

大臺北地區大規模地震衝擊情境分析： 以道路系統、水電設施、重要設施為例

The Application of ArcGIS on Post-Earthquake Scenario Assessment for Road System, Power and Water Networks, and Emergency Relief and Response Systems

主管單位：國家災害防救科技中心

劉淑燕 ¹	吳佳容 ¹	李沁妍 ¹	李洋寧 ²
LIU, Sheu-Yien ¹	Wu, C. Carol ¹	LI, Chin-Yen ¹	Lee, Yang-Ning ²
鄧敏政 ¹	李中生 ¹	柯孝勳 ¹	簡賢文 ³
TENG, Min-Cheng ¹	LEE, Chung-Sheng ¹	KE, Siao-Syun ¹	CHIEN, Shen-Wen ¹

¹ 國家災害防救科技中心

² 商業發展與政策研究所

³ 國立中央警察大學

摘要

本研究是以假設山腳斷層全段錯動造成規模 7.1 的地震情境，來分析研判該地震可能造成大臺北地區的災害衝擊與設施失效影響。建立於該地區的基礎資料之上，本研究並運用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)的分析技術，以 500m×500m 地理網格為單元進行模擬，利用國內外既有的分析模型，量化評估大臺北地區遭受大規模地震衝擊之後的災害情境。本研究內容包括大臺北地區道路系統(橋梁/道路)通行失敗(封閉)機率評估、水電維生設施損壞與水電中斷評估、重要設施查報項目、以及醫療救援設施失效衝擊評估。本研究之目的為建立一個地理空間性較佳的預測結果，作為未來規劃災前減災策略以及研擬防救災與應變計畫之參考。

關鍵詞：大規模地震、大臺北地區、道路系統、維生設施、醫療救援設施、地理資訊系統

Abstract

The purpose of this project is to assess the scenario of a presumed M7.1 earthquake in the Greater Taipei Area induced by Shan-Chiao fault. Incorporated with geographic information system (GIS) and expressed in 500m×500m grids, an integral analysis framework has been developed. It has illustrated the characters of ground shaking, liquefaction, and other impact scenarios for whole area. The post-quake scenario analysis has included building damage, casualties, bridges, roadway system, lifelines, and the emergency relief and response systems...etc. In addition, the impact on continuity operation of metropolis and governments has been discussed. The established database and comprehensive assessment scenario can be adopted as a reference for future compound-disaster studies, strategy making, and government policy enactment. This paper illustrates the results of the impacts assessment on bridges, roadway system, power and water systems, and the emergency relief and response systems.

Keywords : large-scale earthquake, the Greater Taipei Area, roadway system, lifelines, emergency relief and response systems, geographic information system

一、前言

1. 研究動機與目的

一直以來，人類對於環境與氣候的變化以及天然危害(Hazard)發生原因的了解程度，遠不及經濟發展、都市建設與土地開發的速度，使得現代人的生命與財產暴露在越來越高的災害風險之下。此外，人口急遽增加、貧窮問題、減災與應變準備不足、防災技術與觀念落後，以及災害風險管理上的缺乏，亦是造成災害規模擴大的原因。臺灣地區天然災害發生頻繁，統計資料顯示，臺灣國內總生產毛額暴露於颱風、坡地、地震，以及海嘯等災害之比例，均為世界前五名。1999年9月21日發生的集集大地震則為臺灣近二十年來最重大之天然災害，造成二千四百多人死亡、一萬多人受傷、房屋全倒和半倒約十四萬間，以及水、電、橋梁、交通等維生設施中斷等嚴重災情。因此，在遭受各類災害之威脅下，如何維護交通、維生、重要設施等各項基礎設施之持續營運，減少其失效後之衝擊影響，一直是各界重視之課題。參考日本首都直下型地震計畫之擬定精神與目的，本研究針對大臺北地區之道路系統、供水設施、電力系統及重要設施，進行地震後之情境分析，據以作為未來擬定緊急應變與減災計畫、災後管理，以及復原策略規劃之參考。本研究內容包括大臺北地區道路系統(橋梁/道路)通行失敗(封閉)機率評估、水電維生設施損壞與水電中斷評估、重要設施查報項目、以及醫療救援設施失效衝擊評估等。

2. 文獻回顧

近年來，許多大規模地震發生在人口稠密的都會區附近，造成嚴重的人員傷亡與經濟損失，包括 Michoacan, Mexico, 1985; Loma Prieta, CA, 1989; Northridge, CA 1994; Kobe, Japan, 1995; Turkey, and Chi-Chi, Taiwan, 1999; Guharat, India, 2001; Sumatra, Indonesia, 2004; Pakistan, 2005; Sichuan, China, 2008; Haiti, 2010; Christchurch, New Zealand, and Tohoku, Japan, 2011。這些大規模震災共同的特徵為造成都會區建築物、交通、電力系統、供水設施及防救災重要設施等基礎設施的嚴重損壞，並引發連鎖性的災害。因此如何能事先評估地震災情、提升區域以及都會區對於地震災害的抗災能力、降低災害損失一直是各方努力的課題。目前最主要的方法為發展地震災損評估系統(Earthquake Loss Estimation System)，藉由系統性的分析，不但能預先評估地震災情及災損，亦可作為土地規劃、災前建立救災準備與減災策略規劃之依據。

目前，針對不同區域以及地區設施系統的特徵，一些結合地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)的地震災損評估技術系統亦大幅的發展。如美國中部地震中心(Mid-America Earthquake, MAE Center)所開發的MAEviz (Elnashai, A. M.等, 2008)、由挪威NORSAR以及西班牙Alicante大學合作開發的SELENA(Seismic Loss Estimation using a logic tree Approach)(Molina, S.等, 2010)、紐西蘭GNS Science 以及 NIWA 共同開發的災害風險分析軟體RiskScape(RiskScape User Manual, 2010)、土耳其Bogazici大學所開發之ELER(Earthquake Loss Estimation Routine)(Karmer, Y.等, 2010)、歐盟整合型研究計畫SYNER-G(SYNER-G, 2009)等。我國國科會於1998年引進HAZUS系統，並由Risk

Management Solutions(RMS)公司協助執行HAZUS-Taiwan計畫。國家地震工程研究中心(National Center for Research on Earthquake Engineering, NCREE)參考HAZUS之方法架構，於2002年開發臺灣地震損失評估系統 TELES(Taiwan Earthquake Loss Estimation System)。類似HAZUS的分析方法，TELES亦以行政區域作為分析單元，建立資產設施資料庫，並以國內地質資料以及歷史災情資料修正各項評估模型，而部分分析功能仍持續開發中。此外，結合中央氣象局的地震速報系統，TELES增加提供早期地震災損評估之功能(Yeh, C.-H.,等, 2006)。

圖1 所示為地震災損分析與減災的關係與基本步驟，包括了地震情境的模擬(Seismic Hazard Identification)、建立分析資料庫(Inventory Collection)、直接與間接災害衝擊評估(Direct and Indirect Impact Assessment)，以及復原計畫與減災策略(Restoration Plan and Mitigation Strategy)。其中，地震情境的模擬包括分析地震源、模擬地表運動特徵(位移、加速度)分佈;地質情形與土壤分佈狀況…等。建立分析資料庫則對社會經濟資產(如:人口分佈等);此外，針對重要設施(建物、交通、學校、醫療資源、通訊、防救災設施、維生設施…等)作地理空間位置上的系統資料彙整與分析。而直接災害衝擊則利用脆弱性模型(Fragility Model)，分析地震情境下設施項目損壞的災害風險。藉由分析建築物以及重要基礎設施的損壞範圍與程度，評估人員傷亡以及經濟上的直接損失。最後，利用地理資訊系統平臺，分析並展示在模擬地震情境下的災損分佈狀況，作為事先擬訂緊急應變計畫、災後復原計畫以及減災策略，以提升都會區抗災之能力。

3. 情境設定

參考日本首都直下型地震計畫之擬定精神與目的，本研究以大臺北直下型地震對策計畫之開發與訂定，依據「大臺北地區大規模地震衝擊情境分析報告」第一部分之地動情境模擬研究成果，假設山腳斷層全段錯動造成規模7.1的地震情境，分析研判該地震危害造成大臺北地區的災害衝擊與設施失效影響，發展包括基隆市、新北市、臺北市、桃園縣等道路系統、水電維生系統及重要設施之損壞評估模組以及分析其失效後之影響。期望利用本研究分析結果，模擬大臺北地區於地震後之失效情境，並作為擬定緊急應變與減災計畫、災後災害管理以及復原策略的規劃、企業與政府持續經營(Business Continuity Plan, BCP, and Government Continuity Plan, GCP)計畫、評估地區抗災能力與回復力評估之參考。

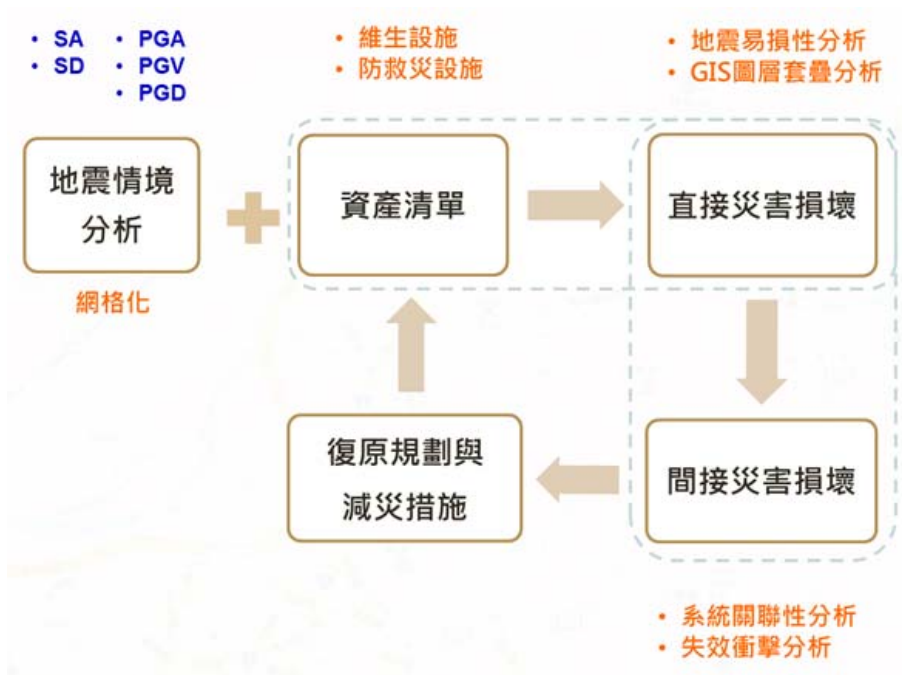


圖1、地震損壞分析與減災之關係架構

二、震後交通系統失效情境分析

考量道路的防災功能、運輸功能及行政系統分類，訂定重要聯繫道路/橋梁篩選原則，建立重要聯繫道路資料與圖層。另外，依循重要聯繫交通幹道篩選原則，建立重要聯繫道路及交通幹道上之橋梁資料與圖層。本年度完成項目包括：一、建立道路/橋梁損壞衝擊評估流程與分析，二、建立重要聯外/跨河橋梁與都會區重要高架橋梁損壞圖。

首先，蒐集研究範圍內之橋梁與道路基本資料，建立資料庫。道路損壞情境分析所需的基本資料包含空間位置、道路等級與道路寬度；橋梁損壞情境分析所需的基本資料則包含空間位置、結構形式、建造材料、地盤種類、幾何尺寸(長度、寬度、跨數、跨距、歪斜角)、橋柱與橋台基礎型式、建造年代、設計地表加速度等。其次，進行研究範圍內之重要聯繫道路/橋梁篩選，訂定重要聯繫道路篩選原則。考量大臺北地區涵蓋臺北市、新北市、及基隆市等行政轄區，其橋梁與道路功能屬性及管理單位有所差異，故區分為大臺北核心區(臺北市)及非核心區(新北市、基隆市)。核心區選定之重要聯繫道路為主要幹道以上之市區道路，包括高速公路(國道)、快速(高架)道路、主要幹道(省道、市區幹線)；次核心區選定之重要聯繫道路為縣道以上之公路，包括國道、省道(含快速公路)、縣道。

在蒐集國內外適用於道路/橋梁系統之易損性分析方法後，本文採用Hazus®-MH MR5 (2010)提出的設施易損性分析方法，進行地震災害下，道路/橋梁損壞衝擊評估。本研究分別考慮地表震動PGA以及因土壤液化造成的地表永久位移PGD引致的橋梁/道路損壞，建立損壞衝擊評估之操作流程。以本研究分析之網格化PGD分佈值，推估大臺北地區重要平面聯繫道路與隧道損壞分析圖，如圖2所示。由圖中可看出，臺北市中山區、大同區、萬華區、中正區，以及新北市三重區、板橋區、土城區的平面道路受損嚴

重。以分析之網格化PGA與PGD分佈值，推估大臺北地區國道系統橋梁損壞分析圖，請參閱圖3，國道系統橋梁方面，國道1號系統自汐止系統交流道以降恐無法通行。此外，以分析之網格化PGA與PGD分佈值，建立台北市重要聯外/跨河橋梁及其區內10座快速道路（環河快速道路、新生高架、建國高架、市民大道、水源快速道路、環東大道、辛亥路高架、基隆路高架、洲美快速道路、信義快速道路）之高架橋梁通行失敗機率圖如圖4。

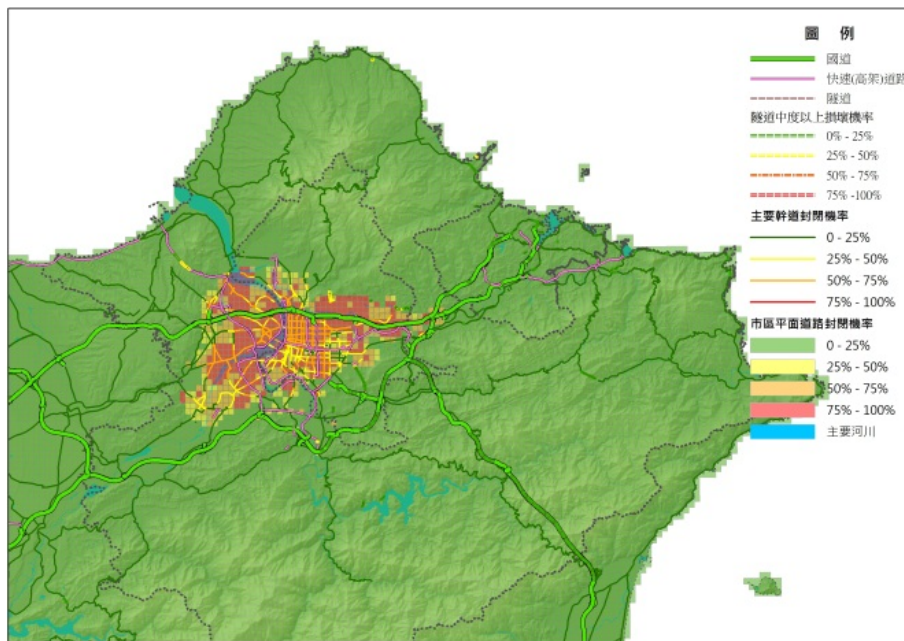


圖2、大臺北地區重要路網損壞分析圖

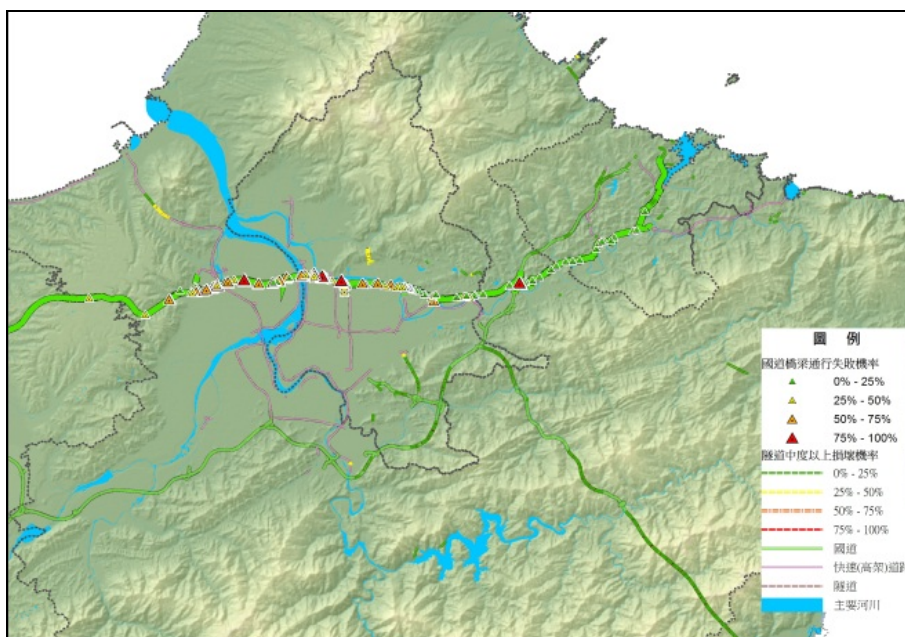


圖3、國道1號系統橋梁損壞分析圖

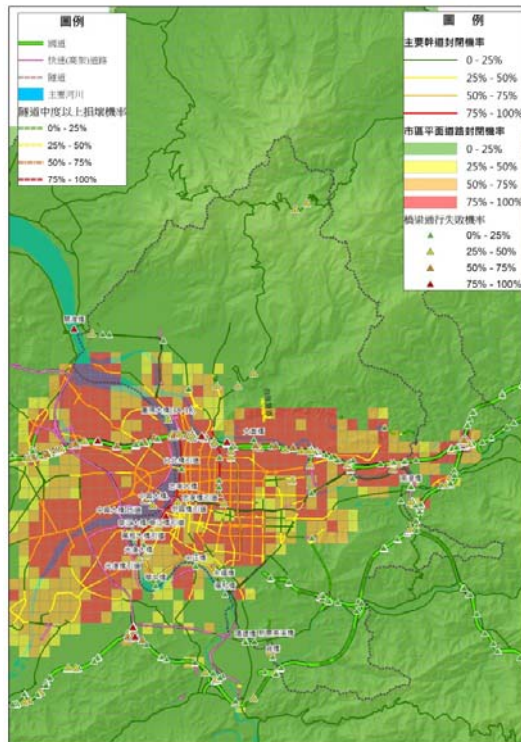


圖4、台北市重要跨河聯外橋樑與高架道路通行失敗機率圖

三、震後電力系統中斷情境分析

為評估大臺北地區震後電力中斷情境，建立可行之研判方法與流程，以完成電力中斷時間以及規模之情境推估。本年度重要成果為：一、建立示範區域電力系統基礎資料與圖層，二、建立電力設施及末端管網評估分析流程，三、計算設施損壞以及電力中斷衝擊評估。

電力系統資料方面，針對大臺北地區電力系統建置研究範圍內所有的電力系統設施元件等基礎資料之空間座標、功能類別、裝置容量等。電力系統分為發電、輸電、配電三大功能，由核能、水力、火力發電廠產生電力後，需透過變壓器升壓至 345 仟伏(345kV)利用輸電線路輸送，並透過超高壓變電所(E/S)、一次變電所(P/S)等變電所分別降壓為 161 仟伏(161kV)、69 仟伏(69kV)輸送至科學園區、工業區、高鐵和捷運等，以提供大型用戶電力，其次透過一次配電變電所(D/S)、二次變電所(S/S)及配電系統再降壓分配提供一般用戶或民生用電。考量首都區域之重要性，亦考量設施系統的高複雜度及電力網絡的分區特性，電力系統眾多重要設施元件所在位置，皆座落於示範區域內，因此，本研究設定之示範區域涵蓋臺北市、新北市、基隆市、桃園縣、新竹縣、宜蘭縣等。蒐集之電力系統基本資料包含：大型發電廠、小型發電廠、超高壓變電所(E/S)、一次變電所(P/S)、配電變電所(D/S)、二次變電所(S/S)等、345kV 電塔、161kV 電塔、69kV 電塔等，大臺北地區電力系統示意圖，請參閱圖 5。

蒐集國內外適用於電力系統之易損性分析方法，本文採用Hazus®-MH MR5 (2010)及TELES (2006)提出的設施易損性分析方法，進行地震災害下，電力系統損壞評估。本

研究考慮地表震動PGA，建立損壞評估之操作流程。分析之網格化PGA分佈值，推估大臺北地區大規模地震電力中斷損壞分析示意圖，請參閱圖6，分析結果中，末端管網於新北市泰山區、新莊區、板橋區、土城區等區域之損壞較為顯著，此局部區域範圍內的E/S變電所、P/S變電所及D/S變電所之破壞機率較高。其次，需要關注臺北市信義區、北投區及士林區等局部區域，其末端管網及電力系統設施元件之破壞機率較為明顯。接著，蒐集適用於電力系統的復原曲線，針對末端管網與對應的地震影響參數，進行復原分析，可獲得末端管網地震後1日、3日、7日、30日之復原機率。此外，為能掌握電力系統損壞後，受到電力中斷影響的人口分布，結合了「大臺北地區大規模地震衝擊情境分析報告」第一部分之居家時段人口分布資料，進一步將「影響人口」及「復原分析」兩項因子加值處理，針對復原分析中，不同時間點的復原機率，考慮居家時段人口分布後，即可獲得末端管網地震後1日、3日、7日、30日之影響人口分布，除了能掌握電力系統修復情形、影響範圍及人數外，亦能提供指揮官之參考與應用，以作為首都直下型地震計畫之參考，大臺北地區大規模地震電力中斷受影響人數時序圖請參閱圖7。

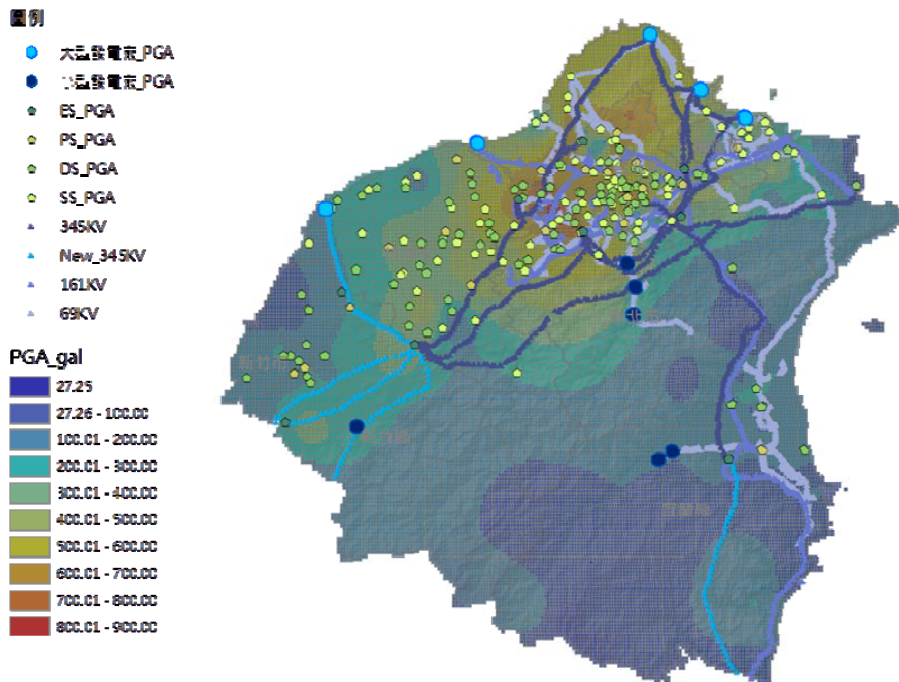


圖5、大臺北地區電力系統示意圖

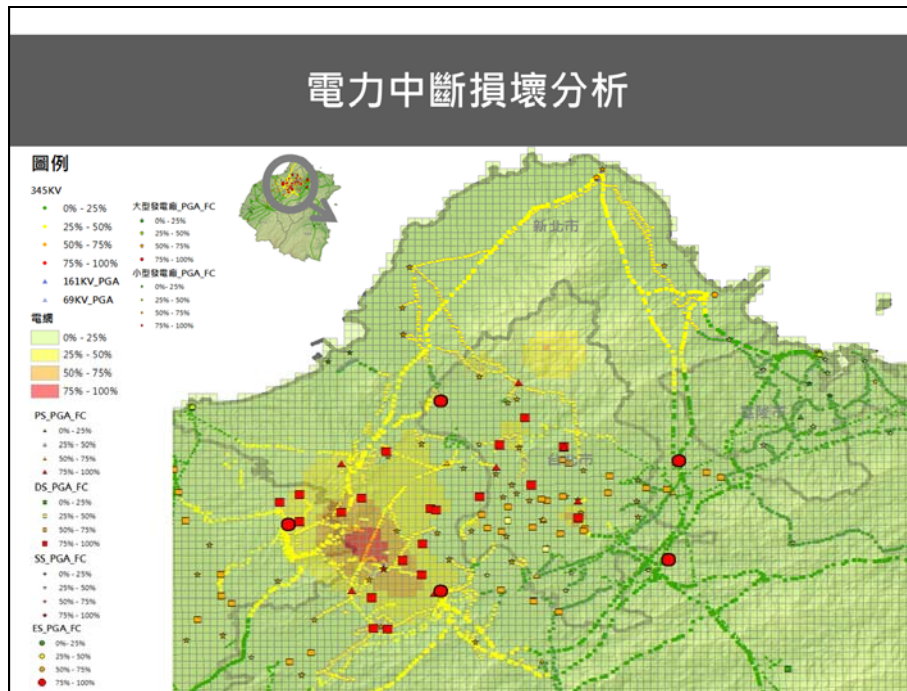


圖6、大臺北地區大規模地震電力中斷損壞分析示意圖

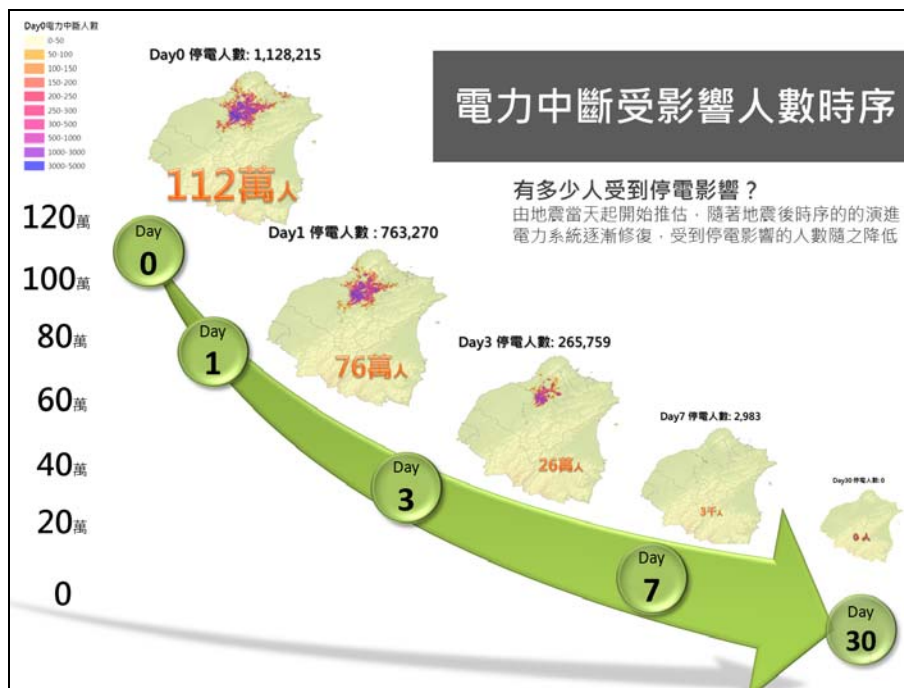


圖7、大臺北地區大規模地震電力中斷受影響人數時序圖

四、震後供水設施中斷情境分析

為評估大臺北地區震後供水中斷情境，目標為建立可行之研判方法與流程，以完成供水中斷時間以及規模之情境推估。本年度重要成果為：一、建立示範區域供水設施

基礎資料與圖層，二、建立供電設施及管線評估分析流程，三、計算設施損壞以及供水中斷情形。

供水設施資料方面，包括調查國內供水設施相關的圖資服務平台，並與台北市自來水事業處(北水)及台灣自來水公司(台水)聯繫，整合圖資格式。考量到供水網絡的分區特性，本研究今年之分析範圍為：台北市、新北市、基隆市、桃園縣。**圖8**為示範區域供水設施基礎資料與圖層設施圖層。

參考國內外文獻與資料，本研究建立供水設施之地震損壞評估流程。利用所模擬的網格化地動資料，分析設施直接損壞機率，並用GIS圖層呈現損壞情形。此外，套疊人口分布資料，將可推估供水供電設施失效之衝擊影響。**圖9**為供水設施之損壞情形，**圖10**為初步估計之復原天數。

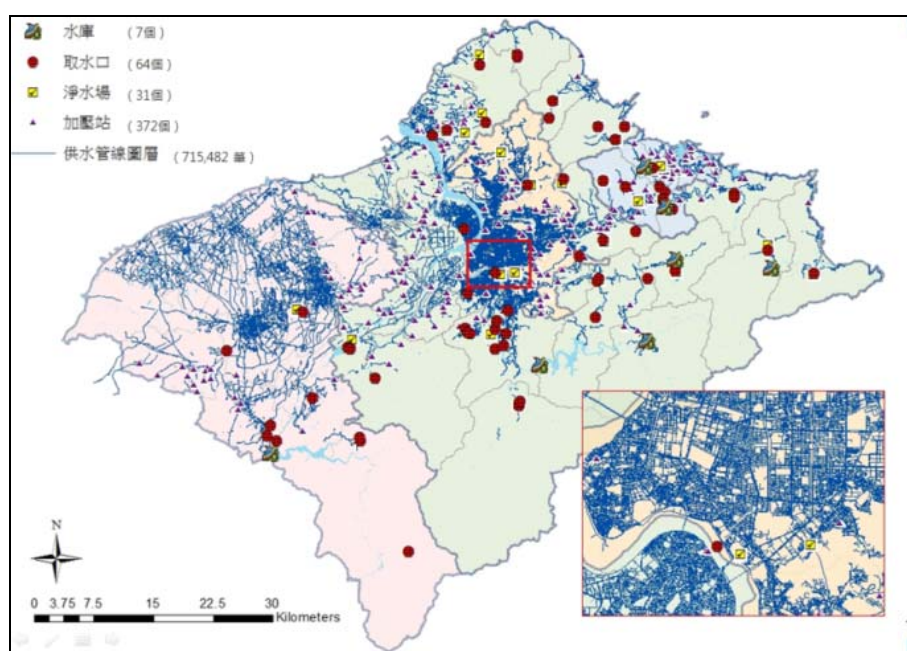


圖8、示範區域供水與供電設施基礎資料

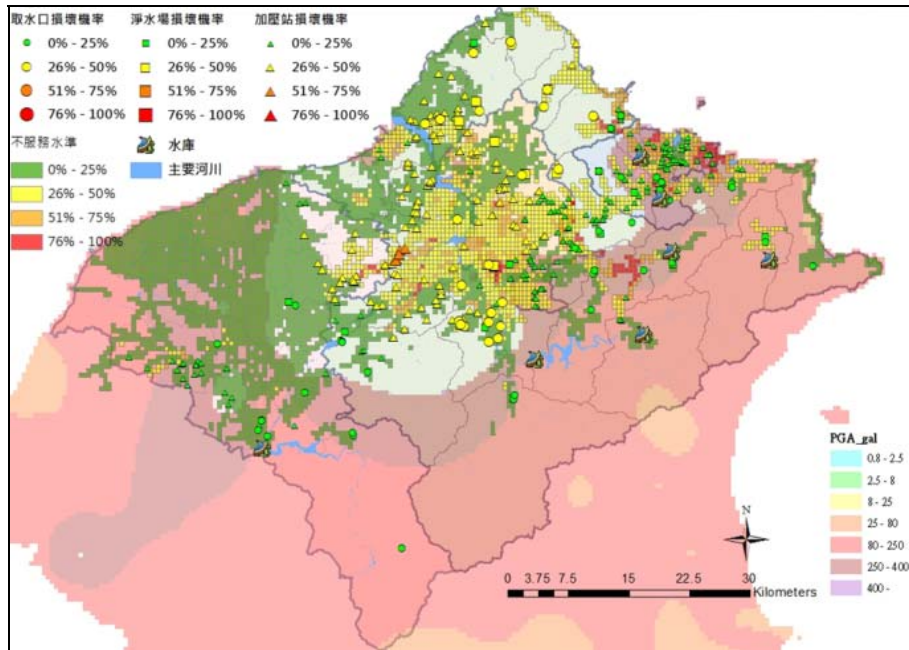


圖9、供水設施之損壞情形

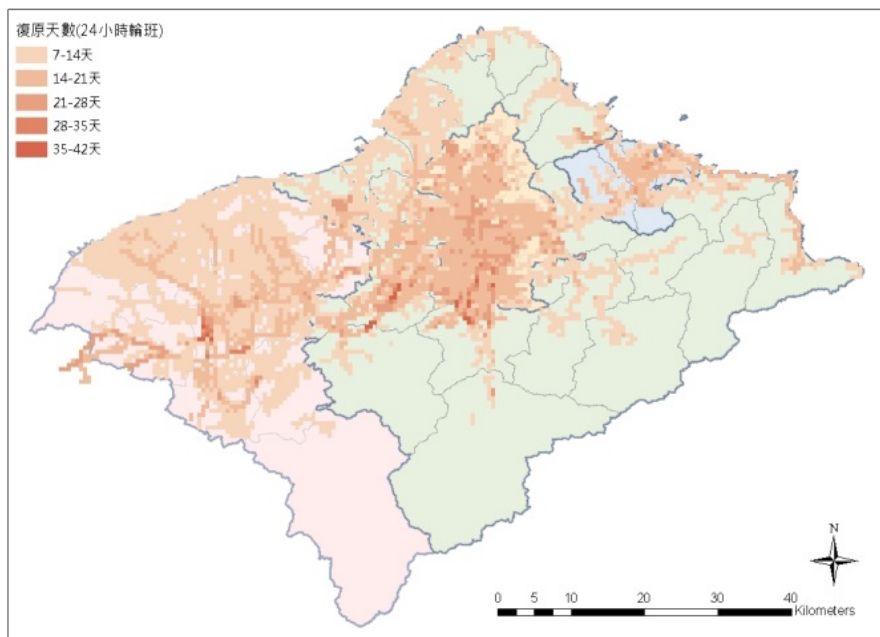


圖 10、供水設施初步估計之復原天數

五、防救災系統震後能力評估

建立重要設施地震災害情境之分析步驟，目標為分析地震後重要設施之營運情形。所建立之重要設施圖層，亦可作為地震應變時之篩選與查報應用。本年度執行成果包括：一、建立重要設施資料庫與圖層，二、重要設施(醫院及消防)之受災情境分析。

在建立重要設施資料庫與圖層方面，已完成重要設施之基本圖層建置，包括緊急救援與醫院、中央政府、水資源、能源、資通訊、交通、銀行與金融、高科技園區、弱勢族群、人潮集中、高損失設施、高危險物品以及其他等13大類(如圖11所示)。利用建立之重要設施資料庫與圖層，可做為掌握地震後首要關注與查報之對象。另外，在重要設施(醫院及消防)之受災情境分析方面，利用已建立之重要設施之基本圖層，配合各設施營運條件與損壞評估分析(如圖12所示)，進一步分析重要設施之震後情境與服務能力評估(如圖13所示)，藉由分析設施受災情境與風險，提出設施防護對應策略。

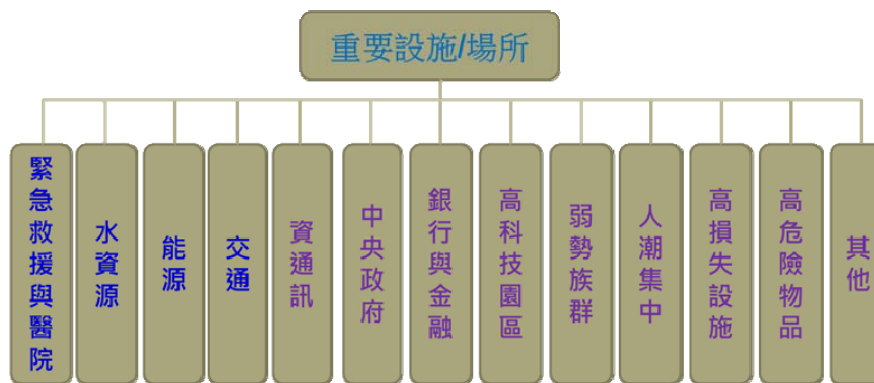


圖11、重要設施分類細目

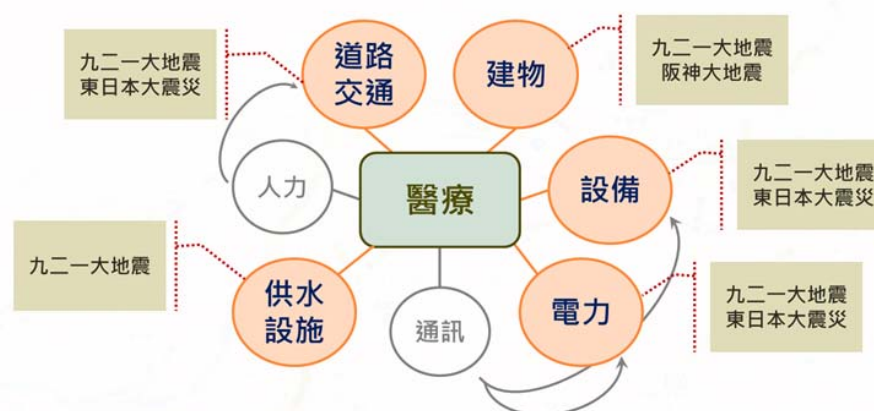


圖12、地震災害與醫療系統之營運條件分析(蘇昭郎等，2013)

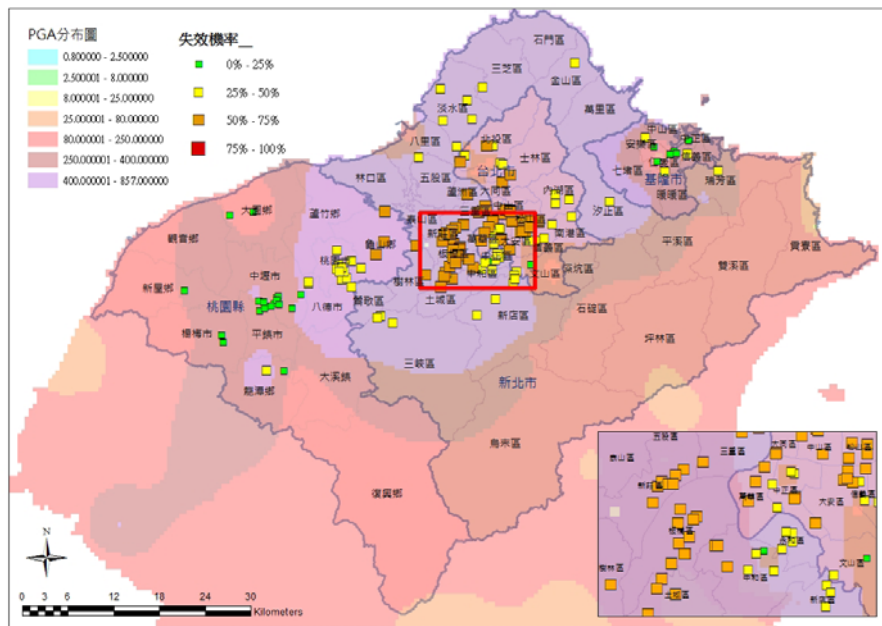


圖13、醫院震後失效機率

六、結論

完成大臺北地區大規模地震交通系統、維生系統、重要設施等情境分析之運作架構、設施清單與圖資建立、設施損壞分析及衝擊分析。然而，執行專案過程中，基礎圖資等取得的部分，仍需進一步與相關單位接洽，克服圖資取得不易之難處。此外，設施系統皆具有上下游串聯以及整體管網相互關係，亦需要解決資料相容性之問題。而在分析方法精進的部分，則在於各設施系統內的元件關連、易損性分析方法之適切性、系統與系統間的相依性分析方法以及影響設施持續營運之影響因子，皆須更深入的討論與瞭解。

後續執行方向，以本研究現階段完成之成果，尋求專家意見並將其建立研判機制，列入大臺北地區大規模地震導致交通系統、維生系統、重要設施等中斷情境分析之影響因子，以更進一步修正影響圖之分析結果。同時，為了整合現階段的各項設施系統之情境分析、成果資訊的流通性與便利性、及加速情境分析之效能，本研究下一階段所設定之執行方向，將著重於地震減災應用相關平台之開發，透過平台操作方式，期待可以建立一套簡易操作演算快捷的多元模組、快速評估之分析平台，來強化情境分析之準確性及便利性，透過這樣的操作模式，以彌補地震災害初期損壞資訊不足的問題，提供相關災前整備工作規劃之參考，將有助於減災相關應用上之操作。

參考文獻

- Applied Technology Council., (1985) *ATC-13 Earthquake Damage Evaluation Data for California*, Redwood City, California.
- Elnashai, A. M., Cleveland L. J., Jefferson, T., and Harrald J., (Sept, 2008) *Madrid Seismic Zone Catastrophic Earthquake Response Planning Project, Final Phase I Report: Impact of Earthquakes on the Central USA*, MAE Center Report No. 08-02.
- FEMA, (2010) *Hazus®-MH MR5 Technical Manuals and User's Manuals*, Washington, D.C.

- HaCIRIC and Loughborough University, (2008) *Healthcare Resilience Tool(HeaRT)*, HaCIRIC, UK.
- ISDR/WHO, (2008) *2008-2009 World Disaster Reduction Campaign: Hospitals Safe from Disasters*. ISDR/WHO.
- Kamer, Y., et al. (2010) *Earthquake Loss Estimation Routine ELERv3.0 User Manual*, Department of Earthquake Engineering, Bogazici University, Istanbul.
- Kyriazis Ptilakis, Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), (2011) *D3.11 - Fragility functions for fire fighting system elements*. Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructures Safety Gain.
- Molina, S., Lang, D. H., Lindholm C. D., Lingvall, F. , (Oct. 1, 2010), *User Manual for the Earthquake Loss Estimation Tool: SELENA, NORSAR*.
- National Institute of Building Sciences, (2004) *HAZUS: Hazard US: Earthquake Loss Estimation Methodology*, NIBS document 5200-03, Washington, D.C.
- Ptilakis, Kyriazis D. and Kakderi, Kalliopi G., (2011) *Seismic Risk Assessment and Management Of Lifelines, Utilities and Infrastructures*, the 5th International Conference on Geotechnical Earthquake Engineering (5-ICEGE), Santiago, Chile.
- RiskScape User Manual*, GNS and NIWA, (May 10, 2010). <http://www.riskscape.org.nz/>
- Schneider, P. J. and Schauer, B. A., (May 2006) "HAZUS-Its Development and Its Future", *Natural Hazard Review, ASCE*, pp. 40-44,.
- Schultz, M. T., Gouldby, B. P., Simm, J. D., Wibowo, J. , (July 2010) *Beyond the Factor of Safety: Developing Fragility Curves to Characterize System Reliability*, *Geotechnical and Structural Laboratory*, ERDC SR-10-01, US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center.
- SYNER-G,(2009). *Deliverable 1.1-SYNER-G work plan: WP1-Project coordination and management, Delivery Report*, Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructures Safety gain.
- Yeh, C.-H., Loh, C.-H., and Tsai, K.-C., (2006) "Overview of Taiwan Earthquake Loss Estimation System", *Natural Hazards*, Springer, 37:23-37.
- U.S. Department of Homeland Security, (2009) *National Infrastructure Protection Plan: Partnering to enhance protection and resiliency*, Washington, D.C.
- WHO/WPRO, (2009) *Safe Hospitals in Emergencies and Disasters- Structural, on-structural and Functional Indicators*, WHO/WPRO, Manila, Philippines.
- 日本內閣府 (2010)。首都直下型地震受災情境方法。
- 日本內閣府 a , これまでの首都直下地震対策, 日本內閣府網路公開資料 (2012 年 6 月下載)。
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_syuto/syuto_top.html
- 日本內閣府 b , 震災対策の流れ, 日本內閣府網路公開資料 (2012 年 6 月下載)。
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_gaiyou/gaiyou_top.html
- 日本財團法人水道技術研究中心 (2011)。地震による水道管路被害予測の手引き。
- 交通部公路總局 (2009)。公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究—期末報告。
- 李沁妍、蘇昭郎、簡賢文 (2012)。醫院作為關鍵設施之防護議題研究初探, 國家災害防救科技中心技術手冊
- 洪祥瑗、文慶霖、柯明淳、劉季宇、葉錦勳 (2007)。自來水地下管線、輸電鐵塔與震後火災之災損推估模式研究, 國家地震工程研究中心研究報告 NCREE-07-020。
- 姚昭智等 (2008)。醫院建築中非結構物之易損性曲線研究, *中國土木水利工程學刊*, 第二十卷, 第四期, 539-553。
- 郭俊欽 (2001)。九二一震災地方行政部門緊急應變執行過程之研究-以埔里鎮與東勢鎮為例, 國立臺灣大學建築與城鄉研究所碩士論文。
- 國家災害防救科技中心 (2011)。關鍵基礎設施災害脆弱度評估與風險管理: 基礎研究方法, NCDR 99-T12, 國家災害防救科技中心。
- 國家地震工程研究中心 (2012)。臺灣地震損失評估系統使用手冊, <http://www.ncree.org>
- 基隆市政府 (2010)。基隆市地區防災業務計畫, 基隆市: 基隆市政府。
- 新北市政府 (2011)。新北市地區防災業務計畫, 新北市: 基隆市政府。
- 葉錦勳 (2003)。臺灣地震損失評估系統—TELES, NCREE-03-002。
- 劉季宇、鍾立來、葉錦勳、林祖榕、周光武、簡文郁、洪祥瑗、陳志欣、周寶卿、陳世良、林峻毅、黃仲偉 (2013)。公共給水系統震災早期災損預警技術研究(1/2), 經濟部水利署報告, 財團法人國家實驗研究院國家地震工程中心。
- 蘇昭郎、李中生、鄧敏政、吳啟瑞、吳佳容、李洋寧、李沁妍、周建成、簡賢文 (2013)。關鍵基礎設施災害脆弱度評估與風險管理: 災害衝擊評估方法 II, NCDR 101-T14, 國家災害防救科技中心。