

震災風險評估與管理平台

Platform of Seismic Risk Assessment and Management

主管單位：財團法人國家實驗研究院

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

¹財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

²國立臺灣大學土木工程學系

摘要

震災風險評估與管理平台的研發目標，在提供政府機關、事業單位、防災協力研究機構等，專業的地震損失評估工具與服務。為達此目標須持續彙整與校正各種災害潛勢與基礎設施資料、整合與研發先進的震損評估模式，以及開發貼近使用者需求的應用軟體與雲端服務。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。

關鍵詞：震損評估、近斷層、急救責任醫院、交通路網、新城斷層

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.

Keywords : seismic risk assessment, near fault, first-aid hospitals, road networks, Hsincheng Fault.

一、前言

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心(簡稱國震中心)已研發的台灣地震損失評估系統(Taiwan Earthquake Loss Estimation System, 簡稱 TELES), 整合多種全國性資料、震損評估模式和本土化參數值, 並結合地理資訊系統展示各項設施、資源與震損評估結果的空間分佈。TELES, 一方面已協助各縣市政府和防災協力暨學術單位進行防災規劃和相關研究; 另一方面已應用於地震應變機制, 於震後快速提供人員傷亡、

建築物損害、自來水管線災損、地震保險理賠損失金額等模擬結果，大幅提升政府和事業單位的應變效率。為精進國震中心之地震防災應變技術支援能力，協助政府與民間業者提出健全的地震防救災對策，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。

二、整合震損評估模組與 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。

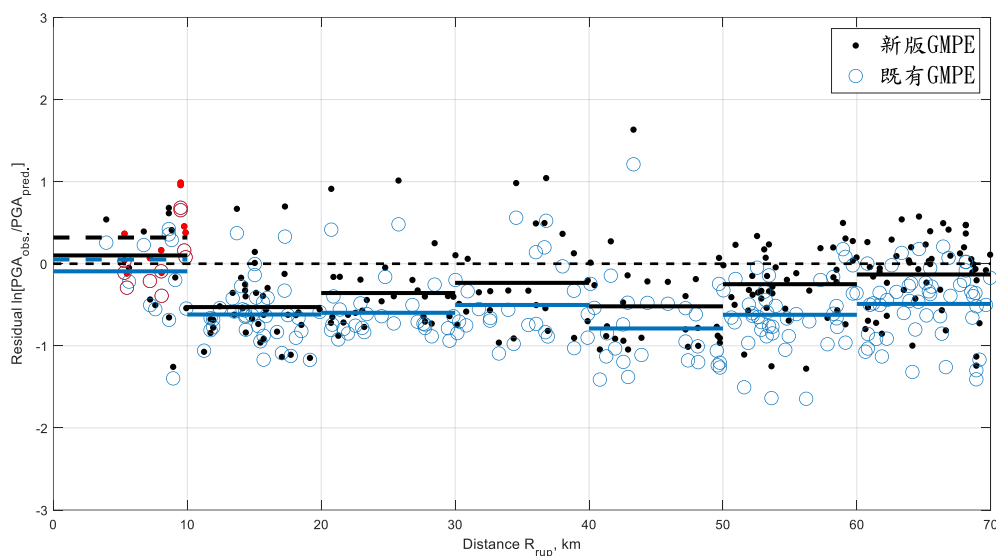


圖2-1 921集集地震測站PGA推估結果與量測值差異

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地震災害潛勢分析模組，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。

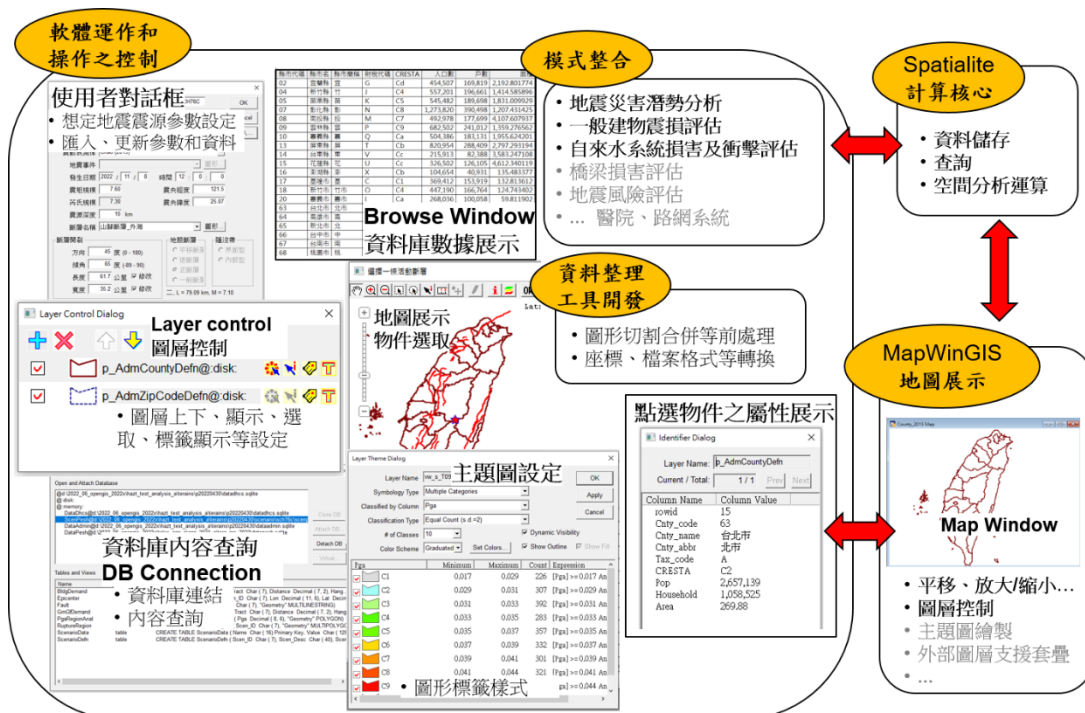


圖 2-2 Open GIS 震損評估軟體架構

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。

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。

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

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。

三、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，如圖 3-1），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。

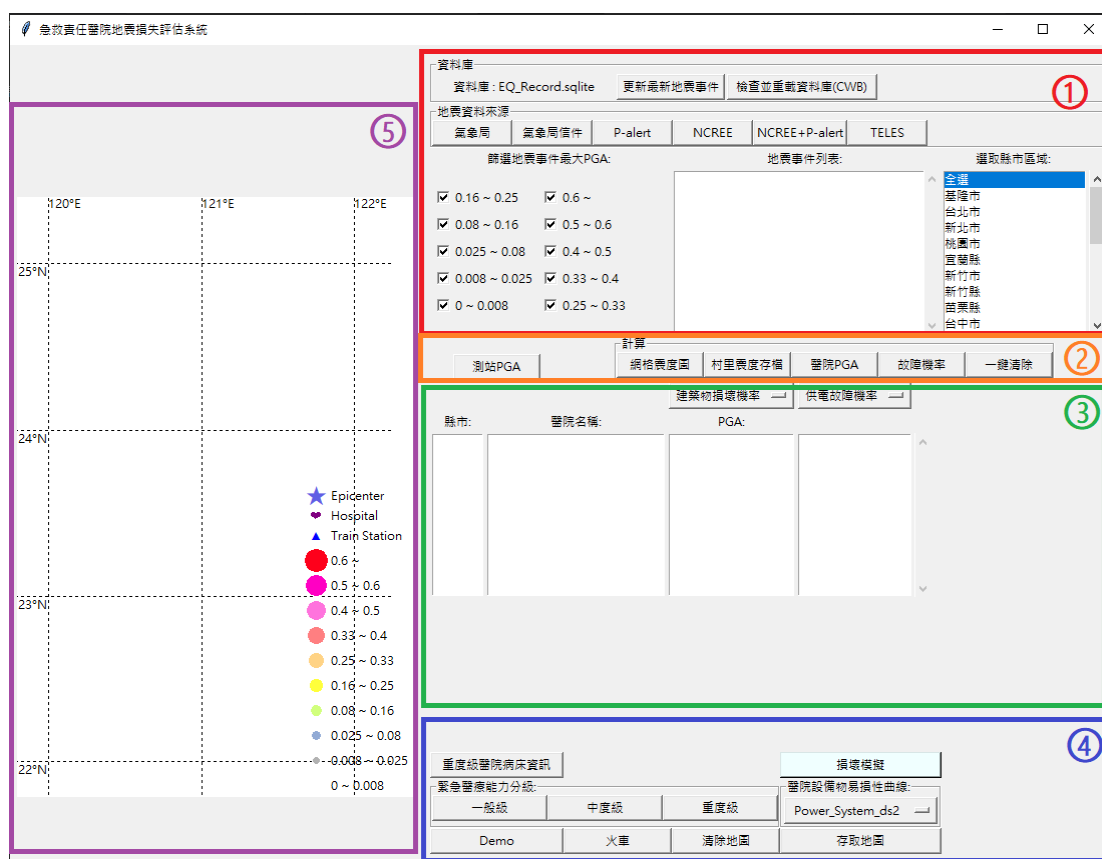


圖3-1 THospital使用者介面首頁畫面

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：

$$V_{y1} = \frac{S_{ad}I}{1.4\alpha_y F_u} W$$

因此可以獲得強度係數 S 為：

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

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）

四、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。

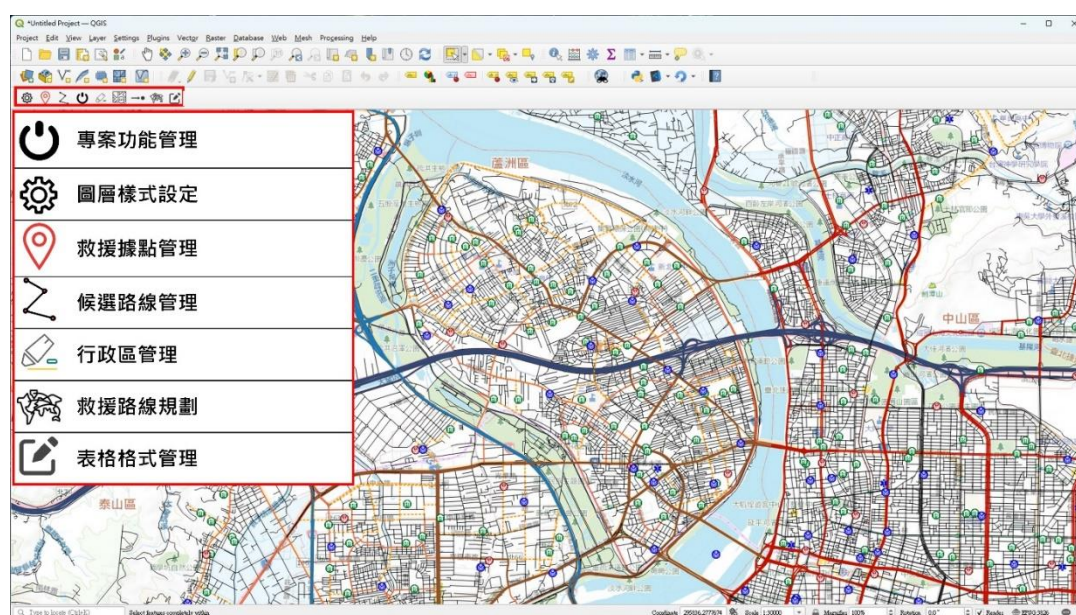


圖 4-1 ROSA 介面

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。

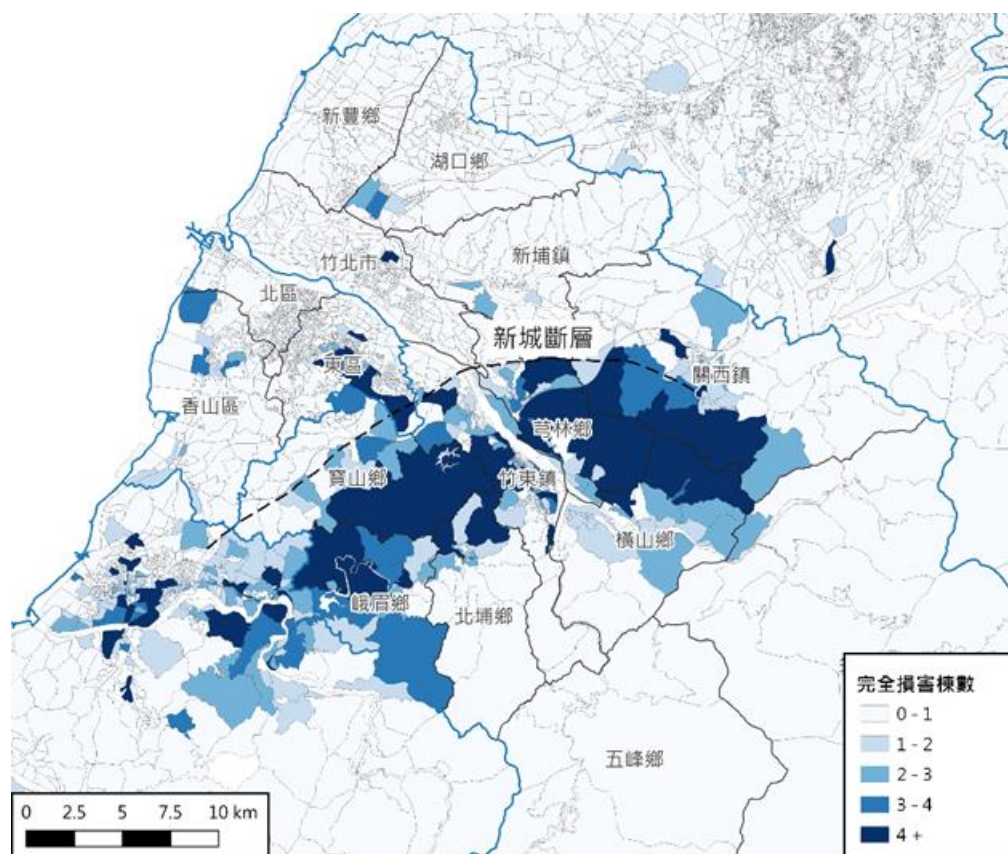


圖 4-2 想定地震下街廓內建築物完全損壞棟數

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此區域，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。

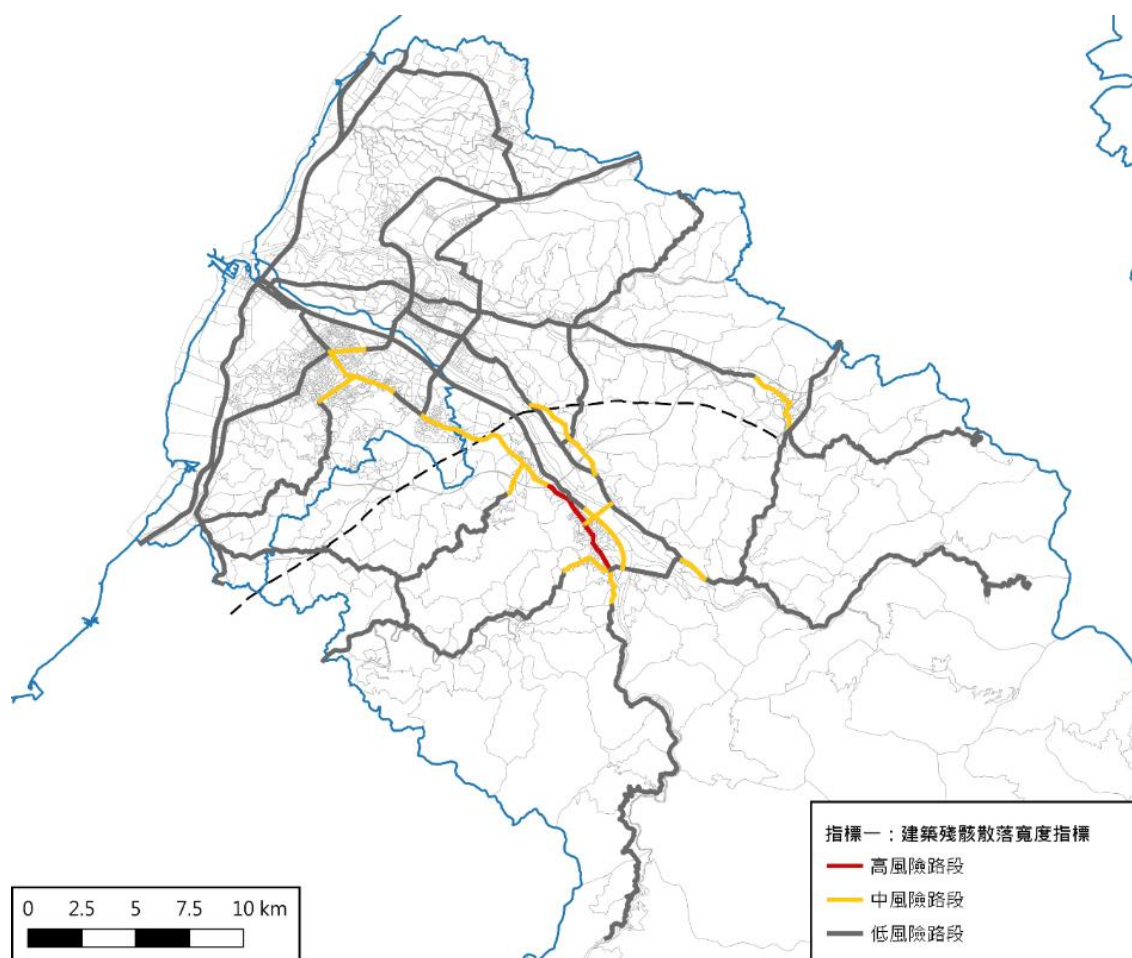





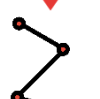
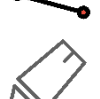



圖 4-3 新竹縣市道路阻斷風險指標分析結果

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。

五、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。

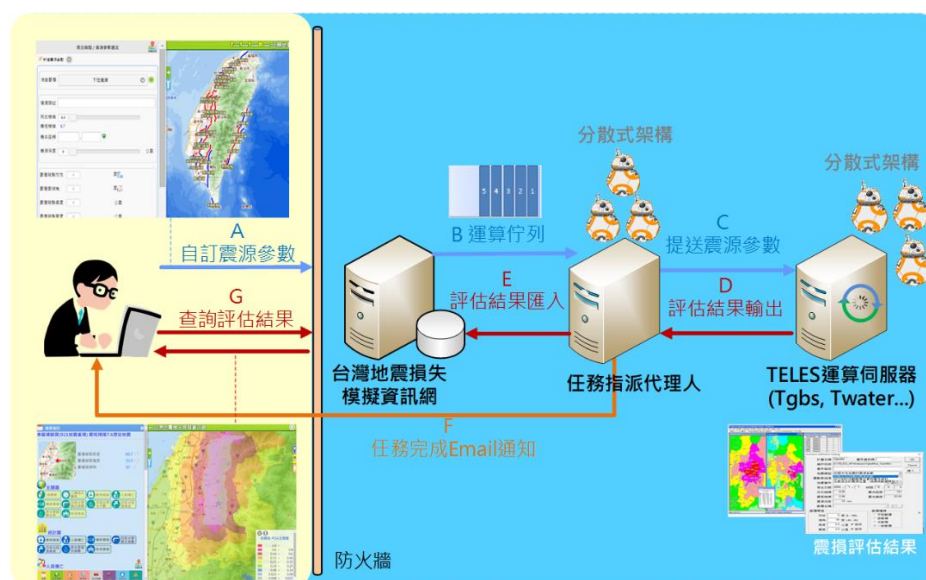


圖 5-1 系統運算架構圖

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)。

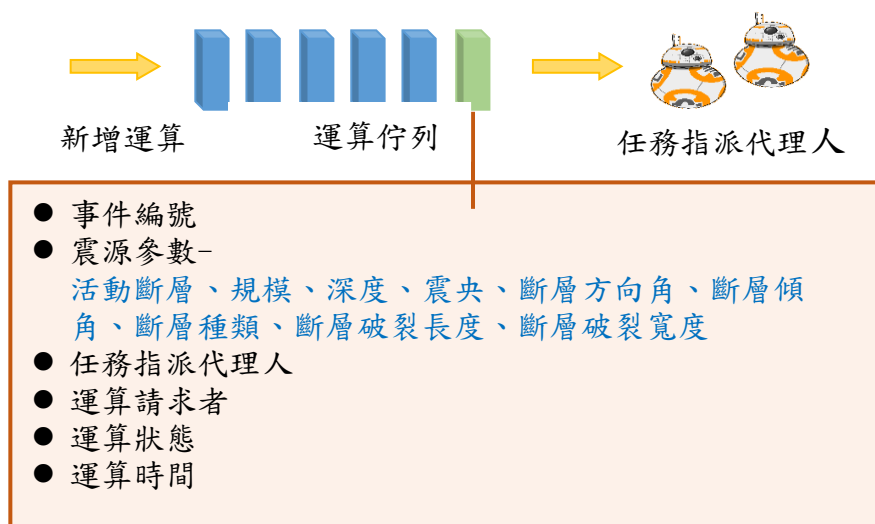


圖 5-2 運算佇列圖

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。

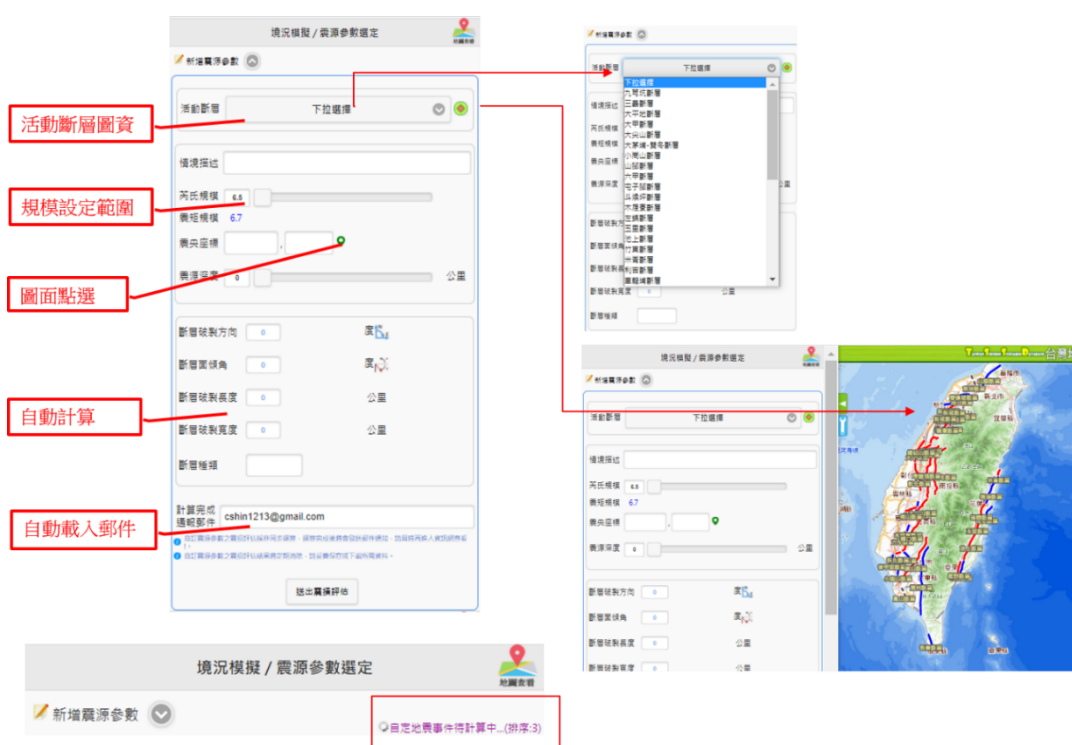


圖 5-3 震源參數設定介面圖

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)。

斷層名稱	芮氏規模	震源深度 (公里)	斷層破裂長度 (公里)	斷層破裂寬度 (公里)	斷層面傾角 (度)	斷層破裂方向
米崙斷層	6.5	10	22	19	62	30 (北偏東)
左鎮斷層	6.8	10	35	26	62	30 (北偏東)
山腳斷層	6.7	1	31	24	62	30 (北偏東)
山腳斷層	6.5	10	22	19	62	30 (北偏東)

圖 5-4 想定地震事件查詢列表

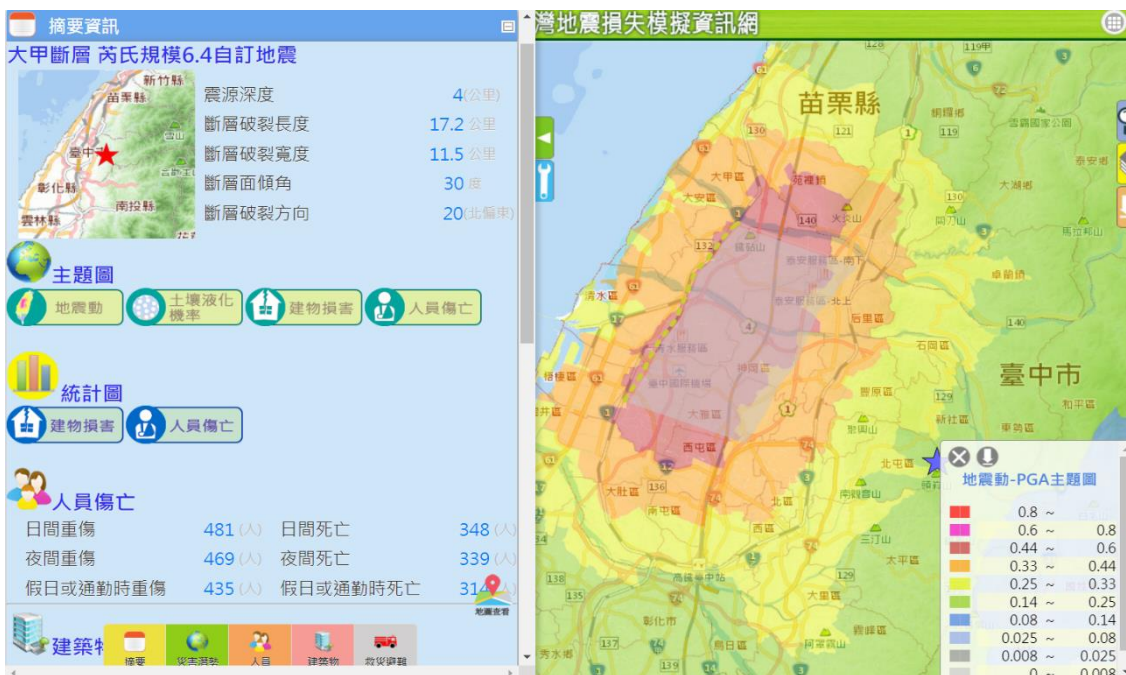


圖 5-5 震損評估摘要

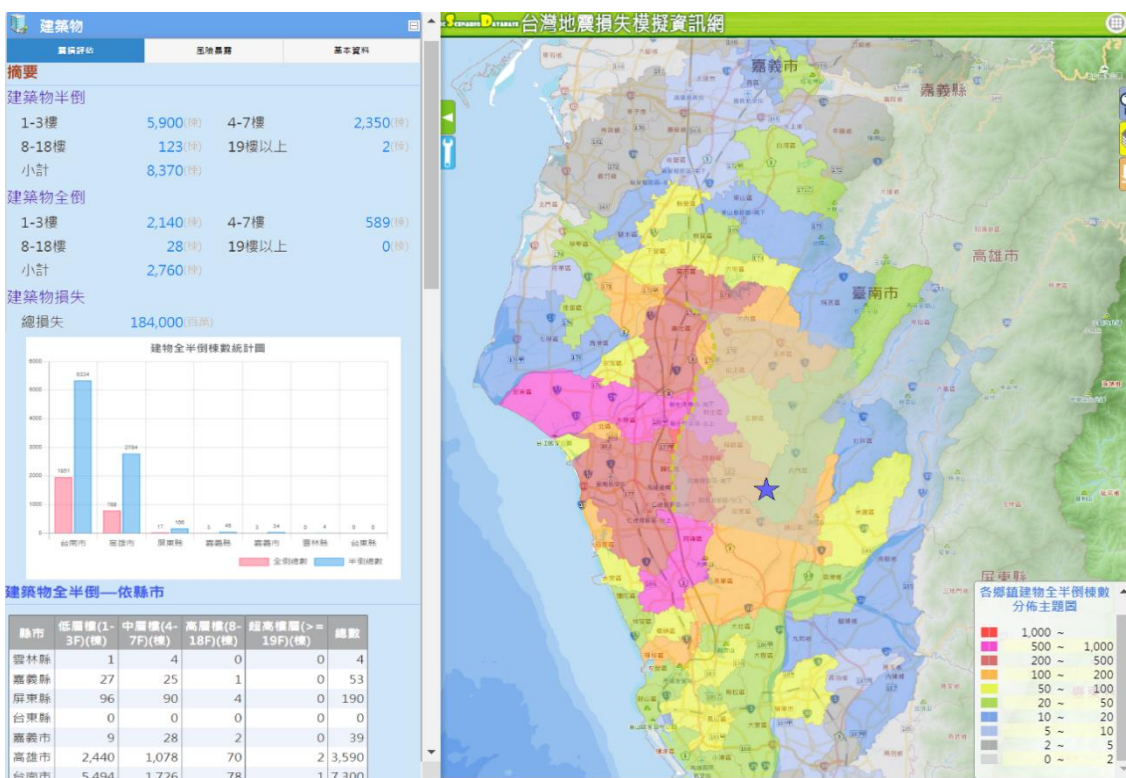


圖 5-6 建築物損害震損評估介面

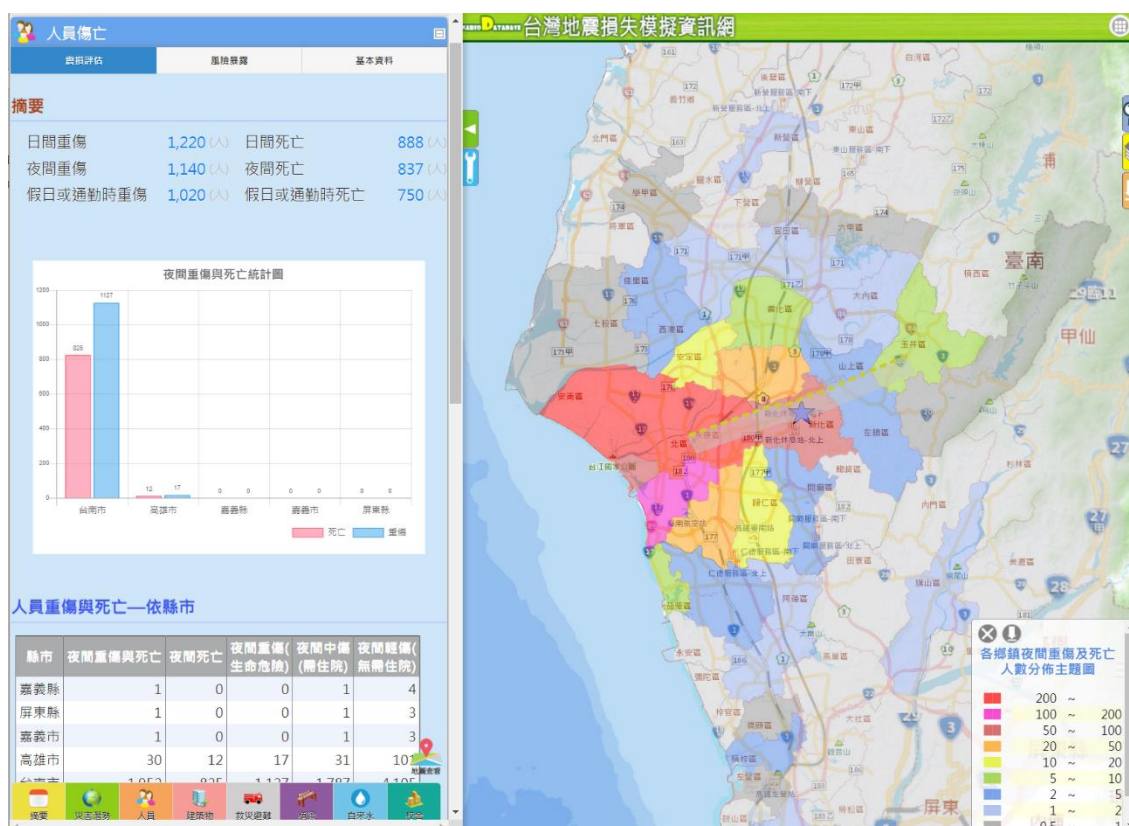


圖 5-7 人員傷亡震損評估介面

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。

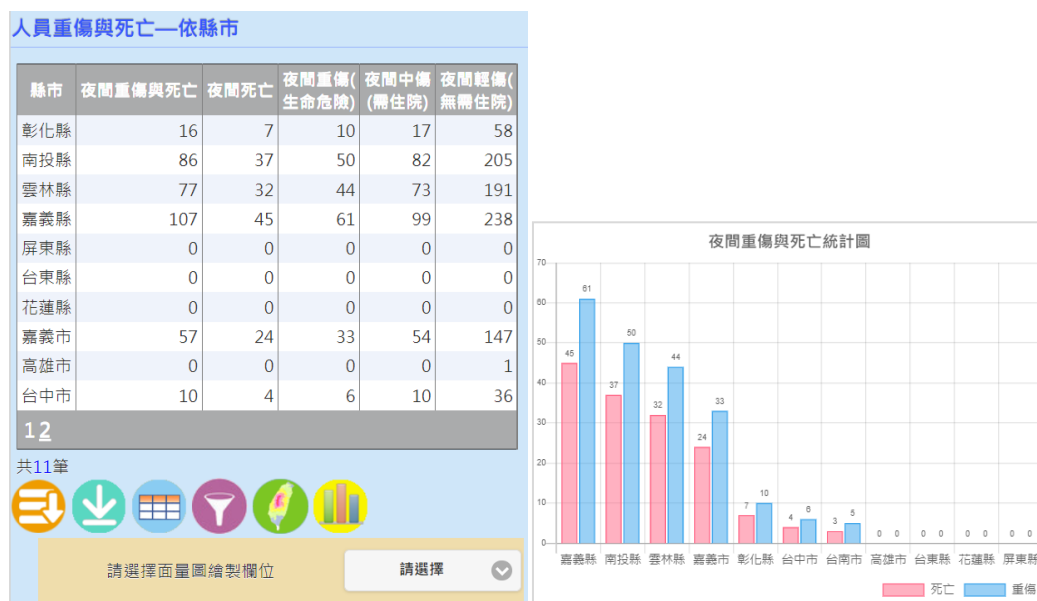


圖 5-8 人員重傷與死亡評估數量與統計圖

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。

六、桃竹苗大規模地震災損推估

6.1 背景說明

中央災害防救會報於 106 年 5 月 11 日第 36 次會議決定，啟動「震源情境模擬」、「災損推估」及「因應對策」等小組，共同進行大規模地震情境模擬與對策擬定。由國立中央大學馬國鳳教授帶領的「震源情境模擬」小組完成地動模擬，國震中心配合該小組的地動模擬結果，利用台灣地震損失評估系統(TELES)完成「災損推估」工作，將結果提供因應對策小組作為後續研擬因應對策的參考。106 年至 107 年針對「山腳斷層南段錯動」的大規模地震模擬分析大台北都會區可能的災害情境，108 年完成台灣周遭隱沒帶震源引致大規模地震，對大台北都會區之衝擊情境模擬。109 年則探討「中洲構造引致大規模地震」對南部地區之衝擊。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。據震源情境模擬小組研擬之震源參數。以下分段說明建築物、鐵公路橋梁、自來水系統和各種重要設施等災損推估的結果。

6.2 一般建物損害與人員傷亡評估結果

在模擬地震情境作用下，TELES 之一般建物災損推估結果，展示於圖 6-1 中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。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)。

人員傷亡評估模式考慮因一般建築物損害所引致的傷亡數量，人員傷亡程度概分為四級：第一級(輕傷)僅需基本治療，不需住院；第二級(中傷)需較多的醫療手續且需住院，但無生命危險；第三級(重傷)若無適當搶救且迅速的送醫治療將有立即的生命危險；第四級(死亡)則是震後立即死亡。圖 6-2 為桃竹苗地區各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。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。

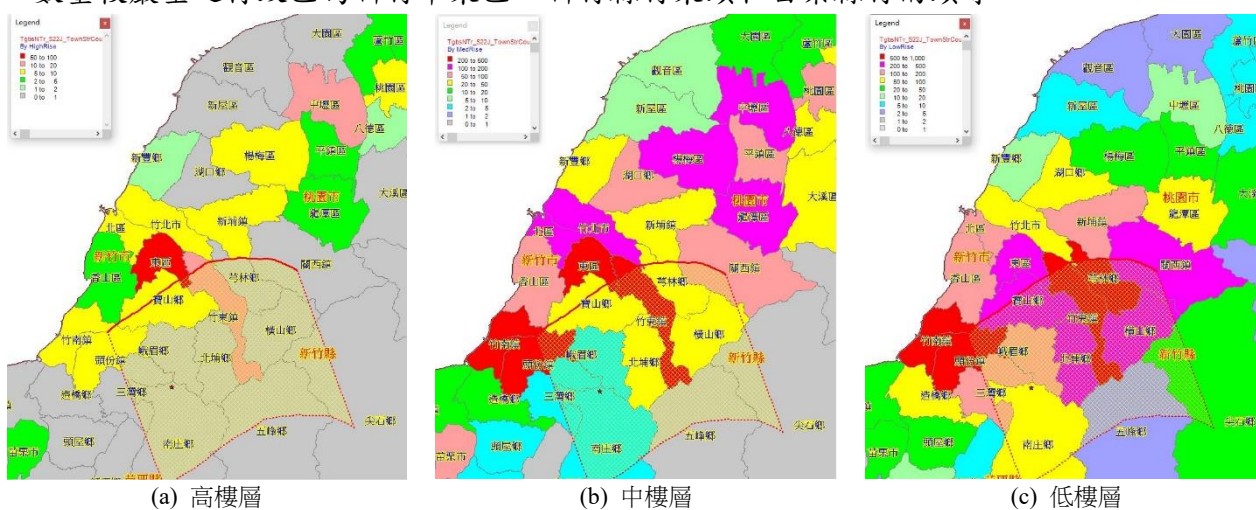


圖 6-1 桃竹苗全半倒棟數分布

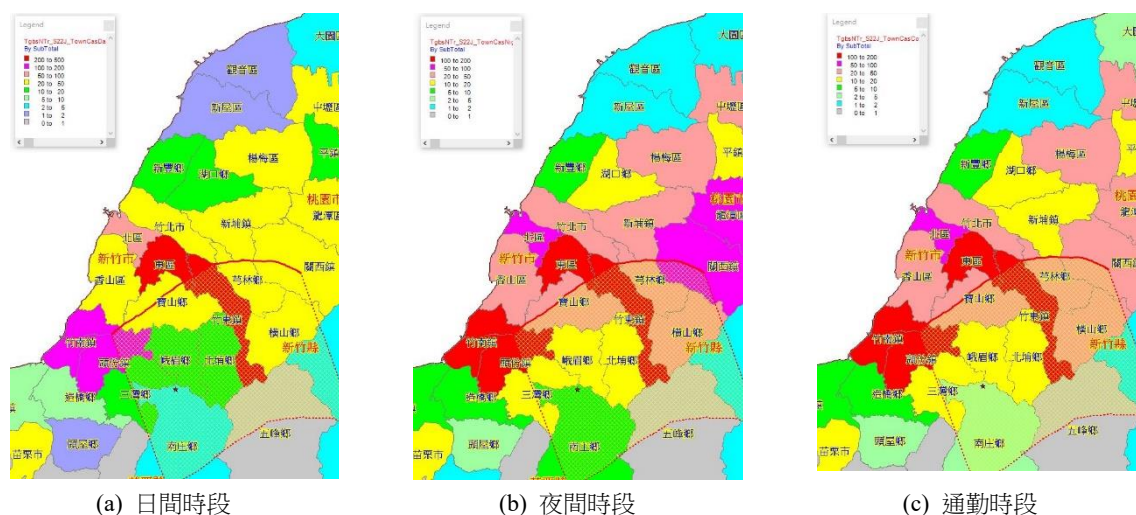


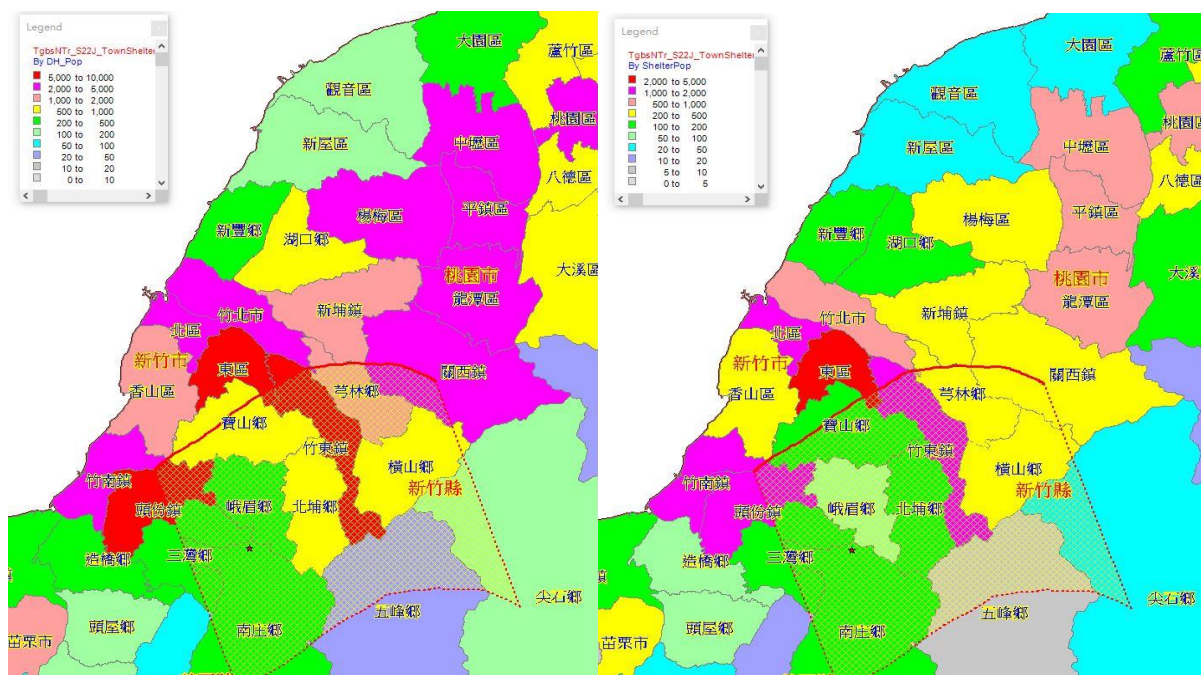
圖 6-2 桃竹苗人員傷亡數量分布

6.3 避難收容

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

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

圖 6-3 為桃竹苗地區需搬遷人數分布和臨時避難收容人數分布。由推估數值得知，新竹市東區、新竹縣竹東鎮和苗栗縣頭份鎮震後臨時避難收容人數需求較高。



(a)需搬遷人數分布

(b)臨時避難收容人數分布

圖 6-3 避難收容需求分布推估

6.4 公路橋梁損害評估

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 6-5 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。

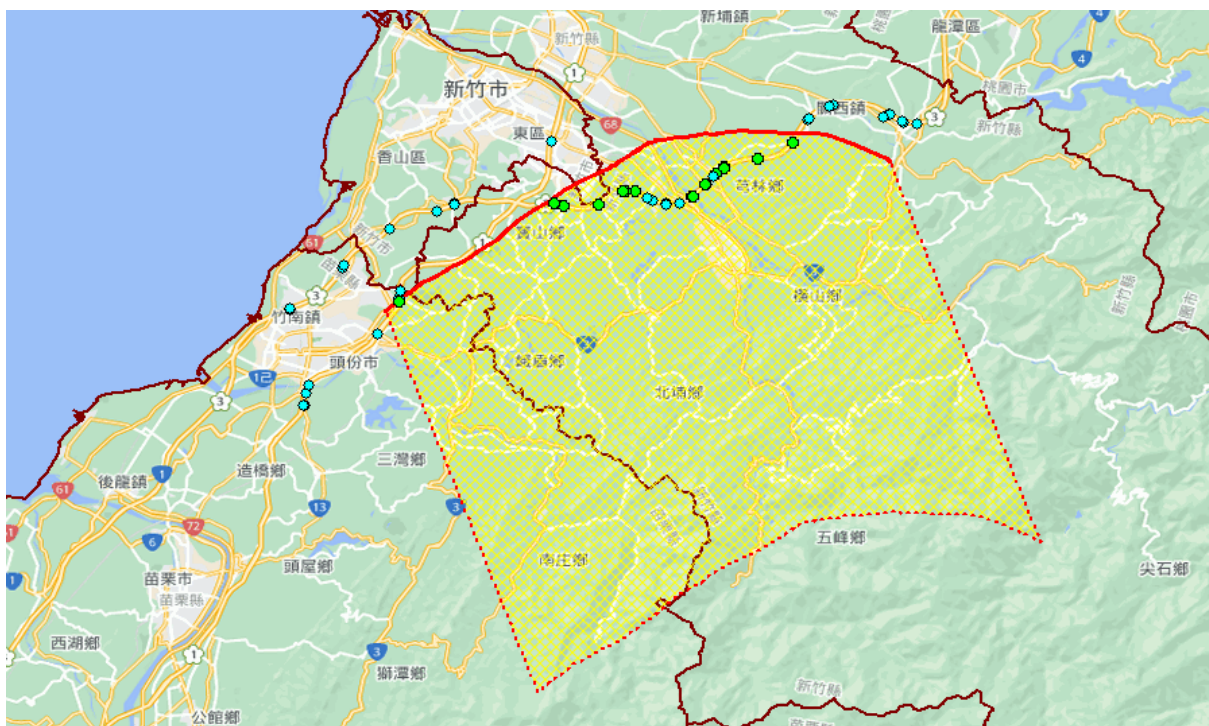


圖 6-4 國道公路橋梁震損評估結果

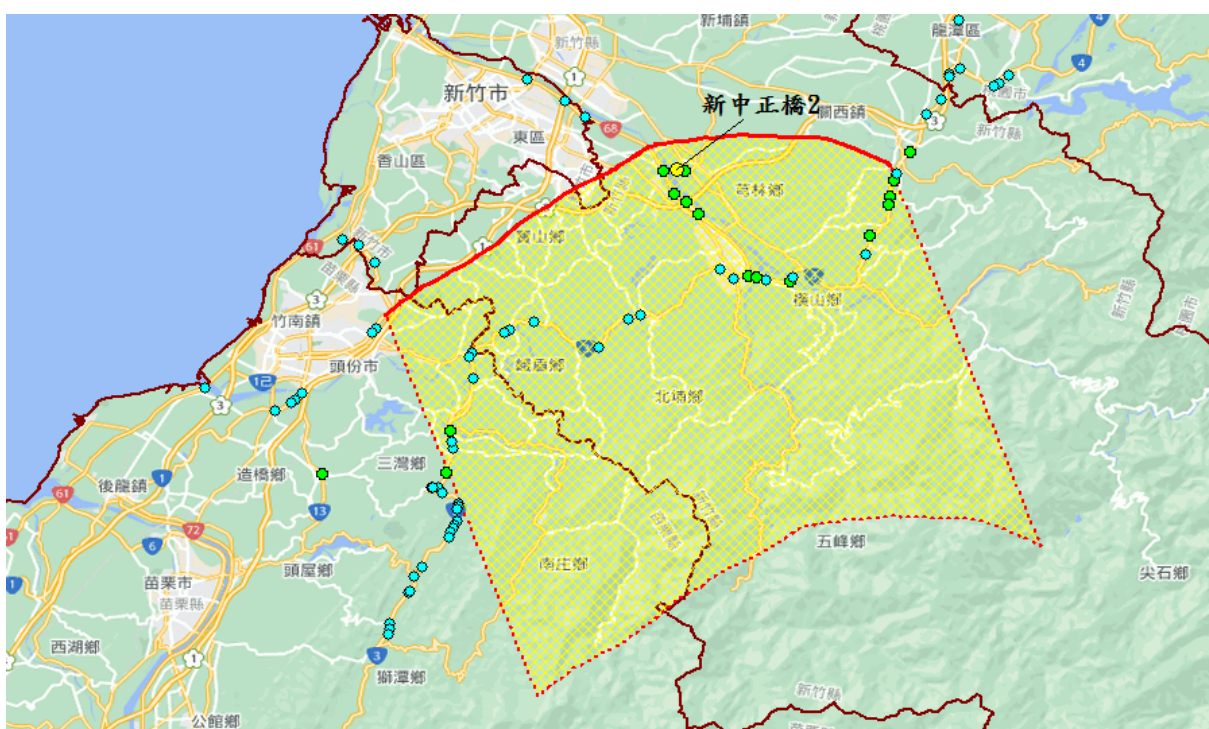


圖 6-5 省縣道公路橋梁震損評估結果

6.5 自來水系統損害評估

供水設施震損推估結果彙整如表 6-1 所列。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，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。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。5 座配水池輕微損壞。推估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。

管線災損數與停水戶數統計如表 6-2 所列，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。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，約需 4 個多月的時間完全修復

表6-1 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

表6-2 管線災損數與停水戶數統計

管理單位	管線總災損數(處)	管線修復所需人時(人時)	管線修復所需金額(千元)	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	261	3,789	3,443.9	1,485,881	1,662,117	63,465	3.8	40,366
台水二區	556	10,218	9,956.6	747,440	1,136,637	120,736	10.6	58,002
台水三區	7,196	116,818	111,646.4	455,893	841,555	378,726	45.0	161,000
台水十二區	93	1,707	1,719.5	752,150	800,049	32,486	4.1	21,579
總計	8,106	132,532	126,766.4	3,441,364	4,440,358	595,413	13.4	280,947

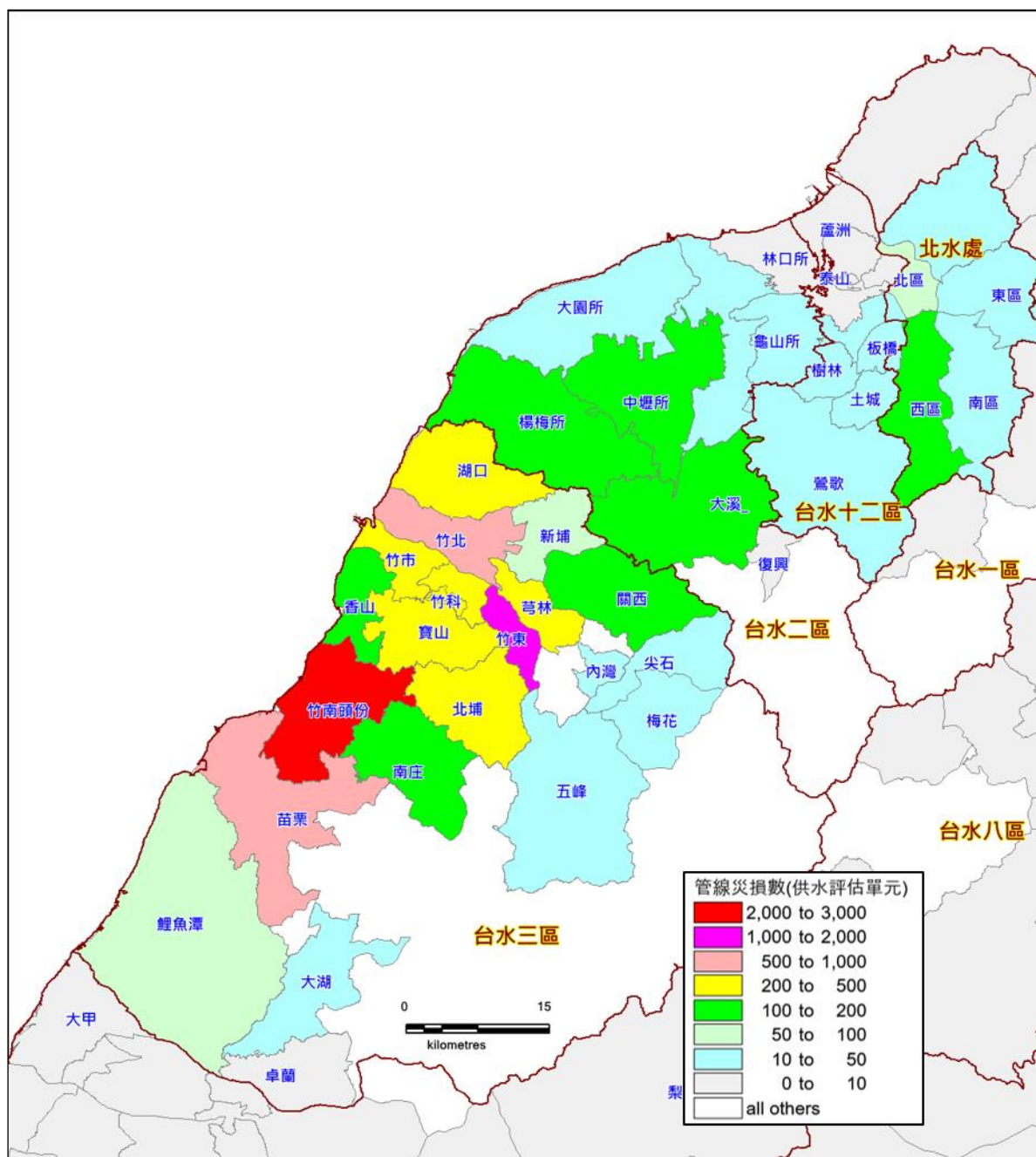


圖 6-10 供水評估單元自來水管線災損分布

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.