

震災衝擊鏈量化模擬技術開發與應用

The Application and Research for Seismic Impact Chain Evaluation

主管單位：科技部

柯孝勳¹

許智豪¹

鄧敏政¹

吳秉儒¹

Ke, Saio-Syun¹

Hsu, Chih-Hao¹

Teng, Min-Cheng¹

Wu, Bing-Ru¹

¹國家災害防救科技中心 地震與人為災害組

摘要

都會區之維生設施倘若遭受地震災害破壞，將衝擊都會機能正常運作，例如維生機能中斷、科技產業衝擊等。由地震災例顯示，災害發生時維生設施震後可能受到損壞，然設施相互關聯，效率日益提高，但也曝露服務中斷環節，單一系統故障時，可能引起連鎖性災害。電力、自來水系統為都會機能運作、產業發展、亦為防救災設施運作重要根基，災後確保維生設施正常供應為政府首要任務。本研究依據災害管理觀點，與系統相依特性，整合設施系統化分析與間接影響，建構出震災衝擊鏈分析方法。研究成果可具體掌握震後設施影響程度與相互影響性，協助災害應變於重要設施的情資研判，並快速評估重要設施外部維生系統的損失風險，可作設施查報、優先復原工作的參考。

關鍵詞：維生設施、震災衝擊鏈、相依性分析

Abstract

Infrastructure is defined as an aggregation of numerous facilities that constitute the backbone of urban operations. Moderate-to-large earthquakes adversely affect infrastructure, severely impairing most urban functions. The lifelines systems have interdependencies; thus damage to one system can potentially cause a chain reaction, triggering failures in related and connected systems that then lead to a cascade of disasters or failures. Taiwan is located in the Circum-Pacific seismic zone, and earthquakes frequently occur. Therefore, understanding the effects of moderate-to-large earthquakes on the lifelines systems, as well as how those effects contribute to disaster scenarios in urban areas, is a critical issue for the Taiwanese government. This study considered the direct seismic damages and cascading effects to develop a method for impact chain assessment on lifeline system during earthquake, and we develop a method that can be used in the earthquake disaster response. Therefore, the result of this study assistant the authority to make an intelligent decision for life line facilities disaster or resource management.

Keywords : lifeline infrastructure, impact chain, interdependency.

一、前言

維生設施為都會主要命脈，與民眾日常生活息息相關，例如電力、自來水、天然氣、資通訊、交通運輸等，如果維生設施功能中斷，將造成都市機能運作、服務品質下降，民生經濟與產業活動也將受到衝擊影響。然都會區之維生設施通常有跨系統複雜相依關係，當系統全部、或部分的設施失效，除直接影響民生供應、產業界利益有重大影響外，尚因系統相依連結，故後續亦有可能演變連鎖性災害事件。本研究目的為根據災害管理觀點，與設施系統化相依特性，結合設施系統化分析(一階衝擊)、設施間接影響(二階衝擊)，建構出震災衝擊鏈架構與運算模組，優先考慮維生機能衝擊鏈(電力、自來水、道路交通)作為評估項目，模擬地震災害情境，進行維生機能震災衝擊鏈分析，與救災服務機能推估(醫院)，分析結果可具體掌握地震所引致區域機能運作與相互影響性。

二、理論基礎

維生基礎設施為都會區提供重要服務機能，包括民生供應、運輸服務、醫療救護等，各設施例如電力、自來水、天然氣、通訊設施等彼此相互關聯，但也曝露功能中斷的鏈結點，單一系統故障可能影響其他系統運作，間接觸發嚴重的後果。簡單來說，連鎖效應定義為單一系統藉功能的依賴特性，傳播到另一系統，影響其功能運作。

2.1 概念模型架構

Hassel et al. (2014)提出災害間接衝擊概念模型(圖1)，模型顯示在肇始事件下(初始階層)觸發起源系統(Originating System)，可為單一系統或多項系統，倘若系統內部的設備或組件受到損壞時，會因系統之間的依賴特性，導致相依系統(Dependent System)間接受到影響(第一階層)，或衍生其他系統受到連鎖性災害(第二階層)。

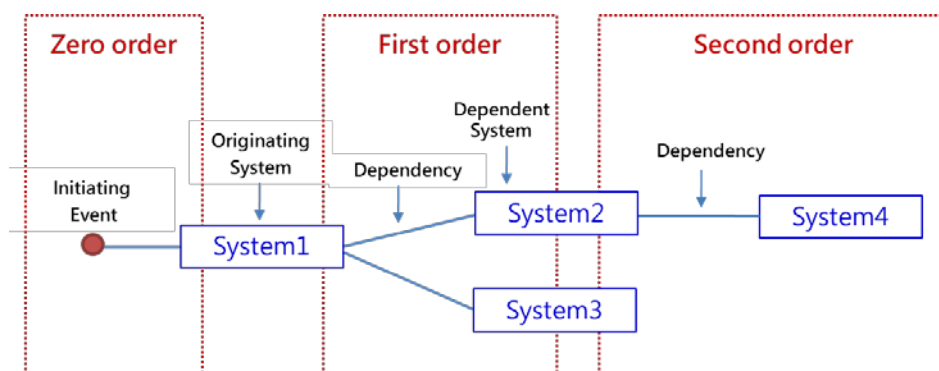


圖1、間接衝擊概念模型

2.2 跨系統相依性

隨著都市化程度越高之城市，對維生基礎設施依賴程度越高，系統相互依存關係也趨複雜。在災害發生時，基礎設施受災害直接衝擊損壞外，設施彼此間關聯性也會造成間接損壞，故有必要調查基礎設施彼此間關聯特性。Rinaldi et al. (2001)提出系統關聯性

可分為兩種型態(圖2)，一為依賴性(Dependency)，係指上、下游設施供需服務上產生依賴性，另一類型為相依性(Interdependency)，係指兩設施間存在雙向相依關係。



圖2、設施依賴性與相依性關係

2.3 損壞評估方法

在特定災害衝擊下，設施損壞評估通常可利用破壞機率，表示不同程度的破壞狀態，例如，維生設施的易損性曲線(Fragility Curve)常用來表示設施構造物受到災害衝擊下，設施主體達到或超過某種破壞狀態的機率，目前國內主要進行基礎設施風險評估，大都採用易損性曲線結果來代表設備耐震容量，例如國家災害防救科技中心開發之地震衝擊資訊平台(TERIA)、國家地震工程研究中心發展台灣地震損失評估系統(TELES)中，維生設施損壞評估皆採用易損性分析方法。

三、研究流程與預期成果

3.1 架構與流程

基於震後衝擊鏈關係到的研究課題與範疇極為廣泛，諸如緊急應變、避難收容、持續營運與基礎設施環環相扣。本年度優先考慮維生機能衝擊鏈(電力、自來水、道路交通)作為評估項目，並以醫療設施之外部維生系統損失(緊急救援)作為探討的議題，結合本中心開發之網格化地震衝擊評估技術與相依性分析方法，得以建立其評估模擬技術。本研究分析流程架構如圖3所示，係針對設施直接災損評估外，亦考量震後衍生間接形態衝擊模式，納入跨系統相依特性分析，根據設施核心功能來建置衝擊鏈模型，例如供水機能、道路交通機能等進行細緻化分析，最終將可產出維生機能損失主題圖，及間接評估醫療設施機能損失風險主題圖。

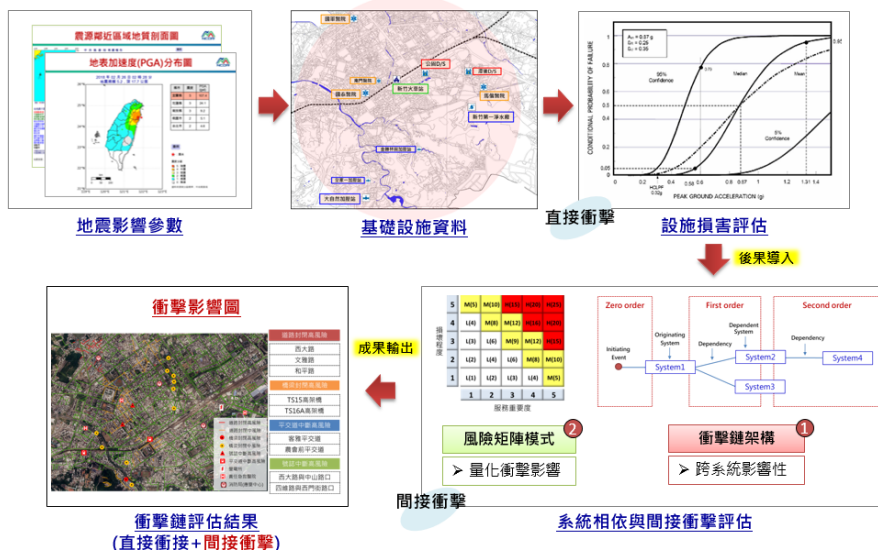


圖3、研究流程圖

3.2 一階衝擊：供電、供水衝擊分析

本研究案是以大台北都會區為分析標的，設定山腳斷層南段規模 6.6 地震為模擬情境。電力設施衝擊分析結果顯示，臺北都會區(臺北市、新北市)共有 9 座變電所嚴重損壞、18 座變電所中度損壞，電力末端管網於強震區為中度損壞。然而當電力設備損壞時，下游輸電線路就有可能受到影響而跳脫、或啟動跳脫保護措施。本研究進行供電影響程度評估時，是以行政區域為單元，結合電力設施損失(變電所)、輸變電線路、及電力末段管網損壞要素，來綜合評估行政區域的供電影響程度。圖 4 為臺北都會區供電影響推估程度。

在地震動直接衝擊影響下，臺北都會區共有 1 座淨水場中度損壞、13 座加壓站中度損壞，強震區之末端管路為中度損壞。跨系統相依影響部分，本研究將納入供電影響因子，結合供水設施直接損壞結果與供電影響程度分析結果，來評估供水設施所受到的間接影響。圖 5 為臺北都會區供水影響推估程度。



圖 4、臺北都會區供電影響程度推估



圖 5、臺北都會區供電、供水影響程度推估

3.3 二階衝擊：醫療設施外部維生系統損失評估

保持醫院持續運作必要條件除結構性要素(建物)、非結構性要素(水、電)以及功能性要素(人力)也相當重要。醫療設施外部維生系統損失評估方法，綜合考量供電、供水、交通三項外部維生系統損失程度，結合急救責任醫院之醫療能力等級，進行醫療設施之外部維生系統損失風險等級推估。

$$\text{風險量(Risk)} = \text{危害等級(Hazard)} \times \text{脆弱度(Vulnerability)} \quad (1)$$

危害等級：醫療設施受電力、自來水、交通受影響程度

脆弱度：急救責任醫院之醫療能力等級(中華民國衛生福利部，2019)

由於維生設施附有高度依賴、相依性，其中又以供電系統為重要因子，不僅供應至自來水系統、天然氣、供油系統運轉所需電力外，防救災重要設施，如醫療系統、警消系統，皆需電力供應才得以營運。設施倘如發生中斷時，修復時間對其他維生設施影響皆不相同，中斷持續時間越長，恐對其他基礎設施的影響就越大，故除考量設施實體損壞評估外，亦須考量設施受到跨系統修復時間延滯的影響，故本研究參考 Laugé, A. et al.,(2015)所建置之相依功能衝擊矩陣，執行跨系統相依衝擊量化分析。圖 6、圖 7 分別為震後 2 小時、震後 3 天醫療設施之外部維生系統損失風險，研究結果顯示，受電力、自來水、道路交通連鎖相依影響，加劇災害或損壞產生。

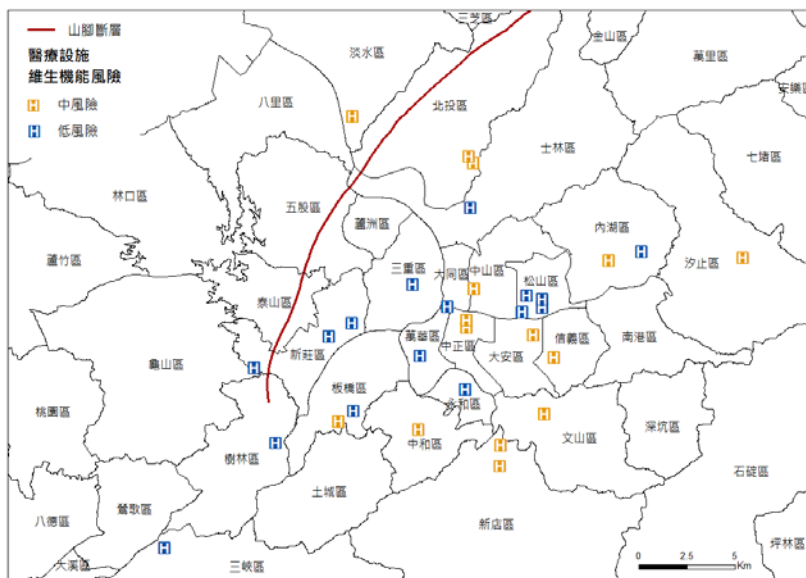


圖 6、震後 2 小時醫療設施之外部維生系統損失風險

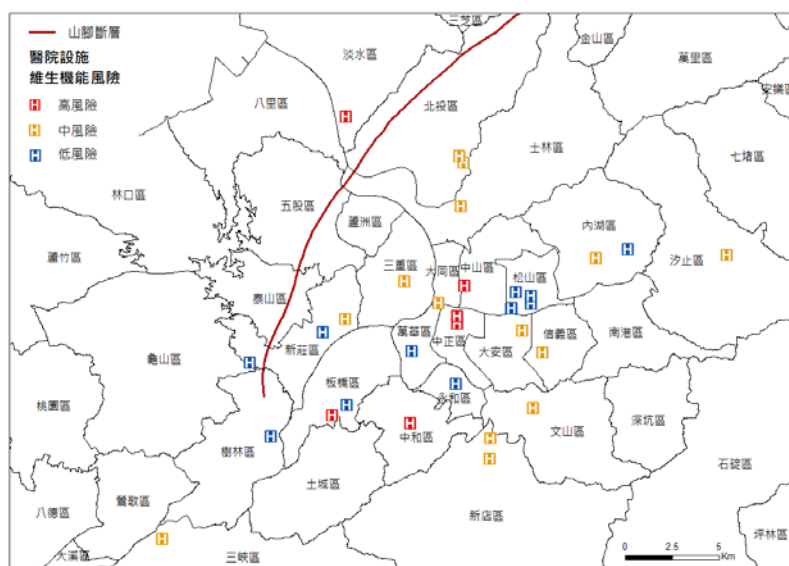


圖 7、震後 3 天醫療設施之外部維生系統損失風險

四、結論與建議

本研究結合設施直接實體災損與跨系統相依特性，進行維生設施衝擊評估模式開發，並經由案例分析探討，相關研究方法與成果，可進一步掌握災後重要設施外部維生系統的損失風險。災例顯示維生設施常於災害中受損後，緊急應變救援與災後復原亦遭延宕，有鑒於此，維生設施需於災前提升耐災韌性(Resilience)與災中能持續運作，以確保提供都市機能正常服務，本研究未來工作會將把相關屬性資料與韌性評估相關指標納入研究課題中。

參考文獻

1. 吳佳容、劉淑燕、柯明淳、黃明偉、鄧敏政、吳秉儒、吳子修、柯孝勳(2017),「地震衝擊資訊平台(TERIA)技術研發及主題式應用介面建置」,國家災害防救科技中心, NCDR 105-T25, 台北。
2. 中華民國衛生福利部(2019),急救責任醫院分區名單,中華民國衛生福利部,台北。
3. Hassel, H., Johansson, J., Cedergren, A., et al. (2014) Method to study cascading effects, D2.1.CascEff Project (FP7 EU project 607665).
4. Laugé A, Hernantes J, Sarriegi JM. (2015) Critical infrastructure dependencies: a holistic, dynamic and quantitative approach, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, Vol8. pp. 16–23.
5. Rinaldi, Steven M., James P. Peerenboom, and Terrence K. Kelly. Identifying, (2001) Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies, *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 21, No. 6, pp. 11-25.