

# 重要基礎設施之災害衝擊評估技術

## Methods Development for Disaster Impact Assessment of Critical Infrastructure

蘇昭郎<sup>1</sup>

Su, J. L.

吳佳容<sup>1</sup>

Wu, C. C.

李中生<sup>1</sup>

Lee, C. S.

李洋寧<sup>1</sup>

Lee, Y. N.

鄧敏政<sup>1</sup>

Teng, M. C.

李沁妍<sup>1</sup>

Lee, C. Y.

吳啟瑞<sup>1</sup>

Wu, C. R.

簡賢文<sup>2</sup>

Chien, S. W.

<sup>1</sup> 國家災害防救科技中心 人為災害防治組

<sup>2</sup> 中央警察大學 消防學系

### 摘要

基礎設施在維持都市系統運作上扮演極為關鍵的角色，甚至某些關鍵基礎設施對國家社會極為重要，一旦失效對社會與經濟的衝擊將造成重大影響；而供電系統為其他基礎設施系統的主要動力來源，若供電系統失效其衝擊後果將十分嚴重，甚至可能造成骨牌效應，擴大影響其他設施系統。

本研究配合本中心中長期規劃，以大規模地震災害對重要設施之災害衝擊評估為重點，完成維生設施(電力、自來水、天然氣、石油管線)與防救災設施(醫院、消防隊、警察局、政府部門、知名設施)之設施運作架構、設施清單與圖資建立，並初步進行地震災害衝擊評估；北部地區供電系統分析之系統界定與四種災害極端情境的衝擊後果分析；建立都市系統運作與基礎設施模型理論分析，可提供跨設施系統相依性分析應用等技術研發。相關成果重點除提供本中心地震組進行大台北地區大規模地震研究及相關部會參考外，並提供災害管理應變需求使用。

本 101 年度以發展地震災害對基礎設施之衝擊評估方法為主要工作，現階段已初步建置示範區之基礎設施資產清單與衝擊評估方法的開發。希望後續能結合地震領域災害危害資訊與地動情境等，進行基礎設施衝擊評估分析，作為地震災損分析的參考依據，進一步在減災規劃與應變研判應用。

**關鍵詞：**關鍵基礎設施、災害衝擊分析、系統相依性、極端情境、停止運作水準模型、都市系統運作

### Abstract

Infrastructures play an essential role in the operation of a dynamic urban system. Some critical infrastructure's failure may cause remarkable social and economic impact, even influence normal operation of government. This study complied with the long-term

planning of NCDR, the large-scale earthquake issue of Taipei Metropolitan also takes into account for developing methods of disaster impact assessment.

Lifelines (power, water, gas, oil networks) and essential facilities (hospitals, fire department, police station, government departments) are fully survey on the system frameworks, key elements and geographic data, then the facilities inventory for disaster impact assessment is established. According the proposed earthquake disaster impact assessment method, each facility is evaluated damage condition based on the peak ground acceleration where the facility locates. The system operability can be achieved by integrating the damage condition of all the related facilities systematically. Impact analysis of power system in northern Taiwan for extreme scenarios is also conducted. An infrastructure interdependency conceptual model of the urban system is proposed for driving cross-sector impact analysis case. All the related outcomes of this project can provide systematic assessment methods of infrastructures for supporting the Mitigation Plan on the Large-Scale Earthquake in Taipei Metropolitan.

**Keywords :** critical infrastructure, disaster impact analysis, system interdependency, extreme scenario, inoperability input-output model, urban system operation.

## 一、前言

關鍵基礎設施(Critical Infrastructure, CI)是人民生活、經濟發展、政府運作與國家永續生存的重要關鍵。國家關鍵基礎設施或重要資源一旦遭受天然災害或人為的破壞，可能造成政府及企業運作中斷，形成骨牌及擴大效應，嚴重衝擊經濟發展與民心士氣，甚至嚴重影響政府運作。

過去國內在災害風險量化與脆弱度評估技術仍顯不足，本計畫擬引入量化風險評估技術，結合情境為基礎之防災管理領域研究，進行災害風險地圖資訊管理之整合應用，建立基礎設施管理與災害情境之風險量化評估方法與工具。過去並沒有一個明確的研究領域稱為「關鍵基礎設施安全防護」(CIP)，近年來該領域已逐漸受到重視，其中大部分的基礎設施與我們所生活的現代社會有著相互依賴與支持的關係，這些基礎設施彼此間的關係稱之為相互關連(Interconnection)或相依性(Interdependency)。

## 二、研究地區與研究方法

配合本中心近中程研究目標之加強災害預警及應變研判、針對新興及複合性災害議題(如關鍵基礎設施、氣候變遷等)進行方法開發與衝擊評估，並研擬相關減災策略。其分年工作重點為：CI失效區域衝擊評估方法、應變需求之CI衝擊評估與主題圖應用、不同災害情境進行災害衝擊分析-水庫受災失效時對下游地區之衝擊評估、開發CI系統相依性分析技術等。P08專案整體工作架構示如圖1。

積極開發CI失效災害衝擊評估方法，本101年度將以大台北地區大規模地震災害關鍵基礎設施衝擊評估為重點，第一階段為建置基礎設施資產清單與衝擊評估方法的開發。希望能與地震組相關專案結合，並由地震組提供災害危害圖與PGA等設定情境資訊，經本專案進行評估分析後，提供地震組進一步在減災規劃應用處置。

基礎設施均具有相互關聯性，本專案開發系統相依性分析方法，運用鄰近關聯矩陣(Adjacency Matrix)、系統災害衝擊鏈、設施主被動關聯性、停止運作水準之投入產出模型與風險評估的觀念等技術，建立系統衝擊關聯矩陣，經由不同的時序推估系統中各元件之後果影響，藉以表現出其剩餘的運作水準(Operability or Serviceability)與系統整體受衝擊情形。

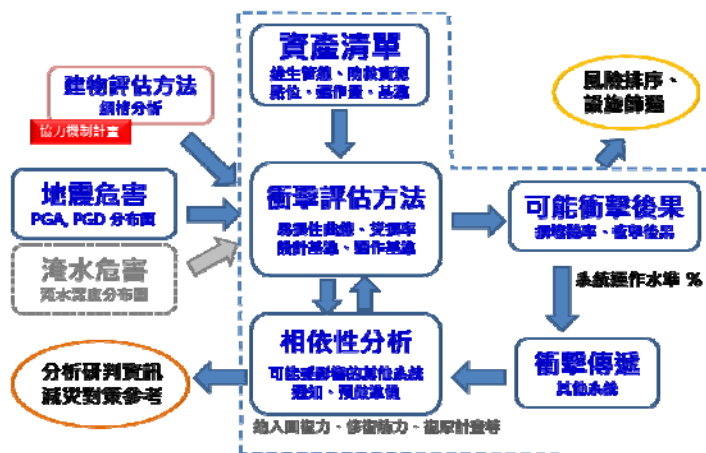


圖 1 本專案(P08)整體工作架構

本計畫配合中心定位與目標，著重於新興議題與複合性災害之科技研發推動，主要是以災害防救為核心的關鍵基礎設施安全防護技術開發，研發內容包括CI失效災害衝擊評估、不同情境災害衝擊評估、災害管理需求之CI衝擊評估、系統相依性分析技術、以及協助OHS監督外部團隊與技術支援，並積極將國土安全與災害防救資訊整合應用，提供雙方面資訊平台共享機制。

大規模震災共同的特徵為造成都會區建築物、交通、維生系統與重要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。圖2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、建立分析資料庫、直接與間接災害衝擊評估，以及復原計畫與減災策略。直接災害衝擊則利用易損性模型(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。對於重要基礎設施失效後，衝擊其他產業與社經狀況所造成的間接損失，則必須藉由系統關聯性作進一步的分析評估。最後，利用地理資訊系統平台，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、減災策略，達到提升都會區抗災能力之目的。

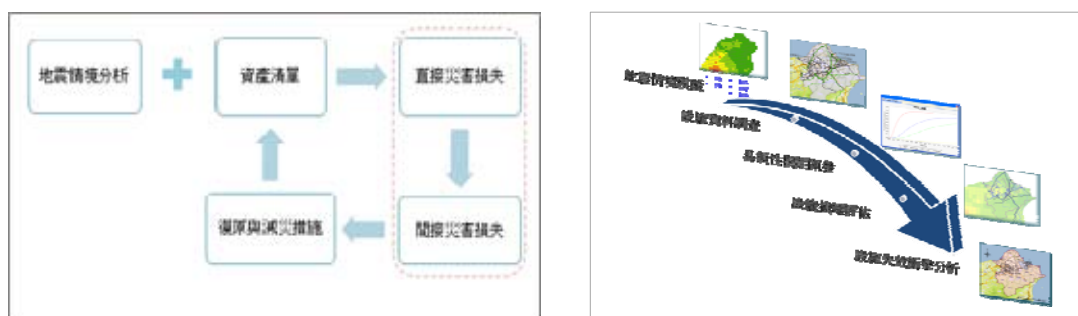


圖 2 地震災損分析與執行架構

本計畫以大台北地區地震災害為情境，目的為:1)建立都會區維生設施以及防救災重要設施與資源之脆弱性與失效影響分析架構，以及2)開發這些重要設施失效後之災害衝擊評估方法。

### 三、研究成果

#### 3.1 CI 失效之災害衝擊評估 (P08-1)

##### 3.1.1 都會區CI脆弱性與衝擊影響

###### 1. 建立都會區維生設施與防救災重要設施資產清單

參考「行政院國家關鍵基礎設施安全防護計畫」的關鍵基礎設施定義項目，以及美國緊急應變管理局FEMA所發展之災害分析管理工具HAZUS中所定義之設施項目，表1所示為目前選定自來水、石油、天然氣、電力等四項設施系統作為本年度維生設施之分析項目，重要防救災設施方面則包括政府、醫院、警察、消防隊等。

表1 P8-1本年度(101年)分析項目

評估類別	評估項目	評估內容
地震災害情懷	地震運動預測	PGA, PGV, PGD, Sa, Sd...
	地震破壞分析	斷層錯動、土壤液化、地層滑動
直接實體損壞	一般建築物	住家、商業、工業、農業
	結構設施	<b>重要設施</b> 政府、醫院、警察、消防隊、危險場所、學校、知名廠家
	高層(EPL)設施	核電廠、水庫、軍事設施
	運輸系統	高速公路、鐵路、捷運、公車系統、港口、船塢、機場、橋梁、緊急救援道路
	<b>維生設施</b>	<b>自來水系統、燃料油、天然瓦斯、電力系統、污水系統、通訊系統</b>
引發性災害	水壩潰堤、堤防潰堤、海壩、橋樑火災、油槽爆炸、有害物質洩漏...	
直接損失	人員傷亡、建築物殘骸量評估	
	遷移安置需求	
	實體設施修復費用評估、農作物損失評估、所得損失評估	
間接損失	政府持續營運衝擊	系統關聯性分析、產業供應鏈分析、Input-Output Model、
	商業持續營運衝擊	商業相互關連性、供應鏈及需求降低影響分析、恢復力

(1) 維生設施資產清單分析

- a. 供電設施系統: 供電系統分為四個部分：發電、輸電、配電、負載，發電廠負責發電，電力透過不同的迴路形式，傳遞至用戶端，變電所是電力轉換站，功能是提高、降低電壓以及分配用電量。
- b. 供水設施系統: 供水系統分為四個部分：取水、導水、淨水及配水，由水庫將水源導入至各個攔河堰或取水口，通過各地抽水站、輸水專管，將水源導入至淨水廠，最後再將水源輸送至各級用戶端。
- c. 天然氣與石油設施系統: 天然氣與石油設施系統，如同供水設施，密集的分佈於人口稠密區域，若建物因地震倒塌，導致管線破裂、天然氣或石油外洩，將可能引發震後火災，因此，天然氣與石油設施之安全的重要性應優先考量。

(2) 防救災重要設施資產清單分析

- a. 消防部門: 大台北地區消防部門，依據各分局網頁顯示，共有13大隊、12中隊（僅台北市設立中隊）、124分隊，包含後勤及行政人員共5,832人，消防署另管理基隆港務消防隊。
- b. 醫療系統: 我國依據病床數、人力配置、診療服務之評鑑基準，將醫院依照規模、照護強度、收治病人能力等，分為醫學中心、區域醫院、地區醫院及診所四級。大台北地區內，地區醫院等級以上醫院，依醫院地址共收整114個，包含7個國軍醫院，其中醫學中心有13個、區域醫院27個以及地區醫院74個。
- c. 警察機關: 大台北地區設34個分局、270個派出所、4個分駐所、新北市境內另有2個山地檢查所，依警察機關地址統計共292處。
- d. 重要行政部門: 我國明定防災施政之基本方針，訂立「防災業務計畫」與「地區防災計畫」之重點事項，以強化災害預防、有效執行災害搶救等任務，以減少災害損失。本研究依據台北市、新北市及基隆市之地區防災計畫內容，篩選出地震災害下，協助執行災害應變及救援的重要行政部門範圍。

## 2. 地震情境下設施脆弱性分析方法

對於重要基礎設施於地震情境下的脆弱性分析方法，目前國內外研究均利用設施單元、設備或區域管網特有之易損性曲線(Fragility Model)進行評估。易損性曲線即是該設施在特定的地震強度下，到達或是超越所設定的反應程度的發生機率。圖3即為典型之易損性曲線。本子計畫蒐整國內外具代表性之設施易損性曲線，建立分析架構並對各項設施進行分析。圖4為對維生設施系統之分析架構。對系統內重要設施以及區域管網分別進行易損性評估，再綜整該設施在特定地震情境下之直接衝擊。對於防救災重要設施單元，則必須要對個別設施之影響因子進行分析，其中包括建物、設備、電力、通訊、供水、道路交通等。然而對各項重要防救災重要設施單元，其重要營運因子亦不盡相同。此部分將參考國內外研究報告，彙整出對各項防救災設施所需考慮之影響因子。

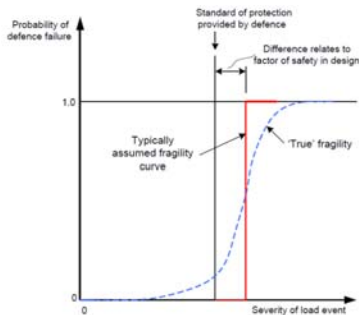


圖3 易損性曲線

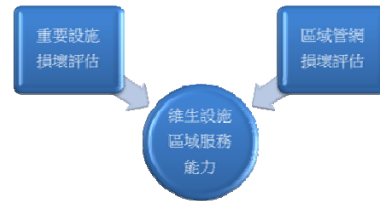


圖4 維生設施系統分析步驟

### 3.1.2 CI失效之災害衝擊評估方法

本部分將以各項設施之服務範圍，以GIS空間圖層進行套疊，作為都會區CI失效後之影響衝擊評估地初步分析。此外，藉由重要防救災設施之重要營運因子，亦可分析基礎維生設施失效後所造成之影響。

#### 1 都會區CI失效衝擊分析

利用ArcGIS分析維生設施之震後失效衝擊，其分析流程描述如下：a. 建立維生管線GIS圖資資料：包含各設施元件及管網等基礎資料之完整屬性及其空間座標。b. 地震參數-最大地表加速度(PGA)資料網格化處理：以101年度國家防災日之地震境況作為示範案例，將全台區域以2公里\*2公里之網格表示PGA分佈值，根據設施元件所在位置，運用ArcGIS軟體的空間運算Spatial Join工具，求出設施元件對應的PGA值。進一步再與設施元件空間套疊，可獲得每一個設施元件受到地震影響的PGA值。c. 易損性分析：針對個別的設施元件與對應的地震影響參數，進行易損性分析，可獲得每一個設施元件之輕微損壞(Minor)、中度損壞(Moderate)、嚴重損壞(Extensive)、完全損壞(Complete)之損壞機率。d. 損壞狀況分析：將設施元件不同程度的損壞機率值進行加值分析，以呈現整體設施系統的損壞情形。將每個設施元件的損壞情形分為Level 1、Level 2及Level 3三個等級來展示，如圖5所示。其中，供水管線的損壞分析，本研究參考供水管網修復機率之損壞分析公式，使用地震參數-最大地表速度(PGV)，將每個網格中的修復機率乘以管線

長度，即可推估網絡中供水管線可能面臨的修復狀態與需求。不同的PGV值對應的供水管網分布圖，如圖6所示。

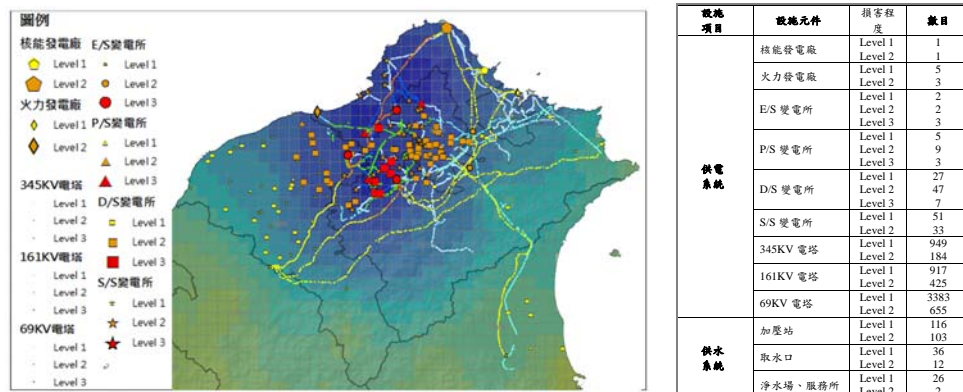


圖6 電力設施地震損害分析示範例

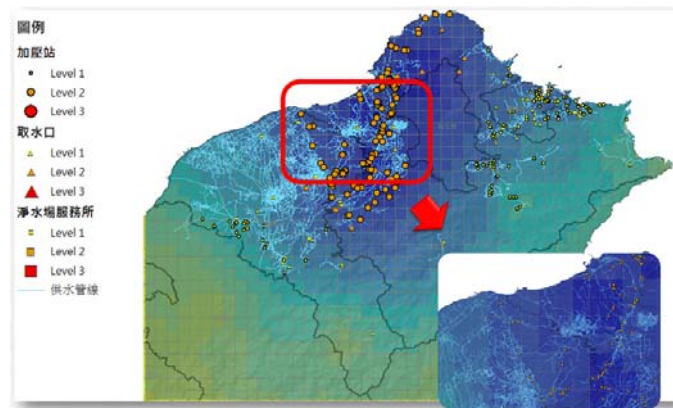


圖7 北台灣供水管網地震損害分析示範例

## 2 防救災設施失效評估

- a. 消防部門：在地震災害下，建物、道路交通以及供水等基礎設施的損壞狀況對於消防部門所能提供之救援能力，具有重要的影響性，其他營運因子如消防人力，與道路交通具有一定之關聯性，另外如通訊、電力以及設備則與建物狀況相關。圖7(左)表示為消防系統之運作條件分析。圖8(右)為消防單位之分布狀況，其分布與居住的人口密度有直接之關係。
- b. 醫療系統：保持醫院持續運作的必要條件包含結構性要素（建物）、非結構性要素（水、電、醫療設備等）以及功能性要素（人力、醫療資源等）。
- c. 警察部門：維持警察機關運作之條件，主要是建物與交通。警察機關建物存放電力、警用裝備、通訊設備等物品，因此地震後之建物狀況為影響運作之主要條件，而道路通阻狀況亦影響其運作能力。
- d. 重要行政部門：圖8展示行政部門的主要持續運作條件包含通訊、電力和建物，以及行政部門在台北市之分佈圖。
- e. 用易損性分析評估設施系統運作條件之受損程度，並以GIS圖層套疊方法評估其失效影響範圍，分析防救災系統之震後運作情況。如圖9示範結果。

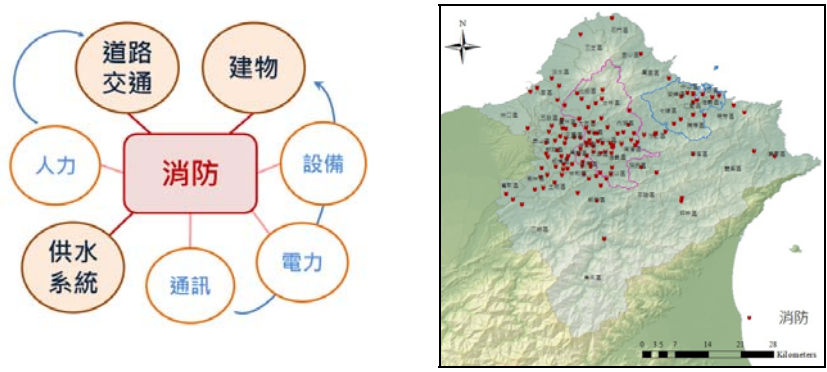


圖7 消防部門之運作條件分析圖(左)以及消防單位之分布圖(右)

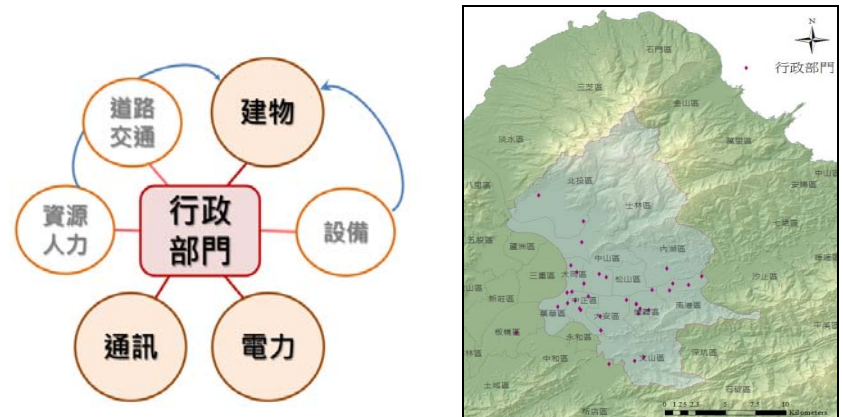


圖8 行政部門之運作條件分析(左)以及於台北市之分佈圖(右)

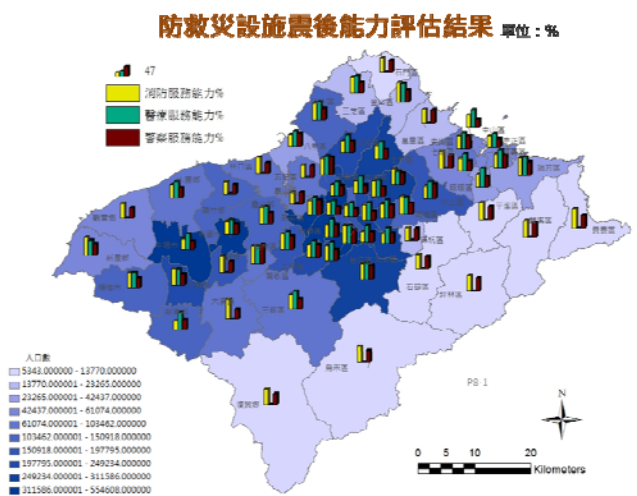


圖9 防救災設施失效評估示範結果

### 3.2 災害管理需求之 CI 衝擊評估 (P08-2)

透過災害管理需求之重要設施安全資訊盤點，可提供設施分年執行建置排序依據，並由專案內各子項設施脆弱因子與失效衝擊影響資料與基礎設施模組資料庫整合，配合分析模式建置基礎設施應變需求主題圖。結合災害情境為基礎之 CI 衝擊評估，並套疊既有之易致災調查成果與各類災害潛勢圖，除建立其個別災害應用衝擊評估圖外，更可提供災害管理需求使用，即進一步配合全國災害管理平台建置加值應用之主題圖。上半年工作重點為：建立災害管理需求之重要設施基本圖資與資料庫、淹水潛勢圖套疊設施圖資之加值應用、發展水庫受災失效之區域衝擊評估指標。



- 1.套疊災害潛勢圖：為了解各設施是否可能受到淹水影響，運用套疊淹水潛勢圖以篩選比對出高潛勢區內的設施，及其可能受到的威脅程度。進行大台北地區設施淹水潛勢圖層套疊分析，並完成台北市重要設施(醫院、水廠、捷運、火車站、高鐵車站、醫療照護、緊急救災)與淹水潛勢圖(h24 q600)套疊分析。詳如圖 10 與表 2 所示。
- 2.CEOC 應變處置報告設施災情統計加值：目前有關設施災情多為業務單位需求與點狀的文字資料，缺乏系統整體運作情況與 GIS 資訊呈現，故無法支援決策輔助及結合情資研判組分析功能，本年度提出災情加值應用示範例，除提供決策建議之參考資訊並可提升災情綜整分析產品，道路及鐵路災情加值應用示範例詳如圖 11 所示。

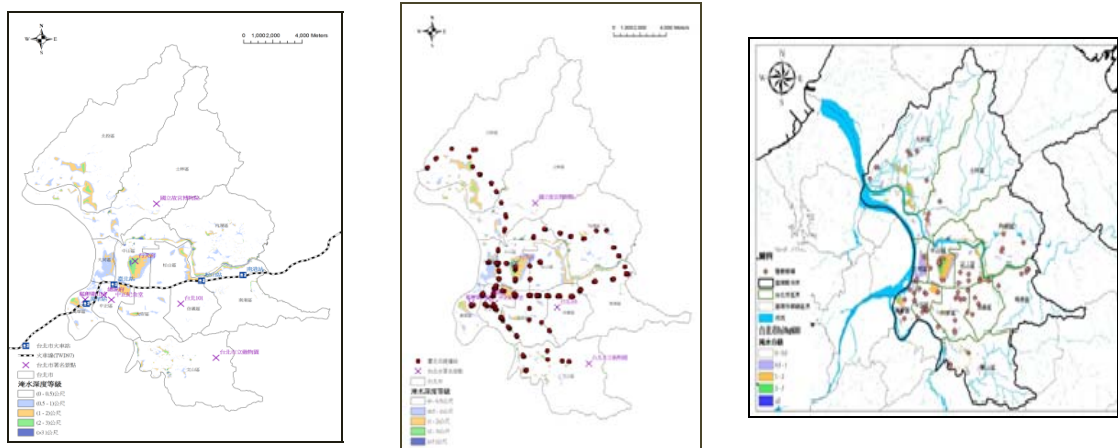


圖 10 台北市重要設施套疊淹水潛勢圖 (24hr q600)

表 2、台北市各捷運站座落於淹水潛勢之威脅排序

名稱	區別	淹水潛勢等級(m)
捷運行天宮站	中山區	2-3
捷運善導寺站	中正區	1-2
捷運松江南京站	中山區	1-2
捷運民權西路站	中山區	1-2
中山國中站出口	中山區	0.5-1
捷運西門站	萬華區	0.5-1
捷運大橋頭站	大同區	0.5-1
中山站出口 1	大同區	0.5-1

伍、災情統計

一、交通狀況-交通阻斷與搶修 (資料來源：交通部)

項目	災害總數 (處)	已搶通 (處)	未搶通 (處)	備註
國道	0	0	0	
省道	1	0	1	台4線全線(雙向) 036k+090-036k+110 阻斷長度 20 m
代(自)營縣道	0	0	0	

2 台4 停止運作水準%  
 $= (\text{停止運作量} / \text{正常運作量})$   
 $= \text{阻斷長度} / \text{總長度}$   
 $(20) / 39000 = 0.05\%$

3 運作水準% = 1 - 停止運作水準%  
 (關聯係數) =  $100\% - 0.05\%$   
 $= 99.95\%$

1 (一)鐵路停駛情形 (資料來源：交通部)

區段	日期時間	類別	理由	備註
1	08/23 15:51	北迴線(台北-花蓮間)、台東線(花蓮-台東間)	受災停駛	1-受災區段花蓮 282 次自強號(車止 17:00 間)停駛(北段、台東停駛)【台鐵 23 次(車止 17:00 間、花蓮 20:04 到)以行機車也停止、台東 停駛同時停駛】 2-花蓮間自強號 314 次自強號(花蓮 17:55 到)開行之後、中斷停駛。 3-臺東間自強號 315 次自強號(臺東 17:55 到)開行之後、中斷停駛。

2 台4 停止運作水準%  
 $= (\text{停止運作量} / \text{正常運作量})$   
 $= \text{停駛班次} / \text{總行數班次}$   
 $(8+4+1) / (28+18+11) = 22\%$

3 運作水準% = 1 - 停止運作水準%  
 (關聯係數) =  $100\% - 22\%$   
 $= 78\%$

4 總班次 (由口門站)  
 28 班次(台北至花蓮)  
 18 班次(花蓮至台東)  
 11 班次(台東至花蓮)

停駛班次 (由山行數)  
 8 個班次

停駛班次 (由山行數)  
 4 個班次

停駛班次 (由山行數)  
 1 個班次

總班次 (由口門站)  
 28 班次(台北至花蓮)  
 18 班次(花蓮至台東)  
 11 班次(台東至花蓮)

圖 11 道路及鐵路災情加值應用於災害應變示範例

3.3 系統相依性分析技術 (P08-3)

前(100)年度係開發系統相依性分析方法（質化與量化方法），其主要目的係找出該系統中的關鍵設施要素，亦即該設施單元失效會造成整體系統的重大衝擊後果。本(101)年度除持續完成重要工業專區為案例探討確認模式之可行性外，並進行大台北地區之供電系統評估、系統相依性分析技術－IIM (Inoperability I-O Model, 有關 IIM 請參閱 NCDR 100 年技術報告-T33)、與都市系統運作與基礎設施模型等工作，其重點產出分述如下：

### 3.3.1 北部地區之供電系統評估(地震災害)

本子項工作以北部地區供電系統為示範區，配合大台北地區大規模地震災害衝擊研究，進行單一部門之 CI 系統相依性分析（供電系統）。

#### 1. 系統範疇界定

供電系統係全台串連之網路，並非各區域自成一電力網路，無法以行政區界來界定系統範疇。因此，在電力系統網路分析之完整性及大台北地區空間地理性等雙重考量下，本研究界定北部地區供電系統範疇如圖 12 所示。

系統範疇界定之原則，以大台北地區為主要標的，擴及鄰近縣市行政區內之發電、輸電、配電等設施納入分析，但考量電力系統網路分析之完整性，選定鄰近大台北地區的重要設施為節點，如超高壓變電所(E/S)、發電廠，作為北部地區供電系統範疇的界線，圖 12 紫色虛線以北之區域即為本研究界定之系統範疇。



圖 12 大台北地區供電系統範疇界定

#### 1. 系統分析與建模

針對北部地區供電系統依據供電元件的上下游關係進行系統建模，確立跨部門各關鍵元素之因果關係，建立可操作之相依性分析模式離型系統。由於供電網路複雜，評估不易，因此進行 IIM 模式初步評估，僅探討屬於台電中央電力調度中心管轄且重要的供電元件，電力調度中心、發電廠及 E/S 超高壓變電所等，共 19 項設施元件進行作為 IIM 分析的研究系統，如表 3 所示。

#### 2. 系統衝擊分析

經由 P8-1 供電系統失效的衝擊評估，求得受損設施剩餘的運作量，透過相依性 IIM 分析與電力潮流分析，評估北部地區供電系統的停止運作水準及復原能力，以瞭解供電系統失效程度與可能後果。

表 3 大台北供電系統元件說明

系統	類別	數量	元件
調度中心	✓中央調度中心 CDCC	1	台北中央調度中心(TCDC)
	區域調度中心 ADCC	2	非中央層級，不納入分析

	配電調度中心 DDCC	5	非中央層級，不納入分析
發電系統	✓核電廠	2	核一廠、核二廠 **龍門(核四)尚未商轉不納入分析
	✓火力	7	協和、林口、國光、海湖(長生)、大潭、新桃、和平
	✓水力	1	翡翠水庫
	風力	1	發電量少，不納入分析
變電所	G/S 電廠變電所	4	提供回饋毗鄰發電廠區域居民，影響範圍小不納入分析
	✓E/S 超高壓變電所	8	汐止、仙渡、深美、板橋、頂湖、龍潭北、龍潭南、冬山
	P/S 一次變電所	10	屬於區域調度中心，不納入分析
	D/S 一次配電變電所	56	屬於區域調度中心，不納入分析
	S/S 二次變電所	58	用電戶端，不納入分析

✓ 為所選定的研究範疇

### 1. 情境設定與初步後果描述

由於供電系統網絡複雜，評估不易；因此，本專案從災害歷史、新聞蒐集等方式獲得的資訊，並以極端事件為情境假定之基礎，做為系統外力之想定，藉以了解情境假定下，大台北地區供電系統受到衝擊的可能災害後果(未進行調度與修復前的情況)。其基本假定災害情境分別為：地震災害、颱風災害、系統供電危機、與人為攻擊等四種極端情境作為災害外力想定，並進行系統衝擊評估之情境模擬與初步後果描述，整理如表 6，其四種情境設定的關聯圖層整理如圖 16a~圖 16d。

綜合上述四項情境模擬之初始設定，經與供電專家會議討論調整後，該情境設定已具備相當的合理性與代表性，且部分情境甚至是當前或未來供電系統是否穩定的變數並提出對大台北地區供電系統的可能影響。

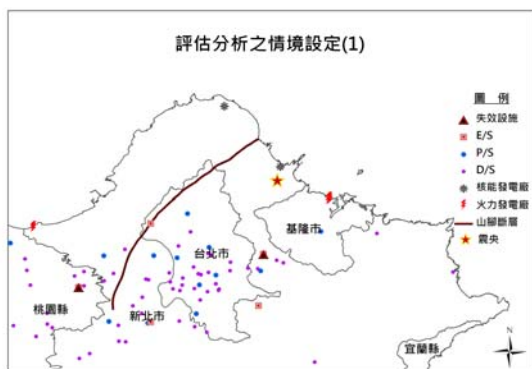


圖 13a 情境設定(1)

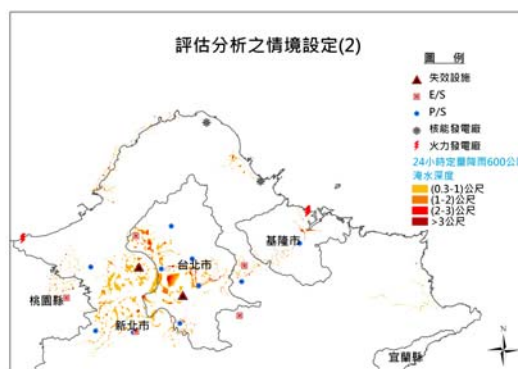


圖 13b 情境設定(2)



圖 13c 情境設定(3)



圖 13d 情境設定(4)

表 4 大台北地區供電系統衝擊評估之情境模擬與後果描述

情境設定	外力	受衝擊設施	可能的影響及後果
1 地震災害	<b>北部地區山腳斷層錯動，引發芮氏規模 7.1 地震</b> 〔參考「101 年國家防災日地震災害狀況推演」情境，震央位置為新北市萬里區，強震區位於台北市、新北市、基隆市、桃園縣市等地區，受影響人數約 860 萬〕	汐止 E/S 頂湖 E/S	汐止 E/S 失效，可能造成基隆市、新北市汐止區、台北市南港區用戶停電。 頂湖 E/S 失效，造成新北市部分地區用戶停電。 〔根據 TELES(台灣地震損失評估系統)評估後，受損的供電設施有 E/S(2 處，汐止、頂湖)、P/S(10 處)、D/S(33 處)。〕
2 颱風災害	<b>颱風侵襲大台北地區</b> 〔假定颱風在大台北地區造成強降雨，暴雨強度達 24 小時 600 毫米以上，部分供電設施可能位於淹水潛勢區。〕	蘆洲 P/S 大安 P/S	造成新北市蘆洲區約 10 萬多戶、台北市大安區用戶停電。 〔根據經濟部水利署淹水潛勢圖與供電設施區位套疊，發現蘆洲 P/S、大安 P/S 落於淹水潛勢地區。〕
3 供電危機	<b>核一、核二廠預備除役，協和火力廠關廠</b> 〔假設因核一、核二廠預備停役、協和火力廠關廠，以及核四、松湖 E/S 未如期運轉，造成北東電網電源不足，若發生偶發事故，台北市可能全面大停電。〕	核一、核二廠、協和火力發電廠	以民國 117 年為例，造成北西電網電源過剩 2,827MW、北東電網電源不足 1,461MW。 〔跟據報載(自由時報 2012.7.25)，核一、核二廠將於民國 112 年除役，且協和電廠因環保標準無法提升，將於 104 年關廠，核四是否如期運轉也仍是未知數。台電公司因應此供電變數，雙北須加速設立東西向輸電樞紐，即興設新北及松湖超高壓變電所，目前新北 E/S 已加速進行，但台北市的松湖 E/S 仍停留在徵詢民意階段，無法動工，由於台北市用電均由桃園、新北的電廠及超高壓變電所轉供，十年後台北市核心區將出現供電缺口。〕
4 人為攻擊	<b>遭受人為惡意攻擊(縱火)</b> 〔大台北地區與其他區域電網串連的重要節點，如龍潭北 E/S、龍潭南 E/S，若遭天然災害或人為惡意攻擊而失效，使南電無法北送，造成供電不穩定。〕	龍潭北 E/S 龍潭南 E/S	大台北地區與全台電網中斷串連，南電無法北送，造成大台北地區供電不足最高達 40%。最嚴重情形可能會使北部電網崩潰，造成停電骨牌效應。 〔大台北地區用電量大，約 40% 用電量須由其他區域供電以補足缺電量，故透過全台電網串連，將南部的電送往北部。〕

### 3.3.2 系統相依性分析技術－IIM 模型

本子項工作與中央大學周建成教授研究團隊合作，依照 IIM 法開發 EXCEL 版本的 IIM 分析程式，使得設施管理者可簡易輸入 IIM 法定義的設施相依矩陣，並填入外力攻擊時設施的初始狀況，程式便可計算出設施最終平衡時的狀態。因供電設施具有機敏性，故以其他系統作為範例進行 IIM 模型操作與說明，如圖 14 所示。

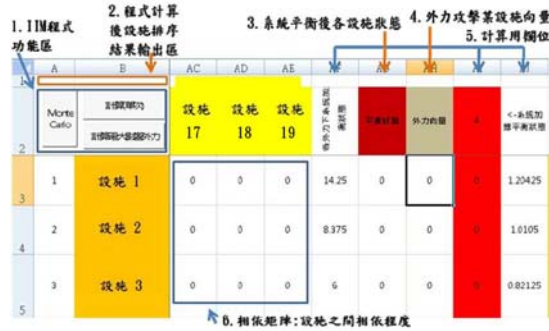


圖 14 IIM 法分析 excel 程式

### 3.3.3 都市系統運作與基礎設施模型

本子項工作是以系統分析與基礎設施系統相依性的概念，在災害衝擊思維下，探討都市系統中支持居民生活品質所需的基礎設施，一旦設施系統受到衝擊失效，所引起的都市基礎設施系統的混亂與相互影響性。

有關基礎設施的災損評估依照災害管理的需求，有不同程度的評估流程：損壞評估(個別元件與系統)、衝擊評估(系統相依性)、災害情境(秩序混亂的情形)、社經評估(綜合評估)等。本子項工作即在建立衝擊評估的系統相依性分析技術，而前項損壞評估即為 P8-1 的主要內容。本專案計畫主要就是在進行前兩項的工作，分別是單一系統系統損害評估，系統相依性評估。後兩項工作是包含二次衝擊的災損評估所需要。

以大型都會區(例如大台北地區)為例，根據區域內城鄉、政治、社會、經濟、民生等面向，並參考相關文獻的建議項目，依照地區特性分別依重要服務、運輸系統、維生設施等三大類，進行基礎設施系統模型的建置，初步選定供電、供水、資通訊、油、氣、公路、橋梁、捷運、鐵路、政府、醫院、警察、消防、金融/銀行、工業等 25 項設施與功能，作為都市系統運作之基礎設施系統模型的資系統項目，並依其系統關聯特性建置其相依性關聯矩陣，如圖 15，其所建置之都市系統運作與基礎設施模型，如圖 16 所示。

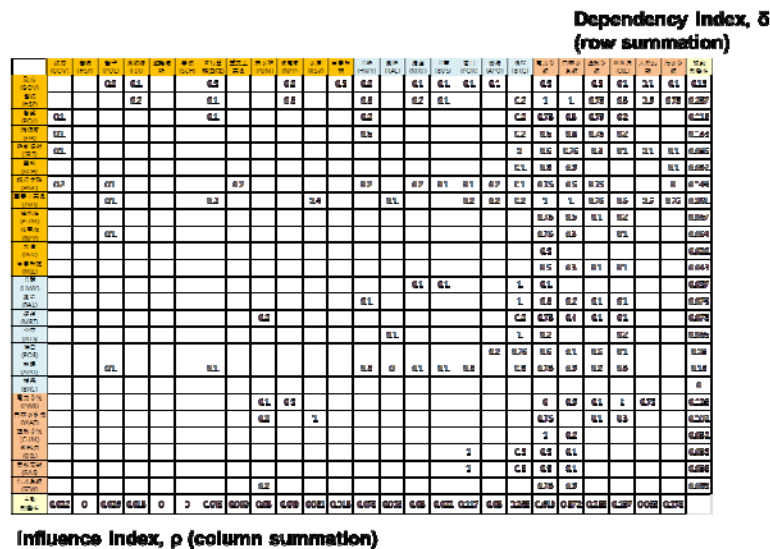


圖 15 都市系統運作之基礎設施系統模型的關聯矩陣

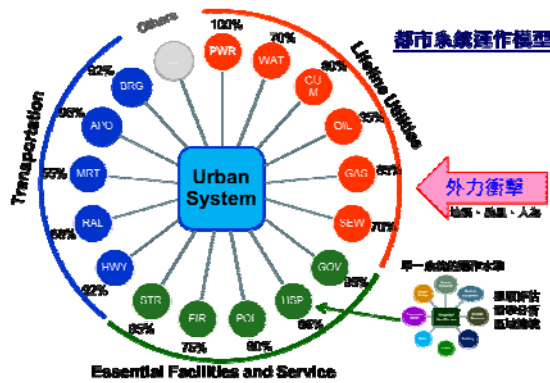


圖 16 都市系統運作與基礎設施模型

依據系統關聯矩陣，可定義兩項系統的綜合指數，第一個指數為被動影響性 (dependency index)  $\delta$ ，為系統關聯矩陣中各行(row)係數的總和，代表該子系統的被動影響性，以下式表示。被動影響性高代表該子系統容易受其他關聯子系統的影響，且受影響程度高與後果較嚴重。分述如下：

- **dependency index**,  $\delta_i$ , 依賴指數 (其他設施對單一設施)

$$\delta_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i}^n a_{ij} \quad (\text{row summation}).$$

$\delta_i$  代表用來傳遞自各設施對第  $i$  項設施的停止運作水準之權重，並以平均值 (mean value) 表示之。也就是表示第  $i$  項設施失效的暴露度 (Exposure)。可以用來綜合描述其他設施對單一設施的依賴程度，屬於被動影響關係。其中， $\delta_{max}$  為最依賴設施，是造成骨牌效應與後果嚴重程度的重要指標。

- **influence gain**,  $\rho_j$ , 影響程度

$$\rho_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i \neq j}^n a_{ij} \quad (\text{column summation}).$$

$\rho_j$  代表用來傳遞自第  $j$  項設施對各設施的停止運作水準之權重，並以平均值 (mean value) 表示之。也就是表示受第  $j$  項設施運作的整體影響程度 (Influence)。可以用來綜合描述單一設施對其他設施的影響程度，屬於主動影響關係。對系統而言， $\rho_{max}$  代表最有直接影響力的設施，該設施一旦失效，衝擊後果與影響程度最大。

#### 四、結論與建議

本研究 101 年度配合本中心中長期規劃，以大台北地區大規模地震災害對重要設施之災害衝擊評估為重點，完成維生設施(自來水、天然氣、瓦斯、石油管線)與防救災設施(醫院、消防隊、警察局、政府部門、知名設施)之設施運作架構、設施清單與圖資建立，並初步進行地震災害衝擊評估；北部地區供電系統分析之系統界定與四種災害極端情境的衝擊後果分析；建立都市系統運作與基礎設施模型理論分析，可提供跨設施系統相依性分析應用等技術研發。相關成果重點除提供本中心地震組進行大台北地區大規模地震研究及相關部會參考外，並提供災害管理應變需求使用。

## 參考文獻

1. FEMA, 2010. *Earthquake Model: HAZUS®-MH MR5: Technical Manual*, Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency, Wasington, D.C., [www.fwma.gov/plan/prevent/hazard](http://www.fwma.gov/plan/prevent/hazard).
2. ISDR/WHO, 2008. 2008-2009 World Disaster Reduction Campaign: Hospitals Safe from Disasters. ISDR/WHO.
3. Haimes, Y. (2005). "Infrastructure Interdependencies and Homeland Security," *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, 11(2), 65-66.
4. SYNER-G, 2009. Deliverable 2.12-Efficient Intensity Measures for Components Within a Number of Infrastructures: WP2-Development of a Methodology to Evaluate Systemic Vulnerability, Delivery Report, Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructures Safety Gain, SYNER-G, November 2009.
5. 蘇昭郎、周建成、李洋寧、鄧敏政，2011。基礎設施系統相依性方法之應用，*2011 危機管理研討會*，197-206，桃園。
6. 蘇昭郎、李洋寧、周建成 (2012)。災害思維下支持都市系統運作的基礎設施模型，2012 台灣災害管理學會研討會，台北
7. 蘇昭郎、鄧敏政、李中生、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，國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 101-T14。
8. 蘇昭郎、鄧敏政、謝承憲、黃詩倩、吳啟瑞、吳佳容、李洋寧、周建成、李中生、簡賢文，2012，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 I，國家災害防救科技中心技術報告，NCDR 100-T33。
9. 國家災害防救科技中心(NCDR)，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*，國家災害防救科技中心 99 年技術報告，NCDR 99-T12，新北市。
10. 國家地震工程研究中心，2008，*台灣地震損失評估系統使用手冊*，國家地震工程研究中心(NCREE)，<http://www.ncree.org>.

## 精簡報告格式

- 1.檔案格式 word 和 pdf 檔
- 2.單欄，最少 8 頁最多 15 頁(含圖表、參考文獻)。
- 3.內容需有中英文摘要。
- 4.檔名：精簡報告-計畫名稱.doc, 精簡報告-計畫名稱.pdf