結構物震損評估、地震引致二次災害評估與社會經濟損失評估等模組)均可直接使用或間接受到地震動評估結果的影響。換言之，因大幅提升既有各項震損評估結果的精度；因此，有助於識別高風險的災區熱點。

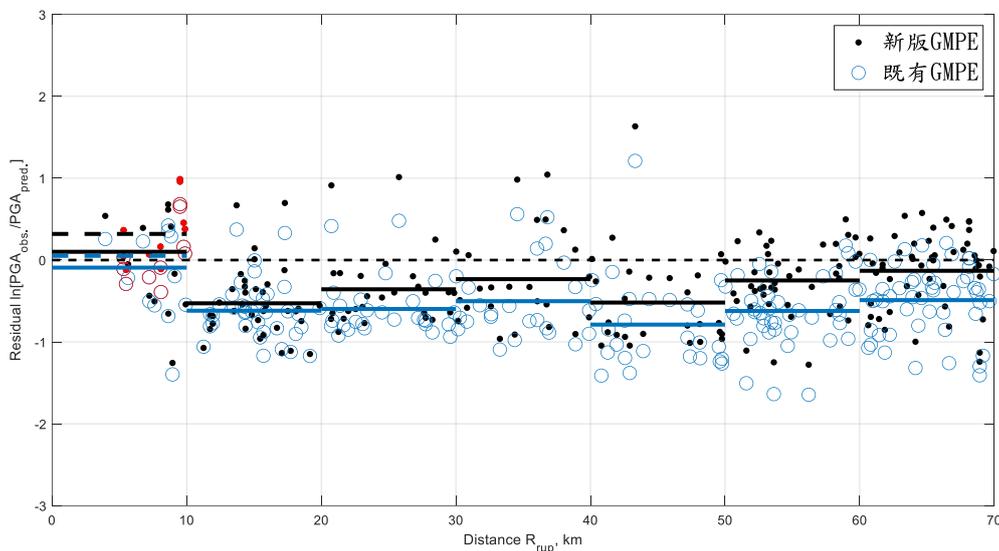


圖 2-1 921 集集地震測站 PGA 推估結果與量測值差異

圖 2-1 為應用新版地震動預估模型在 TELES 地震動強度與土壤液化機率的災害潛勢分析模組，進行 921 集集地震之地震動強度分布推估結果與強地動測站實測記錄比較。圖中橫軸為測站至斷層破裂面之距離，縱軸為推估值與實測值取對數後之差(以下稱為殘差)，等於零表示推估值與實測值相同，負值表示推估值大於實測值，亦即高估地震動強度，反之，正值為低估。水平線段為線段區間內(10 公里區間)資料點之平均值，黑色和藍色分別為新版和既有 GMPE 在線段區間內之平均殘差。整體而言，在 10 公里外，新版 GMPE 之殘差較小，10 公里內則為既有 GMPE 之殘差較小。與測

站實測值相較，兩種 GMPE 皆有高估的現象。

2.3 震損評估模組之移轉與程式庫整合

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地震災害潛勢分析模組，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。如圖 2-2 中說明震損評估模組主要需整合 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。

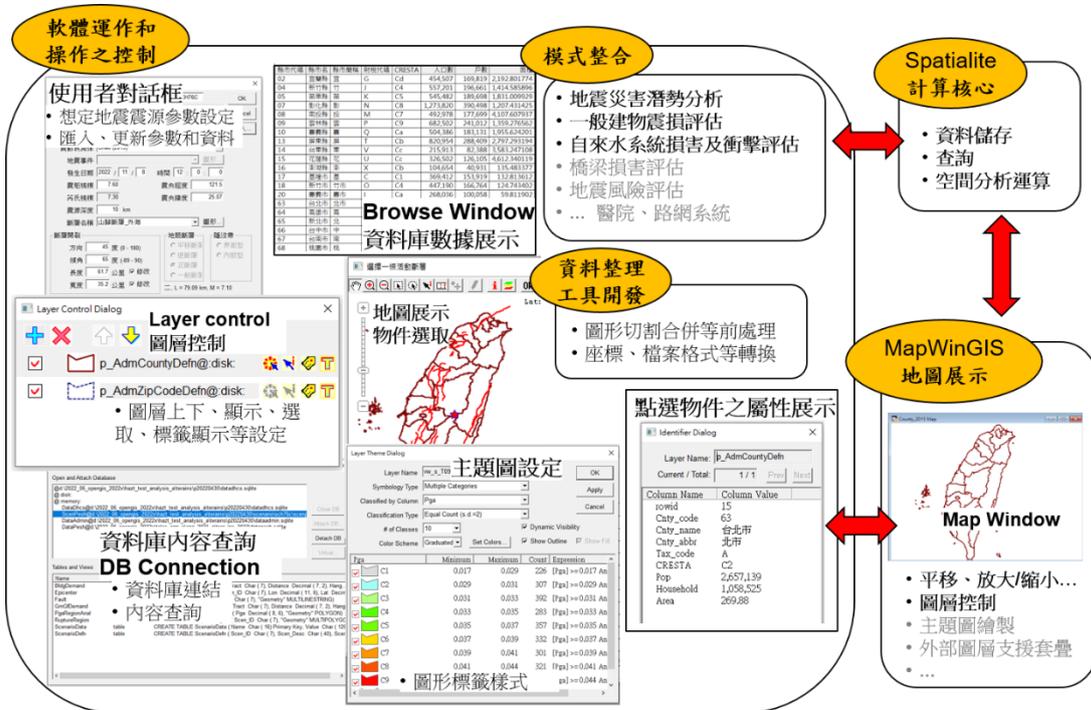


圖 2-2 Open GIS 震損評估軟體架構

而除了整合震損評估模組，還需要整合 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。開源程式庫 Spatialite 與 MapWinGIS 是兩個不同的軟體，須將 Spatialite 資料庫內容訊息傳遞至 MapWinGIS 之地圖展示功能，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 2-2 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，都為本計畫重新研發製作之成果。完善災損模擬結果與查詢結果之表格瀏覽、地

圖展示、圖層控制、主題圖繪製等功能，同時開發資料庫連結介面讓使用者能夠容易掌握資料庫內容，在強化使用者操作機制的同時也提升使用者資料展示的方便性。

2.4 Tgbs 子系統驗證

為比較既有以 MapInfo 為基礎的 Tgbs 和更新後 Tgbs 的各項震損評估結果，以中央氣象局發布的集集地震報告設定 TELES 境況模擬採用之震源參數。同時應用 TELES 建物損害和人員傷亡推估模式，比較既有 TELES 和新版 TELES 之全半倒建築物損壞與人員傷亡災損推估結果。

表 2-1 集集地震全半倒建築物損壞推估結果統計

	低樓層(1-3)	中樓層(4-7)	高樓(8-18)	超高樓(19+)	總計
既有 TELES	31,911	9,325	442	13	41,691
新版 TELES	37,296	8,134	347	11	45,788

表 2-2 集集地震人員傷亡推估結果統計

	輕傷	中傷	重傷	死亡	傷亡和
既有 TELES	13,645	6,398	4,099	3,018	7,117
新版 TELES	12,099	5,494	3,486	2,570	6,056

集集地震的模擬情境斷層錯動至地表，新版地震動預估模式推估結果因最大值發生在地表跡線上，地表跡線以西，因此新版地震動預估模式的推估結果會比 TELES 既有地震動預估模式的推估結果大，又由於車籠埔斷層以西區域因建物密度較高，因此低矮樓層建物損害較為嚴重，而中高樓層則為既有 TELES 推估結果較為嚴重，建築物全半倒棟數總數雖新版 TELES 推估結果較多，但主要是低樓層建物。由於人員傷亡主要由建物損壞造成，尤其是中高樓層，因此既有 TELES 人員傷亡推估結果數量較多。整體而言，兩者之震損推估結果差異不大，約莫在相同級距內。

2.5 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，完成既有震損評估模組與 GIS 軟體之更新及整合，以進行地震損失評估與分析結果展示。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。

目前已完成新式強地動預估模式建立與震損評估模組之移轉與整合；MapWinGIS 與 Spatialite 程式庫整合，使用者介面之研發製作，完成使用者對話框、SQL Select、主題圖繪製、圖層控制視窗等功能，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。同時也以數個模擬地震事件案例比較既有以 MapInfo 為基礎的 Tgbs 和更新後 Tgbs 的各項震損評估結果，整體來說兩者之震損推估結果差異不大，約莫在相同級距的合理範圍內，完成 Tgbs 子系統之測試與驗證。

參、THOSPITAL 之非結構物震損評估模式研發

大量傷病患事件發生時，急救責任醫院為提供緊急醫療援助的關鍵設施，通過及時有效的醫療處置，降低死亡人數並控制傷患狀態，以此降低災害對社會的衝擊。然而，大規模地震發生時，醫院本身亦受地震影響。醫院結構或非結構物受損造成醫療量能下降，導致緊急醫療量能無法充足供應震後大量傷病患的需求。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。依事先建置的全臺急救責任醫院基本資料與震損評估相關參數，對各家醫院結構與非結構物進行評估，了解地震事件下，醫院功能損壞的可能狀況。本章節重點敘述非結構震損評估模式的發展與具體成果。

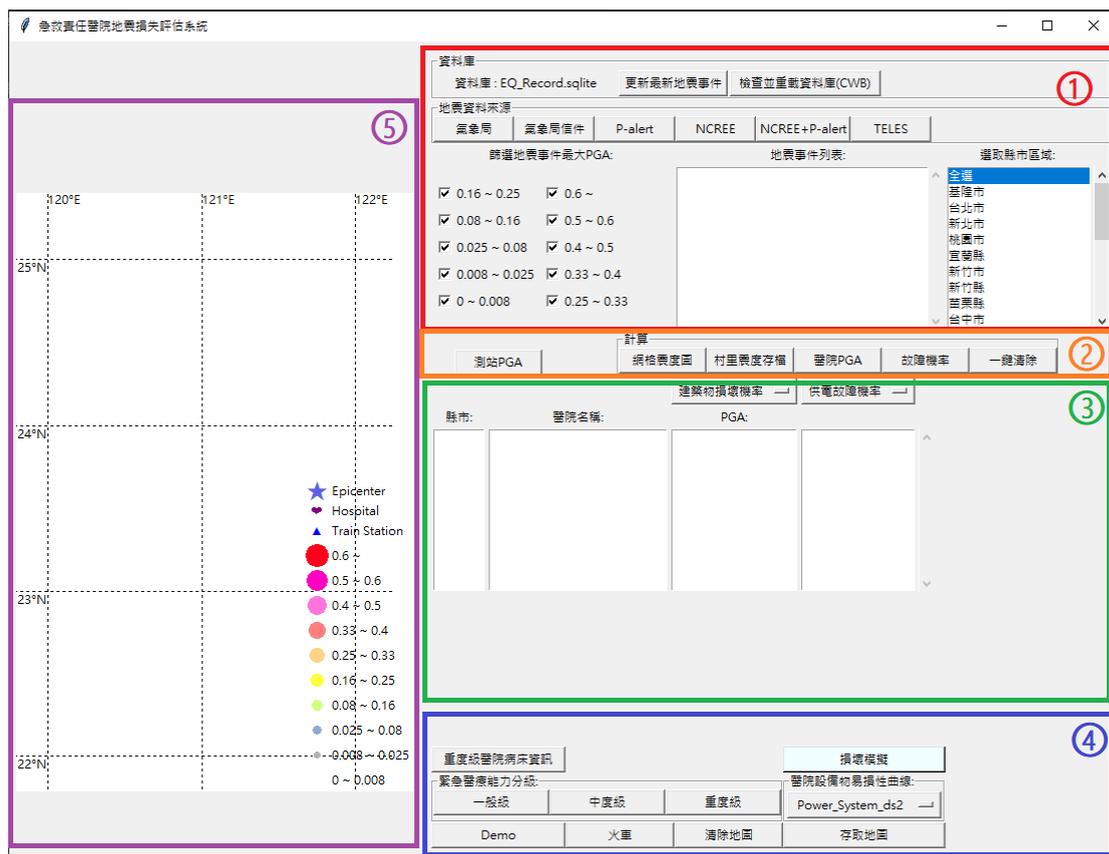


圖 3-1 THospital 使用者介面首頁畫面

3.1 非結構物易損性參數

震後醫院是否能保持醫療功能的重要關鍵之一為非結構物，在建築物

無損的情況下，若非結構物功能損失，即便醫院結構物保持完整也無法提供醫療服務。

醫療功能存在與否除了考慮非結構物本身的損壞之外，由於物件之間存在依賴與連結關係，以系統方式提供醫療功能，因此功能存在與否需考慮整個系統的損壞機率，也就是個別物件的損壞機率以及物件之間的依存關係影響整個系統的損壞機率。因此，探討非結構物損壞時，除了關心個別物件的損壞，也會綜合考量所有物件損壞對系統功能損壞的影響。另外，非結構物存在於結構物之中，結構物的損壞也會對非結構物造成影響。因此，非結構物損壞評估也須考量結構物損壞。

以下將分段介紹非結構物損壞評估方法，包含：個別非結構物件、非結構系統、綜合評估結構物損壞對非結構物損壞影響，並講解本系統於非結構物評估操作方法與結果呈現。

首先，本系統主要評估四類非結構物：緊急供電系統 (Power_System)、手術房 (OR)、實驗室 (LB)、病床 (BED)。除了病床為單一物件外，其餘三類皆由多種設備物組成，非結構物件與設備物列表見表 3-1。

表 3-1 各系統設備物列表

緊急供電系統 Power_System	手術房 OR	實驗室 LB
發電機 Generator	天花板 Ceiling	天花板 Ceiling
蓄電池 Battery_Rack	無影燈 Shadowless_lamp	電腦斷層掃描器 CT_scanner
柴油桶 Tank	麻醉器 Anesthesia_machine	數位 X 光影像系統 DR_system
冷卻水塔 Cooling_Tower	呼吸器 Ventilator	冰箱 Refrigerator
分電盤 Control_Panel	X 光機 CArm_Xray_machine	尿液分析儀 Urine_analyzer
		血液分析儀 Blood_analyzer

與結構物損壞機率評估方式相同，非結構物損壞機率評估採用易損性參數。不同的是，結構物以最大地表加速度（PGA）作為參數；然而，由於非結構物擺設地點可能位於不同樓層，不同樓層的樓板反應會放大 PGA，因此，非結構物易損性曲線以最大樓板加速度（PFA）作為參數。以下將詳述各設備之易損性參數設置參考、醫院各設備之屬性資料來源、最大樓板加數度計算方法。

本系統主要參考林祺皓過去研究(2016; 2017)與 HAZUS 技術手冊(2020)訂定不同耐震等級的非結構物於不同損壞狀態的易損性參數。由於缺乏醫院設備物的耐震易損性研究，無法取得詳細各設備物的參數，因此，除了病床外，本系統採納 HAZUS 技術手冊對「一般加速度敏感型非結構物」訂定的耐震易損性參數，依照放置之建物的類別與非結構物耐震等級，建立緊急供電系統、實驗室、手術房四種損壞狀態的超越機率易損性參數，如表 3-2。表 3-2 為高耐震等級之設備物的易損性參數。根據擺放建物的構造類別（classification），可得到相對應的易損性參數。本系統假設非結構設備的耐震等級與所在之建物的耐震等級相同。

表 3-2 一般加速度敏感型非結構物易損性參數（高耐震等級）

classification	DS	x	beta	type
S1L	ds2	0.450000	0.660000	Acceleration
S1L	ds3	0.900000	0.670000	Acceleration
S1L	ds4	1.800000	0.670000	Acceleration
S1L	ds5	3.600000	0.670000	Acceleration
S1M	ds2	0.450000	0.660000	Acceleration
S1M	ds3	0.900000	0.670000	Acceleration
S1M	ds4	1.800000	0.680000	Acceleration
S1M	ds5	3.600000	0.680000	Acceleration
S1H	ds2	0.450000	0.670000	Acceleration
S1H	ds3	0.900000	0.660000	Acceleration
S1H	ds4	1.800000	0.660000	Acceleration
S1H	ds5	3.600000	0.660000	Acceleration

Zolfaghari and Jahanbakhsh (2012)以 3D 模擬振動台模擬地震發生時，醫院自立 (free standing) 設備滑動、翻覆的狀況，本系統參考該研究成果，取得病床的耐震易損性參數，以該數據做為高耐震等級病床的超越輕度與超越中度損壞參數，從該研究的數據推估，各超越損壞狀態的中值以 2 倍成長，取得超越嚴重與超越完全損壞之參數，並參考 HAZUS 參數於不同耐震等級間的倍數關係，推估出中耐震 ($H*0.84$) 與低耐震等級 ($M*0.79$) 的參數。未來若能從研究中取得更多設備物的耐震易損性參數，將更新本系統的參數資料表，以各設備對應的參數進行評估，而非使用統一類別的參數。

3.2 非結構物放置建築物樓層邏輯

由於非結構物之耐震易損性與其擺放之結構物屬性相關，必須取得各家醫院之非結構物調查表。然而，囿於時間與人力，本系統暫以現有合作醫院之調查資料，按照緊急醫療分級，假設同級之醫院有相匹配之設備配置，設備擺放位置則藉由觀察合作醫院之擺設方式，推測各設備物擺放邏輯，以此建立全台急救責任醫院之目標醫療設備調查表，如表 3-3。本系統目前採用之邏輯如表 3-4 所列，各醫院之建物資訊可由醫院建物屬性資料表取得 (見表 3-5)。

表 3-3 醫院設備物調查表

hospital_id	equip_id	classification	resistance_level	floor	group_id	level	building_id
Demo006	G01	Generator	H	-2	A	0	1
Demo006	G02	Generator	H	-2	B	0	1
Demo006	G03	Generator	H	-2	C	0	1
Demo006	B01	Battery_Rack	H	-2	A	0	1
Demo006	B02	Battery_Rack	H	-2	B	0	1
Demo006	B03	Battery_Rack	H	-2	C	0	1
Demo006	T01	Tank	H	-2	D	0	1
Demo006	CT01	Cooling_Tower	H	10	A	0	1
Demo006	CT02	Cooling_Tower	H	10	B	0	1
Demo006	CT03	Cooling_Tower	H	10	C	0	1

表 3-4 非結構物擺放建物與樓層邏輯

系統	醫院分級	建物	設備物	所處樓層
----	------	----	-----	------

實驗室	不分	樓層數最高之建物且年份較新	全部	1/6 樓層；若少於 6 層樓，則 1 樓
手術房	不分	樓層數最高之建物且年份較新	全部	中間樓層
病床	不分	樓層數最高之建物且年份較新	全部	3/4 樓層
緊急供電	重度級 ¹	樓層數接近 3 且年份較新（若只有一棟，則複製台大的機電大樓建物屬性樓層數，建造年份則與另一棟建物同年）	冷卻水塔	頂樓
			其他	最高樓層
	中度 ²	樓層數最高之建物且年份較新	冷卻水塔	頂樓
			其他	地下 2 樓
	一般 ³	樓層數接近 2 且年份較新	冷卻水塔	頂樓
			蓄電池、發電機、柴油桶	最高樓層
其他	地下 1 樓			

¹ 參考台大醫院 ² 參考聯合醫院中興院區 ³ 參考臺中榮總埔里分院

表 3-5 醫院建物屬性資料表

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

3.3 建築物樓板反應預估

非結構物的耐震易損性地動參數為最大樓板加速度（PFA），地動會隨

著樓層高度而放大，且放大倍率也受建物類別影響，因此評估非結構物的損壞機率時，必須以該樓層的樓地板反應代替醫院場址 PGA。根據美國 FEMA P-58 的技術手冊中，提供由最大地表加速度（PGA）估計建築物樓層的最大樓板加速度（PFA）之回歸經驗式。建築物一樓以下最大樓板加速度等於 PGA，其餘第*i*樓層的平均最大樓板加速度 PFA_i 為：

$$PFA_i = F_i(S, T, H, h_i) \times PGA$$

$$\ln(F_i) = a_0 + a_1 T_1 + a_2 S + a_3 \frac{h_i}{H} + a_4 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 + a_5 \left(\frac{h_i}{H}\right)^3$$

$$S = \frac{S_a(T_1)W}{V_{y1}}$$

其中 $F_i(S, T, H, h_i)$ 為第*i*樓層的加速度修正因子， a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 為與建築物構架型式和總樓層數有關之係數，如表 3-6。 H 為建築物總高度； h_i 為第*i*樓層的高度； S 為強度係數，與建築物第一模態週期之反應譜加速度 $S_a(T_1)$ 、降伏強度 V_{y1} 、和建築物重量 W 有關。

表 3-6 加速度修正因子之參數（適用 2-9 層樓建築）

Frame Type	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Braced	0.66	-0.27	-0.089	0.075	0	0
Moment	0.66	-0.25	-0.080	-0.039	0	0
Wall	0.66	-0.15	-0.084	-0.26	0.57	0

由於本研究中無法取得醫院建築物設計圖說，即無法確切知道建築物的降伏強度，因此初步採用建築物耐震設計規範中基底剪力公式，即假設 V_{y1} 為：

$$V_{y1} = \frac{S_a D I}{1.4 \alpha_y F_u} W$$

因此可以獲得強度係數 S 為：

$$S = \frac{1.4 S_a(T_1) \alpha_y F_u}{S_a D I}$$

至於建築物第一模態週期可根據本研究整理的建築物耐震屬性資料庫

之總樓層資訊，利用估計高度與週期經驗式推算建築物的第一模態周期，不同構造類別的週期經驗式為：

$$\text{鋼構造建築物：} T_1 = 0.085H^{3/4}$$

$$\text{鋼筋混凝土建築物：} T_1 = 0.070H^{3/4}$$

$$\text{其他建築物：} T_1 = 0.050H^{3/4}$$

根據上述 FEMA P-58 簡易模型、標準型結構反應譜與本研究整理之建築物資訊，可推算醫院場址下之各樓層的加速度修正因子 F_i ，故可進一步計算各功能性設備與構件所處樓層之最大樓板加速度。

3.4 小結

THospital 結合醫院場址 PGA、建築物樓板反應預估、以及非結構物樓層位置與易損性參數，即可推估地震事件下各醫院非結構物的損壞機率。表 3-7、表 3-8 和表 3-9 為 111 年針對新城斷層發生地震規模 6.9 想定地震事件下之急救責任醫院震損評估結果。

表 3-7 醫院建築物損害推估

縣市	急救責任醫院總數	無損害醫院數	輕微損害醫院數	中度損害醫院數	嚴重損害醫院數
新竹市	5	0	5	0	0
新竹縣	6	1	3	1	1
苗栗縣	6	2	3	1	0

表 3-8 醫院建築物損害推估

縣市	醫療功能類別	低風險醫院數	中風險醫院數	高風險醫院數
新竹市	檢查室	1	4	0
	手術室	0	5	0

新竹縣	檢查室	2	4	0
	手術室	1	3	2
苗栗縣	檢查室	4	2	0
	手術室	3	3	0

表 3-9 醫院病床供需推估

縣市	總床數	未損床數	¹ 占床數	² 可用床數	³ 需求床數	可用床數滿足需求床數
新竹縣	1,170	917	561	351	137	是
新竹市	1,604	1,485	1,094	391	116	是
苗栗縣	1,570	1,444	1,189	255	98	是
桃園市	6,347	6,271	4,758	1,513	51	是
新北市	7,518	7,469	5,311	2,158	21	是
臺北市	12,376	12,285	9,614	2,671	27	是

1. 占床率參考衛福部醫院公開資訊

2. 可用床數 = 未損床數 - 占床數

3. 地震導致傷患所需病床數：19.2%的急診傷患有住院需求（參考衛福部病床調查資料）

肆、都會區災害救援路網 QGIS 嵌入式套件開發

4.1 背景說明

救援路網為災前整備與災後救援重要之環節，都會區災害救援路網 QGIS 嵌入式套件開發，主要為建立一個標準資料模型與軟體工具，以協助推廣救援道路規劃之研究成果。本子計畫的目標為可應用於台灣六大都區的救援道路規劃軟體工具。本軟體整合救援道路規劃理論、防災需求與 GIS 軟體介面。本軟體套件的主要利用 Python 程式語言進行撰寫，利用 PyQt 套件來為使用者設計圖形使用者介面(GUI)，並透過 QGIS 提供的 Python 應用程式介面(API)來進行和 QGIS 的互動。目前版本管理以及發佈是利用 Git/GitHub 進行。本章以(4.2)軟體架構設計與(4.3)應用實例兩部分進行概要說明。本章內容主要摘錄自楊承道等人技術手冊 [18]，部分摘錄自楊承道等人國科會專題研究計畫內容[19]。

4.2 軟體架構設計

本 QGIS 的嵌入式套件命名為 ROSA，在從 QGIS 載入本嵌入式套件時，會創建一個實體(instance)，並且將介面內嵌入 QGIS 的工具列中，如圖 4-1。ROSA 的開發整合包括 QGIS、SpatiaLite、PyQt 等開放軟體套件。在 ROSA 各個功能以 globalvar 物件做為橋樑，讓儲存在其中的變數可以不僅在嵌入式套件中存取，亦可透過 QGIS 內的 Python console 進行存取，方便程式開發者進行協作。點擊各個按鈕會執行的功能由 PyQt 的 Signal 進行連接，各式功能對應的介面(如 Dock、Dialog)則會在開啟功能後生成 QWidget 的實例，並將該功能中所需進行的所有操作交由該 QWidget 控制。在實際使用時，使用者可以從最上方工具列 Plugins>ROSA 開啟，或是透過工具列中的各個圖示開啟使用 ROSA 的功能，軟體主要完成之功能請參考表 4-1。

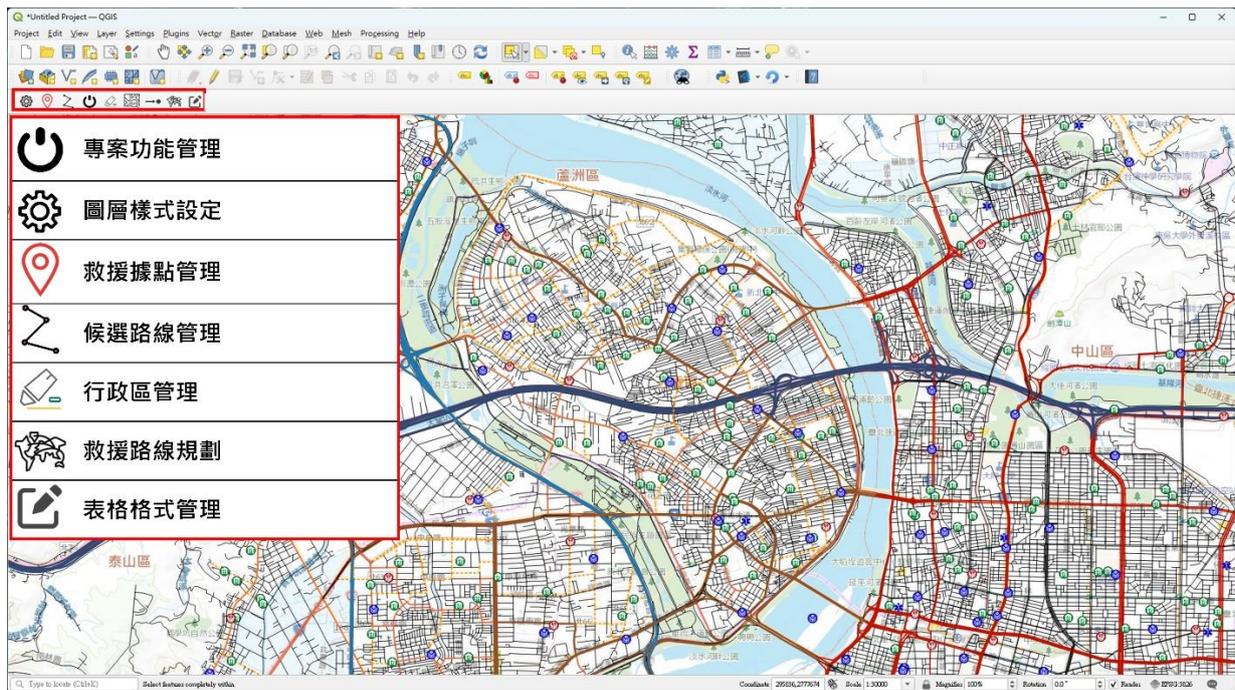


圖 4-1 ROSA 介面

4.3 應用實例-新城斷層想定地震

ROSA 除救援道路規劃的功能外，配合國科會專題計畫[19]，與朱易昌等人所發展的想定地震境況下道路阻斷分析模式[20][42-44]，衍生發展出”想定地震境況下高風險街廓與救援路線識別軟體原型”。本節內容簡要摘錄[19]。本系列相關軟體與模式發展之初是以大台北為研究區域，但亦應用於其他研究區域。本節即以新城斷層為應用案例，所採用新城斷層 2022 大規模想定地震的震源參數細節請參考第六章。一般建物於想定地震下的震損評估結果，損壞房屋主要分布於新城斷層南部的新竹縣地區，部分街廓內預期有 4 棟以上建築物倒塌，而倒塌建物可能對於鄰近道路造成阻斷風險，請參考圖 4-2。

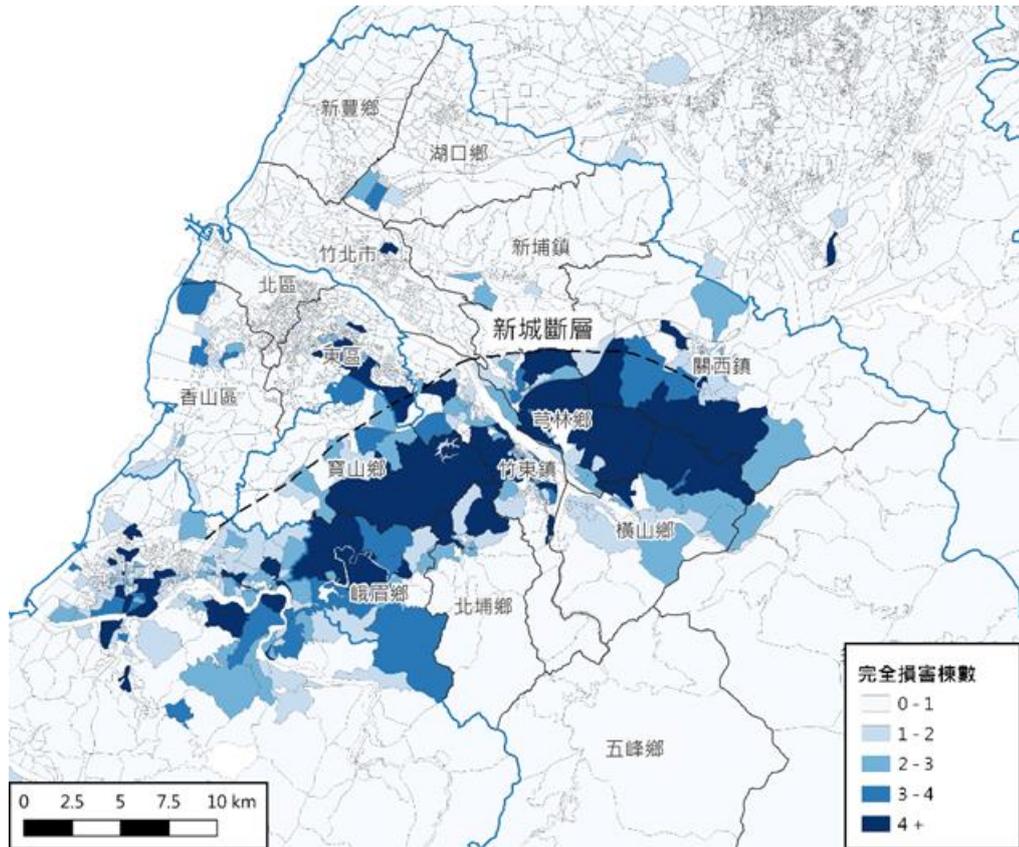


圖 4-2 想定地震下街廓內建築物完全損壞棟數

在新城斷層想定地震境況下，本實例以 ROSA 進行主要道路篩選與規劃，接著再以”想定地震境況下高風險街廓與救援路線識別軟體原型”，進行主要道路的地震阻斷風險分析。在此想定地震境況下，由於新竹縣寶山鄉、竹東鎮、芎林鄉等行政區較鄰近斷層，受震損建物影響路段主要集中在該區域，可能造成地震過後交通呈現阻斷狀態。圖 4-3 標示高風險路段，可能引致服務水準降低或中斷服務。其中，標示黃色路段代表此路段受阻段寬度大於 1 公尺，導致其服務水準下降，經過此路段時須減速慢行；標示紅色部分路段表示此路段至少有一個以上車道無法使用，嚴重影響其服務效能。建議事先針對高風險路段規劃替代道路，於大規模地震發生時才能維持道路互相支援及聯外等功能。

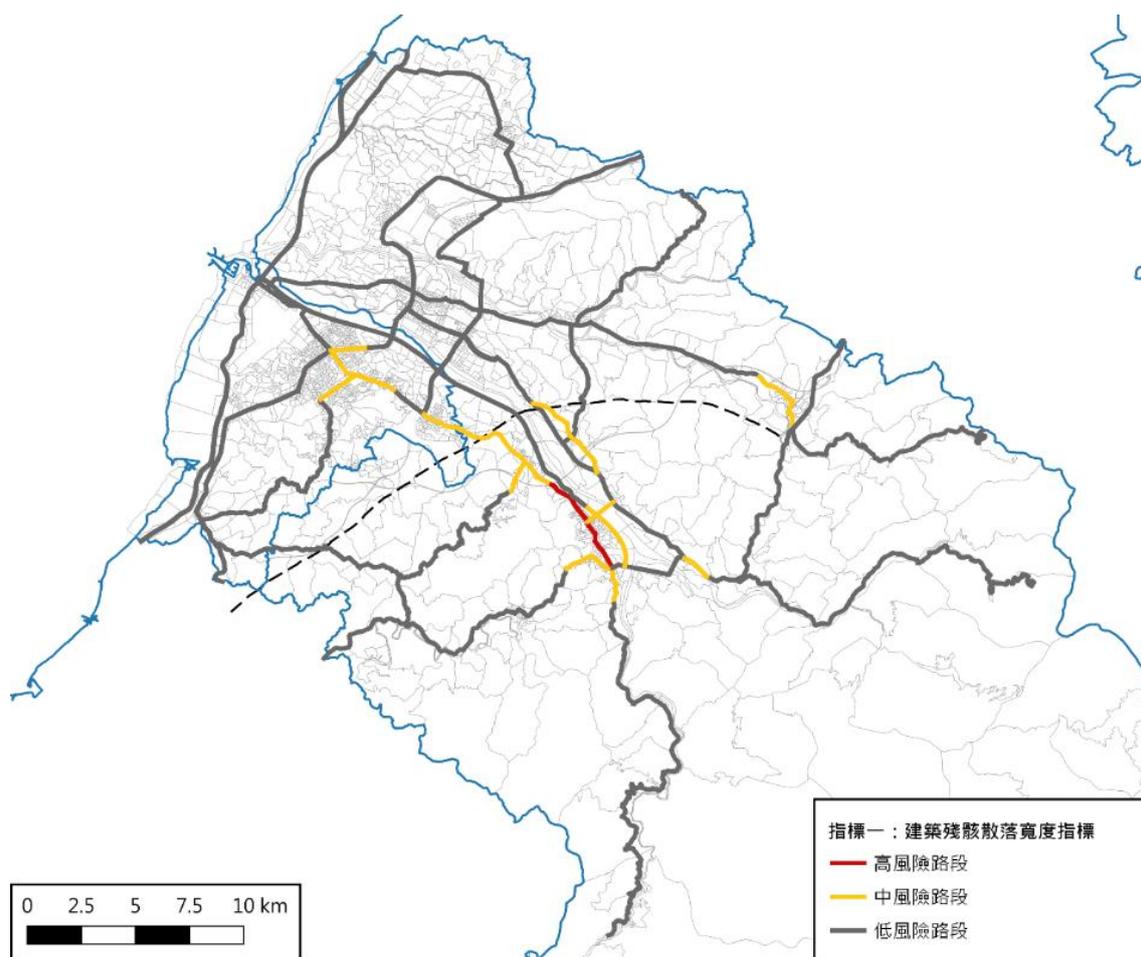


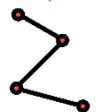
圖 4-3 新竹縣市道路阻斷風險指標分析結果

4.4 結論與後續發展

本年度(111年)ROSA之開發過程，利用雙北的基礎資料為實例，建立適用救援路網規劃的關聯式資料庫模型，並已完成台北市與新北市的市管橋梁、建物、人口分布、關鍵救援據點等重要救援資料之彙整，本資料庫除有利於後續發展救援路網規劃套件以外，亦可直接提供給地方政府、研究單位或者工程單位，進行災害防救等課題之加值應用。而軟體介面之實作，已利用Python程式語言，實作QGIS的嵌入式套件(Plugin)，以實現理論模型、防災需求與使用者介面之整合。目前本軟體處於原型程式階段，現在完成的功能包含：圖層樣式設定、救援據點管理、候選路線管理、專案功能管理、行政區管理、替代道路規劃、據點與道路連結、救援路線規劃與道路地震阻斷風險分析等功能，請參考表4-1所列說明。

後續，第二年(112 年)之工作重點主要為推廣應用與軟體工具優化，擬以既有救援路網規劃研究成果為案例，針對使用者（台北市消防局、新北市消防局）回饋之應用需求，提供整合 GIS 地圖的街廓地震風險識別地圖、救援路網規劃工具、街道改善影響評估等主題應用功能，進行在地化的研發應用。

表 4-1 ROSA 功能總表

圖示	功能	說明
	專案功能管理	關閉 ROSA 所有正在執行的功能。
	圖層樣式設定	設定需要用到的圖層檔案並集中儲存管理。
	救援據點管理	對避難處所、消防單位等興趣點(POI)瀏覽、選取與編輯。
	候選路線管理	設定路網等級等資訊。
	行政區管理	對於顯示結果中，希望凸顯的行政區外的區域設定遮罩。
	替代道路規劃	對計算結果的編輯與設定。
	救援路線規劃	計算滿足救援需求的最小成本網路。
	表格格式管理	檢查輸入資料表的格式是否符合標準。

伍、地震損失評估線上服務之研發

5.1 前言

「近年來由於防災意識抬頭，舉凡政府防救災單位、協力機構、學術單位等，對震損評估技術之需求與日俱增，雖然 TELES 為免費提供使用之軟體，然軟體執行時所需之機敏資料，一般使用者不易取得；且由於 TELES 採用商用 GIS 軟體作為地圖空間運算與評估結果展示之平台，故使用者須購買 GIS 軟體方能運行 TELES。由於上述問題增加了使用門檻與限制，故本研究期望以 TELES 為核心，建立地震損失評估線上服務(TELES Online)，透過資訊網與網路地理資訊系統之輔助，除免除機敏資料外流之風險與 GIS 軟體取得之負擔，更有利於防救災作業之應用及震損評估技術之推廣。

5.2 地震損失評估線上服務運算架構

資訊網為多人操作之使用者介面，有別於單機版應用程式，在開發過程中須考量運算效能及多人操作環境等問題。在運算效能部分，由於進行震損評估之計算，依據震源參數之不同，其運算時間至少需超過三分鐘，此運算時間較難設計為即時運算服務，故應考量採用非同步架構。而在多人操作環境部分，線上網頁架構必須能同時受理多人運算請求，且彼此間不互相干擾與影響。

此外，TELES 為單機版 Windows 應用程式，本身並無應用程式介面(API)或函示庫供軟體開發整合之用，且額外開發 API 介面或函示庫所需之軟體修改幅度及人力需求亦非易事。故本研究目標以有限度的修改 TELES 軟體，將 TELES 修改為運算服務(如圖 5-1 之 TELES 運算伺服器所示)，常駐於作業系統中等待運算事件指派，並以 IO(檔案)方式進行溝通。其次，考量網路多人請求環境之架構，本研究將 TELES 修改為分散式架構，可於多個伺服器執行多個實例(Instance)，以便適時擴充運算實例滿足多人請求。

參考系統運算架構圖系統運算架構圖，本研究於資訊網中設計自訂震源參數介面(A)供使用者輸入與設定想定地震事件，而後此運算請求將會儲

存於資訊網中之運算佇列(B)。圖中之任務指派代理人將依序自運算佇列中取出運算請求，並傳送至 TELES 運算伺服器進行震損評估計算(C)。俟計算完成後，任務指派代理人將自動自 TELES 運算伺服器取得震損評估結果(D)，而後將評估結果匯入資料庫(E)，以便資訊網得以查詢評估結果。另匯入資料庫成功後，任務指派代理人同時發送 Email 通知(F)使用者，使用者於收到 Email 後即可上線查看震損評估結果。

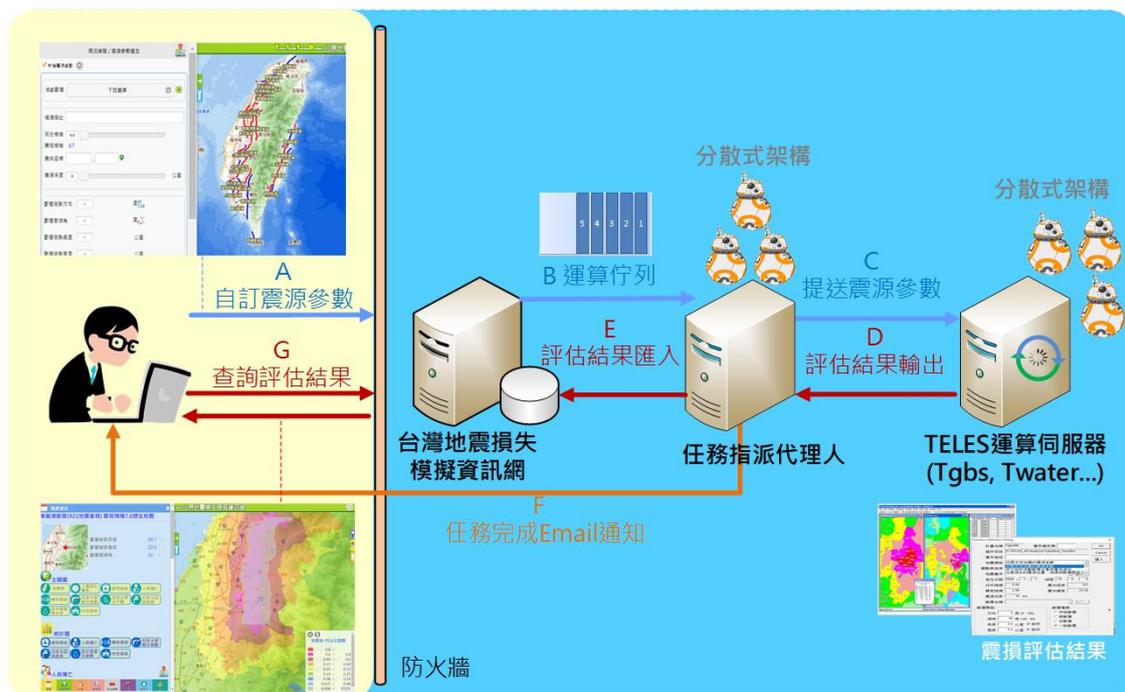


圖 5-1 系統運算架構圖

此運算架構中之流程掌控核心為任務指派代理人，而為滿足多人請求，除前述 TELES 修改為分散式架構之運算服務外，任務指派代理人亦須開發為分散式架構，以同時運行數個實例。其次，任務指派代理人彼此間不互相干擾，亦即每一個運算請求會由單一任務指派代理人完成所有程序，避免不同任務指派代理人間相互干擾或造成死結狀態。此外，由於運算過程中有多個中斷點或等待點，故任務指派代理人須具備接續或故障轉移之能力，確保每一個運算請求得以順利接續並完成作業。

任務指派代理人主要依靠運算佇列(圖 5-1-B)來執行上述流程之執行。參考圖 5-2 運算佇列圖，每一筆新增之運算請求依順序進入運算佇列中進

行等待，依據「佇列」先進先出之原則，閒置之任務指派代理人將自運算佇列中依排隊順序安排運算請求進入運算流程，並全程服務該運算請求之運算流程。運算請求中包含若干資訊，如震源參數(活動斷層、規模、深度、震央位置、斷層方向角、斷層傾角、斷層種類、斷層破裂長度、斷層破裂寬度)、受理之任務指派代理人編號、運算請求者、運算狀態(如運行階段、錯誤訊息等)、運算時間紀錄(運算受理時間、計算時間、運算完成通知時間等)。

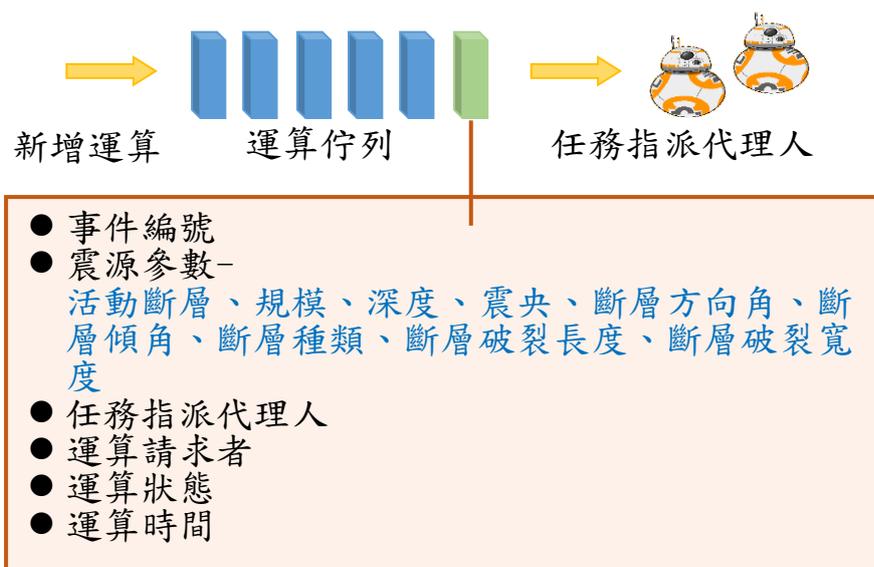


圖 5-2 運算佇列圖

5.3 震源參數設定介面

震源參數設定介面部分，TELES 軟體可提供使用者進行極具彈性之震源參數設定，然考量若使用者本身較無具備地震工程之背景知識，誤輸入或過於放大參數，恐將使震損評估結果不具參考性。例如設定雙連坡斷層發生規模 8.0 地震，或設定山腳斷層為逆斷層等錯誤或不當輸入。故為確保震源參數之合理性，震源參數設定介面宜考量參數之檢驗，或提供合理數值供使用者直接選取。

參考圖震源參數設定介面，震源參數之設定採用活動斷層破裂模式，使用者可下拉選擇破裂之活動斷層，或於右下方地圖中點選活動斷層圖形。而後，使用者可設定地震規模(芮氏規模)，考量小規模地震引致之災損數量不顯著，目前僅提供芮氏規模 6.0 以上之規模設定。資訊網並依使用者設定

之規模，自動計算其對應之震矩規模供使用者參考。

震央位置設定部分，使用者可直接於地圖上點選震央位置進行設定。由於想定地震事件主要以活動斷層破裂進行計算，故此處震央位置主要用於判斷斷層破裂區域。另震源深度部分則提供使用者調整 20 公里以內之深度範圍。

活動斷層參數部分，其中方向角、傾角與斷層種類(正、逆、平移斷層等)主要由系統依據活動斷層之屬性自動輸入，使用者無需變更。而破裂長度與破裂寬度則參考 Donald L. Wells 與 Kevin J. Coppersmith 之經驗式如式(1)^[1]，依據地震規模自動計算其破裂長度與寬度，使用者亦無需變更。

$$\log L = a + bM \quad (1)$$

地震損失評估線上服務採用非同步運算架構，故使用者完成震源參數設定後，資訊網並非立即計算出評估結果，而是將此震損評估任務放入運算佇列(如圖 5-1-B)中等待運算派送。故當送出運算後，即可從介面中查看佇列排序，了解等候情形，並等待計算完成後所發送之通知郵件，而後即可登入資訊網中查詢震損評估結果。

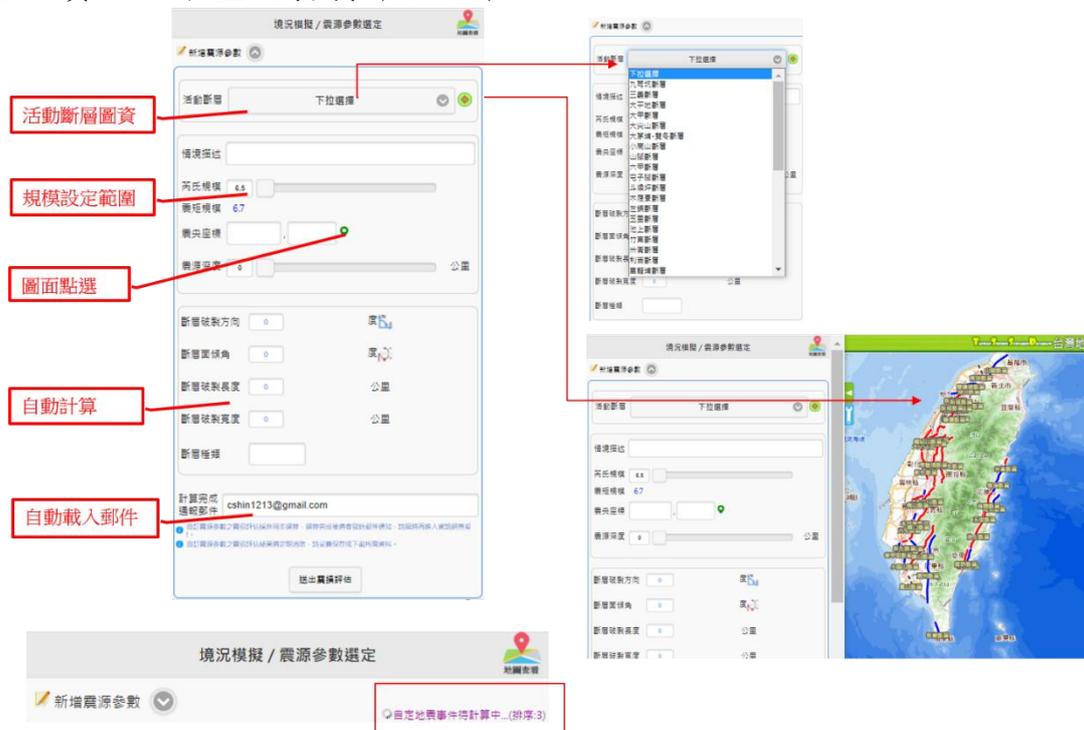


圖 5-3 震源參數設定介面圖

5.4 TELES 評估結果自動匯入機制

TELES 為採用 Mapinfo 軟體所開發建置之軟體，參數之輸入與震損評估結果之輸出皆為地理資訊系統檔案(格式為 Tab)。TELES 針對每一種評估結果(例如以鄉鎮區界統計之人員重傷與死亡評估結果)以一組 Tab 檔案代表，每一想定地震事件之震損評估結果包含約數十組之 Tab 檔案。

故為便於將震損評估結果於資訊網中提供使用者查詢，本研究開發 TELES 評估結果自動匯入功能(如圖 5-1-E)。任務指派代理人於取得 TELES 所運算之震損評估結果(如圖 5-1-D)，即將評估結果批次匯入空間資料庫中，其處理流程如下^[2]：

1. 檔案格式轉換：將 Tab 檔案格式轉換為 MapInfo MIF 檔案格式。
2. 主索引值之建立：編輯 MIF 檔案格式，建立想定地震事件之主索引值 (Primary Key)。
3. 匯入資料庫：將每一組震損評估結果(Tab)依序匯入資料庫中，相同類型之震損評估結果(如地震災害潛勢表)匯入相同資料表中。

5.5 震損評估結果查詢

地震損失評估線上服務之震損評估結果查詢畫面如圖 5-4、圖 5-5 所示，想定地震事件列表包含使用者所有曾送出運算之地震事件，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，而後點選該想定地震事件查詢震損評估結果。

目前評估結果包含摘要、災害潛勢評估、建築物損害評估，人員傷亡評估、救災避難需求等項目，如圖 5-6 建築物損害之震損評估查詢介面、圖 5-7 人員傷亡之震損評估查詢介面。使用者可透過導覽選單進行主題切換(如圖 5-7 左下方之彩色按鈕)。

境況模擬 / 震源參數選定

新增地震損失評估事件

自訂地震損失評估事件

- 池上斷層 NEW
- 玉里斷層
- 大尖山斷層
- 九芎坑斷層
- 大甲斷層
- 潮州斷層
- 鹿野斷層
- 大平地斷層
- 木寮寮斷層
- 竹東斷層
- 米崙斷層
- 左鎮斷層
- 山腳斷層
- 嶺頂斷層

米崙斷層

左鎮斷層

山腳斷層

芮氏規模6.5 事件-S00074(山腳斷層)

芮氏規模	6.5	(芮氏)
震源深度	10	(公里)
斷層破裂長度	22	(公里)
斷層破裂寬度	19	(公里)
斷層面傾角	62	(度)
斷層破裂方向	30	(北偏東)

芮氏規模6.8 事件-S00073(山腳斷層)

芮氏規模	6.8	(芮氏)
震源深度	10	(公里)
斷層破裂長度	35	(公里)
斷層破裂寬度	26	(公里)
斷層面傾角	62	(度)
斷層破裂方向	30	(北偏東)

芮氏規模6.7 事件-S00066(山腳斷層)

芮氏規模	6.7	(芮氏)
震源深度	1	(公里)
斷層破裂長度	31	(公里)
斷層破裂寬度	24	(公里)
斷層面傾角	62	(度)
斷層破裂方向	30	(北偏東)

芮氏規模6.5 事件-S00065(山腳斷層)

芮氏規模	6.5	(芮氏)
------	-----	------

圖 5-4 想定地震事件查詢列表

摘要資訊

大甲斷層 芮氏規模6.4自訂地震

震源深度	4(公里)
斷層破裂長度	17.2 公里
斷層破裂寬度	11.5 公里
斷層面傾角	30 度
斷層破裂方向	20(北偏東)

主題圖

地震動 土壤液化機率 建物損害 人員傷亡

統計圖

建物損害 人員傷亡

人員傷亡

日間重傷	481(人)	日間死亡	348(人)
夜間重傷	469(人)	夜間死亡	339(人)
假日或通勤時重傷	435(人)	假日或通勤時死亡	314(人)

建築物

摘要 災情演變 人員 建築物 救災避難

臺灣地震損失模擬資訊網

苗栗縣 臺中市

地震動-PGA主題圖

0.8 ~
0.6 ~ 0.8
0.44 ~ 0.6
0.33 ~ 0.44
0.25 ~ 0.33
0.14 ~ 0.25
0.08 ~ 0.14
0.025 ~ 0.08
0.008 ~ 0.025
0 ~ 0.008

圖 5-5 震損評估摘要

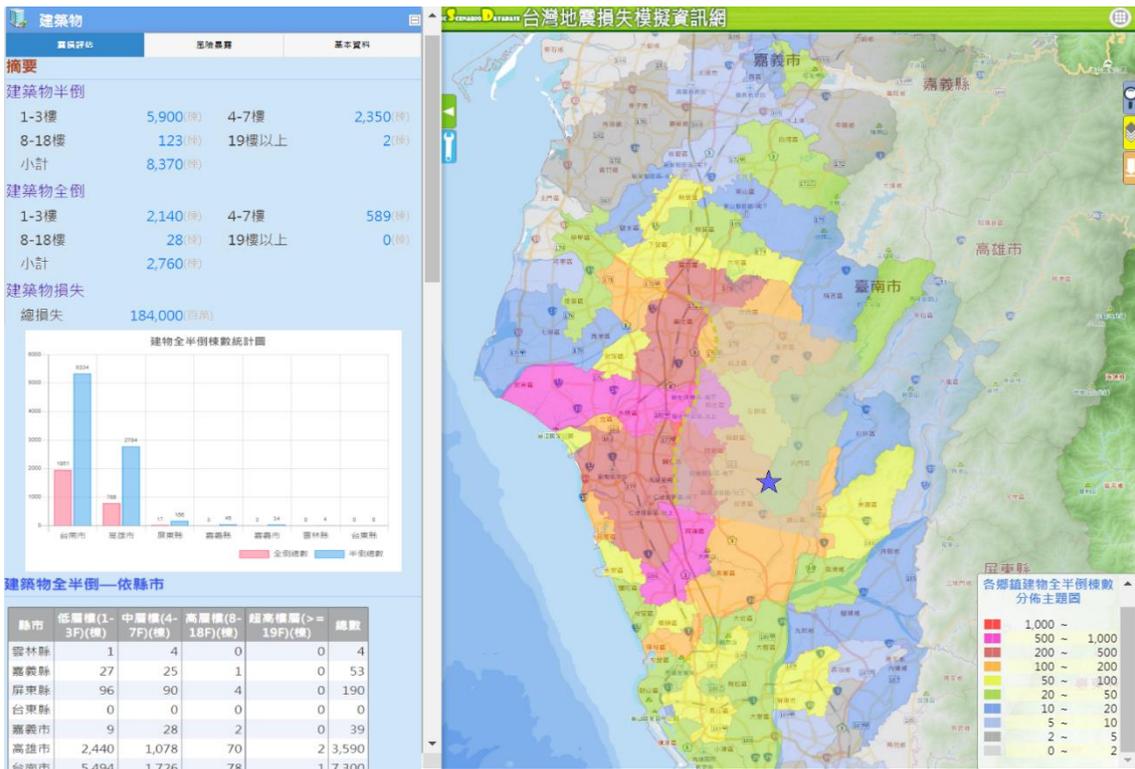


圖 5-6 建築物損害震損評估介面

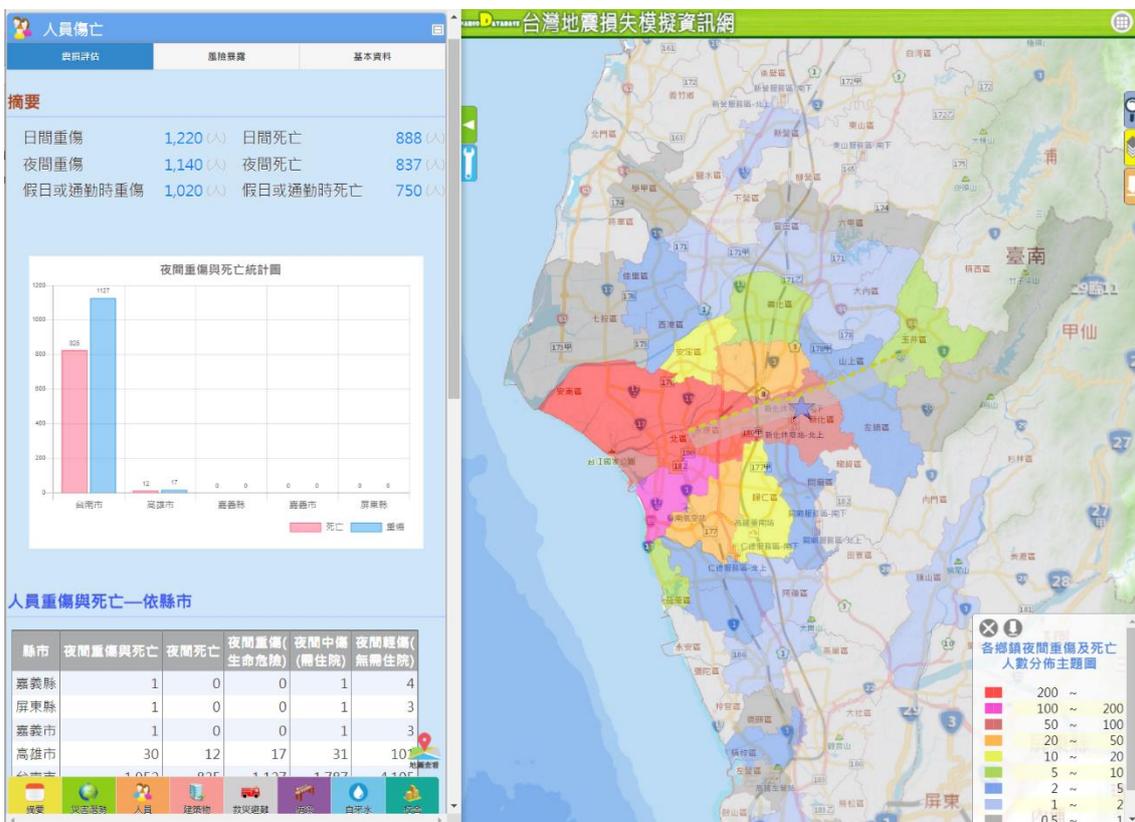


圖 5-7 人員傷亡震損評估介面

每一項震損評估主題包含四大項目:損失主題地圖、損失摘要、數量統計圖、評估數據等。其中損失主題地圖主要顯示該主題之重要之損失分布圖，例如災害潛勢顯示 PGA 地震動主題圖、建築物損害主題顯示建築物全半倒棟數分布主題圖，人員傷亡主題顯示重傷與死亡人數分布主題圖等。

損失摘要為提供各主題之評估概要，例如建築物損害顯示低、中、高及超高樓層之全、半倒建築物數量。人員傷亡則依日間、夜間、假日或通勤時段等不同時段之重傷、死亡推估數量。

數量統計圖係以柱狀統計圖方式，顯示各行政區之損失數量。而評估數據則以表格之方式顯示完整評估數據，此亦為震損評估結果之完整數據，使用者可進行數據表格之下載、排序、顯示欄位設定、搜尋等，或選擇評估欄位，繪製專屬之主題地圖或統計圖，如圖 5-8。



圖 5-8 人員重傷與死亡評估數量與統計圖

5.6 結論及後續發展

921 地震所造成的傷亡及損失為民眾記憶中無法抹滅的傷痕，國震中心亦耗時二十餘年的時間發展與精進震損評估技術，研發 TELES 軟體，期望藉由此軟體的輔助，做好震前防災預防整備作業，加快震後救災應變效能，降低大地震所造成之衝擊。TELES 為國內重要之震損評估軟體，歷經多年之發展與真實地震之驗證，已趨成熟與可靠。且為協助震前防災作業，

亦以 TELES 為核心，建置「台灣地震損失模擬資訊網」，提供六大都會區進行想定地震事件模擬功能，協助政府進行防災演練與整備。

本研究延伸此研發基礎，發展地震損失評估線上服務，期望能將 TELES 軟體由單機版軟體變為易於民眾使用之線上資訊服務。結合 TELES 成熟之震損評估技術，網頁及網路地理資訊系統等資訊技術之跨平台、跨空間、多人操作及多元整合等特性，期望促進震損評估技術之推廣與應用，進而輔助震前防災、震後應變及學術研究。

地震損失評估線上服務目前之開發建置已趨完成，並於 2022 年底上線服務。上線服務僅為此服務之起點，本研究未來將持續朝震損評估項目之擴充、3D Web GIS 平台輔助、圖資蒐集、分析輔助工具之研發、跨單位與政府開放資源之整合等方向發展。其中震損評估項目之擴充部分，除現有災害潛勢、建築物損害、人員傷亡、救災避難需求外，可再擴充橋梁、自來水系統、醫院、救援道路等損害與損失評估。而 3D Web GIS 平台輔助部分，近年來由於國發會與內政部國土測繪中心建置之三維建築物與道路模型已日漸完整，且 3D Web GIS 資訊技術之發展亦趨成熟，妥善運用 3D Web GIS 之輔助將能帶來多維度與多元輔助訊息。

陸、桃竹苗大規模地震災損推估

6.1 震源情境模型

中央災害防救會報於 106 年 5 月 11 日第 36 次會議決定，啟動「震源情境模擬」、「災損推估」及「因應對策」等小組，共同進行大規模地震情境模擬與對策擬定。由國立中央大學馬國鳳教授帶領的「震源情境模擬」小組完成地動模擬，國震中心配合該小組的地動模擬結果，利用台灣地震損失評估系統(TELES)完成「災損推估」工作，將結果提供因應對策小組作為後續研擬因應對策的參考。106 年至 107 年針對「山腳斷層南段錯動」的大規模地震模擬分析大台北都會區可能的災害情境，108 年完成台灣周遭隱沒帶震源引致大規模地震，對大台北都會區之衝擊情境模擬。109 年則探討「中洲構造引致大規模地震」對南部地區之衝擊。110 年探討琉球海溝引致大規模地震對東部地區之影響。111 年則探討桃竹苗地區新城斷層引致大規模地震之衝擊。震源情境模擬小組研擬之震源參數，如表 6-1 和圖 6-1 所示。據此，建築物、鐵公路橋梁、自來水系統和各種重要設施等之災損推估結果將於本章各節說明。

表 6-1 新城斷層引致大規模地震之震源參數

參數名稱	參數值
地震矩規模(M_w)	6.9
地震矩(Nt-m)	2.19×10^{19}
斷層尺度(km)	長:28.5；寬:25.71
斷層面積(km^2)	732

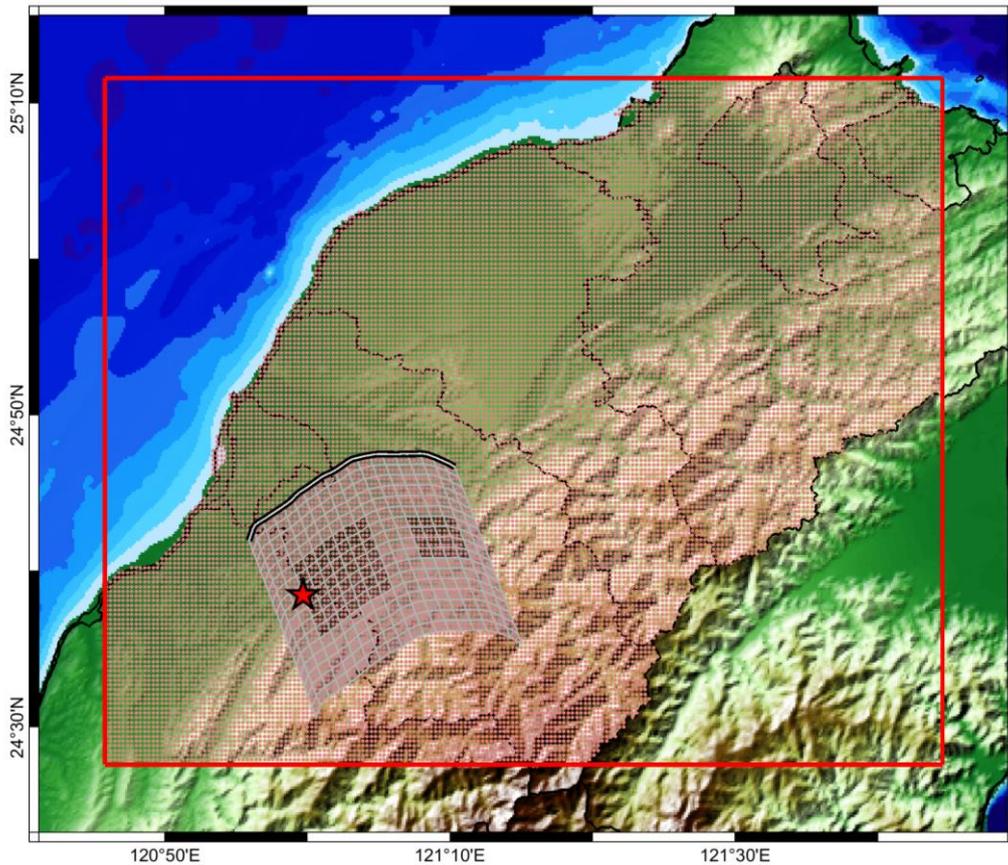


圖 6-1 新城斷層震源情境模型

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。詳細評估模式可參考葉錦勳(2003 年)相關研究報告。

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 為桃竹苗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 6-2 為桃竹苗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新竹縣竹東鎮(1328 棟)、苗栗縣頭份鎮(1297 棟)和苗栗縣竹南鎮(896 棟)。

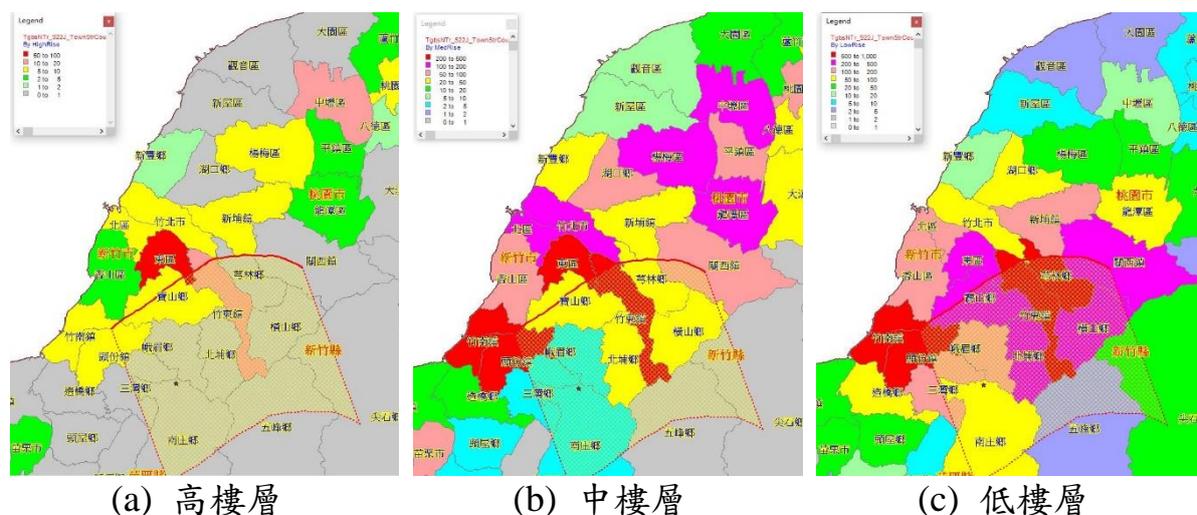


圖 6-2 桃竹苗全半倒棟數分布

表 6-2 桃竹苗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
新竹縣	竹東鎮	962	347	19	0	1,328
	芎林鄉	534	47	0	0	581
	關西鎮	438	71	1	0	510
	橫山鄉	345	30	0	0	375
	寶山鄉	249	48	7	0	304
	北埔鄉	210	21	0	0	231
	竹北市	93	117	10	2	222
	峨眉鄉	191	4	0	0	195
	新埔鎮	105	37	8	0	150
	湖口鄉	56	62	1	0	119
	新豐鄉	17	27	2	0	46
尖石鄉	21	1	0	0	22	
新竹	東區	221	491	54	1	768

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
市	北區	112	191	7	0	310
	香山區	163	96	4	0	263
苗栗縣	頭份鎮	989	301	7	0	1,297
	竹南鎮	629	260	7	0	896
	三灣鄉	173	5	0	0	178
	苗栗市	47	73	3	0	123
	南庄鄉	74	2	0	0	76
	造橋鄉	56	14	0	0	70
	後龍鎮	41	15	0	0	56
	頭屋鄉	22	4	0	0	26
	公館鄉	11	3	0	0	14
	獅潭鄉	9	1	0	0	10
	通霄鎮	4	4	0	0	8
	銅鑼鄉	4	3	0	0	7
	苑裡鎮	3	4	0	0	7
	大湖鄉	2	2	0	0	4
	西湖鄉	2	2	0	0	4
	三義鄉	1	1	0	0	2
	泰安鄉	1	1	0	0	2
	卓蘭鎮	0	1	0	0	1
	桃園市	龍潭區	71	184	4	0
楊梅區		48	111	6	0	165
中壢區		19	117	14	0	150
平鎮區		23	74	5	0	103
桃園區		7	58	9	0	74
大溪區		24	36	1	0	61
龜山區		9	40	4	0	53
八德區		7	32	1	0	40
蘆竹區		7	16	3	0	26
大園區		5	17	0	0	22
新屋區		6	9	0	0	15
觀音區		5	9	0	0	14
復興區	2	1	0	0	3	

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 6-3 為桃竹苗日間、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 6-3~

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)
新竹縣	竹東鎮	385	169	107	78	185
	關西鎮	123	52	33	24	57
	芎林鄉	95	43	27	20	47
	竹北市	119	43	26	19	45
	橫山鄉	71	32	20	15	35
	寶山鄉	55	24	15	11	26
	新埔鎮	49	19	12	9	21
	北埔鄉	42	18	11	8	19
	峨眉鄉	32	15	9	7	16
	湖口鄉	34	11	7	5	12
	新豐鄉	17	6	3	2	5
尖石鄉	4	2	1	1	2	
新竹市	東區	344	137	86	62	146
	北區	164	67	42	31	73
	香山區	95	40	25	18	43
苗栗縣	頭份鎮	381	166	104	77	181
	竹南鎮	271	122	77	57	134
	苗栗市	51	19	11	8	19

桃園市	三灣鄉	30	14	9	6	15
	造橋鄉	18	7	4	3	7
	後龍鎮	17	6	4	3	7
	南庄鄉	13	5	3	2	5
	頭屋鄉	7	3	2	1	3
	龍潭區	141	53	32	23	55
	中壢區	93	30	18	13	31
	楊梅區	79	27	16	12	28
	桃園區	61	19	11	7	18
	平鎮區	56	18	10	8	18
大溪區	27	9	5	4	9	
龜山區	27	8	5	3	8	
八德區	22	7	4	3	7	
蘆竹區	15	4	3	2	5	
大園區	7	2	1	1	2	

表 6-5 為桃竹苗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新竹市東區、新竹縣竹東鎮和苗栗縣竹南鎮等。

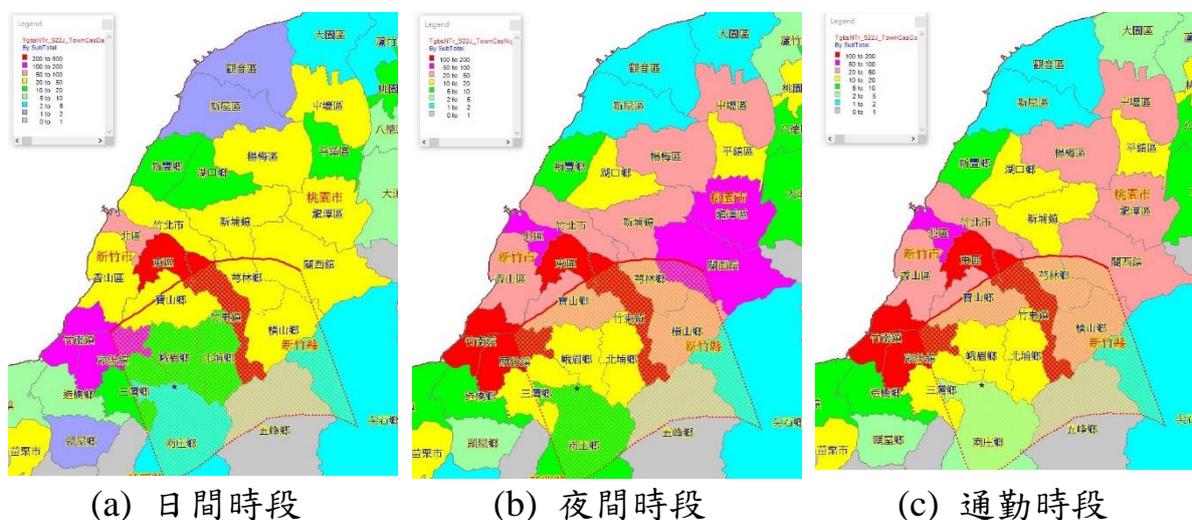


圖 6-3 桃竹苗人員傷亡數量分布

表 6-3 桃竹苗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)
新竹縣	竹東鎮	427	194	124	91	215
	芎林鄉	96	44	28	21	49
	關西鎮	101	43	27	20	47
	竹北市	103	38	23	17	40

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)
	寶山鄉	69	29	18	13	31
	橫山鄉	48	21	13	10	23
	新埔鎮	48	19	12	9	21
	湖口鄉	45	15	9	7	16
	北埔鄉	24	10	6	5	11
	新豐鄉	28	10	6	4	10
	峨眉鄉	20	9	6	4	10
	尖石鄉	10	4	3	2	5
新竹市	東區	654	269	170	122	292
	北區	122	50	32	23	55
	香山區	103	43	27	19	46
苗栗縣	竹南鎮	304	137	86	64	150
	頭份鎮	307	136	86	63	149
	苗栗市	61	23	14	10	24
	三灣鄉	23	10	6	5	11
	造橋鄉	19	8	5	3	8
	後龍鎮	18	7	4	3	7
	南庄鄉	11	5	3	2	5
	頭屋鄉	4	2	1	1	2
桃園市	中壢區	138	48	29	21	50
	龍潭區	101	37	22	16	38
	楊梅區	71	25	15	11	26
	平鎮區	43	14	8	6	14
	桃園區	46	14	8	6	14
	龜山區	42	13	8	5	13
	大溪區	21	7	4	3	7
	八德區	17	5	3	2	5
	蘆竹區	17	5	3	2	5
	大園區	12	3	2	1	3
	觀音區	7	2	1	1	2
新屋區	6	2	1	1	2	

表 6-4 桃竹苗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)
新竹縣	竹東鎮	385	169	107	78	185
	關西鎮	123	52	33	24	57
	芎林鄉	95	43	27	20	47
	竹北市	119	43	26	19	45
	橫山鄉	71	32	20	15	35
	寶山鄉	55	24	15	11	26

	新埔鎮	49	19	12	9	21
	北埔鄉	42	18	11	8	19
	峨眉鄉	32	15	9	7	16
	湖口鄉	34	11	7	5	12
	新豐鄉	17	6	3	2	5
	尖石鄉	4	2	1	1	2
新竹市	東區	344	137	86	62	146
	北區	164	67	42	31	73
	香山區	95	40	25	18	43
苗栗縣	頭份鎮	381	166	104	77	181
	竹南鎮	271	122	77	57	134
	苗栗市	51	19	11	8	19
	三灣鄉	30	14	9	6	15
	造橋鄉	18	7	4	3	7
	後龍鎮	17	6	4	3	7
	南庄鄉	13	5	3	2	5
	頭屋鄉	7	3	2	1	3
桃園市	龍潭區	141	53	32	23	55
	中壢區	93	30	18	13	31
	楊梅區	79	27	16	12	28
	桃園區	61	19	11	7	18
	平鎮區	56	18	10	8	18
	大溪區	27	9	5	4	9
	龜山區	27	8	5	3	8
	八德區	22	7	4	3	7
	蘆竹區	15	4	3	2	5
	大園區	7	2	1	1	2

表 6-5 桃竹苗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)
新竹縣	竹東鎮	309	136	86	63	149
	關西鎮	100	43	27	20	47
	芎林鄉	87	40	25	19	44
	竹北市	101	37	22	16	38
	橫山鄉	51	23	14	11	25
	寶山鄉	49	21	13	10	23
	新埔鎮	42	17	10	7	17
	北埔鄉	29	13	8	6	14
	峨眉鄉	24	11	7	5	12
	湖口鄉	32	11	6	5	11
	新豐鄉	16	5	3	2	5
	尖石鄉	3	1	1	1	1

新竹市	東區	334	133	83	60	143
	北區	133	55	34	25	59
	香山區	77	32	20	15	35
苗栗縣	頭份鎮	324	142	90	66	156
	竹南鎮	267	120	76	56	133
	苗栗市	49	18	11	8	19
	三灣鄉	24	11	7	5	12
	造橋鄉	18	7	4	3	7
	後龍鎮	15	6	3	3	6
	南庄鄉	11	5	3	2	5
	頭屋鄉	5	2	1	1	2
桃園市	龍潭區	111	41	25	18	43
	中壢區	83	27	16	11	27
	楊梅區	64	22	13	9	22
	桃園區	52	16	9	6	15
	平鎮區	46	15	9	6	15
	龜山區	28	9	5	3	8
	大溪區	21	7	4	3	7
	八德區	18	6	3	2	5
	蘆竹區	15	4	3	2	4
	大園區	10	3	2	1	3
	新屋區	6	2	1	1	2

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 6-4 為桃竹苗地區震後火災總數分布、圖 6-5 為桃竹苗震後消防隊需求隊數分布。表 6-6 為桃竹苗地區震後火災資源推估數值。由推估數值得知，桃竹苗地區震後較有可能引致火災之行政區為新竹市東區。

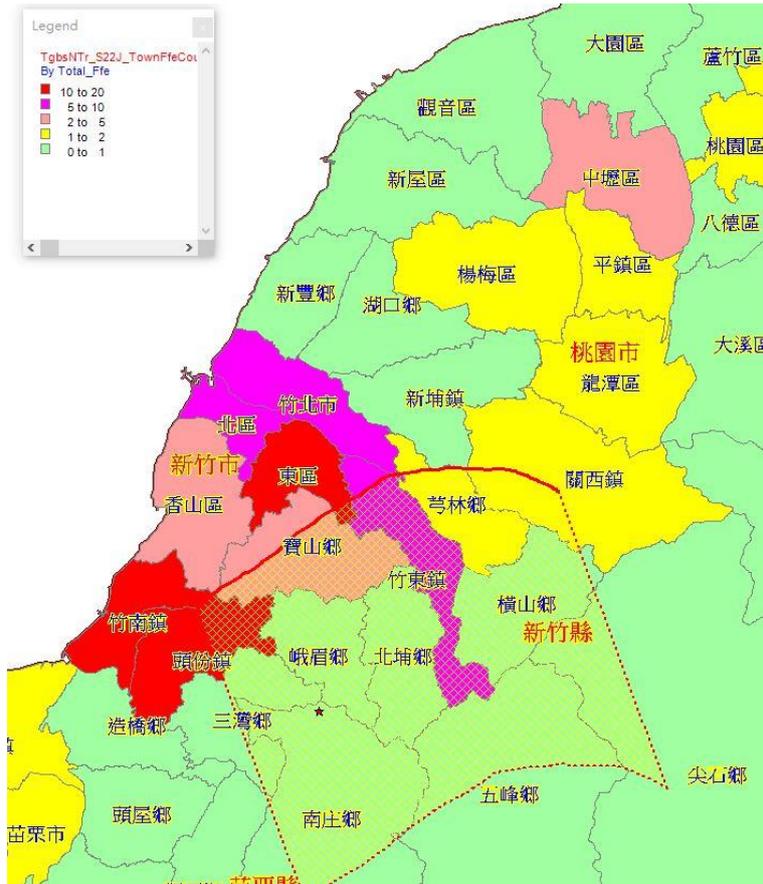


圖 6-4 桃竹苗震後起火總數分布

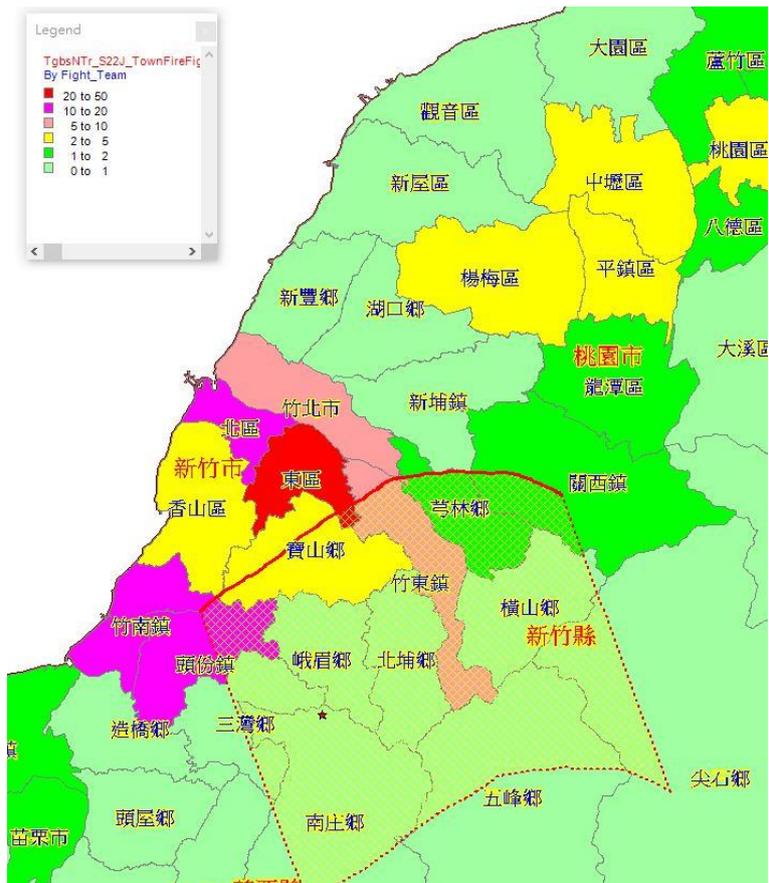


圖 6-5 桃竹苗震後災防隊需求隊數分布

表 6-6 桃竹苗各鄉鎮區震後火災資源推估數值

縣市	鄉鎮區	震後火災總數	消防隊數量	消防用水量
		(單位：起)	(單位：隊)	(單位：噸)
新竹縣	竹北市	7	9	366
	竹東鎮	6	6	254
	寶山鄉	3	3	104
	芎林鄉	2	2	71
	關西鎮	1	1	42
	湖口鄉	1	1	38
	新埔鎮	1	1	32
	橫山鄉	1	1	20
新竹市	東區	14	24	940
	北區	9	12	485
	香山區	5	5	180
苗栗縣	頭份鎮	11	11	442
	竹南鎮	11	11	431
	苗栗市	1	1	49
	後龍鎮	1	1	48
桃園市	桃園區	2	3	122
	楊梅區	1	2	99

龍潭區	1	2	79
平鎮區	1	2	88
龜山區	1	2	67
蘆竹區	1	1	54
八德區	1	1	59
大溪區	1	1	27
大園區	1	1	24
觀音區	1	1	21

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 6-6 為桃竹苗需搬遷人數分布、圖 6-7 為桃竹苗臨時避難收容人數分布。表 6-7 為桃竹苗震後避難需求推估數值。由推估數值得知，桃竹苗震後臨時避難收容人數需求較高之行政區為新竹市東區、新竹縣竹東鎮和苗栗縣頭份鎮。

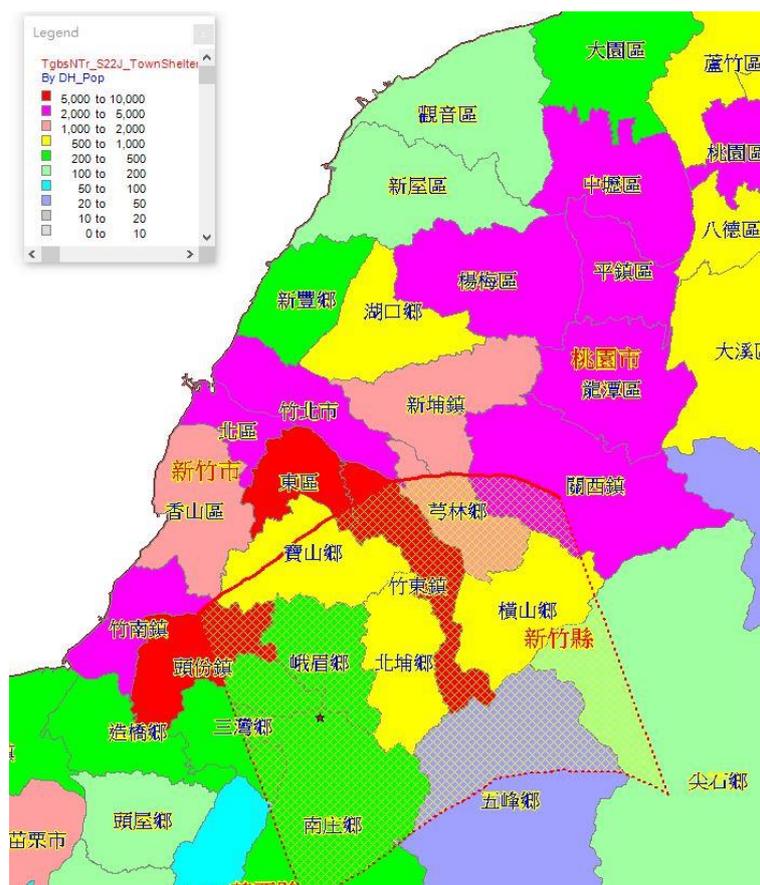


圖 6-6 桃竹苗需搬遷人數分布

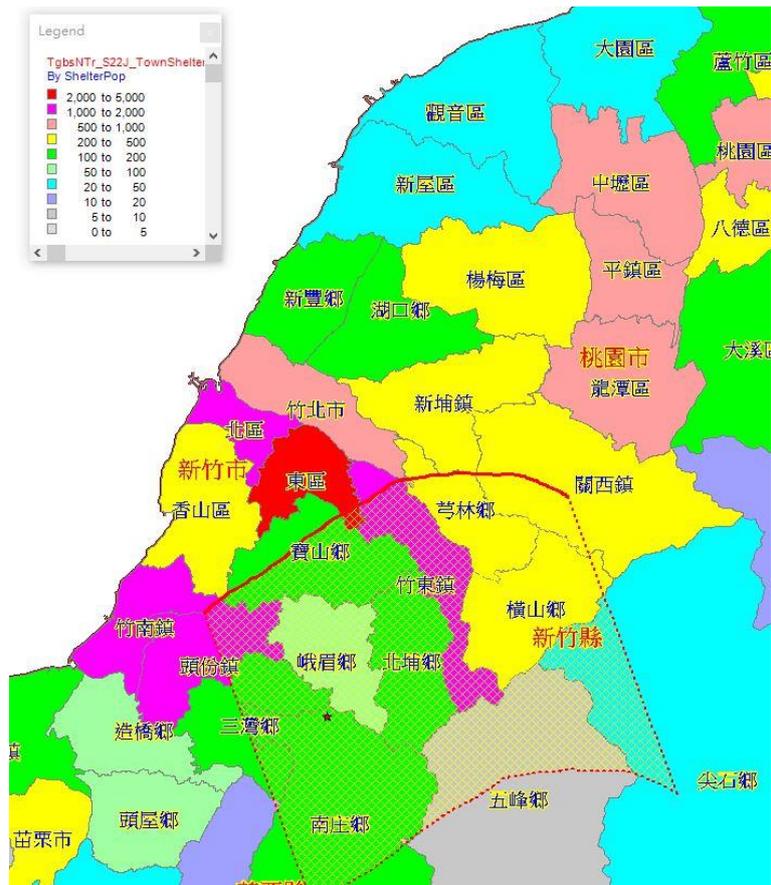


圖 6-7 桃竹苗臨時避難收容人數分布

表 6-7 桃竹苗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
新竹縣	竹東鎮	7,653	1,782
	竹北市	2,917	717
	關西鎮	2,325	497
	芎林鄉	1,489	331
	新埔鎮	1,105	242
	橫山鄉	986	212
	湖口鄉	755	179
	北埔鄉	712	149
	寶山鄉	651	143
	新豐鄉	486	119
	峨眉鄉	443	87
	尖石鄉	121	29
	五峰鄉	40	9
新竹市	東區	8,398	2,130
	北區	4,510	1,104
	香山區	1,880	474
苗栗縣	苗栗市	1,148	341

後龍鎮	452	134
三灣鄉	430	119
南庄鄉	381	103
造橋鄉	330	96
頭屋鄉	195	55
公館鄉	155	45
苑裡鎮	110	33
通霄鎮	107	31
銅鑼鄉	71	21
獅潭鄉	66	17
大湖鄉	51	14
泰安鄉	39	12
三義鄉	30	9
西湖鄉	24	6
卓蘭鎮	20	6

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 6-8 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 6-9 為桃竹苗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新竹市東區、新竹縣竹東縣和苗栗縣頭份鎮。

表 6-8 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	屍	重度傷害人數 × 0.1 + 死亡人數

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	$(\text{重度傷害人數} + \text{死亡人數}) \times 0.1$

表 6-9 桃竹苗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)
新竹縣	竹東鎮	32	328	116	66	22
	芎林鄉	7	74	26	15	5
	關西鎮	7	72	25	14	5
	竹北市	6	63	21	8	4
	寶山鄉	5	49	17	10	3
	橫山鄉	3	34	12	7	2
	新埔鎮	3	32	11	6	2
	湖口鄉	2	25	8	5	2
	北埔鄉	2	17	6	3	1
	新豐鄉	2	17	6	3	1
	峨眉鄉	2	16	6	3	1
尖石鄉	1	7	2	1	0	
新竹市	東區	44	451	156	45	29
	北區	8	84	29	11	5
	香山區	7	72	25	14	5
苗栗縣	竹南鎮	22	229	81	46	15

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)
	頭份鎮	22	229	81	46	15
	苗栗市	4	38	13	8	2
	三灣鄉	2	17	6	3	1
	造橋鄉	1	12	4	2	1
	後龍鎮	1	11	4	2	1
	南庄鄉	1	8	3	2	0
桃園市	中壢區	8	79	26	8	5
	龍潭區	6	61	20	8	4
	楊梅區	4	41	14	4	3
	桃園區	2	23	7	2	1
	平鎮區	2	23	7	2	1
	龜山區	2	21	7	3	1
	大溪區	1	11	4	2	1
	八德區	1	9	3	1	1
	蘆竹區	1	8	3	1	0
大園區	1	6	2	1	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 6-10 及

表 6-11 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 6-12 為桃竹苗地區民生物資及設備需求推估數值。由推估數值得知，桃竹苗地區震後民生物資及設備需求較高之行政區為新竹市東區、新竹縣竹東縣和苗栗縣頭份鎮。

表 6-10 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

項目	單位	估算
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 6-11 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 6-12 桃竹苗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)
新竹縣	竹東鎮	7,653	3,827	23	153	77	425	13
	竹北市	2,917	1,458	9	58	29	162	5
	關西鎮	2,325	1,162	7	47	23	129	4
	芎林鄉	1,489	745	5	30	15	83	3
	新埔鎮	1,105	552	3	22	11	61	2
	橫山鄉	986	493	3	20	10	55	2
	湖口鄉	755	377	2	15	8	42	1
	北埔鄉	712	356	2	14	7	40	1
	寶山鄉	651	326	2	13	7	36	1
	新豐鄉	486	243	2	10	5	27	1
	峨眉鄉	443	221	1	9	4	25	1
	尖石鄉	121	61	0	2	1	7	0
新竹市	竹東鎮	7,653	3,827	23	153	77	425	13
	東區	8,398	4,199	25	168	84	467	14
	北區	4,510	2,255	14	90	45	251	8

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)
	香山區	1,880	940	6	38	19	104	3
苗栗縣	頭份鎮	5,712	2,856	17	114	57	317	10
	竹南鎮	3,719	1,859	11	74	37	207	6
	苗栗市	1,148	574	3	23	11	64	2
	後龍鎮	452	226	1	9	5	25	1
	三灣鄉	430	215	1	9	4	24	1
	南庄鄉	381	190	1	8	4	21	1
	造橋鄉	330	165	1	7	3	18	1
	頭屋鄉	195	98	1	4	2	11	0
	公館鄉	155	77	1	3	2	9	0
	苑裡鎮	110	55	0	2	1	6	0
	通霄鎮	107	54	0	2	1	6	0
	銅鑼鄉	71	36	0	1	1	4	0
	獅潭鄉	66	33	0	1	1	4	0
	大湖鄉	51	25	0	1	1	3	0
桃園市	中壢區	3,467	1,734	10	69	35	193	6
	桃園區	3,131	1,565	9	63	31	174	5
	龍潭區	2,869	1,434	9	57	29	159	5
	平鎮區	2,228	1,114	7	45	22	124	4
	楊梅區	2,163	1,081	7	43	22	120	4
	八德區	990	495	3	20	10	55	2
	龜山區	916	458	3	18	9	51	2
	大溪區	879	439	3	18	9	49	2
	蘆竹區	717	359	2	14	7	40	1

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 6-8 為桃竹苗地區一般建物總經濟損失分布。表 6-13 為桃竹苗地區一般建物損害總經濟損失推估數值。由推估數值得知，桃竹苗地區一般建物損害經濟損失較高之行政區為新竹市東區、新竹縣竹東鎮和苗栗縣頭份鎮。

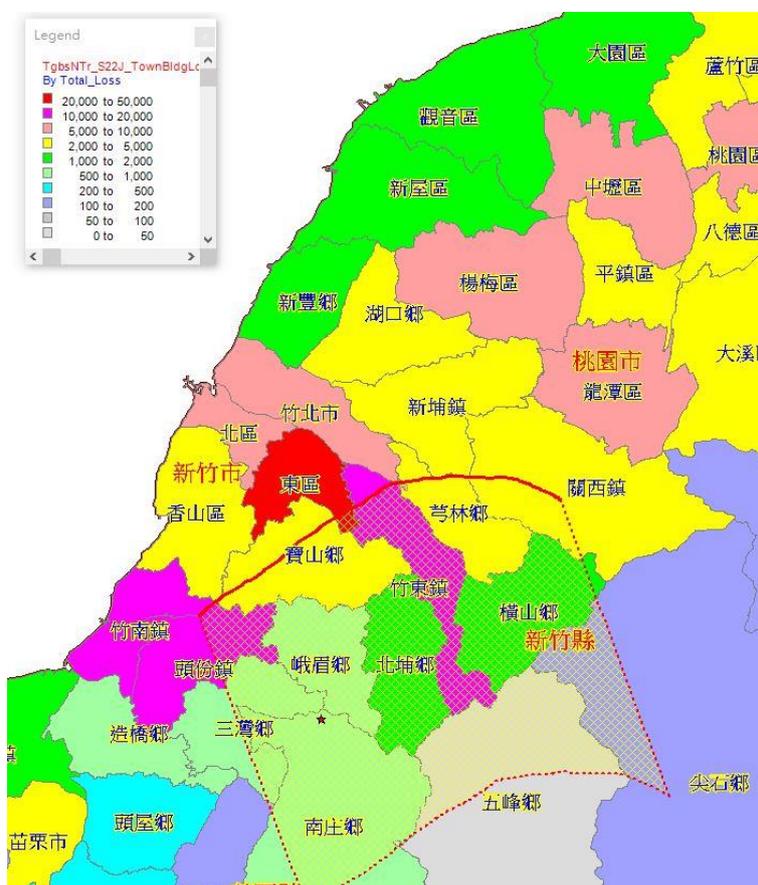


圖 6-8 桃竹苗地區一般建物總經濟損失分布

表 6-13 桃竹苗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)
新竹縣	竹東鎮	12,325
	竹北市	6,881

縣市	鄉鎮區	總損失
		(單位：百萬)
	湖口鄉	3,924
	關西鎮	3,695
	新埔鎮	3,155
	寶山鄉	3,092
	芎林鄉	2,600
	新豐鄉	1,855
	橫山鄉	1,687
	北埔鄉	1,080
	峨眉鄉	686
	尖石鄉	158
	五峰鄉	44
	新竹市	東區
北區		6,346
香山區		4,230
苗栗縣	頭份鎮	11,829
	竹南鎮	10,465
	苗栗市	3,527
	後龍鎮	1,232
	造橋鄉	995
	三灣鄉	689
	南庄鄉	529
	通霄鎮	471
	苑裡鎮	452
	公館鄉	447
	頭屋鄉	373
	銅鑼鄉	333
	大湖鄉	193
	西湖鄉	171
	三義鄉	139
	獅潭鄉	117
	卓蘭鎮	75
泰安鄉	62	
桃園	中壢區	8,527
	龍潭區	8,105
	楊梅區	6,868
	桃園區	5,230
	平鎮區	4,981
	龜山區	3,550
	大溪區	2,376
	蘆竹區	2,350
	八德區	2,337

縣市	鄉鎮區	總損失
		(單位：百萬)
	大園區	1,484
	觀音區	1,232
	新屋區	1,067
	復興區	133

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 6-9 為桃竹苗一般建物總廢棄物數量分布。表 6-14 為桃竹苗地區一般建物總廢棄物數量推估數值。由推估數值得知，桃竹苗地區一般建物總廢棄物數量較高之行政區為新竹市東區、新竹縣竹東縣和苗栗縣頭份鎮。

縣市	鄉鎮區	總廢棄物量	
	苗栗市	110,852	
	後龍鎮	37,212	
	三灣鄉	33,022	
	造橋鄉	31,888	
	南庄鄉	18,725	
	通霄鎮	13,258	
	苑裡鎮	12,319	
	公館鄉	11,913	
	頭屋鄉	11,501	
	銅鑼鄉	9,768	
	大湖鄉	4,749	
	西湖鄉	4,572	
	三義鄉	3,833	
	獅潭鄉	3,480	
	卓蘭鎮	1,795	
	泰安鄉	1,483	
	桃園市	中壢區	267,240
		龍潭區	255,405
楊梅區		223,838	
桃園區		156,993	
平鎮區		155,490	
龜山區		110,350	
蘆竹區		73,350	
八德區		69,909	
大溪區		69,537	
大園區		43,540	
觀音區		39,994	
新屋區		30,247	
復興區		3,213	

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，進行國中小學暨高中職校社的損害評估。TELES 採



圖 6-11 國中小校舍損害推估分布

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。高速公路局也提供其所管轄的 2,155 座橋梁資料(葉錦勳，2014)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，針對桃竹苗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。

國道 3 號 85 公里和 99 公里處以及國道 1 號 108 公里處被新城斷層跨越，國道 1 號 102K 至 104K 路段約莫與斷層平行，具斷層地表跡線僅 150 公尺，上述路段之國道並非橋梁型式，可能因斷層引致地表破壞之影響而阻斷。高工局管轄之橋梁震損評估結果，如圖 6-13 所示。其中跨越橋為跨越國道之橋梁，與國道垂直，若嚴重損壞仍可能對國道路線造成影響，因此納入評估。所有國道橋梁因無跨越斷層之疑慮，因此災損推估結果大多為輕微損壞。省縣道公路橋梁的震損評估結果，僅台 68 線上的新中正橋可能中度損壞外，其他橋梁至多輕度損壞。

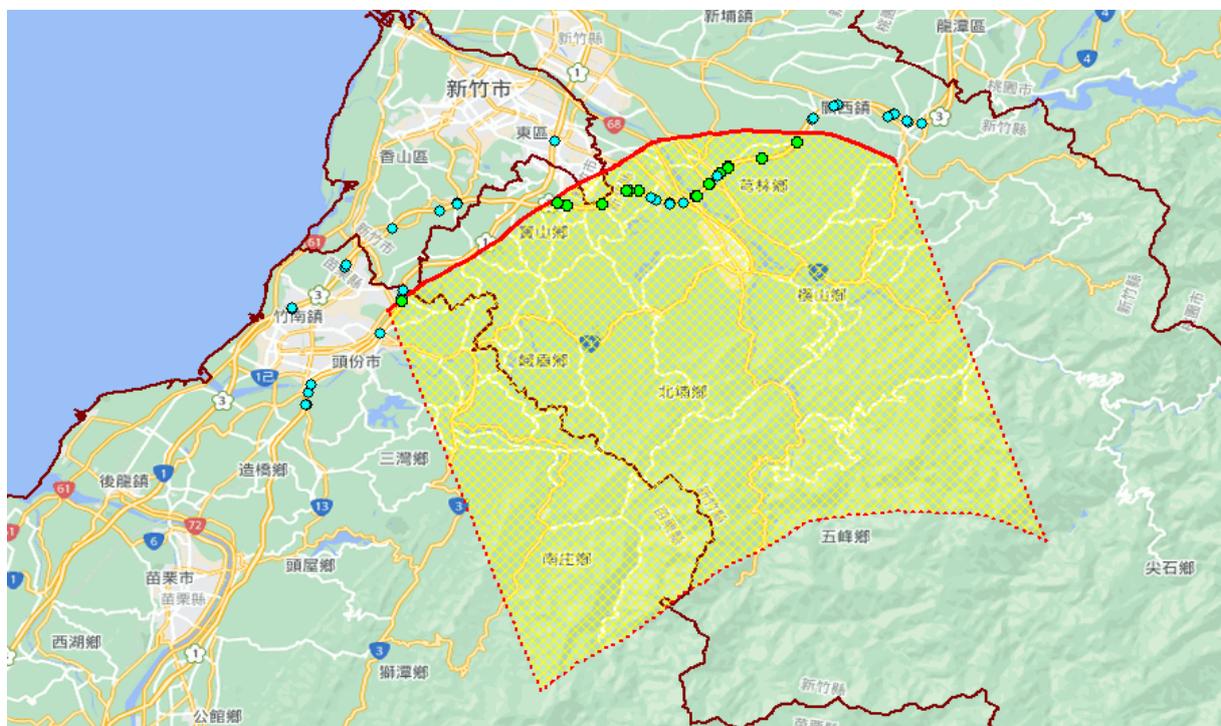


圖 6-12 國道公路橋梁震損評估結果

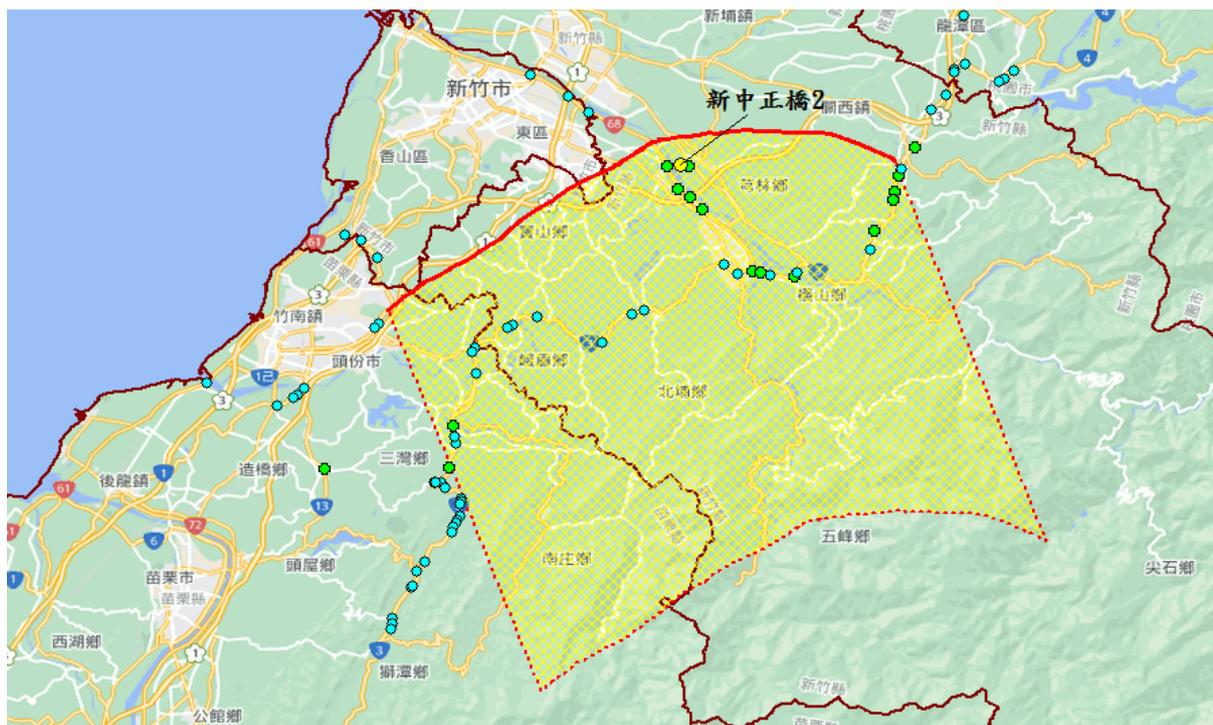


圖 6-13 省縣道公路橋梁震損評估結果

表 6-15 國道公路橋梁震損評估結果(輕微損壞以上)

橋名	工程處	工務段	路線名	里程數	設計年	橋長	橋寬	跨數	損壞狀態
竹 21 鄉道穿越橋(南向)	北區	關西	國道 3 號	85.1	82	89.2	16.4	3	輕微
赤柯窟排水橋(北向)	北區	關西	國道 3 號	87.2	82	104	16.4	3	輕微
中坑排水橋(南向)	北區	關西	國道 3 號	88.9	82	104	16.4	3	輕微
竹 45 鄉道跨越橋(雙向)	北區	關西	其他	97.4	83	72	16.1	2	輕微
雲南路跨越橋(雙向)	北區	關西	其他	96.4	83	96	13.1	3	輕微
寶山 IC 雙溪排水橋(北向)	北區	關西	國道 3 號	98.8	83	149	17.3	4	輕微
頭前溪河川橋(南向)	北區	關西	國道 3 號	90.9	82	793	16.4	18	輕微
94K+383 跨越橋(雙向)	北區	關西	其他	94.4	83	65	13.1	2	輕微
柯子湖排水橋(南向)	北區	關西	國道 3 號	95	83	113	16.4	3	輕微
竹 21 鄉道穿越橋(北向)	北區	關西	國道 3 號	85.1	82	89.2	16.4	3	輕微
赤柯窟排水橋(南向)	北區	關西	國道 3 號	87.2	82	104	16.4	3	輕微
中坑排水橋(北向)	北區	關西	國道 3 號	88.9	82	104	16.4	3	輕微
炭下排水橋(北向)	北區	關西	國道 3 號	89.5	82	59.2	16.4	3	輕微
炭下排水橋(南向)	北區	關西	國道 3 號	89.5	82	59.2	16.4	3	輕微
頭前溪河川橋(北向)	北區	關西	國道 3 號	90.9	82	793	16.4	18	輕微
94K+612 渡槽跨越橋(雙向)	北區	關西	其他	94.6	83	91.5	3.6	3	輕微
柯子湖排水橋(北向)	北區	關西	國道 3 號	95	83	113	16.4	3	輕微

表 6-16 省縣道公路橋梁震損評估結果(輕微損壞以上)

橋名	工程處	工務段	路線名	里程數	設計年	橋長	橋寬	跨數	損壞狀態
新中正橋 2	一區	新竹	台 68	0.6	85	713	23.6	19	中度
新中正橋 1	一區	新竹	台 68	0.3	85	25	23.6	1	輕微
筊子園橋	一區	新竹	台 3	61.7	79	7.5	18.5	1	輕微
頭份林橋	一區	新竹	台 3	74	79	49.9	19	2	輕微
高架橋-9	一區	新竹	台 68	18.1	85	210	22.6	7	輕微
無名橋	二區	苗栗	台 3	101.9	81	61	16.5	2	輕微
關西二號橋	一區	新竹	台 3	59.9	78	30	30	1	輕微
新城橋	一區	新竹	台 3	62.7	78	8	18.6	1	輕微
太平橋	一區	新竹	台 3	63.1	79	10	19.3	1	輕微
北沙坑橋	一區	新竹	台 3	66.1	62	11.4	16	1	輕微
錦水橋=>大坪橋	二區	苗栗	台 13	16	47	37.5	18.4	3	輕微
高架橋-10	一區	新竹	台 68 甲	0	85	1075	23.8	26	輕微
高架橋-6	一區	新竹	台 68	19.8	89	4914	19.8	137	輕微
高架橋-7	一區	新竹	台 68	15.8	85	200	24.8	2	輕微
高架橋-8	一區	新竹	台 68	17.2	85	210	23.8	7	輕微
竹東大橋	一區	新竹	台 3	74.5	72	460	16.5	12	輕微
中港溪橋	二區	苗栗	台 3	99.3	81	210	16.5	7	輕微

6.10 鐵路橋梁損害評估

臺灣鐵路管理局 102 年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，進行新城斷層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 6-14 所示，台鐵內灣線跨越新城斷層，多處橋梁可能嚴重損壞，如竹東大橋、竹東溪橋、砂坑橋等，研判內灣線鐵路將受此影響而停駛搶修。西部幹線頭份溪橋、下頭份溪橋、鳳山溪橋、頭前溪橋等亦有可能損壞嚴重。

鐵路橋梁受震後即便橋體結構無損壞，軌道也可能因橋梁受震時之反應而變形受損，進而影響列車之通行，因此鐵路橋梁較公路橋梁更容易阻斷。此外，評估結果採用 102 年蒐集之鐵路橋梁資料，橋部分橋梁可能已進行補強或改建而有較好之耐震能力。因此整體而言鐵路橋梁之震損評估結果

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。

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。

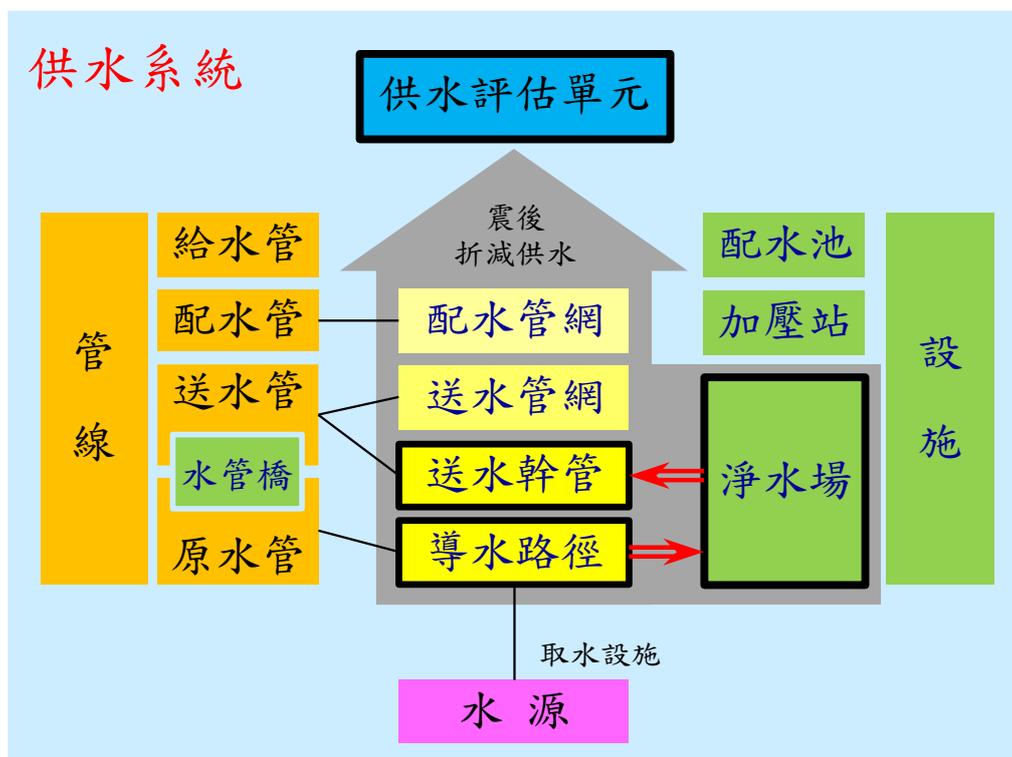


圖 6-15 自來水供水系統分析模型示意圖

新城斷層東起新竹縣關西鎮，經新竹市東隅至苗栗縣頭份鎮而終，所引致之地表變形的範圍分布在北台灣，涵蓋了四個行政區域由北至南為台北市、新北市及桃園市及竹苗等地區，尤以竹苗地區首當其衝，期間的自來水管線屬北水處及台灣自來水公司台水二區、台水三區、台水十二區所管轄，範圍如圖 6-16 所示。圖 6-17 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 6-17 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。北水處及台灣自來水公司台水二區、台水三區、台水十二區供水設施數量統計如表 6-18 所列。

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 6-19 所列。圖 6-18 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 6-20 所列。

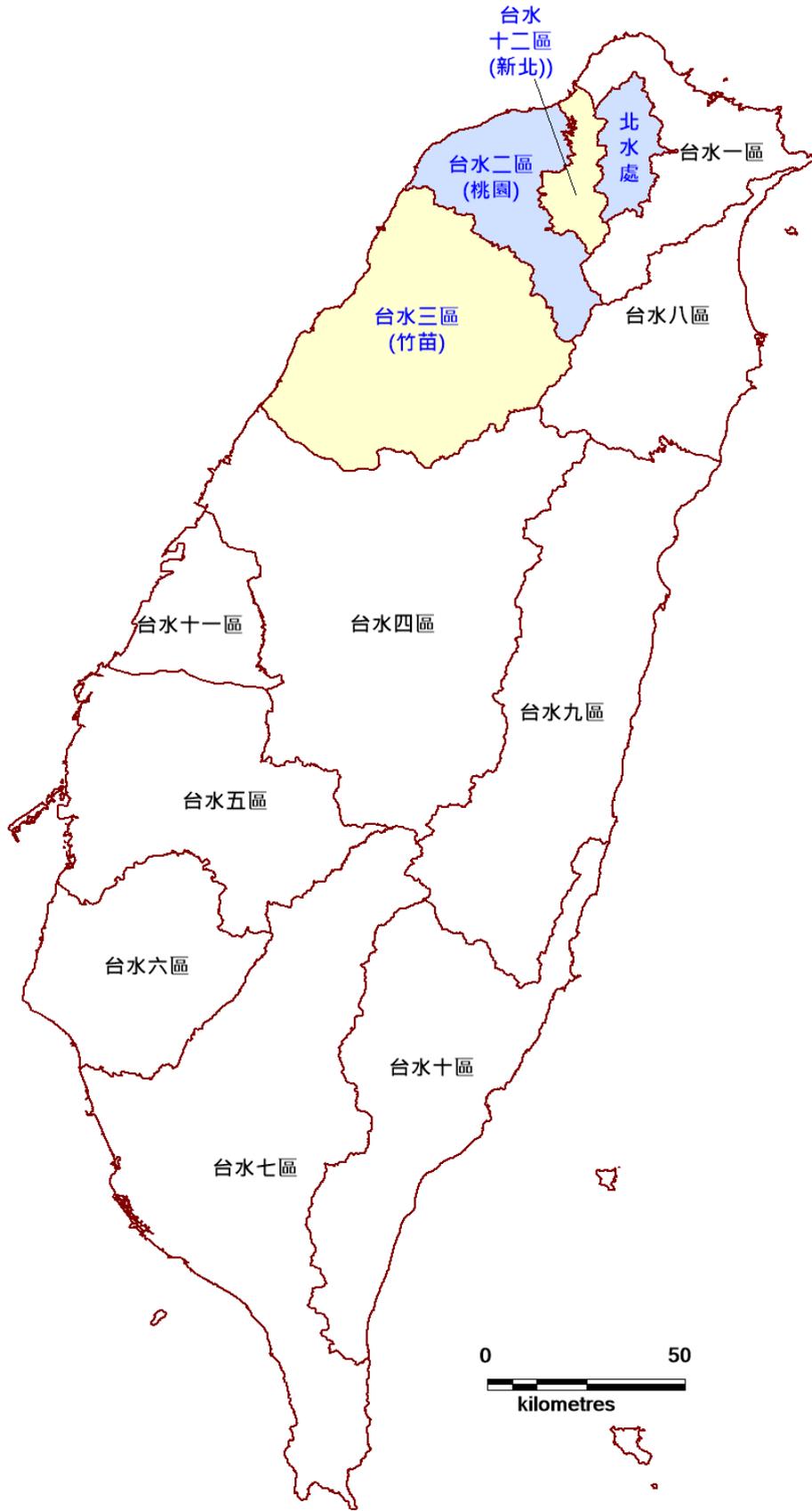


圖 6-16 自來水管線管理單位

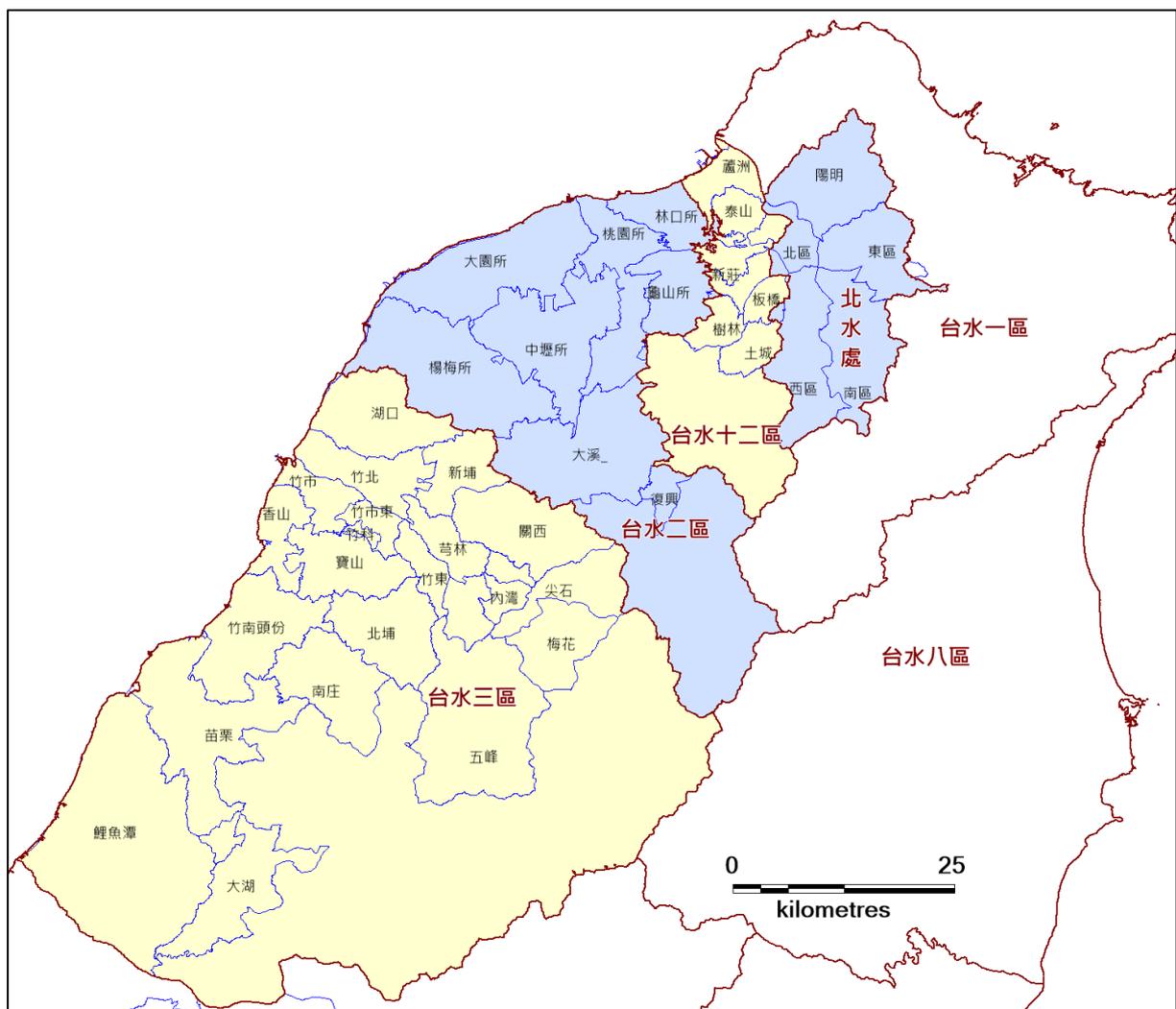


圖 6-17 北水處及台水二區、三區、十二區供水評估單元劃分

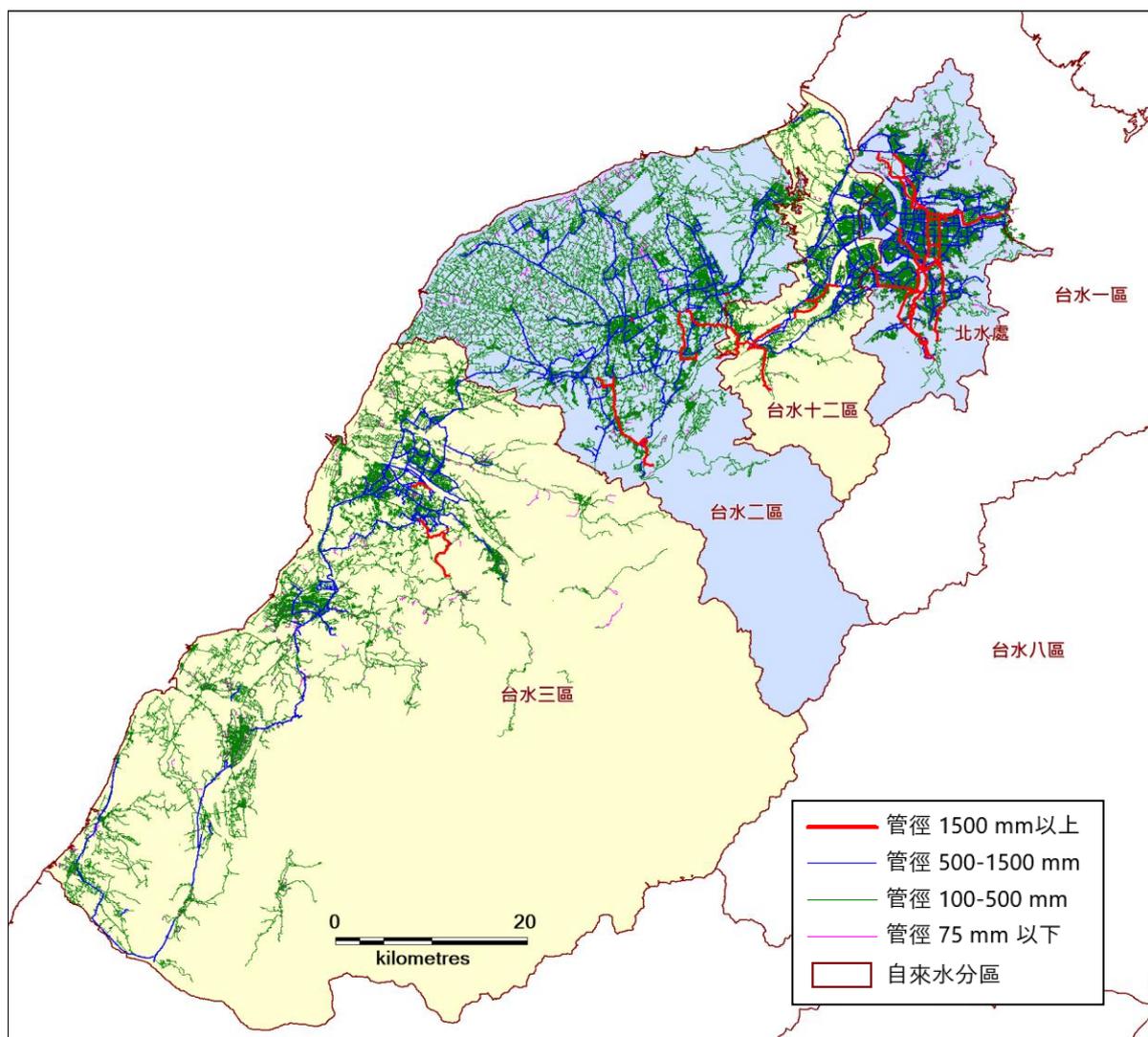


圖 6-18 北水處及台水二區、三區、十二區自來水管線分布

表 6-17 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
北水處	北區營業區	台北市 新北市	三重區、士林區、大同區
	西區營業區		中正區、中和區、永和區、新店區、萬華區
	東區營業區		中山區、內湖區、汐止區、松山區、信義區、南港區
	南區營業區		大安區、中正區、文山區、信義區、新店區
	陽明營業區		士林區、北投區
台水二區	大園服務所	桃園市	大園區、觀音區
	大溪		大溪區、龍潭區
	中壢服務所		八德區、中壢區、平鎮區、桃園區、楊梅區、蘆竹區、觀音區
	林口服務所		五股區、林口區
	桃園服務所		八德區、桃園區、龜山區、蘆竹區
	復興系統		復興區
	楊梅服務所		平鎮區、新屋區、楊梅區
	龜山服務所		龜山區
台水十二區	土城服務所	新北市	土城區
	板橋服務所		中和區、板橋區
	泰山營運所		五股區、泰山區、新莊區
	新莊服務所		三重區、新莊區
	樹林服務所		板橋區、樹林區、龜山區
	蘆洲服務所		八里區、五股區、蘆洲區
	鶯歌服務所		八德區、三峽區、樹林區、鶯歌區
台水三區	大湖系統	新竹市 苗栗縣	大湖鄉、泰安鄉、獅潭鄉
	五峰系統		五峰鄉、竹東鎮
	內灣系統		橫山鄉
	北埔系統		北埔鄉、峨眉鄉
	尖石系統		尖石鄉
	竹北		竹北市、新埔鎮
	竹東系統		竹東鎮
	竹南頭份系統		竹南鎮、造橋鄉、頭份鎮
	芎林系統		芎林鄉
	南庄系統		三灣鄉、南庄鄉
	苗栗系統		公館鄉、後龍鎮、苗栗市、造橋鄉、頭屋鄉
	梅花系統		尖石鄉
	湖口新豐		石岡區、和平區、東勢區、湖口鄉、新豐鄉
	新竹市市區		北區、東區
	新竹市東		竹東鎮、東區

管理單位	供水評估單元	縣市	鄉鎮區
	新竹市香山		香山區
	新竹科學園區		竹東鎮、東區、寶山鄉
	新埔系統		新埔鎮、關西鎮
	鯉魚潭系統		三義鄉、西湖鄉、後龍鎮、苑裡鎮、通霄鎮、銅鑼鄉
	關西系統		關西鎮
	寶山		東區、香山區、寶山鄉

表 6-18 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
北水處	10	30	18	4	62
台水二區	6	14	4	尚無資料	24
台水三區	22	26	7	2	57
台水十二區	3	13	7	尚無資料	23
總計	41	83	36	6	166

表 6-19 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 6-20 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
北水處	東區營業區	558.8	991.8	149.8	1,700.4
	西區營業區	621.6	820.4	136.0	1,578.0
	南區營業區	562.0	856.0	130.6	1,548.6
	陽明營業區	417.2	654.7	67.9	1,139.9
	北區營業區	394.3	461.4	52.5	908.2
台水二區	中壢服務所	105.5	1,604.2	116.3	1,826.1
	楊梅服務所	80.1	1,094.4	83.2	1,257.7
	大園服務所	78.0	944.8	66.3	1,089.1
	桃園服務所	47.2	948.7	89.7	1,085.6
	大溪	48.4	643.6	66.7	758.7
	鶯歌服務所	17.9	348.4	63.2	429.5
	龜山服務所	10.6	353.4	27.8	391.8
	林口服務所	25.1	275.2	10.8	311.2
	復興系統	0.5	22.1	-	22.6
台水三區	竹南頭份系統	239.4	710.4	46.3	996.1
	苗栗系統	198.5	698.8	25.5	922.8
	鯉魚潭系統	99.3	704.9	59.6	863.8
	竹北	110.1	537.3	63.0	710.4
	湖口新豐	116.7	479.3	23.7	619.7
	新竹市市區	62.3	457.6	39.8	559.6
	竹東系統	88.7	181.7	4.6	275.0
	新竹市香山	19.7	220.3	21.8	261.8
	新竹市東	27.6	190.8	33.7	252.1
	寶山	19.9	215.6	14.6	250.2
	南庄系統	13.3	117.2	-	130.5
	北埔系統	30.8	84.4	-	115.1
	關西系統	25.0	79.4	-	104.4
	新竹科學園區	2.6	72.5	26.9	102.0
	芎林系統	17.2	80.1	-	97.4
	大湖系統	11.9	68.7	-	80.7
	新埔系統	10.2	38.9	0.3	49.5
	五峰系統	3.2	32.5	-	35.6
	內灣系統	2.6	12.8	-	15.4
	尖石系統	2.4	11.3	-	13.7
梅花系統	8.3	1.1	-	9.4	
台水十二區	新莊服務所	16.5	414.3	75.7	506.4
	板橋服務所	43.2	383.5	41.4	468.1

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
	泰山營運所	14.0	283.0	48.5	345.6
	蘆洲服務所	7.1	291.6	32.7	331.4
	樹林服務所	17.3	225.5	25.4	268.1
	土城服務所	30.4	199.9	28.8	259.1

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。

6.11.1 自來水設施災損評估結果

新城斷層想定事件，供水設施震損推估結果彙整如表 6-21。設施災損程度，與地震動及土層破壞嚴重區域的分布有關，因新城斷層通過主要水源(寶山淨水場)和新竹市都會區間，新城斷層上盤之各項設施包含淨水場、配水池、加壓站及水管橋災害潛勢，受其影響較為顯著，這些設施所需修復所需金額約 140.94 百萬元，修復所需天數為 442 天。

表 6-21 自來水設施震損評估結果綜整

設施別	損害狀態	設施 總數量	損害數	損失 (百萬元)	恢復 所需天數
淨水場	中度損害	41	2	90.94	107
	輕微損害		4	10.38	23
	無，但需注意		11	15.08	25
配清水池	中度損害	83	3	12.45	150
	輕微損害		7	9.65	102
	無，但需注意		12	2.26	27
加壓站	輕微損害	36	1	0.07	1
	無，但需注意		4	0.11	2
水管橋	無，但需注意	6	2	-	5
總計		166	46	140.94	442

淨水場震損評估結果統計如表 6-22 所列，受影響淨水場有 17 座，影響較為嚴重的台水三區，其中而寶山淨水場、東興淨水場損害狀態均為中度損害，寶山淨水場距離最近之新城斷層約 2 km，故受影響較大，這兩座淨水場皆屬該自來水分區的關鍵設施，一旦損壞嚴重影響供水能力和恢復供水所需時間，淨水場震損評估結果如

表 6-23 所列，所需修復所需金額約 116.4 百萬元，修復所需天數為 155

天。

配水池震損評估結果統計如表 6-24 所列，受影響配水池有 22 座，影響較為嚴重的台水三區，其中竹科三期四萬噸配水池，竹科二階加壓站配水池(12,000 噸)及東興第一期清水池(21,000 噸)等三座配水池，均發生中度損害，屆時不僅喪失供水調配機能，鉅量貯水一旦宣洩，恐有鄰損之虞，必須預擬對策，震損評估結果如表 6-25 所列，所需修復所需金額約 24.4 百萬元，修復所需天數達 279 天。

加壓站震損評估結果統計如表 6-26 所列，受影響配水池有 5 座，皆屬台水三區管轄，竹科二階加壓站配水池，損壞狀態屬輕微損壞，須留意是否因供水不足影響新竹科學園區之經濟損失，其他 4 座加壓站損壞狀態屬「無，但仍須注意」，震損評估結果如

表 6-27 所列，所需修復所需金額約 0.2 百萬元，修復所需天數為 3 天。

水管橋震損評估結果統計如表 6-28 所列，受影響水管橋有 2 座，皆屬台水三區管轄，為管徑 1,350 mm 之送水管線，損壞狀態屬「無，但仍須注意」，震損評估結果如表 6-29 所列，修復所需天數為 5 天。

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
		完全損壞	嚴重損壞	中度損壞	輕微損壞	無，但仍需注意		
北水處	10	-	-	-	-	-	-	-
台水二區	6	-	-	-	-	2	2.82	5
台水三區	22	-	-	2	4	9	113.58	150
台水十二區	3	-	-	-	-	-	-	-
總計	41	-	-	2	4	11	116.40	155

表 6-23 淨水場震損評估結果

管理單位	淨水場名稱	設計出水量(CMD)	日均出水量(CMD)	損失(百萬元)	恢復所需天數	損害狀態
	(桃園)龍潭淨水場	185,000	148,429	1.7	3	無，但仍需注意

台水二區	平鎮淨水場	600,000	507,288	1.1	2	無，但仍需注意
台水三區	寶山淨水場	450,000	450,000	305,178	65	中度損害
	東興淨水場	240,000	240,000	165,658	42	中度損害
	員嶼淨水場	900	30,000	26,118	10	輕微損害
	新竹第二淨水場	30,000	160,000	109,652	7	無，但仍需注意
	芎林淨水場	7,800	3,900	3,166	6	輕微損害
	內灣淨水場	3,900	900	410	3	輕微損害
	關西淨水場	160,000	7,800	5,578	3	輕微損害
	新竹第一淨水場	570	89,000	46,995	3	無，但仍需注意
	明德淨水場	7,000	40,000	25,027	3	無，但仍需注意
	梅花淨水場	89,000	230	87	2	無，但仍需注意
	南庄淨水場	230	7,000	4,959	2	無，但仍需注意
	滴雅淨水場	40,000	40,000	25,101	2	無，但仍需注意
	尖石淨水場	1,700	570	527	2	無，但仍需注意
	新埔淨水場	6,800	6,800	3,581	1	無，但仍需注意
苗四淨水場	40,000	1,700	1,507	0	無，但仍需注意	

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		
北水處	30	-	-	-	-	-	-	-
台水二區	14	-	-	-	-	1	0.1	1
台水三區	26	-	-	3	7	11	24.3	278
台水十二區	13	-	-	-	-	-	-	-
總計	83	-	-	3	7	12	24.4	279

表 6-25 配水池震損評估結果

管理單位	配水池名稱	儲水量(噸)	損失(百萬元)	修復所需天數	損害狀態
台水二區	平鎮 100,000 噸清水池	100,000	0.10	1.53	無，但仍需注意

台水 三區	竹科三期四萬噸配水池	40,000	4.91	65.74	中度損壞
	竹科二階加壓站配水池	12,000	4.09	48.04	中度損壞
	東興第一期清水池	21,000	3.45	36.61	中度損壞
	寶山三期清水池	20,000	1.49	20.12	輕微損壞
	竹科西區加壓站高架水塔	9,400	0.90	6.77	輕微損壞
	東興第二期清水池	36,000	2.58	29.77	輕微損壞
	竹科東區加壓站高架水塔	2,000	1.05	6.77	輕微損壞
	竹科西區二期高架水塔	2,000	0.84	5.39	輕微損壞
	寶山一二期清水池	16,000	1.62	21.08	輕微損壞
	尖山配水池	10,000	1.17	11.76	輕微損壞
	犁頭山加壓站配水池	22,000	0.47	5.35	無，但仍需注意
	新竹第一淨水場清水池	7,000	0.09	0.91	無，但仍需注意
	竹科西區二期加壓站配水池	25,000	0.19	2.90	無，但仍需注意
	義民加壓站配水池	3,000	0.15	1.07	無，但仍需注意
	新竹第二淨水場清水池	30,000	0.13	2.03	無，但仍需注意
	湖口高架水塔	2,000	0.14	0.96	無，但仍需注意
	新埔淨水場配水池	1,000	0.17	0.86	無，但仍需注意
	竹科西區加壓站配水池	40,000	0.20	3.22	無，但仍需注意
	龍岡萬噸配水池	10,000	0.10	1.09	無，但仍需注意
	竹科東區加壓站配水池	20,500	0.24	3.52	無，但仍需注意
坪埔加壓站配水池	13,000	0.28	3.84	無，但仍需注意	

表 6-26 加壓站震損評估結果分區統計

管理單位	加壓站 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		
北水處	18	-	-	-	-	-	-	-
台水二區	4	-	-	-	-	-	-	-
台水三區	7	-	-	-	1	4	0.2	3
台水十二區	7	-	-	-	-	-	-	-

總計	36	-	-	-	1	4	0.2	3
----	----	---	---	---	---	---	-----	---

表 6-27 加壓站震損評估結果

管理單位	加壓站名稱	設計出水量 (CMD)	損失 (百萬元)	修復所需天數	損害狀態
台水三區	竹科二階加壓站配水池	275	0.07	1.16	輕微損壞
	竹科西區加壓站配水池	200	0.01	0.36	無，但仍需注意
	竹科東區加壓站配水池	1600	0.05	0.40	無，但仍需注意
	坪埔加壓站配水池	500	0.03	0.45	無，但仍需注意
	竹科西區二期加壓站配水池	625	0.02	0.35	無，但仍需注意

表 6-28 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	
北水處	4	-	-	-	-	-	-
台水二區	尚無資料	-	-	-	-	-	-
台水三區	2	-	-	-	-	2	5
台水十二區	尚無資料	-	-	-	-	-	-
總計	6	-	-	-	-	2	5

表 6-29 水管橋損評估結果分區統計

管理單位	水管橋名稱	橋長 (m)	管徑 (mm)	修復所需天數	損害狀態
台水三區	桃竹雙向送水管橋	620	1,350	1.90	無，但仍需注意
	寶山支援竹北芎林送水管橋	505	1,350	2.88	無，但仍需注意

6.11.2 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 6-30 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合計約為 8,106 處，主要發生於給水管，約有 6,155 個災損點；其次為配水管，約有 1,936 個災損點，輸水管的災損推估為 15 處。

供水評估單元之管線災損結果，如表 6-31 所列，後續以中括號[.]代表供水評估單元名稱，本次想定地震事件，以台水三區較具影響，其因為新城斷層東起新竹縣關西鎮，經新竹市東隅至苗栗縣頭份鎮，斷層途經處地震動與土層破壞之災害均大，而台水三區之[竹南頭份系統]、[竹東系統]、[苗栗系統]和[竹北]的管線災損推估數皆大於 500 處，總計約 4,610 處，其災損不容小覷，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 6-19 所示。

整體管線之修復所需金額，推估約 126,766,400 元，修復所需人時，推估約 132,532 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 4 個多月的時間方能完全修復。

表 6-30 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 $\phi \geq 500\text{mm}$			
北水處	222	38	1	261	3,789	3,443.9
台水二區	312	242	2	556	10,218	9,956.6
台水三區	5,566	1,619	11	7,196	116,818	111,646.4
台水十二區	55	38	1	93	1,707	1,719.5
總計	6,155	1,936	15	8,106	132,532	126,766.4

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 6-31 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 $\phi \geq 500\text{mm}$			
北水處	西區營業區	91.8	15.0	0.2	107	1,524.5	1,388.4
	北區營業區	50.3	7.4	0.1	58	856.1	761.1
	南區營業區	35.2	6.7	0.1	42	609.9	560.8
	東區營業區	32.0	6.5	0.2	39	584.8	548.8
	陽明營業區	13.0	2.1	0.0	15	213.4	184.8
台水二區	楊梅服務所	101.0	65.8	0.5	167	2,979.1	2,890.1
	大溪	91.8	71.3	1.0	164	3,074.0	3,050.9
	中壢服務所	69.9	58.2	0.6	129	2,371.2	2,274.5
	桃園服務所	19.7	21.2	0.2	41	793.9	774.4
	大園服務所	21.3	14.7	0.1	36	630.4	596.9
	龜山服務所	4.8	6.8	0.0	12	239.6	242.0
	林口服務所	2.5	2.0	0.0	5	81.9	81.2
復興系統	0.6	1.6	-	2	47.7	46.6	
台水三區	竹南頭份系統	1,842.0	358.1	3.0	2,203	33,851.8	31,665.3
	竹東系統	1,069.6	143.2	0.3	1,213	18,164.4	16,894.0
	苗栗系統	518.9	129.5	1.3	650	9,960.0	9,481.5
	竹北	405.3	128.3	1.1	535	8,579.1	8,169.9
	新竹市市區	219.5	154.9	0.9	375	6,882.8	6,995.9
	北埔系統	301.1	61.4	-	363	5,614.8	5,110.4
	新竹市東	166.4	114.7	1.9	283	5,533.4	5,687.2
	湖口新豐	220.7	53.4	0.3	274	4,145.0	3,945.2
	寶山	139.1	123.9	0.3	263	5,287.3	5,374.6
	芎林系統	168.6	56.5	-	225	3,900.7	3,752.8
	關西系統	156.4	34.6	-	191	2,973.5	2,631.0
	南庄系統	97.2	62.7	-	160	2,891.9	2,678.3
	新竹市香山	56.9	74.5	0.6	132	2,692.9	2,783.3
	新竹科學園區	20.2	61.1	1.4	83	2,400.5	2,884.0
	鯉魚潭系統	48.4	23.4	0.1	72	1,182.0	1,125.2
	新埔系統	46.5	9.1	0.0	56	841.9	745.3
內灣系統	23.4	9.5	-	33	552.6	531.8	

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 $\phi \geq 500\text{mm}$			
	梅花系統	27.2	0.5	-	28	360.1	250.4
	尖石系統	17.6	8.2	-	26	441.0	416.0
	五峰系統	11.4	7.6	-	19	333.4	299.7
	大湖系統	9.8	4.4	-	14	228.9	224.6
台水十二區	鶯歌服務所	9.3	9.8	0.2	19	380.4	400.1
	板橋服務所	13.3	5.8	0.1	19	325.2	318.4
	土城服務所	12.0	3.9	0.1	16	253.1	247.1
	新莊服務所	6.6	8.2	0.2	15	307.9	309.0
	樹林服務所	8.6	5.4	0.1	14	251.8	250.4
	泰山營運所	3.6	2.9	0.1	7	124.8	129.0

註：本表係統計各管理單位中供水受影響之供水評估單元

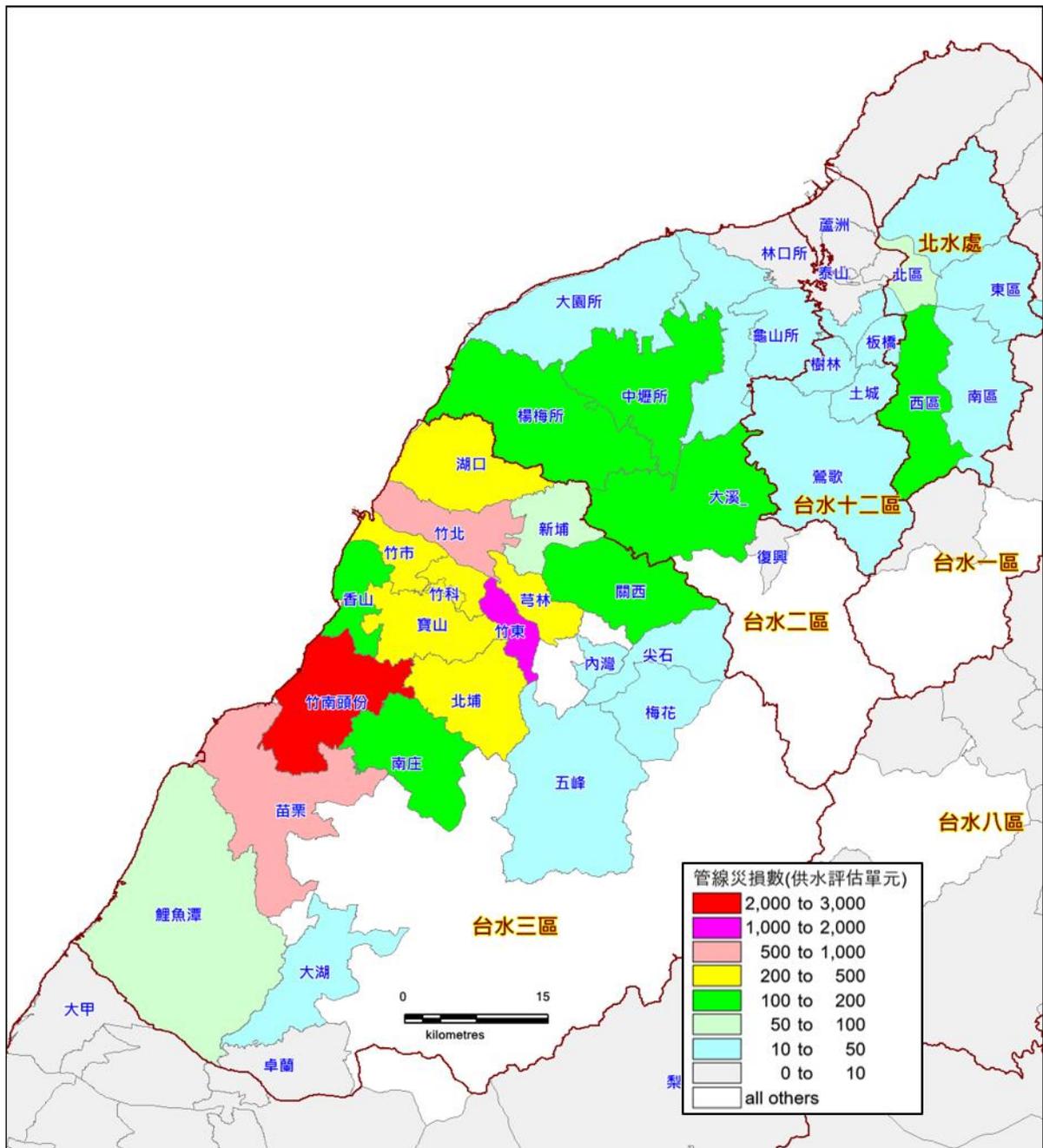


圖 6-19 供水評估單元之自來水管線災損數分布

6.11.3 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 6-32 所列，整體缺水率達 13.4%，停水戶數總計達 280,947 戶，台水三區影響最多占 161,000 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 6-33 所列，由震後缺水率推估結果以，以[新竹市東]、[新竹科學園區]之缺水率最高，分別為 71.8%與 66.9%。供水評估單元之

缺水率分布圖 6-20 所示。

表 6-32 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
北水處	1,485,881	1,662,117	63,465	3.8	40,366
台水二區	747,440	1,136,637	120,736	10.6	58,002
台水三區	455,893	841,555	378,726	45.0	161,000
台水十二區	752,150	800,049	32,486	4.1	21,579
總計	3,441,364	4,440,358	595,413	13.4	280,947

表 6-33 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	受影響戶數	每日配水量(CMD)	停水戶數	缺水量(CMD)	缺水率(%)
北水處	西區營業區	431,099	482,230	15,520	24,242	5.0
	北區營業區	263,853	295,148	11,208	11,900	4.0
	東區營業區	400,277	447,753	7,388	17,368	3.9
	南區營業區	390,652	436,986	6,250	9,955	2.3
台水二區	大溪	74,751	113,680	24,192	28,512	25.1
	楊梅服務所	90,923	138,274	14,203	19,098	13.8
	中壢服務所	274,907	418,075	9,183	50,717	12.1
	桃園服務所	179,727	273,325	7,369	15,864	5.8
	大園服務所	47,514	72,259	1,806	3,854	5.3
	復興系統	760	1,098	1,025	37	3.4
	龜山服務所	44,564	67,772	206	2,201	3.2
	林口服務所	34,294	52,154	18	453	0.9
台水三區	新竹市東	27,883	35,105	35,332	25,198	71.8
	新竹科學園區	395	160,482	33,944	107,342	66.9
	竹南頭份系統	63,546	112,313	19,349	72,017	64.1
	竹東系統	30,644	30,971	17,873	18,084	58.4
	寶山	11,928	20,060	17,223	10,072	50.2
	苗栗系統	45,205	51,809	15,199	24,271	46.8
	竹北	51,735	74,113	6,870	34,179	46.1
	新竹市市區	92,744	107,600	4,938	48,623	45.2
	新竹市香山	19,684	29,212	4,588	12,687	43.4
	內灣系統	525	372	1,157	120	32.3
	北埔系統	3,322	4,133	1,088	1,318	31.9
	尖石系統	209	522	821	166	31.8
	芎林系統	4,821	5,074	713	1,578	31.1
	南庄系統	3,771	4,801	711	1,198	25.0
梅花系統	13	87	682	20	23.0	

管理單位	供水評估單元	受影響戶數	每日配水量(CMD)	停水戶數	缺水量(CMD)	缺水率(%)
	關西系統	4,555	4,979	231	1,041	20.9
	湖口新豐	55,709	136,779	131	16,855	16.3
	新埔系統	7,662	7,760	70	955	12.3
	五峰系統	317	877	51	102	11.6
	鯉魚潭系統	27,887	50,225	27	2,771	5.5
	大湖系統	3,338	4,281	2	129	3.0
台水十二區	鶯歌服務所	80,466	85,590	5,022	6,973	8.1
	樹林服務所	76,574	81,450	4,920	4,292	5.3
	新莊服務所	149,097	158,592	4,667	7,322	4.6
	泰山營運所	54,559	58,033	2,910	2,076	3.6
	土城服務所	87,387	92,952	2,010	3,106	3.3
	板橋服務所	218,327	232,232	1,364	7,675	3.3
	蘆洲服務所	85,740	91,200	686	1,042	1.1

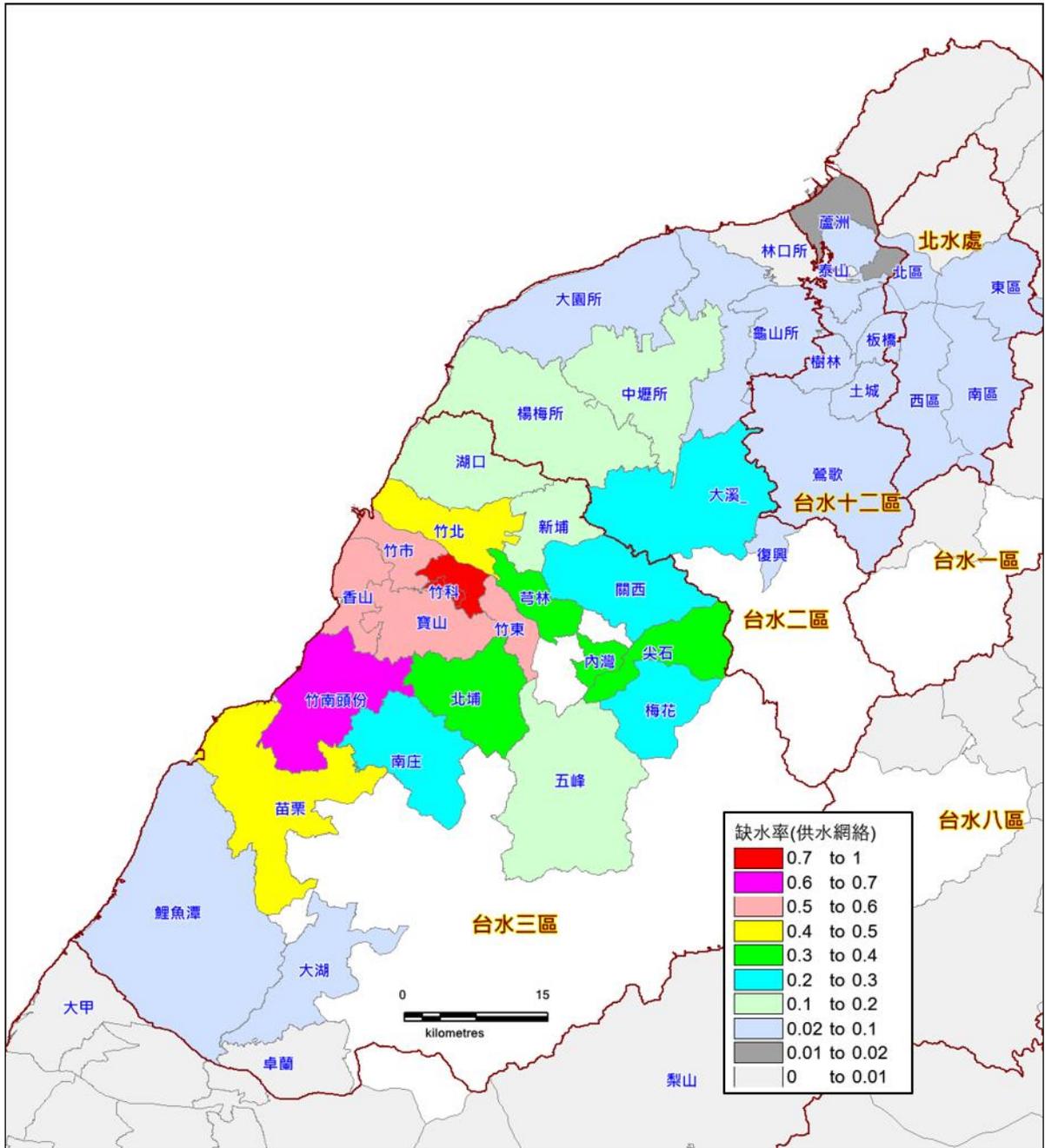


圖 6-20 供水評估單元之自來水管線缺水率分布

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. 楊承道、曹雅筑、吳文元、朱易昌，2022。救援路網規劃與震損風險評估原型軟體發展 QGIS Python Plugin 開發者技術手冊(第一版)，國家地震工程研究中心報告(NCREE-22-019)
19. 楊承道、曹雅筑、朱易昌、吳文元。關鍵設施之設備與非結構構件耐震評估與性能提升策略整合研究—都會區想定地震境況下高風險街廓與救援路線識別研究與軟體工具研發(子計畫十二) (I) (II)，國科會專題研究計畫報告 (MOST-110-2625-M-492-013、MOST-111-2625-M-492-006)。
20. 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。
21. 陳志欣、葉錦勳、黃李暉(2021)，六都想定地震事件震損評估查詢網之研發。健行科技大學 2021 土木工程與防災研討會，桃園。
22. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. Retrieved from https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf.
23. 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>.

24. 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.
25. Côté, M.J. (1999). Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic. *Socio-Economic Planning Sciences*, 33, 231-245.
26. Müller, K. and Vignaux, T. (2003). SimPy: Simulating Systems in Python. ONLamp.com Python Devcenter.
27. Ministry of the Interior. 2019. Summary report by central emergency operation center for 0206 Hualien Earthquake.
28. 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.
29. 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).
30. 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.
31. 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.
32. Housner, G.W. (1963). “The behavior of inverted pendulum structures during earthquakes,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, 53, 403-417.
33. 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.
34. Ishiyama, Y. (1982). “Motions of rigid bodies and criteria for overturning by earthquake excitations, ” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10, 635–650.

35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. 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.
41. 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)
42. Pho Thanh Tung, 2004. Road vulnerability assessment for earthquakes. ITC-Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Nepal
43. Yi-Chang Chu, and 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.

44. Yi-Chang Chu, 2022. Post-earthquake Risk and Vulnerability Assessment Road System. Master thesis, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
45. Yi-Chang Chu, Cheng-Tao Yang, Chin-Hsun, Yeh, and Szu-Yun Lin, 2022. Multi-index assessment for seismic risk and vulnerability of road system — A case study of Taipei City. (manuscript submitted to International journal of disaster risk reduction in September).
46. Donald L. Wells, Kevin J. Coppersmith(1994), “New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement”, Bulletin of the Seismological Society of America, August, 84(4), 974-1002.