

NCDR 108-T12

震災衝擊鏈分析方法之建立：
以維生設施衝擊為例

Develop a method for seismic impact chain evaluation：
pilot study for lifeline facilities



行政法人

國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 109 年 01 月

NCDR 108-T12

震災衝擊鏈分析方法之建立：
以維生設施衝擊為例

Develop a method for seismic impact chain evaluation：
pilot study for lifeline facilities

許智豪、鄧敏政、柯孝勳、吳秉儒



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 109 年 01 月

中文摘要

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之情資研判，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。

關鍵字：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

目錄

第一章 緒論.....	7
1.1 研究背景	7
1.2 研究目的	8
第二章 維生設施震災案例回顧	10
2.1 2010 甲仙地震	10
2.1.1 基本概述	10
2.1.2 直接衝擊	10
2.1.3 間接影響	11
2.2 2013 南投地震	12
2.2.1 基本概述	12
2.2.2 直接衝擊	12
2.2.3 間接影響	13
2.3 2016 高雄美濃地震	14
2.3.1 基本概述	14
2.3.2 直接衝擊	14
2.3.3 間接影響	16
2.4 2018 花蓮地震	16
2.4.1 基本概述	16

2.4.2	直接衝擊	17
2.4.3	間接影響	17
2.5	維生設施間接影響特性	18
2.5.1	電力設施中斷影響	18
2.5.2	自來水設施中斷影響	19
2.5.3	道路運輸設施中斷影響	19
第三章	理論基礎與文獻探討	21
3.1	鏈鎖效應簡介	21
3.2	概念模型架構	22
3.2.1	步驟 1：識別受影響之系統	23
3.2.2	步驟 2：定義依賴性之影響	23
3.2.3	步驟 3：決定系統影響的後果	24
3.3	跨系統相依性	24
第四章	研究方法與步驟	28
4.1	架構與流程	28
4.2	設施相依資料庫建置	31
4.3	地動參數與設施損壞評估	34
4.4	衝擊鏈架構與運算模組	35
第五章	案例分析	37

5.1	背景說明	37
5.2	一階衝擊：供電衝擊分析	39
5.3	一階衝擊：供水衝擊分析	43
5.4	一階衝擊：交通設施衝擊分析	46
5.5	二階衝擊：醫療設施外部維生系統損失評估	48
5.5.1	風險等級推估方法	48
5.5.2	醫療設施外部維生系統損失推估結果	50
5.6	成果討論	57
第六章	結論與建議	59
6.1	結論	59
6.2	建議	60

圖目錄

圖 1、高美大橋裂隙狀況(a)橋臺、(b)橋柱	11
圖 2、高鐵受影響列車狀態	12
圖 3、天梯聯外道路與園區內落石坍方道路中斷	13
圖 4、南投縣竹山鎮八卦茶園觀景臺災情	14
圖 5、震後停電狀態統計	15
圖 6、自來水管線損壞情形	15
圖 7、管線因液化沉陷破壞、輸水鋼管因路堤液化導致接頭破壞..	17
圖 8、間接衝擊概念模型	22
圖 9、設施依賴性與相依性關係	25
圖 10、基礎設施相依關聯圖	27
圖 11、都會區震災衝擊鏈研究課題	29
圖 12、研究流程圖	30
圖 13、地震衝擊評估平台(TERIA)架構.....	35
圖 14、震災衝擊鏈架構與運算模組	36
圖 15、臺北都會區地表加速度分布	38
圖 16、臺北都會區電力影響程度推估	42
圖 17、臺北都會區供水影響程度推估	45
圖 18、臺北都會區交通設施損失分析	47

圖 19、醫療設施外部維生系統損失評估方法	51
圖 20、震後 2 小時醫療設施之外部維生系統損失風險	52
圖 21、震後 3 天醫療設施之外部維生系統損失風險	53
圖 22、震後 1 週醫療設施之外部維生系統損失風險	53

表目錄

表 1、台灣近年維生系統損壞事件彙整(地震規模>6.0).....	20
表 2、電力設施基本資料表(電力設施).....	32
表 3、設施基本資料表(自來水設施).....	32
表 4、設施相依屬性資料表(電力設施).....	33
表 5、設施相依屬性資料表(自來水設施).....	33
表 6、輸電線路相依關聯性評估 (以板橋超高壓變電所為例)	41
表 7、供電影響程度評估 (以泰山區、中和區為例)	41
表 8、供水設施狀態評估 (考慮電力損失間接影響)	44
表 9、供水影響程度評估 (以泰山區、五股區為例)	45
表 10、橋梁嚴重損壞評估結果	47
表 11、基礎設施中斷之跨系統影響(2 小時, 3 天, 1 週)	54
表 12、影響等級與描述	54
表 13、醫療設施外部維生系統受損情形案例	55
表 14、醫療設施外部維生系統風險等級案例	56

第一章緒論

1.1 研究背景

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、石油、資通訊、交通運輸等，如果維生設施因災害而導致功能中斷，尤其是電力系統為都市機能運作的核心設施，將引起其他維生系統功能運作、或服務品質下降，此外民生經濟與產業活動亦將受阻及衝擊影響。近年來都會區發展日新月異，新興科技產業快速發展，相對維生機能依賴程度增加，台灣處於環太平洋板塊上，地震發生頻繁，倘若都會區發生地震時，維生設施所在地之震度較高，都會區可能面臨維生機能衝擊之挑戰。

回顧近年國內重大天然災害事件發現，當地震發生時，位於強震區的維生設施的結構體，常受到地震動影響而損壞，然而災害導致維生設施功能間接失效也帶來嚴重衝擊，諸如 2010 年高雄 M_L 6.4 強震、2013 年南投 M_L 6.5 地震、2016 年高雄美濃 M_L 6.6 地震、與 2018 花蓮 M_L 6.2 地震等，均造成震後維生設施功能中斷、道路、橋梁毀損等狀況，另高科技產業停工也導致嚴重經濟損失。震後位於強震區之維生設施即可能損壞或異常，維生系統複雜，設施相互間存在相依關聯性，故單項設施失效引致跨系統設施連鎖性的災害，諸如交通、醫院、產

業園區等設施都將受到影響。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、設施間接影響，建構出震災衝擊鏈分析方法，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之情資研判，並快速評估重要設施之外部維生系統損失風險，提供設施查報、優先復原工作的參考。

1.2 研究目的

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。目前維生設施災害研究主要以設施損壞評估為主；設施相依性研究未論及災害衝擊，故本研究結合災害直接衝擊，與設施相依特性間接衝擊概念，進一步掌握維生設施於災害衝擊下之影響程度，及重要設施之外部維生系統損失風險，俾利相關災害情資研判、應變搶救調度與災後復原規劃等工作。

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，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，模擬災害情境為山腳斷層南段地震規模6.6，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。

第二章維生設施震災案例回顧

觀諸國內外地震災害之共同特性，震後即造成建物、交通、維生設施與重要基礎設施之嚴重受損，並且引致二次(停電、停水)、三次等災害，導致都會區城市運作機能中斷。整體地震衝擊評估流程，除地動模擬、曝露量分析資料庫、直接損壞評估外，更需要進一步考量所衍生之各形態間接災害衝擊，以震災衝擊鏈(Impact Chain)之概念，根據區域內民生重要服務機能、運輸服務機能、維生設施供應機能等面向進行細緻化分析，更具體掌握地震所引起區域運作中斷與相互影響性。以下各節將進行國內地震案例彙整分析，進一步說明地震對於設施損壞與衍生之間接衝擊之影響面向：

2.1 2010 甲仙地震

2.1.1 基本概述

高雄甲仙地區 2010 年發生規模 $M_L6.4$ 地震，震源深度 22 公里，最大震度發生在台南與嘉義地區達 6 級，高雄甲仙地區為震度 5 級，震災共造成 96 人輕重傷。

2.1.2 直接衝擊

震後電力、自來水、公路、及橋梁設施服務受到衝擊影響，其中供水系統主要為管路受損破裂，造成嘉義市、台南市、與高雄市部分地區

停水;在台南市、嘉義市與高雄市則是有天然氣管線斷裂洩漏情況，造成部分地區的用戶受到影響;電力損失部分經統計約 54 萬戶停電;交通運輸方面，高雄市高美大橋出現龜裂、與橋面 15 公分落差，緊急封鎖道管制(圖 1)、另台鐵發生軌道地基位移，行車誤點情況。

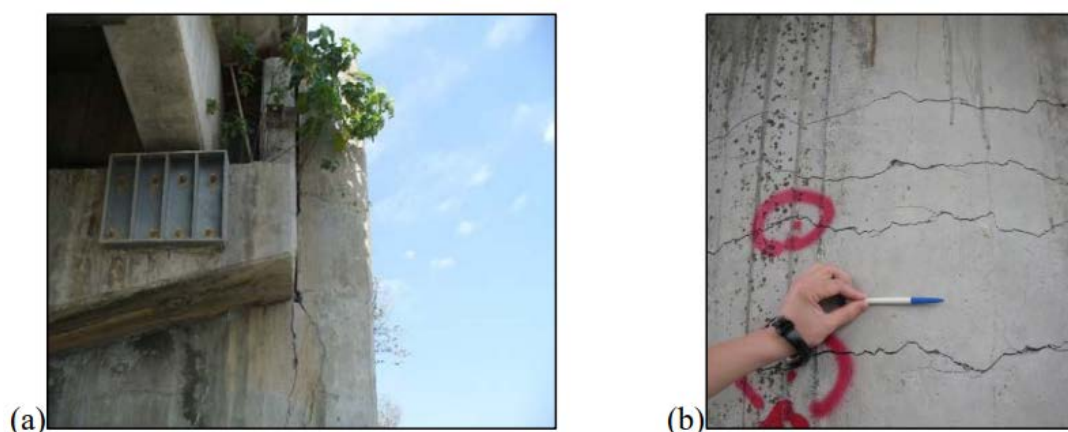


圖 1、高美大橋裂隙狀況(a)橋臺、(b)橋柱(柯孝勳等，2010)

2.1.3 間接影響

台灣高鐵南部路段受電力中斷影響，路軌、號誌設備功能損失，一組列車出軌，全線營運受影響(圖 2)。在科學園區方面，受南科超高電壓變電所 345kV 南科~龍崎、新嘉民~南科回線路全數跳電影響，緊急啟動電力調度，園區廠商機台則進行關機檢修作業，生產與出貨受衝擊。通訊部分受供電損失影響，高雄市美濃區、旗山區和鳳山區，通訊設備失效通訊中斷。

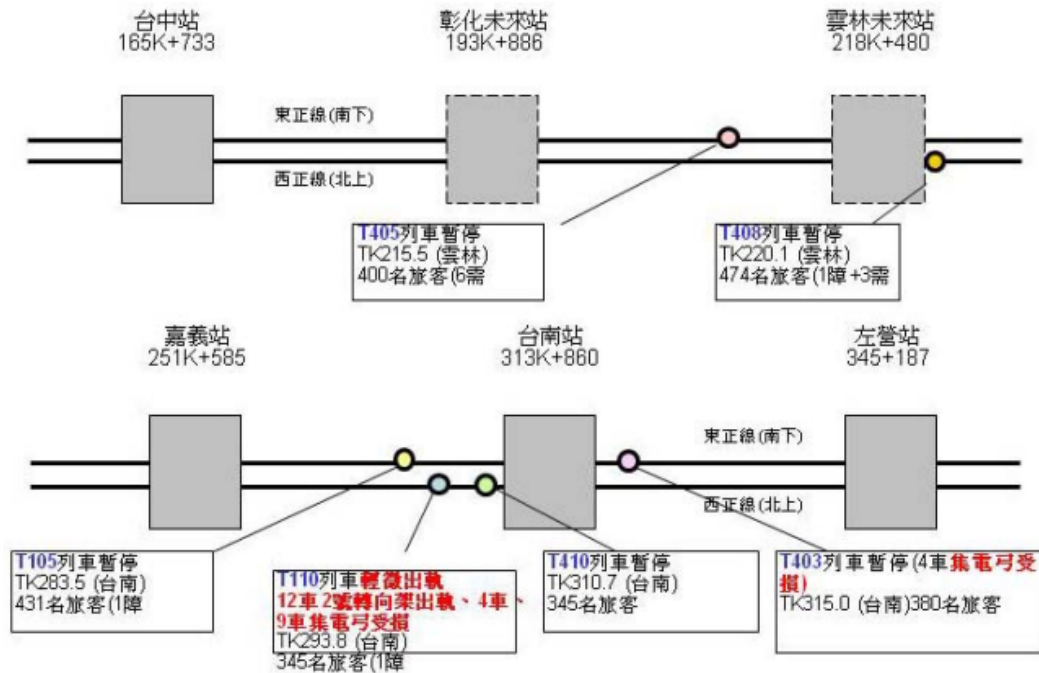


圖 2、高鐵受影響列車狀態(內政部消防署，2010)

2.2 2013 南投地震

2.2.1 基本概述

南投縣仁愛鄉 2013 年共發生兩起規模大於 6 的地震，第一起於 3 月 27 日規模 $M_L 6.2$ 地震，最大震度高達 6 級，同年 6 月 2 日又發生規模 $M_L 6.5$ 地震，各地區的震度以雲林縣草嶺 6 級最為強烈，雲林縣古坑、四湖、南投縣日月潭、埔里、名間、彰化縣二水、彰化市、嘉義縣阿里山、嘉義市、台中市大肚以及台南市為震度 5 級。

2.2.2 直接衝擊

震後電力、公路、鐵路運輸設施受到衝擊影響，道路部分台 61

線、台 21 線道路封閉，南投天梯旅遊區山崩落石道路受阻;鐵路交通部分，軌道彎曲變形，部分車站區間停止營運;維生設施方面，南投縣、雲林縣、台中市與台南市部分地區共有 3 萬用戶停電。

2.2.3 間接影響

受電力中斷影響，高鐵災害告警系統啟動，部分列車停駛，迅速啟動軌道、結構與電力設施巡檢作業;觀光旅遊部分，南投縣、雲林縣、台中市與彰化縣為 5 級震度以上區域，國內著名旅遊區，逢假日遊客眾也造成諸多災情，例如南投竹山鎮的天梯遊樂區第一入口聯外道路落石坍方堵塞，車輛及遊客無法通行(圖 3);南投縣竹山鎮的八卦茶園觀景台出現爆裂位移，出現大約一米長度的隙縫(圖 4);鐵路集集線也因路樹倒塌與落石影響，被迫暫時停止營運，衝擊當地觀光產業。(內政部，2013)



圖 3、天梯聯外道路與園區內落石坍方道路中斷



圖 4、南投縣竹山鎮八卦茶園觀景臺災情

2.3 2016 高雄美濃地震

2.3.1 基本概述

2016 年 02 月 06 日於高雄市美濃區發生 $M_L6.6$ 地震，根據中央氣象局資料顯示，最大震度 6 級發生在雲林草嶺。根據中央災害應變中心災情統計，本次震災共造成 117 人死亡、551 受傷。(內政部，2016)

2.3.2 直接衝擊

震後維生系統嚴重受損，供電部分為發電廠、輸配電設施損壞、輸配電線路跳脫，造成台南市、高雄市、雲林縣、嘉義市等地區共 17 萬用戶電力中斷(圖 5)(台電公司緊供中心，2016);強震區的供水管路受地震位移影響，紛紛出現破管、斷裂情形，災損嚴重區域屬台南市，共 40 萬用戶停水(圖 6);受房屋毀損天然氣管線設施也遭受損壞，共有 1300 用戶天然氣中斷;通訊部分，經統計約有 143 座基地台損失，

主因為設備損壞、或通訊設施受電力中斷引致，共計 27 個行政區受影響。(國家災害防救科技中心，2016)

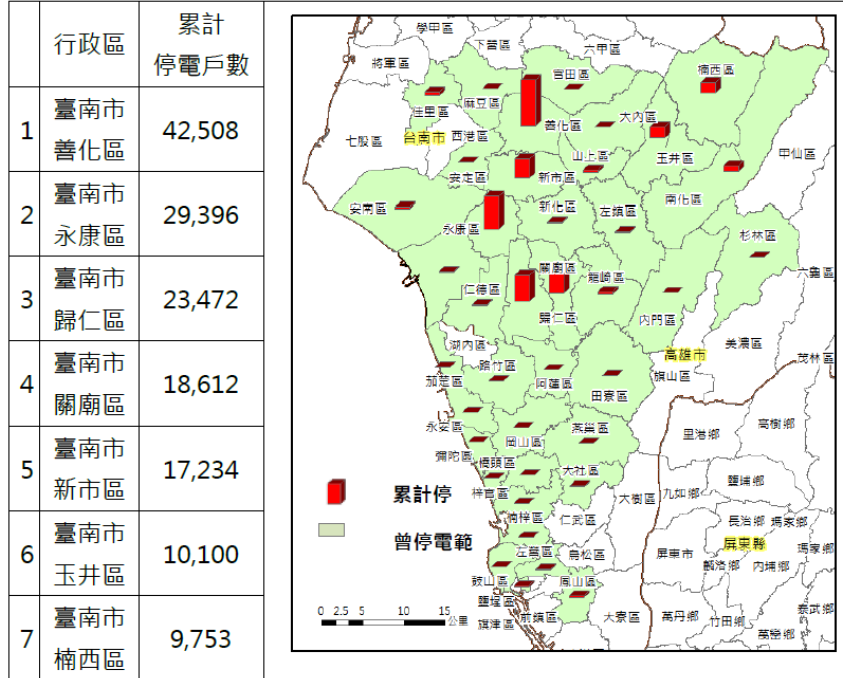


圖 5、震後停電狀態統計



(a)開運橋頭(永康側)破管



(b)潭頂場內抽水機出水管扯裂



(c)維冠金龍大樓倒塌壓破管線
(永大路二段及國光五街口)



(d)新化忠孝路(外環路)多處破管

圖 6、自來水管線損壞情形

2.3.3 間接影響

受供水幹管破管、斷裂供水中斷影響，台南市衛福部嘉南療養院、及胸腔病院仁德院區的醫療服務受嚴重衝擊，影響院內 700 床病患及家屬，經濟部緊急協調水公司每日調派自來水，以維持醫院營運；科學園區外部維生系統損失(電力、自來水)的間接影響，促使科學園區廠商生產作業停滯，甚至發生停產或是減產情形，不僅造成廠商直接生產損失外，亦將嚴重衝擊全國的經濟發展，2016 年高雄美濃地震超高壓變電所設備損壞、輸電線路跳脫，南部科園區內半導體及光電產業產能損失，停工及產生間接損失類型包含：缺水造成停工、跳電導致停工、水管鬆脫停產、機台設備損壞與機台自動遮斷，停工所造成營運中斷，亦為企業災害造成重大損失的因素之一；通訊部分，也受電力中斷影響，台南市與高雄市共 27 個行政區的通訊，因基地台損失通訊中斷；陸地交通因電力末端管網、電力線路扯斷，市區多處路口號誌出現故障現象。

2.4 2018 花蓮地震

2.4.1 基本概述

2018 年 2 月 6 日花蓮近海發生 $M_L 6.0$ 地震，震源深度 10 公里地震，花蓮市、宜蘭南澳觀測到 7 級震度、南投 5 級震度、台中市德基

與雲林縣草嶺為 4 級震度，震災共造成 17 人死亡、278 人受傷。

2.4.2 直接衝擊

震後電力、自來水、道路、橋梁、與通訊設施受到嚴重衝擊，花蓮市出現多處土壤液化(Soil Liquefaction)現象，造成維生管線、道路、與橋梁損壞(圖 7)(王富國、王淑娟，2018);位於強震區之道路、橋梁則是受到震損阻斷而封閉、需搶修後通行。災損統計，電力約有 2 千用戶停電，供水管路破裂約 4 萬用戶停水，通訊基地台約 70 處損壞。(內政部，2018)



圖 7、管線因液化沉陷破壞、輸水鋼管因路堤液化導致接頭破壞

2.4.3 間接影響

花蓮地區電力中斷，造成通訊基地台訊號中斷。

2.5 維生設施間接影響特性

回顧國內規模大於 6 的地震災害事件，震後位於強震區的維生系統常受到損壞，諸如維生設施的電力、自來水、救援道路、橋梁毀損等災情，由地震歷史經驗得知，維生系統複雜，設施相互間存在相依關聯性，故單項設施失效引致跨系統設施連鎖性的災害，例如 2016 年美濃 $M_L6.6$ 地震，台南市龍崎超高壓變電所場址 PGA 值為 0.15g，震後兩台主變壓器的避雷器斷裂，以及四台主變壓器的夾板出現故障，導致輸配電線路跳脫，需手動切離進行檢修，修復時間為 12 小時，共計上萬用戶停電。除維生機能直接損失外，跨系統失效也帶來間接的衝擊影響，維生系統之間的相依性以及損害的衝擊影響如下：

2.5.1 電力設施中斷影響

1. 電力對科學園區之影響：2010 年高雄甲仙 $M_L6.4$ 地震、與 2016 年高雄美濃 $M_L6.6$ 地震，皆造成超高壓變電所、相關之輸電線路跳脫，影響南部科園區生產進度與出貨。
2. 電力對交通設施影響：2010 年高雄甲仙 $M_L6.4$ 地震、2013 年南投 $M_L6.5$ 地震，都造成高鐵部分路段供電、路軌、號誌通訊設施受損，影響列車正常運行。2016 年高雄美濃 $M_L6.6$ 地震，道路破壞引致電力末端管網之線路扯斷，交通號誌出現故障。

3. 電力對資通訊影響：2016 年高雄美濃 $M_L6.6$ 地震、2018 年花蓮 $M_L6.2$ 地震，皆發生停電造成基地台無法運作通訊中斷。

2.5.2 自來水設施中斷影響

2016 年高雄美濃 $M_L6.6$ 地震，供水幹管斷裂，導致台南市衛福部嘉南療養院(可收治 750 床)、及胸腔病院仁德院區(可收治 102 床)供水中斷，影響院內 700 床病患及家屬。

2.5.3 道路運輸設施中斷影響

2013 年南投 $M_L6.5$ 地震，國內著名旅遊區，發生落石坍方堵塞公路、鐵道、景觀設施損壞狀態，造成遊客受困、觀光產業停止營運之衝擊。

維生系統乃維繫民眾生活機能、社會發展重要的環節，然而隨著社會經濟發展需求逐漸提升，倘若都會城市發生地震，諸如維生系統、交通運輸、產業園區與資通訊設施等，維持都市機能運作之重要基礎設施都將遭受到衝擊。本研究彙整出我國近年地震規模 6.0 以上之維生系統衝擊型態，如表 1 所示。

表 1、台灣近年維生系統損壞事件彙整(地震規模>6.0)

時間	地區	地震規模 (M _L)	震源深度 (K _m)	直接衝擊	間接衝擊
2010	高雄 甲仙	6.4	22	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力、自來水 ■ 公路、橋梁 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力中斷→南部科學園區廠商機台停機檢修。 ■ 電力中斷→高鐵供電、軌道、號誌設施受損，一組列車出軌，暫停營運。列車超過五十班，總誤點約二千分鐘。
2013	南投	6.5	14.5	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力、自來水 ■ 公路、橋梁 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力中斷→高鐵告警系統啟動，部分路段電力中斷，影響列車運行，停駛約 5 小時。 ■ 公路中斷→南投山區天梯道路山崩，遊客受困。 ■ 公路中斷→鐵路集集線因路樹倒塌與落石暫時停止營運。
2016	高雄 美濃	6.6	14.6	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力、自來水、天然氣 ■ 公路、橋梁 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自來水中斷→療養院及胸腔病醫院營運影響，共影響院內 700 床病患及家屬。 ■ 電力中斷→南部科學園區廠商機台停機檢修。 ■ 電力中斷→基地台故障斷訊。約有 143 座基地台損失、27 個行政區受影響。 ■ 電力中斷→路口號誌功能失效。
2018	花蓮	6.2	10	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力、自來水 ■ 公路、橋梁 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電力中斷→基地台故障斷訊。

第三章理論基礎與文獻探討

3.1 鏈鎖效應簡介

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，鏈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，特性歸納如下：

1. 系統可藉依賴特性，將影響傳播給他項系統
2. 衍生的影響後果將會比原始系統產生後果更為嚴重
3. 系統依賴特性的傳播可關聯到多項的系統或設施

以下將藉由範例來說明鏈鎖效應的主要特徵，初始設定為單一或多項系統肇始事件，例如發電廠發生火災事件，該事件會對電力系統產生直接衝擊，然發電廠發生火災可能導致鐵路運輸中斷，此為鏈鎖效應關係，其主要原因為電力系統和鐵路運輸系統存在依賴關係，兩系統間失效，產生的後果會比發電廠火災影響更為嚴重，例如可能造成列車停駛、平交道號誌失效。就災害管理觀點，除發電廠需執行滅火作業外，也需加強電力系統與運輸系統鏈鎖之衍生後果的管理能力。

3.2 概念模型架構

Hassel et al. (2014)提出災害間接衝擊概念模型(圖 8)，圖中顯示在肇始事件下(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)。

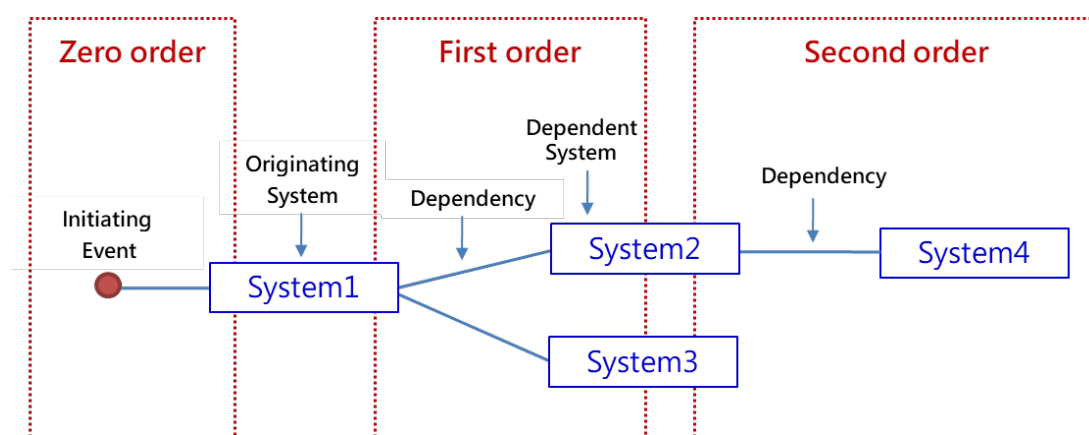


圖 8、間接衝擊概念模型

由上圖得知起源系統(Originating System)可為單一系統(System 1)或多項系統，觸發起源系統的肇始事件(Initiating Event)可為火災事件(Fire Incident)、地震事件(Earthquake Event)、爆炸事件(Explosion Event)，或設施組件故障(Equipment Failure)等，當出現災害衝擊時將會對其他系統產生連鎖效應(System 2、System 3)。以電力系統對鐵路

運輸系統衝擊為例，肇始事件為供電配電變電所發生火災事件 (Initiating Event)，由於供電系統(System 1)和鐵路運輸系統(System 2)間因依賴特性而產生連鎖效應，倘若受影響系統對其他系統也產生額外影響，則會延續連鎖效應事件而擴散。由肇始事件到直接衝擊依賴系統定義為第一階層(First Order)，倘若繼續傳播，則產生第二階層(Second Order)。分析者可依據分析範圍來建置間接模型，再執行連鎖效應分析，分析步驟如下所示：

3.2.1 步驟 1：識別受影響之系統

最初工作為識別受到肇始事件、依賴鏈結的單一或多項起源系統，除此之外，也需確定在特定條件下可能受到影響的系統，泛指潛在可能的影響系統。在災害事件下，各系統可能會在事件中的不同階層受到影響，例如某系統可能會直接受到肇始事件衝擊，但也可能會因依賴另一系統而受到間接連鎖效應的影響。

3.2.2 步驟 2：定義依賴性之影響

描述系統受到依賴性的影響情況，其目的是瞭解依賴系統受到影響時，在不同程度曝露下需採取的措施，除此之外，也可透過依賴性後果來判別依賴性引起的類型和嚴重程度，故定義依賴特性將有助於理解依賴關係的性質和機制。這對於涉及連鎖效應事件之災害應變管

理時，作為落實重要決策的參考依據。依賴條件會顯著加劇或降低影響，是可透過依賴性影響程度表示，例如較小的系統影響是否會對他項系統產生較大的後續影響；或是較小依賴性影響是否會對較大系統帶來影響。系統通過依賴關係進行交互作用，定義依賴關係可推估系統可能受到他項系統中斷或失效的影響。

3.2.3 步驟 3：決定系統影響的後果

決定系統受到影響的後果，泛指系統受到單一或多個依賴性影響的後果，同時需考慮受影響系統的應變能力。然而依賴性影響和系統影響的差別，在於依賴性影響是考量直接曝露因素，例如電力系統故障，將導致供水系統中的加壓泵失效，系統影響後果，就是描述系統設施受到曝露下的影響後果，例如加壓站系統失效僅發生水壓較低的問題，或是導致系統完全失效狀況。

3.3 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。維生系統相依關係可分兩種型態，一為依賴性 (Dependency)，係指上、下游設施供需服務上產生依賴性，舉例來說，

發電廠發電後，藉由輸電線傳輸至變電所設施降壓，此為單向關係，另一類型為相依性 (Interdependency)，係指兩設施間存在雙向相依關係，例如供水設施的加壓泵需要電力供應才得以運轉，反觀，發電廠也需自來水提供冷卻水源，作設施冷卻的用途，圖 9 為維生基礎設施依賴、相依性關係。



圖 9、設施依賴性與相依性關係

相依性觀點最早由國外學者Rinaldi et al.(2001)提出，研究中係對設施實體度進行關聯分析，根據功能性可劃分為四類，分別為實體性 (Physical)、資訊性(Cyber)、地理性(Geographic)、與邏輯性(Logical)，文章中亦藉由維生系統相依模型的建置，解析系統相互依存關係，以利異常情況時，追蹤肇始事件項目、抑止功能連鎖衝擊，以下分別對四類相依影響特性說明其含意。

- 實體性:設施間存在實體的依賴關聯，舉凡燃料輸入、輸出間實體連結，例如燃煤發電廠需燃煤供應者，來供應燃煤原料才可持續運轉，

倘若燃煤供應中斷時，相關的發電廠將停止運行。

- 地理性: 設施之間因地理因素(位置、距離)產生關連，地理因素將影響服務品質，例如道路或橋梁損壞，將造成維生管路服務中斷。
- 資訊性: 設施之間需依賴電子訊息傳遞來控制設施運作，例如系統監控與資料擷取系統(SCADA)，倘若通訊網路訊號中斷時，電力系統將無法有效控制輸電、配電功能，電力服務將受影響。
- 邏輯性: 設施間運作狀況將取決另一設施狀態，該行為關係稱為邏輯相依性，舉凡資源調配問題、經營管理狀況，將間接影響其他設施功能的運作，例如天然氣與石油為同公司管理，經營發生問題時，將影響電力或自來水管理品質，間接提高系統失效可能性。

維生基礎設施中涵括許多重要資產，可用來生產、傳輸資源服務，例如發電廠、變電所、淨水場、儲油槽等。目前我國各設施業者獨自建置系統網路，然在運轉維護階段，因實體、地理、邏輯等因素，需特定條件下仰賴他項設施才能正常運作，假如災害發生時設施直接遭受衝擊，設施可能會因為相依關聯性，導致營運品質下降，嚴重時則會造成二次災害的危險性，使得民生生活上受到不便與安全上的威脅，例如 2016 年美濃地震，地震造成大規模停電，間接也衝擊供水系統、天然氣系統、交通運輸等設施、亦造成南科園區營運中斷狀況，由此

得知，跨系統相依影響重要性，故有必要對維生系統相依關係進行調查，助於瞭解影響關聯與關鍵點，有效防護作業抑制災害衝擊影響、與全面性的連鎖效應災害。維生系統架構常伴隨空間及時域變化性，結構形式頗具複雜，且設施運轉上也必需符合運轉規範，因此由系統內部依賴性、到跨系統相依性，都需明確來定義，圖 10 為維生基礎設施相依關係圖，清楚定義跨系統相互依賴關係。

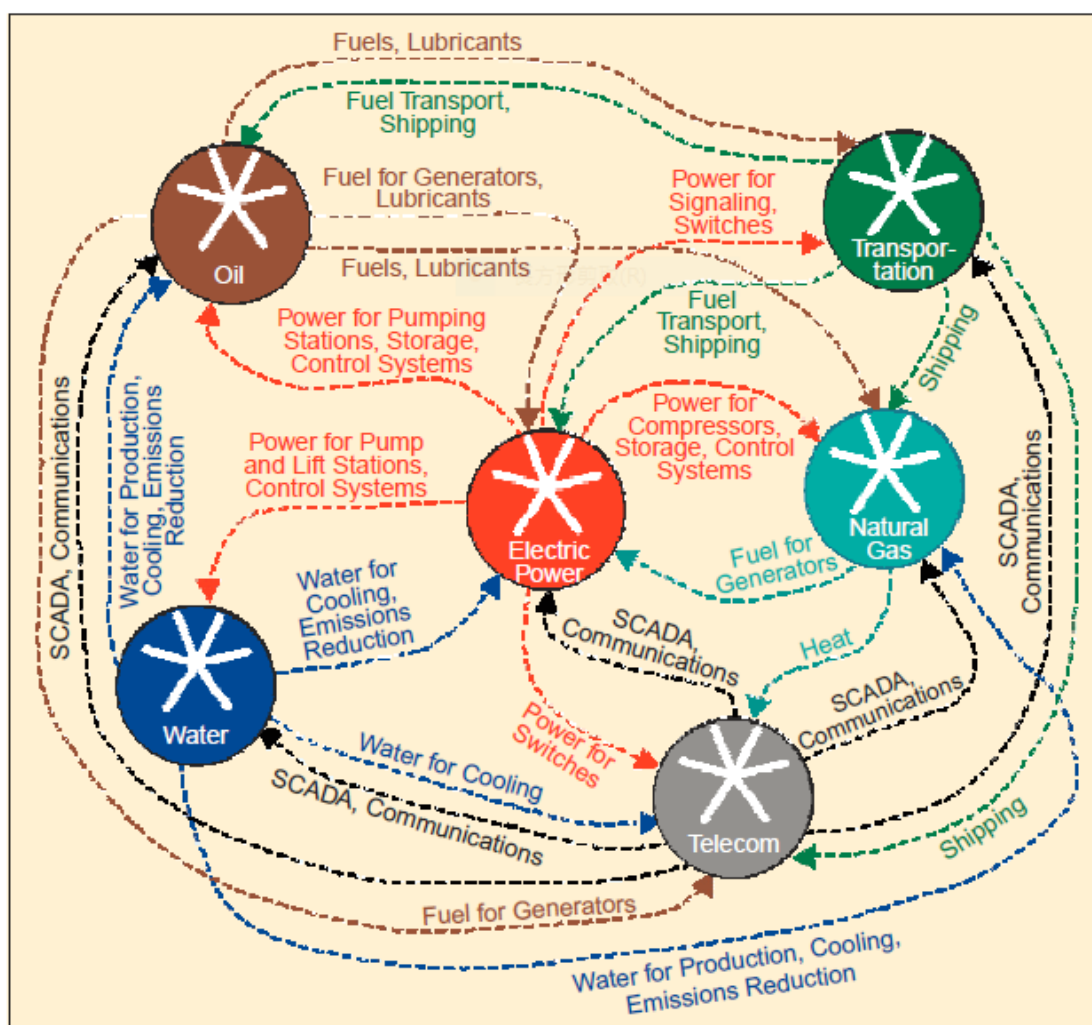


圖 10、基礎設施相依關聯圖(Rinaldi et al. 2001)

第四章研究方法與步驟

4.1 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，諸如緊急應變議題(緊急救援、救援物資運送、特殊空間救援)、避難收容議題(返家交通運輸、大量人潮疏散、弱勢族群安置)、持續營運議題(政府機能服務、關鍵設施恢復、企業持續營運)與基礎設施環環相扣(圖 11)。本研究希冀藉震災衝擊鏈之概念，進一步分析都會區民生服務機能、運輸服務機能、維生設施供應機能等面向的影響，以掌握地震所引起區域性之基礎設施運作之衝擊。為發展震後衝擊鏈推演模式，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 12 所示，完整之地震衝擊評估步驟，依序為決定地震動評估結果，如地表加速度(Peak ground Acceleration, PGA)、地表速度值(Peak ground Velocity, PGV)、地表位移(Peak ground Displacement, PGD)，爾後為建置基礎設施相依資料庫。本研究除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。

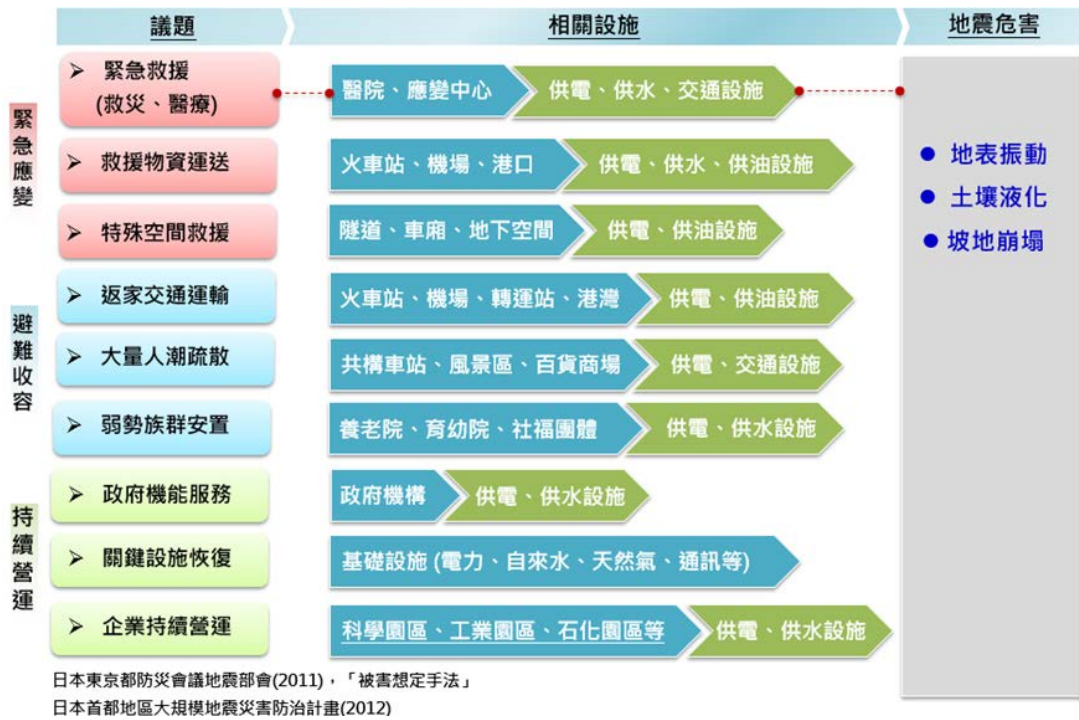


圖 11、都會區震災衝擊鏈研究課題

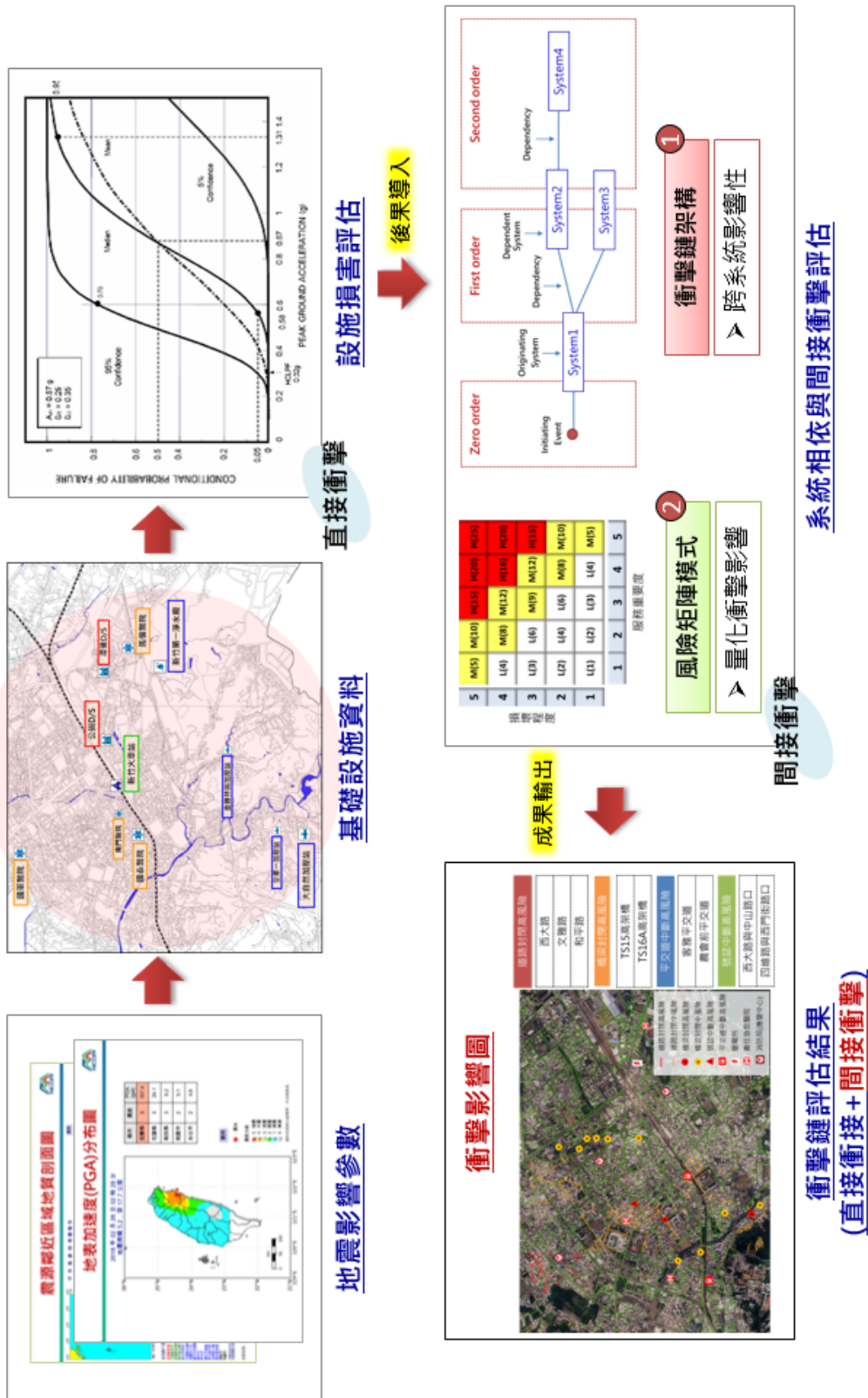


圖 12、研究流程圖

4.2 設施相依資料庫建置

維生基礎設施基礎資料庫之建置為本研究重點工作，國家災害防救科技中心發展之地震衝擊資訊平台(Taiwan Earthquake Impact Research and Information Application Platform, TERIA)已針對我國電力、自來水、橋梁、道路的基礎資料與空間資訊進行收集(吳佳容等, 2017)，並建置成為地震基礎資料倉儲系統，本研究收集維生設施資料，並將資料輸入於 Excel 檔案中，建置成為維生設施 GIS 基礎資料庫。本研究在建置維生設施資料庫時，為方便資料處理與查詢，故對各系統的設施予代碼，例如示範區 A 變電所代碼 P5;進一步利用地理資訊系統(GIS)軟體 ArcGIS 建立維生系統 GIS 資料庫，基礎資料可分成空間資料與屬性資料兩部分，其中空間資料中最重要是維生設施座標位置，依據設施地址於 Google Map 查詢，可對應座標位置；屬性資料內容包含代碼、系統類別、設施類別、設施名稱、坐落縣市、坐落行政區、服務範圍、供應戶數，電力與自來水設施基本屬性資料表如表 2、表 3 所示。

維生系統為維持民生機能之基礎設施，隨著都會化發展迅速，區域發展常藉由建設維生設施、管線來健全都會區的生活機能，最後發展為系統化架構，本研究為熟稔系狀態，需調查維生系統流程中的重要設施，係指系統內之上、下游的設施項目、跨系統外部資源供應者，

本研究將透過專家訪談來調查相關資料，建置成為維生設施相依屬性資料庫(表 4、表 5)，相依屬性資料內容包括代碼、系統類別、設施類別、設施名稱、上游供應者(系統內)、下游影響者(系統內)、資源供應者(跨系統)。本研究今年度重點訪談對象為電力設施與自來水設施，藉系統圖說、內、外部重要設備、設施相依性資料等，俾利於瞭解維生系統架構、災害衝擊相依功能失效研判。

表 2、電力設施基本資料表(電力設施)

代碼	系統類別	設施類別	設施名稱	座落縣市	座落行政區	服務範圍	供應戶數
P5	電力	變電所	A	新北市	板橋區	板橋區、新莊區	7,500

表 3、設施基本資料表(自來水設施)

代碼	系統類別	設施類別	設施名稱	座落縣市	座落行政區	服務範圍	供應戶數
W2	自來水	淨水場	A	新北市	板橋區	板橋區	40,000

表 4、設施相依屬性資料表(電力設施)

代碼	系統類別	設施類別	設施名稱	上游供應者 (系統內)	下游影響者 (系統內)
P5	電力	變電所	A	B 發電廠	C 變電所

表 5、設施相依屬性資料表(自來水設施)

代碼	系統類別	設施類別	設施名稱	上游供應者 (系統內)	下游影響者 (系統內)	資源供應者 (跨系統)
W2	自來水	淨水場	A	B 水庫	C 加壓站 (配水池)	D 變電所

4.3 地動參數與設施損壞評估

本中心自 2015 年起，開發適用於國內地震防災應用網格化衝擊分析技術，建置地震衝擊評估平台(TERIA)，該系統平台應用地理資訊系統，並以 500m × 500m 網格單位進行分析，同時有效結合自行研發地動、液化、坡地崩塌、建物、人口、道路、橋梁、供水、電力與瓦斯管線衝擊的分析模組，該平台除具備基本資料查詢外，更新增衝擊分析及分析結果查詢與展示功能，使用者可依造需求建立不同主題式應用介面，以提供多元化應用的地震衝擊分析資訊(吳佳容等，2017)，圖 13 為地震衝擊資訊平台(TERIA)架構。

在模擬地震作用下，本研究利用地震衝擊資訊平台(TERIA)，依據設施對應地表最大加速度值(PGA)、地表速度值(PGV)、與地表位移(PGD)，然後參考對應之耐震易損性曲線推估維生設施，包括電力、自來水、道路、橋梁不同損壞程度的損壞機率。

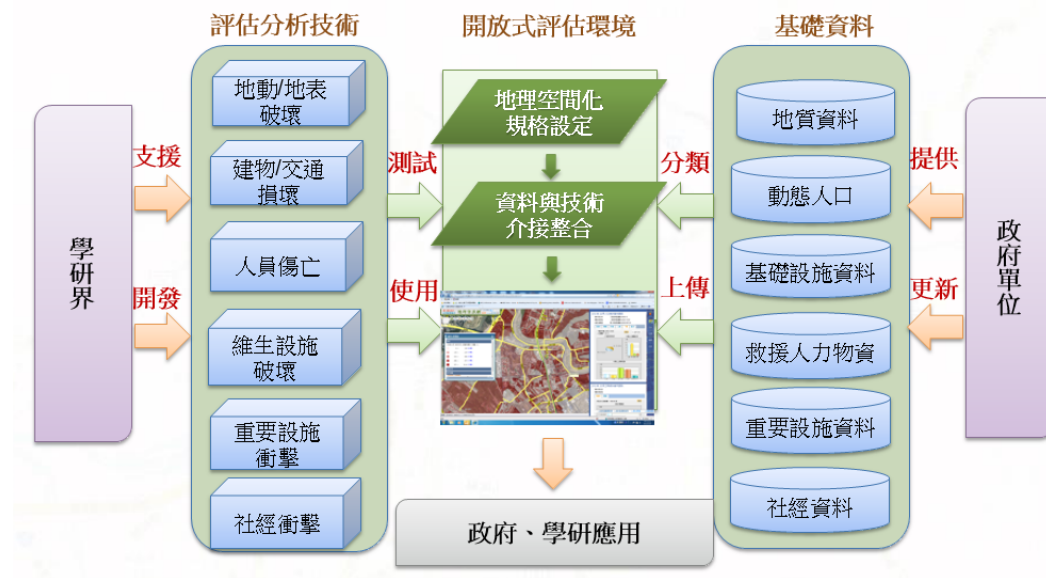


圖 13、地震衝擊評估平台(TERIA)架構

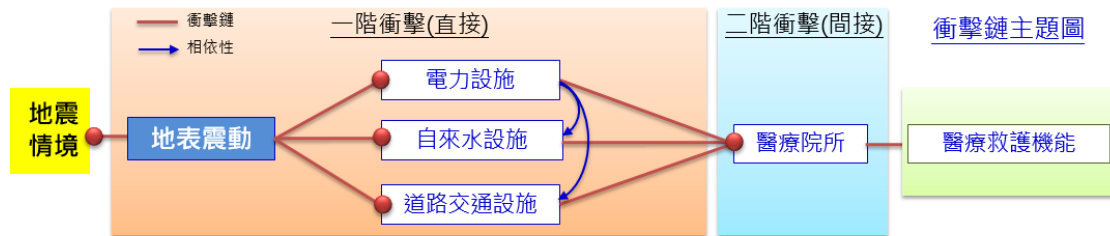
4.4 衝擊鏈架構與運算模組

綜觀國內、外都會區震災特性，常造成電力、自來水等維生基礎設施受損，造成民生維生機能衝擊外，可能引起二次災害，如造成避難收容、救援醫療影響，本研究藉此考量區域內維生機能(電力、自來水)、交通服務機能(道路、橋梁)、救災服務機能(醫院)三部分建立其衝擊模式，具體掌握震後引致區域機能運作與相互影響性。

依據 4.1 節分析步驟，逐步進行維生設施震災衝擊鏈架構之建置，本研究首要工作為確定受影響系統，由災害案例顯示，震後都會區的電力、自來水、與道路交通設施，常會受地震動影響而直接損壞，這些維生基礎設施設置於一階衝擊(直接)。在特定條件下，設施需仰賴

外部資源供應運作，如淨水場、加壓泵需要穩定的電力供應才得以運作。震後重災區的民眾生命財產受威脅時，避難疏散與醫療營運將會是很重要的工作，然而，醫院營運會受到外部維生系統損失而有間接衝擊影響，故設定在二階衝擊(間接)。圖 14 為維生設施震災衝擊鏈架構與運算模組。

● 衝擊鏈架構



● 運算模組

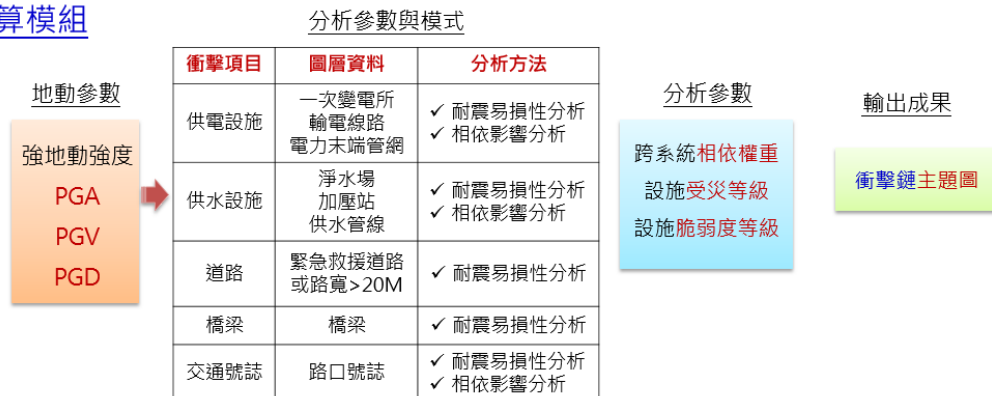


圖 14、震災衝擊鏈架構與運算模組

第五章案例分析

5.1 背景說明

本研究依據 106 年 12 月 7 日中央災害防救會報第 37 次會議決議事項：「大規模地震災害情境模擬與策略」有助於瞭解我國面臨強震可能衝擊，並明確設定減災目標，應持續推動。該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。

在強烈地震下，地震動是造成地表破壞主因，常以地表震度分布(Peak ground acceleration, PGA、Peak ground velocity, PGV 或 Peak ground displacement, PGD)來表示，依據地動模擬分析程序，最終可演算得到考慮場址效應之地表加速度。場址效應設定上以工程基盤($V_s=760$ m/sec)的地動反應與張毓文(2002)提出之地表加速度反應值。在地動預估上採用 500×500 公尺網格，圖 15 清楚呈現出臺北都會區(涵蓋臺北市、新北市)場址地動分布情況。其中震度大於七級(>400 gal)地區，新北市共有 11 個區，分別為新莊、五股、蘆洲、三重、板橋、中和、土城、樹林、泰山、林口、八里等區。台北市共有 5 個區，分別為士林、中山、大同、萬華、信義等區。

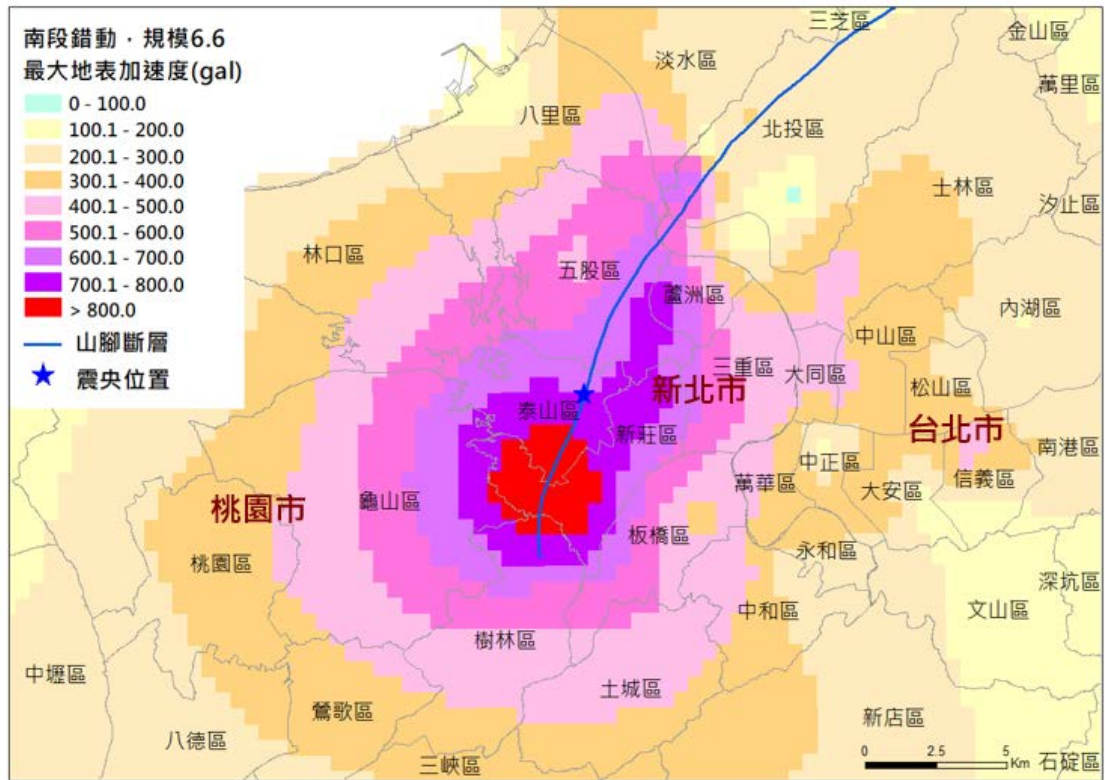


圖 15、臺北都會區地表加速度分布

5.2 一階衝擊：供電衝擊分析

維生設施為都會主要命脈，與民眾日常生活息息相關，近年來都會區發展日新月異，新興科技產業快速發展，相對電力供應依賴程度增加，電力系統為都市機能運作的核心設施，如果維生設施因災害而導致功能中斷，將引起其他維生系統功能運作、或服務品質下降，此外民生經濟與產業活動亦將受阻及衝擊影響。

在山腳斷層南段地震規模 6.6 地震情境下，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(五股區、泰山區、新莊區、蘆洲區)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，故本研究分析時，先考慮設施受震後造成的直接損壞，再納入設備相依性分析，決定電力設施損壞後影響的輸配電線路，表 6 為輸配電線路相依關聯性評估，當板橋超高壓變電所嚴重損壞後，將影響相依的輸電線路，如板橋~板橋一次、板橋~南海線、板橋~信南線等，進而影響下游的變電所供電狀態。

一般而言，都會區為區域供電網絡形式建構，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。表 7 為供電影響程度評估，以新北市泰山區、中和區為例，

泰山區的主要供電變電所呈現出中度損壞與嚴重損壞，末端管網為中度損壞，由於供電設施震後將受到地震動影響而直接損壞，需進行檢修作業，區域供電能力將受到嚴重挑戰，故本研究推估泰山區的供電影響程度為高度影響。中和區的主要供電變電所呈現輕度損壞，末端管網為輕度損壞，然上游超高壓變電所嚴重損壞，相依輸電線路可能跳脫，包括板橋~信南線、板橋~板橋一次線，下游信南變電所、板橋變電所的供電狀況將受到影響，本研究推估中和區的供電影響程度為中度影響。

本研究推估臺北都會區各行政區之電力影響程度，如圖 16 所示，其中新北市的五股區、泰山區、新莊區、三重區、板橋區、土城區為電力高度影響地區，新北市的林口區、蘆洲區、樹林區、鶯歌區、三峽區、中和區，台北市的北投區、士林區、內湖區、大同區、中山區、中正區、萬華區、信義區為電力中度影響區域。

表 6、輸電線路相依關聯性評估 (以板橋超高壓變電所為例)

變電所類別	變電所名稱	損壞狀態	相依輸電線路
超高壓變電所	板橋	嚴重損壞	板橋~板橋一次 (多迴路)
			板橋~南海線 (單一迴路)
			板橋~信南線 (單一迴路)
			板橋~城中線 (單一迴路)
			板橋~松樹線 (單一迴路)

表 7、供電影響程度評估 (以泰山區、中和區為例)

縣市	供電設施損失狀態			末端管網 損失狀態	供電影響 程度推估
	設施類別	設施名稱	損失狀態		
泰山區	配電變電所	宏安	嚴重損壞	中度損壞	高度影響
		迴龍	嚴重損壞		
		泰山	中度損壞		
	一次變電所	東林	輕度損壞		
中和區	配電變電所	秀朗	輕度損壞	輕度損壞	中度影響
		信南	線路跳脫 (板橋~信南線)		
	一次變電所	板橋	線路跳脫 (板橋~板橋一次)		

5.3 一階衝擊：供水衝擊分析

維生系統與民生機能息息相關，包括電力、自來水、天然氣等，面臨災害衝擊時，需維持系統正常運作。由災害事件顯示震後常造成供水設施的加壓泵損壞或電力喪失無法運轉、輸水管路破裂等，後果輕微者為用戶缺水，嚴重則導致醫院穩定供水中斷，醫療救援服務可能終止。

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(五股區、泰山區、新莊區)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，因為變電所穩定供電狀態，將是影響供水設施運作的重要元素，本研究結合供水設施直接損壞結果與 5.2 節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，經細部分析結果顯示(表 8)，共有 1 座淨水場中度損壞，且受到電力高度影響下，推估設備損失將由中度影響提升為高度影響;14 座加壓站輕度損壞，且受到電力高度影響下，推估設備損失將由輕度影響提升為中度影響;10 座加壓站中度損壞，且受到電力高度影響，故推估設備損失由中度影響提升為高度影響，爾後在依據區域供水系統來評定各行政區供水影響程度，表 9 為供水影響程度評估，泰山區供水設施(淨水場、加壓站)為中度損壞，包含泰山淨水場、泰林、全興與同榮加壓站，主要輸水管路則為中度損壞，

依據 5.2 節供電影響程度分析結果，泰山區電力影響程度為高度影響，將加劇間接損失的影響程度，供水設施將受電力中斷而功能損失，例如加壓泵、主控制盤等，本研究經細部分析後，推估泰山區供水影響程度為高度影響。圖 17 為臺北都會區供水影響程度，其中新北市的五股、泰山、新莊為供水高度影響地區。

表 8、供水設施狀態評估 (考慮電力損失間接影響)

供水設施類別	損失影響狀態 (考慮電力損失後)	數量
淨水場	中度→高度	1
加壓站	輕度→中度	14
	中度→高度	10

表 9、供水影響程度評估 (以泰山區、五股區為例)

縣市	供水設施狀態 (直接損壞)			輸水管路 損失狀態	供電損失 (間接影響)	供水影響 程度推估
	設施類別	設施名稱	損壞狀態			
泰山區	淨水場	泰山	中度損壞	中度損壞	高度影響	高度影響
	加壓站	泰林	中度損壞			
		全興	中度損壞			
		同榮	中度損壞			
五股區	加壓站	凌雲	輕度損壞	中度損壞	高度影響	高度影響
		御史	輕度損壞			
		德音	中度損壞			
		龍鈞	中度損壞			
		陸光	中度損壞			



圖 17、臺北都會區供水影響程度推估

5.4 一階衝擊：交通設施衝擊分析

都會區之道路、橋梁與相關設施為交通與民生之重要管道。在災害發生時，救災道路、橋梁亦是交通設施中的重要設施，損壞亦將直接衝擊災後急難救援、民生醫療物資運輸，進而影響整個救災工作的進行。

在地震動直接衝擊影響下，臺北都會區共有 13 座橋梁受到地震動衝擊下而嚴重損壞，如新北市的重陽橋、永安大橋、關渡橋、華江大橋、中山高架橋、北山大橋等(表 10)，及 17 處路段嚴重損壞、45 處路段中度損壞。本研究除考量道路、橋梁設施直接災損外，變電所損壞後電力中斷情形，也會造成道路交通號誌、鐵路平交道異常情況，故本研究亦考量跨系統相依影響，納入 5.2 節供電影響程度分析結果，結合電力影響程度因子、及電力末端管網損壞狀態(網格)，再藉由圖層套疊來推估得到路口號誌中斷的範圍，經細部分析結果顯示，新北市的泰山區、新莊區、與五股區的部分路口號誌有高度損失影響，需調派專人進行交通疏導車流。圖 18 為臺北都會區交通設施損失分析，結果顯示，重災區之救災道路、聯外橋梁有高度阻斷風險、防災道路有號誌失效影響，可能影響居民避難、傷患救援與物資運補。

表 10、橋梁嚴重損壞評估結果

縣市	橋梁	
	名稱	損失狀態
新北市	重陽橋	嚴重損壞
	永安大橋	嚴重損壞
	關渡橋	嚴重損壞
	華江大橋	嚴重損壞
	中山高架橋	嚴重損壞
	北山大橋	嚴重損壞

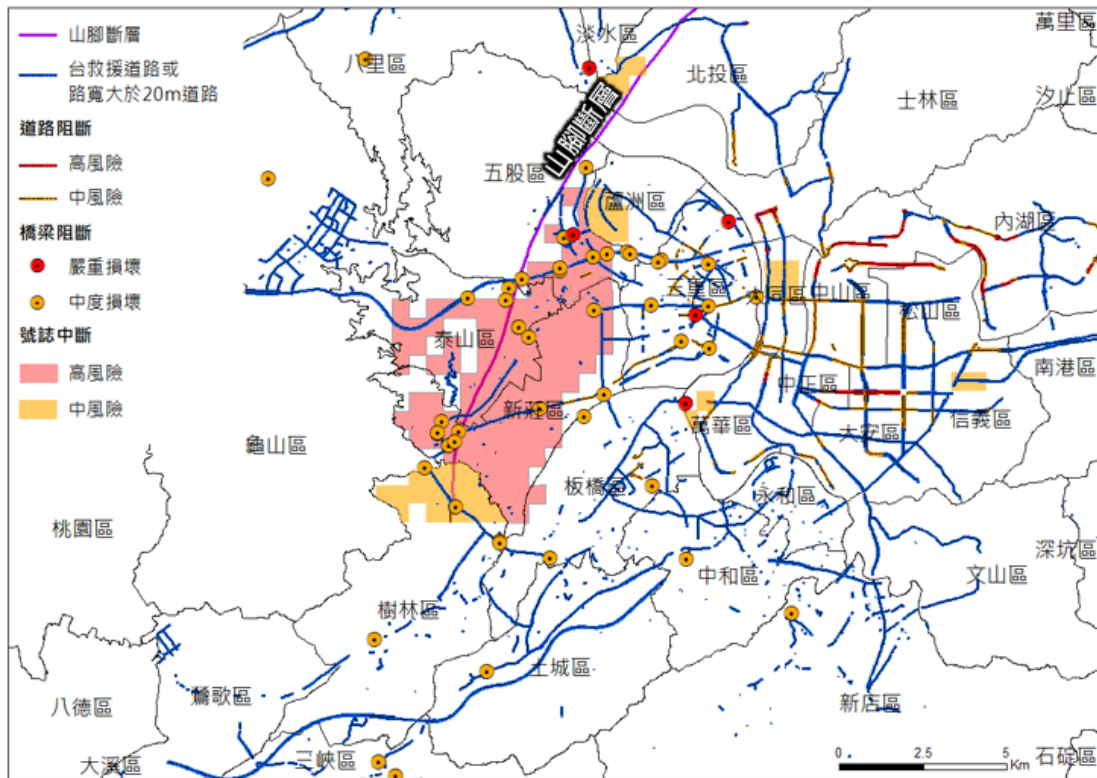


圖 18、臺北都會區交通設施損失分析

5.5 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。運作關聯性如下：電力供給醫療設備需要運作機能，電力中斷將導致設備失效。自來水維護醫院的衛生，醫療行為進行(如洗腎、消毒)，缺水將阻礙醫療工作進行，道路、橋梁損壞導致交通中斷，阻礙救護車護送病患行動，或是救護人員難到達現場進行醫療救治。

5.5.1 風險等級推估方法

圖19為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，可由式1表示：

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

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。本研究利用 Laugé, A. et al.,(2015)所建置之相依功能衝擊矩陣(表 11)，執行跨系統相依衝擊狀態分析，表中的縱軸為主動影響系統、橫軸為被動影響系統，分析區間分為倘若設施為中斷 2 小時、3 天與中斷大於 1 週，對其他基礎設施的影響程度，6 個等級對應受影響描述如表 12 所示。例如電力中斷兩小時對供水影響程度為 2 級(低影響)，若電力中斷 3 天時，則對供水影響程度為 4 級(高影響)，若電力中斷 1 週時，則對供水影響程度為 5 級(較高影響)；供水中斷兩小時內對醫院影響程度為 2 級(低影響)，供水中斷 3 天對醫院影響程度為 3 級(中影響)，若供水中斷大於 1 週時則對醫院影響程度為 4 級(高影響)。

本研究根據表 11 跨系統相依影響等級，作為電力、自來水、交通不同時間的影響權重輸入，再進行危害等級的計算。

$$\text{危害度(H)} = \text{權重因子(w1)} \times \text{供電影響(k1)} + \text{權重因子(w2)} \times \text{供水影響(k2)} + \text{權重因子(w3)} \times \text{交通影響(k3)} \quad (\text{式 2})$$

5.5.2 醫療設施外部維生系統損失推估結果

圖 20 為震後 2 小時醫療設施之外部維生系統損失風險，研究結果顯示，台北都會區醫療設施之外部維生系統中風險共 16 所，其中臺北市 9 所、新北市 7 所受電力、自來水供應中斷、道路交通阻斷衝擊，醫院持續營運與傷患運輸、後送可能受到影響。

圖 21 為震後 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，5 所醫療設施外部維生系統中風險提升為高風險，分別為台北市 2 所、新北市 3 所。

圖 22 為震後 1 週醫療設施之外部維生系統損失風險，研究結果顯示，震後受維生設施衝擊連鎖相依影響，且中長期危害曝露，醫療救護機能風險上升，可能產生嚴重性後果，共有 10 所醫療設施處於高風險，分別為台北市 6 所、新北市 4 所。

表 13 為醫療設施之外部維生系統高風險的受損情形案例，電力部分包括：超高壓變電所受損，影響下游配電設施、一次配電變電所受損，輸電線跳脫影響配電變電所之區域供電。自來水部分包括：加壓站設備直接損壞、或電力中斷供水設備間接影響、供水管路受損影響區域供水。交通部分：主要道路、市區橋梁、或聯外橋梁阻斷、路口號誌失效。表 14 為醫療設施之外部維生系統風險等級案例，這些醫

院在電力損失程度大多為中度或高度，由於維生系統對電力附有高度依賴、相依性，在交互影響下，且隨暴露時間增加，嚴重時則造成各項維生系統的服務失能。

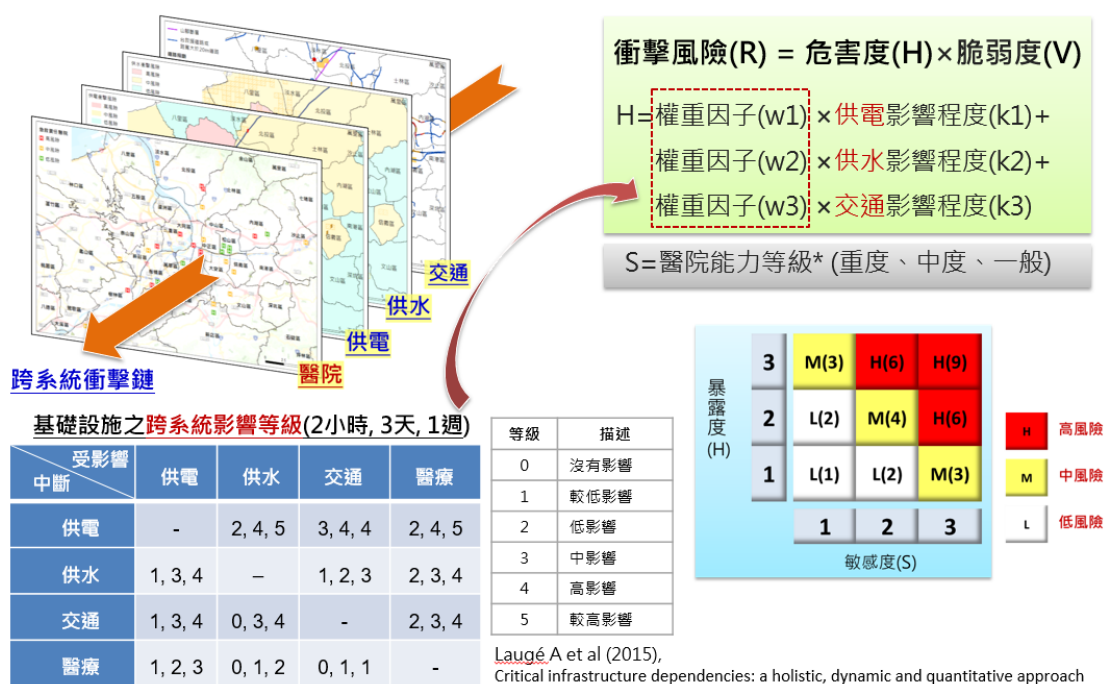


圖 19、醫療設施外部維生系統損失評估方法

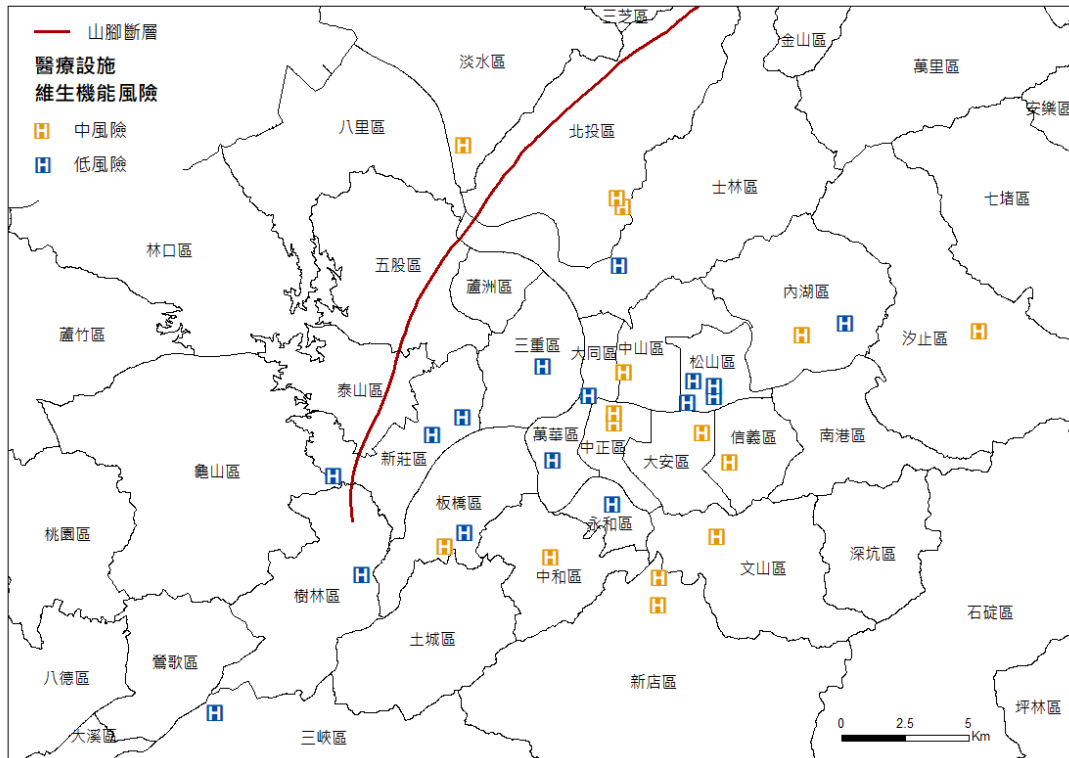


圖 20、震後 2 小時醫療設施之外部維生系統損失風險

表 11、基礎設施中斷之跨系統影響(2 小時, 3 天, 1 週)

中斷 \ 受影響	供電	供水	交通	醫療
供電	-	2, 4, 5	3, 4, 4	2, 4, 5
供水	1, 3, 4	-	1, 2, 3	2, 3, 4
交通	1, 3, 4	0, 3, 4	-	2, 3, 4
醫療	1, 2, 3	0, 1, 2	0, 1, 1	-

表 12、影響等級與描述

等級	描述
0	沒有影響；可正常運作
1	較低影響；設施可藉調度資源運行
2	低影響；設施可藉調度較多資源運行
3	中影響；設施可藉調度資源運行供給重要輸出
4	高影響；設施可藉調度較多資源運行供給重要輸出
5	較高影響；設施無法正常運作

表 13、醫療設施外部維生系統受損情形案例

醫院	縣市	影響程度			外部維生系統受損情形
		電力	自來水	交通	
A1	臺北市	中	低	中	<ul style="list-style-type: none"> ■ 輸電線跳脫影響配電變電所之區域供電 ■ 主要道路、橋梁受阻
A2		中	低	中	<ul style="list-style-type: none"> ■ 配電變電所受損影響區域供電 ■ 主要道路受阻
A3		中	低	低	<ul style="list-style-type: none"> ■ 超高壓變電所受損，影響下游配電設施之區域供電
A4	新北市	中	中	低	<ul style="list-style-type: none"> ■ 輸電線跳脫影響板配電變電所之區域供電 ■ 加壓站受損、主要供水管路受損影響區域供水
A5		高	中	低	<ul style="list-style-type: none"> ■ 配電變電所受損、輸電線跳脫影響變電所之區域供電 ■ 主要供水管路受損影響區域供水

表 14、醫療設施外部維生系統風險等級案例

醫院	縣市	風險等級			高風險 可能時間
		2 小時	3 天	1 週	
A1	臺北市	中	高	高	3 天
A2		中	高	高	3 天
A3		中	中	高	1 週
A4	新北市	中	高	高	3 天
A5		中	高	高	3 天

5.6 成果討論

1. 維生設施附有高度依賴、相依性，例如供電系統不僅供應自來水系統、天然氣、供油系統運轉所需電力外，相關防救災重要設施，如醫療系統、警消系統，皆需電力供應才得以營運，倘若遭遇電力中斷時，輕微者降低營運品質，嚴重時則造成大規模維生系統的服務失能。本研究彙整維生設施直接衝擊結果，與間接衝擊結果，分析結果顯示，位於強震區之電力設施受到直接損壞外，供水設施、交通設施將受到間接相依的影響，此外，醫院也將發生供電、供水、與交通中斷狀況，恐造成醫療設施營運之外部維生系統服務水準降低。
2. 由表 9 醫療設施之外部維生系統損失風險等級得知，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，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。
3. 維生設施常於特定規模的災害中受損，導致民眾生活不便、緊急應變救援與災後復原遭延宕，現行應變中心於維生設施查報上，僅提供災情數量與衝擊層面，然對於設施功能狀態資訊闕如，本研究藉由繪製震後維生設施影響程度圖(圖 16、17、18)，可顯示

受影響區域，利於掌握設施於災害衝擊下之狀態，協助災害應變中心相關維生設施之情資研判、應變搶救調度與災後復原規劃等工作參考。

第六章結論與建議

6.1 結論

回顧國內外維生系統災害事件顯示，當地震發生後，位於強震區域維生設施可能損壞，除考量評估設施實體直接損壞外，也應考量不同設施跨系統相依衝擊，與修復時間遞減之影響，故最終設施系統衝擊結果將與傳統僅考量直接損壞評估方法有所不同。基此，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。本研究結論分述如下：

1. 本研究有效針對臺北都會區之供電、供水、道路交通設施進行地震損壞評估外，也進行相依衝擊分析，同時也對醫療設施外部維生系統損失風險進行評估。
2. 醫療設施之外部維生系統損失，將隨設施修復時間遞延而有所影響，震後 3 天的醫療設施外部維生系統損失風險，將受電力、自來水、道路交通連鎖相依影響，加劇災害或損壞產生，例如原 5 所醫療設施有中風險將提升為高風險。此外，震後 1 週面臨中長期危害曝露，可能產生嚴重性後果，處於高風險醫療設施將上升為 10 所。

3. 部分醫院周邊主要道路、聯外橋梁有阻斷情況，除此之外，醫院出入道路狹小，建物毀損恐造成道路阻斷，可能影響居民避難、傷患救援與物資運補。

6.2 建議

1. 本研究除考量地動模擬、直接災害衝擊評估外，因維生系統彼此相依鏈結，損壞後需較長時間功能修復時，將導致連鎖效應，故有必要重視間接衝擊樣態，根據維生供應機能、運輸服務機能細緻分析，進一步掌握地震引起都會區維生系統運作中斷與相互影響性。
2. 本研究針對臺北都會區之醫療設施之外部維生系統損失風險評估，非結構性要素包括電力、自來水、道路交通等，若災害衝擊任一運作條件，都可能導致不同程度的醫療困難與服務中斷。我國責任急救醫院常為雙電源供電，或備有發電機組備援，可支援緊急情況的電力供應，但因應長時間停電時，建議整備充足之柴油發電機燃油；自來水需藉臨時水車支援，建議政府當局可設置防災水槽、自來水專管，或規劃鄰近加壓站支援供水方式，加速復水作業，此外也需注意停電造成無法穩定供水間接影響。部分醫院出入道路狹小，建物毀損恐造成道路阻斷，可規劃替代道路、平時與防救團體建立連絡機制，協助傷病運輸、後送。

3. 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

柯孝勳、黃明偉、蘇文瑞、葉家承、劉淑燕、柯明淳、吳秉儒、吳子修、陳秋雲(2010)。20100304 甲仙地震分析評估摘要，國家災害防救科技中心災害防救電子報，國家災害防救科技中心，57 期，台北。

內政部消防署(2010)。990304 高雄甲仙地震站東偏南方 17.0 公里處芮氏 6.4 地震案，內政部消防署。

內政部(2013)。0602 地震中央災害應變中心工作會報，內政部。

內政部(2016)。0206 震災中央災害應變中心總結報告，內政部。

台電公司緊供中心(2016)。105 年 2 月 6 日地震電力設備受損報告。

國家災害防救科技中心(2016)。0206 地震災情彙整與實地調查報告，國家災害防救科技中心。

內政部(2018)。0206 花蓮震災中央災害應變中心工作會報，內政部。

黃富國、王淑娟(2018)。0206 花蓮地震土壤液化震害相關問題探討，

國家災害防救科技中心災害防救電子報，國家災害防救科技中心，158 期，台北。

行政院(2017)。中央災害防救會報第 37 次會議紀錄，106 年 12 月 7 日，行政院。

張毓文(2002)。場址特性分析及最大加速度衰減模式校正，國立中央大學碩士論文，桃園。

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。

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。

Hassel, H., Johansson, J., Cedergren, A., et al., (2014) “Method to study cascading effects,” D2.1.CascEff Project (FP7 EU project 607665).

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.

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.

震災衝擊鏈分析方法之建立：以維生設施衝擊為例

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 108 年 12 月

出版年月：中華民國 109 年 01 月

版 次：第一版

非賣品

地址：23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話：++886-2-8195-8600

傳真：++886-2-8912-7766

網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw>