

防災避難圈空間系統之震災複合性衝擊分析方法研究

Comprehensive Seismic Impact Analysis for Disaster Evacuation in Urban Spaces

主管單位：科技部

柯孝勳¹ 吳秉儒¹ 許智豪¹ 林佳瑩¹
Ke, Siao-Syun¹ Wu, Bing-Ru¹ Hsu, Chih-Hao² Lin, Chia-Ying

¹ 國家災害防救科技中心

摘要

本研究主要考量重要設施遭遇大規模地震災害之系統相依性，開發震災衝擊鏈量化模擬技術，結合本中心發展之網格化地震衝擊分析工具，進行情境模擬分析；並藉由建築資訊模型(Building Information Model, BIM)技術之輔助，考量震後直接與間接之複合性致災因素，建立大規模地震防災避難應用空間之衝擊量化分析模式，提供研議相關防災對策之科學評估依據。

關鍵詞：地震、相依性、情境模擬、建築資訊模型、避難、防災

Abstract

This study mainly develops the quantitative simulation technique to evaluate the impact of cascading failure on important infrastructures with consideration of system interdependence subjected to large-scale earthquakes. The mesh-based impact analysis tool developed by our center was adopted to perform the scenario simulation. Taken the direct and indirect disaster factors into consideration, With integration of building information model,

Keywords : earthquake, interdependence, scenario simulation, building information model, evacuation, disaster mitigation.

一、前言

本研究主要考量重要設施遭遇大規模地震災害之系統相依性，開發震災衝擊鏈量化模擬技術，結合本中心發展之地震衝擊資訊平台(Taiwan Earthquake Impact Research and Information Application Platform, TERIA)進行情境模擬分析(吳子修等人，2014；劉淑燕等人，2014)；並藉由建築資訊模型(Building Information Model, BIM)技術之輔助，考量震後直接與間接之複合性致災因素，建立大規模地震防災避難應用空間之衝擊量化分析模式，提供研議相關防災對策之科學評估依據。

二、研究方法

2.1 震後廣域運輸機能衝擊鏈評估模型建置

運輸系統於都市發展中具重要性，災時為提供災害救援、物資運補、民眾避難之安全廊道。由重大震災經驗顯示，強震常造成道路與橋梁毀壞、或建物倒塌間接引致交通阻塞災情，後果將引致救災延宕、二次火災等連鎖性衝擊。本項子計畫目的為建置震後廣域運輸機能衝擊分析模式，並利用地震情境模擬案例呈現研究成果。

1. 推演模式建置：依據運輸系統災害特性，考量直接與間接災害因子建置道路系統震災衝擊評估程序。強震區建物倒塌高密度處，因建物倒塌碎屑落下，交通可能阻塞封閉，故本研究保留直接損壞模式外，優先發展震後建物倒塌引起道路阻斷評估模式。
2. 道路系統間接災害：本研究估計倒塌建物碎屑阻斷形式區分二類，分別為縱向阻斷：沿道路兩側倒塌建物密度導致路段將被碎屑阻斷；橫向阻斷：倒塌建物緊鄰道路並直接面對一條路線受碎屑百分比之影響。縱向阻斷模式架構如圖 1 所示，最終再將兩模式結果聯集分析與結果彙整。完整震後建物倒塌引起救援道路阻斷評估流程圖如圖 2 所示。

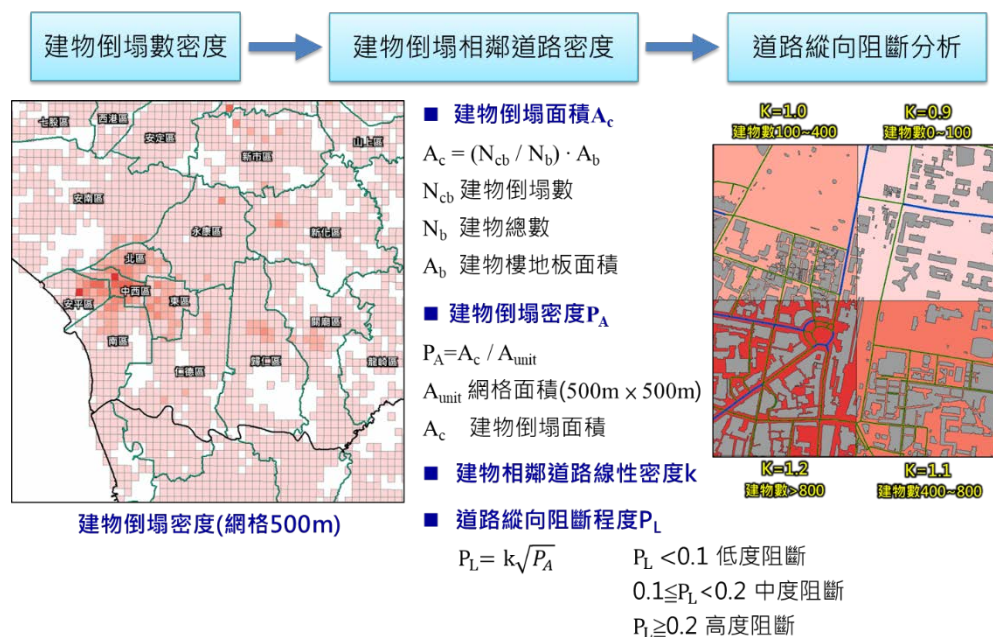


圖 1、建物倒塌引起道路縱向阻斷評估模式

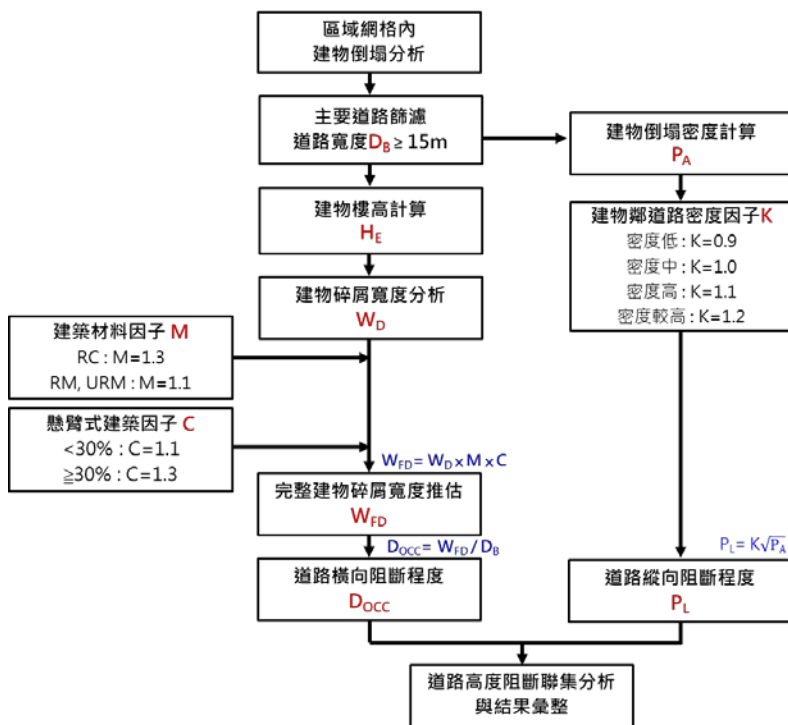


圖 2、完整建物倒塌引起道路阻斷分析流程

2.2 應用建築資訊模型技術分析關鍵基礎設施避難疏散空間風險

1. 建立建築資訊模型

因應本年度國家防災日地震演練情境設定於中洲構造，影響區域主位為臺南市，選定臺南火車站為示範案例，取得提供旅客參考之現場平面圖，並透過現場勘查取得相關尺寸及其他細節，建立其建築資訊模型，以便進行後續避難疏散空間風險分析應用。另外，依相同方式建構松江南京捷運站建築資訊模型，如圖3、4所示。

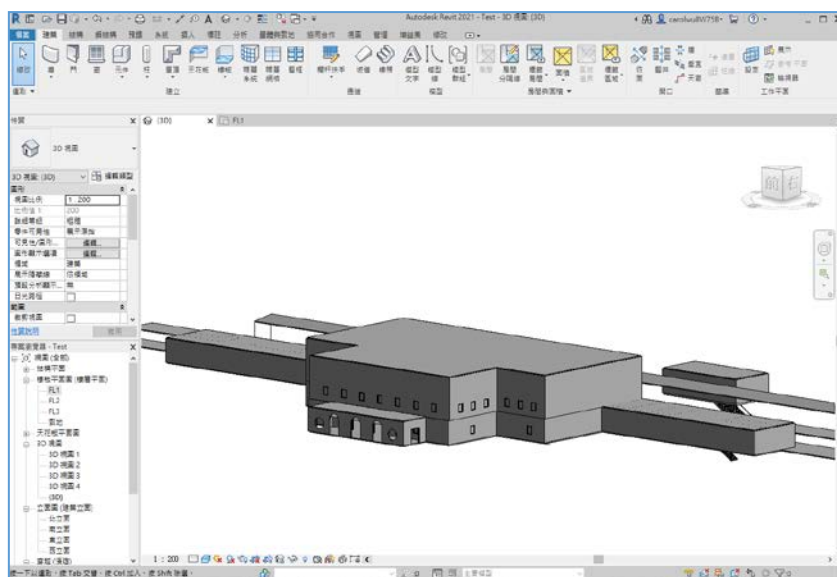


圖 3、臺南火車站建築資訊模型

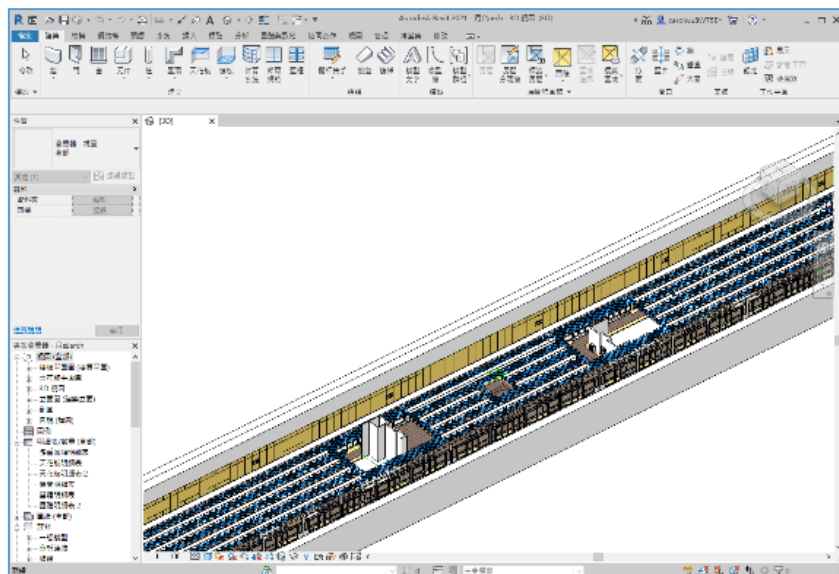


圖 4、捷運松江南京站建築資訊模型

2. 緊急疏散能力因子

參考地下車站避難疏散相關文獻，透過已建立之建築資訊模型，獲取相關要素，設定避難動線之緊急疏散能力因子(表 1)，並由這些因子計算出口容量，進而推估人員疏散時間。

表 1、臺南火車站內不同區域之緊急疏散能力因子

人員可能分布區域	元素	數量
前站建物站體	通往戶外之門	5
第一月台(順行，北上)	驗票閘門(往前站建物)	7
	驗票閘門(通往站外)	9
第二月台(逆行，南下)	樓梯(通往地下道)	2
後站建物站體	驗票閘門	4
	通往戶外之門	1

2.3 都會區防災空間複合性衝擊分析流程建立

考量都會區人文環境特性，提出地震可能造成建物破壞、交通阻斷、維生失效等直接衝擊議題，及引起救援及醫療、避難收容、持續運作等間接衝擊議題，建立都會區防災空間複合性地震衝擊分析項目及流程如圖5。大規模地震除了造成上述直接與間接衝擊議題，當救災單位亟欲掌握災情數量及分布，災區通訊系統可能中斷而影響災情查報及指揮通聯；此外，建物破壞及用火不慎可能引發震後火災，造成更多人員傷亡，增加消防救災人員之負擔。因此，本年度新開發通訊設施受震分析模組，及震後火災起火數評估方法，提供地震應變作業及防災規劃參考。



圖 5、都會區防災空間複合性地震衝擊分析項目及流程

2.3.1 震後火災起火數評估方法

參考日本東京都(2011)研究，考慮電器配線、電熱器具、瓦斯洩漏等因素，建立震後火災起火數評估方法(圖 6)。根據網格化地表加速度分布，以 TERIA 平台評估建物全倒棟數，進一步分析電器配線起火、非建物壓壞導致起火(考慮建物用途、震度、季節、時刻因素)、建物壓壞導致起火、及瓦斯洩漏起火，加總得到總起火數。

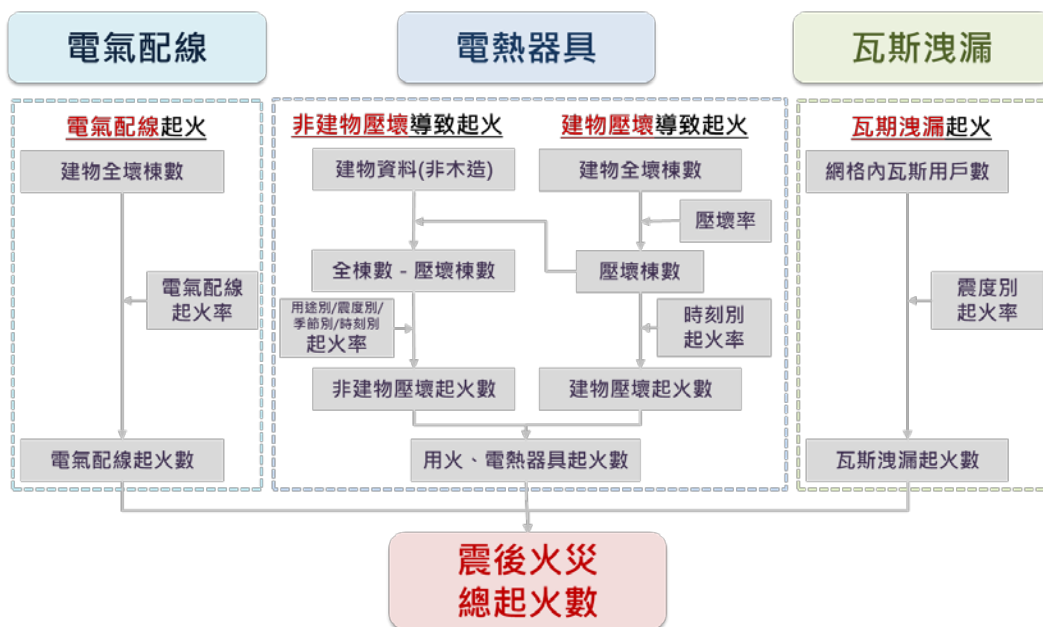


圖 6、震後火災起火數評估方法

三、研究成果及案例分析

配合內政部規劃 2020 年國家防災日地震演練設定中洲構造規模 6.9 地震之需求，以此情境進行案例分析，展示研究成果。分析項目包括震後廣域運輸機能衝擊鏈分析、關鍵基礎設施避難空間風險分析、通訊設施受震衝擊分析、及震後火災起火數及分布等項目。中洲構造規模 6.9 地震模擬之震度分布如圖 7，震度最大為 6 強(根據 2020 年中央氣象局公布之新震度分級)，據此進行後續分析。

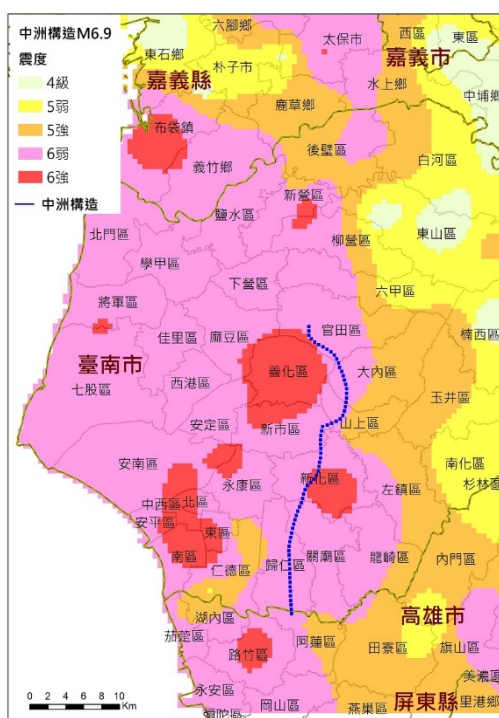
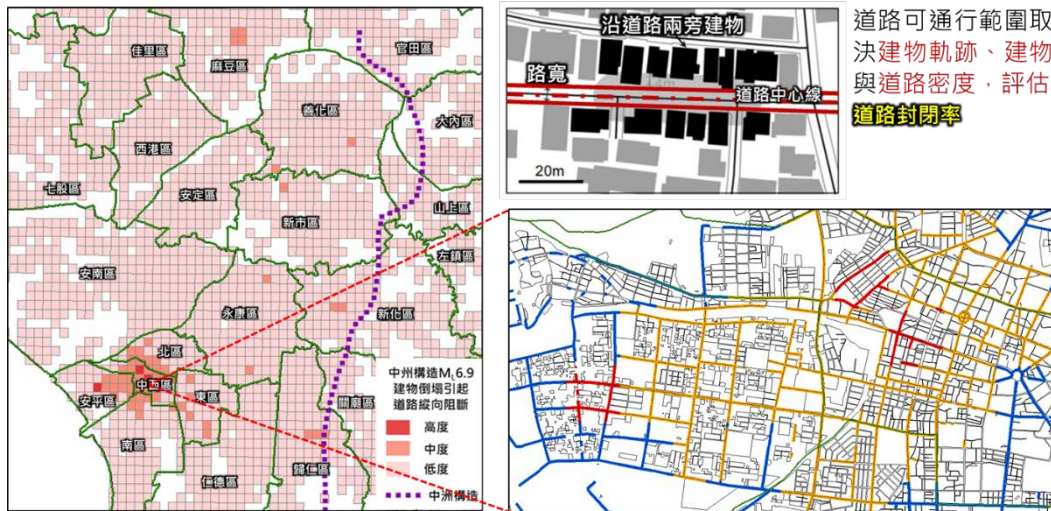


圖 7、中洲構造規模 6.9 地震模擬之震度分布

3.1 震後廣域運輸機能衝擊鏈分析

以臺南市區在中洲構造規模 6.9 地震情境下，進行運輸系統震災衝擊鏈分析，評估道路系統阻斷分布情況，圖 8 為建物倒塌引致縱向阻斷之分布。整合橫向阻斷評估結果，及老舊建物(1973 年以前建造)之分布，細部評估重災區老舊街屋救援道路阻斷之風險(圖 9)，可看出臺南市中西區部分路段呈現高度阻斷風險，重災區鄰近多為老舊建物，周邊巷道狹小，可能影響救災車輛及機具之運輸，分析結果可做為運輸系統失效查報、優先修復作業參考。



建物倒塌引起道路縱向阻斷程度
(臺南市500m網格)

救援道路縱向阻斷分布情況
(臺南市中西區)

圖 8、震後建物倒塌道路縱向阻斷分析(臺南市中西區)

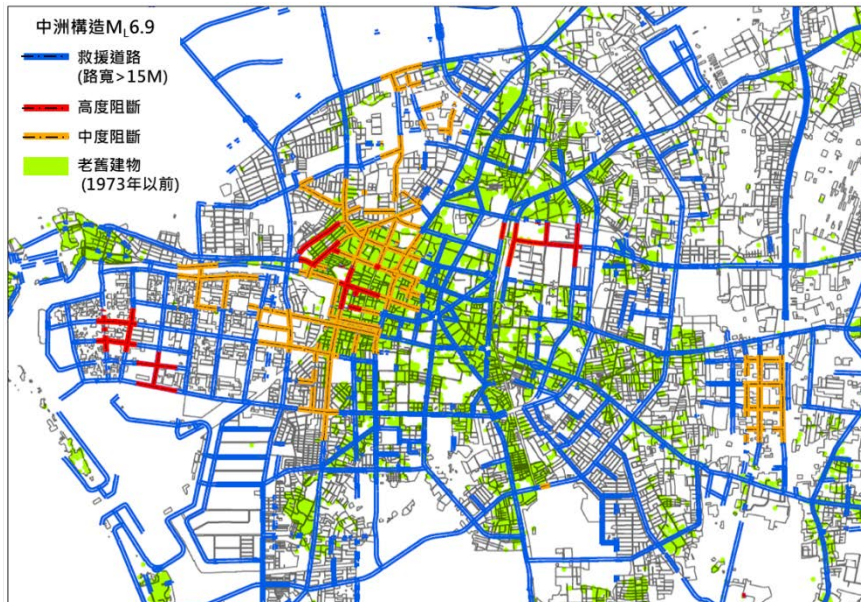


圖 9、重災區老舊街屋之救援道路阻斷風險

3.2 關鍵基礎設施避難空間風險分析

以臺南火車站為例，應用建築資訊模型技術，設定避難動線之緊急疏散能力因子，計算其出口容量，進而推估人員疏散時間。根據 2018 年台鐵進出站流量及班次資訊與各車型載客量、載客率，檢測不同情境下，旅客撤離月台之避難時間是否符合美國火災防護協會(NFPA 130)之規定，於 4 分鐘內撤離完畢。在一般上班日情況下，尖峰時段旅客撤離月台需時如下，符合 NFPA 130 規定：

$\text{第一月台出口之通過時間} = \frac{\text{第一月台旅客容量}}{\text{第一月台出口容量}} = 0.661 \text{ 分鐘}$ $\text{第二月台出口之通過時間} = \frac{\text{第二月台旅客容量}}{\text{第二月台出口容量}} = 3.375 \text{ 分鐘}$

但以台南燈節人潮流量進行模擬計算，尖峰時段旅客撤離月台需時如下，第二月台

旅客若不直接穿越鐵軌行走平面離開，而利用地下道進行撤離，撤離時間將無法符合規定：

$$\begin{aligned} \text{第一月台出口之通過時間} &= \text{第一月台旅客容量} / \text{第一月台出口容量} = 1.123 \text{ 分鐘} \\ \text{第二月台出口之通過時間} &= \text{第二月台旅客容量} / \text{第二月台出口容量} = 4.939 \text{ 分鐘} \end{aligned}$$

顯示台南火車站第二月台旅客若無法透過月台雙側撤離月台時，月台上提供的撤離出口數量不足，撤離需時較久，相較第一月台，其空間風險可能較高。未來可循相同流程，透過建物緊急疏散能力因子，評估其空間災害風險所在。

3.3 震後火災起火數及分布

以中洲構造規模 6.9 地震模擬情境進行震後火災推估，推估結果顯示約有 65 件起火數，大多集中在臺南市，如圖 10 所示；其中起火原因以用火、電熱設備起火為最大宗，佔總起火數八成。

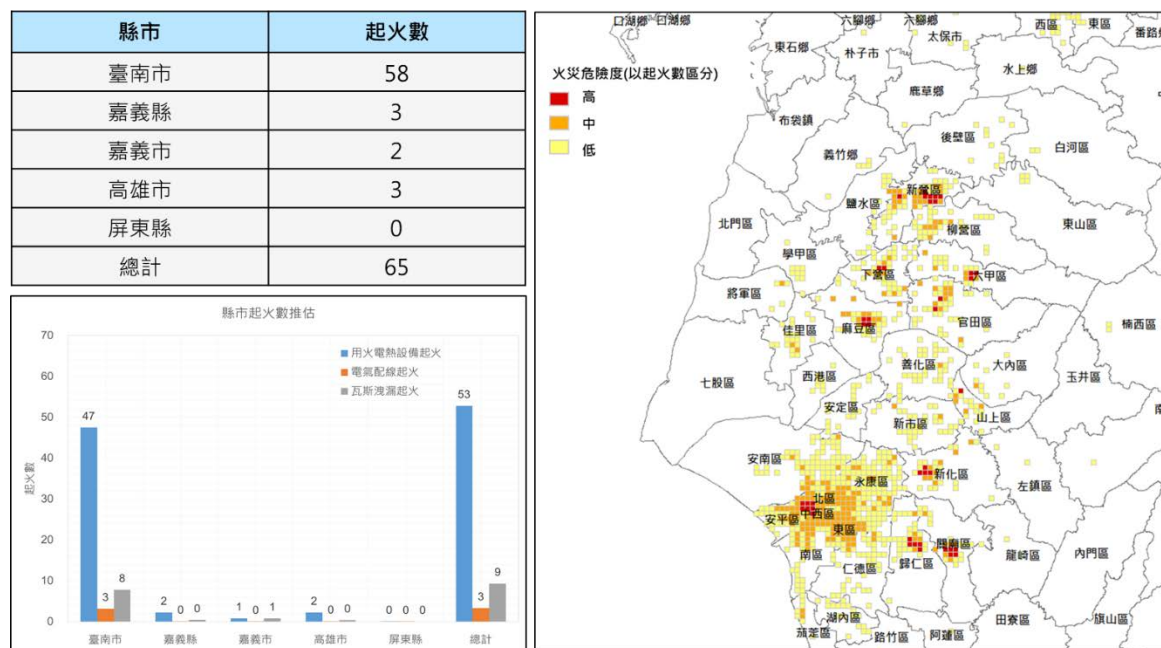


圖 10、中洲構造規模 6.9 地震模擬之震後起火數推估

四、結論與建議

本計畫主要結合設施地震災害相依性分析方法、震災衝擊鏈量化模擬技術，以及本中心發展之網格化地震衝擊分析工具TERIA平台，並藉由建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）技術之輔助，發展考量震後直接與間接之複合性致災因素影響下，對大規模地震防災避難應用空間之衝擊量化分析模式，提供研議相關保全對策之科學評估依據。

本計畫主要完成重點有二：

1. 藉由地理資訊系統建立示範地區空間屬性資料，並考量建物倒塌阻塞風險、橋梁道路

阻斷、供電機能中斷等直接與間接衝擊運輸系統持續營運之複合性致災因素，應用網格化地震衝擊分析工具，發展大規模地震後須執行廣域救援與疏散避難調度時，建立都會區「安全廊道」之運輸情境評估模式。

2. 結合設施地震災害韌性指標與相依性分析方法、震災衝擊鏈量化模擬技術，以及本中心發展之網格化地震衝擊分析工具，並藉由地理資訊系統建立空間屬性資料與建築資訊模型技術，針對大規模地震防災避難應用空間（如公共場域大量人流避難空間、廣域運輸動線調度等）之風險評估，整合發展分析模式與流程。

參考文獻

1. 日本東京都(2011)，被害想定手法(案)，東京都防災會議地震部會事務局。
2. 吳子修、黃明偉、吳秉儒、陳秋雲、蘇昭郎、李中生、柯孝勳(2014)，大臺北地區大規模地震衝擊情境之災害潛勢與建物人員災損分析。國家災害防災科技中心技術報告，NCDR 102-T14。
3. 劉淑燕、吳佳容、李沁妍、鄧敏政、李洋寧、李中生、柯孝勳、簡賢文(2014)，大臺北地區大規模地震衝擊情境分析報告 II：道路系統、水電設施、重要設施、情境綜整。國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 102-T15。
4. Pitilakis, K., and Kakderi, K. (2011) "Seismic Risk Assessment and Management of Lifelines Utilities and Infrastructures," 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, (pág. 28). Santiago de Chile.
5. Ertugay, K., Argyroudis, S. and Düzgün, HŞ. (2016) "Accessibility modeling in earthquake case considering road closure probabilities: A case study of health and shelter service accessibility in Thessaloniki, Greece," International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 17. pp. 49 - 66.
6. Toma-Danila, D., (2018) "A GIS framework for evaluating the implications of urban road network failure due to earthquakes: Bucharest (Romania) case study," Natural Hazards, Vol. 93, No. 1, pp. 97-111.