

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

Development of Disaster Risk Management on Critical Infrastructure
Protection: Methods of Disaster Impact Assessment, part II



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

Development of Disaster Risk Management on Critical Infrastructure
Protection: Methods of Disaster Impact Assessment, part II

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



摘要

關鍵基礎設施 (Critical Infrastructure, CI) 是人民生活、經濟發展、政府運作、國家安全與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」(Critical Infrastructure, CI Protection, 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)。

配合本中心近中程目標，本計畫分年開發基礎設施在災害威脅下的衝擊評估技術，以大台北地區大規模地震為外力想定下進行方法開發與衝擊評估，作為研擬減災策略參考。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。本 101 年度工作重點為：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、開發 CI 系統相依性分析技術等。

基礎設施均具有相互關聯性，本計畫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。

本計畫採用量化風險評估技術，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。系統相依性-量化分析方法，運用經濟學投入產出模型理論，定義設施受災後的停止運作水準（Inoperability）來作為系統平衡後各子系統的服務水準，藉由數值方法找出那一個設施單元為系統中的關鍵設施，可以有效解釋關鍵基礎設施的系統相依性。

101 年度主要技術面向的研究重點包括：都會區 CI 脆弱性與關聯性資料彙整與評估分析、CI 失效之災害衝擊評估方法-包括供水、供電等基礎維生設施、防救災重要設施等、地震情境下各設施系統脆弱性分析方法、災害管理需求之 CI 衝擊評估、大台北地區之供電系統衝擊評估分析、發展系統相依性分析技術—IIM 模型、都市系統運作與基礎設施模型等。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。

目錄

摘要.....	I
目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	v
第一章 前言	1
1.1 緣起	1
1.2 研究目的與推動方式	2
第二章 基礎設施失效之災害衝擊評估	5
2.1 CI 失效之災害衝擊評估架構	5
2.2 CI 失效之災害衝擊評估方法	10
2.2.1 維生設施之衝擊評估方法	10
2.2.2 防救災設施之衝擊評估方法	18
2.3 小結	31
第三章 災害管理需求之 CI 衝擊效應	33
3.1 建立災害管理需求之重要設施基本圖資與資料庫	33
3.1.1 重要設施基礎資料庫加值	35
3.1.2 淹水潛勢圖應用於設施防災管理	36
3.1.3 基礎設施之淹水潛勢圖套疊分析與風險分級	38
3.1.4 發展水庫受災失效之區域衝擊評估指標	40
3.2 都會區地震災害之交通設施衝擊評估	44
3.2.1 建立都會區交通設施基礎圖資	44

3.2.2 建立交通設施衝擊評估技術.....	46
3.3 小結	50
第四章 系統相依性分析技術	51
4.1 大台北地區之供電系統評估	51
4.1.1 系統範疇確定.....	52
4.1.2 系統分析與建模.....	53
4.1.3 情境設定與初步後果描述.....	54
4.1.4 供電系統之衝擊分析.....	58
4.2 系統相依性分析技術－停止運作水準模型之應用程式.....	66
4.3 都市系統運作與基礎設施模型	68
4.4.1 支持都市系統運作的指標.....	69
4.4.2 設施系統的相依性.....	73
4.4.3 都市的設施系統模型.....	76
4.5 小結	82
第五章 成果與績效	85
5.1 年度成果	85
5.2 年度效益	86
參考文獻.....	89

圖目錄

圖 1	P8 專案工作里程與各年度重要產出圖	2
圖 2	P08 專案整體工作架構 (101-102 年)	3
圖 3	地震損害分析與減災之關係架構	8
圖 4	維生設施震後損壞衝擊評估發展架構	9
圖 5	北台灣供水系統示意圖	13
圖 6	北台灣供電系統示意圖	13
圖 7	典型之易損性曲線	14
圖 8	北台灣地震情境與供電設施分布	16
圖 9	北台灣地震情境與供水設施分布	17
圖 10	執行步驟流程	19
圖 11	緊急醫療應變流程圖	20
圖 12	防救災重要設施-醫療系統	21
圖 13	大台北地區消防部門組織架構簡圖	22
圖 14	大台北地區警察部門組織架構簡圖	23
圖 15	醫療院所之營運條件分析 (左) 以及位置分布圖 (右)	25
圖 16	消防部門之營運條件分析圖 (左) 以及消防單位之分布圖 (右)	26
圖 17	警察機關之營運條件分析 (左) 以及實際分布圖 (右)	27
圖 18	行政部門之營運條件分析 (左) 以及台北市之分布圖 (右)	28
圖 19	防救災系統震後能力評估流程	28
圖 20	震後能力估算方法範例	29
圖 21	設施剩餘服務能力 (%) 說明	30
圖 22	醫療設施震後能力評估結果及台北市放大展示	30
圖 23	消防設施震後能力評估結果及台北市放大展示	31
圖 24	警察設施震後能力評估結果及台北市放大展示	31
圖 25	後續執行方向	32
圖 26	全台重要設施圖	34
圖 27	0610 水災北部工業區災點套疊淹水潛勢圖 (24HR Q600)	37
圖 28	台北市重要設施套疊淹水潛勢圖 (24HR Q600)	38
圖 29	大台北地區醫療機構與淹水潛勢圖套疊結果	39
圖 30	大台北地區抽水站與淹水潛勢圖套疊結果	39
圖 31	石門水庫潰壩下游不同淹水深範圍圖層	42
圖 32	主題圖:跨河橋梁	43
圖 33	主題圖:居住人口	43

圖 34	主題圖:家戶可支配所得	43
圖 35	主題圖:二級產業家數	43
圖 36	鐵路設施圖資	45
圖 37	全台道路設施圖資	46
圖 38	交通設施應變初期衝擊評估示範例	47
圖 39	交通設施減災評估示範例	47
圖 40	道路系統衝擊評估流程架構	48
圖 41	交通設施失效衝擊評估結果示範例	49
圖 42	道路及鐵路災情加值應用示範例	50
圖 43	供電系統災害衝擊評估之研究流程	52
圖 44	大台北地區供電系統範疇界定	53
圖 45	情境設定 (1) _地震災害	55
圖 46	情境設定 (2) _颱風災害	55
圖 47	情境設定 (3) _供電危機	56
圖 48	情境設定 (4) _人為攻擊	57
圖 49	大台北地區供電系統簡化圖	58
圖 50	汐止轄區系統正常時潮流圖	59
圖 51	汐止轄區系統事故後潮流圖	59
圖 52	頂湖轄區系統正常時潮流圖	59
圖 53	頂湖轄區系統事故後潮流圖	60
圖 54	併用中壢~南崁及中壢~林口線後頂湖轄區潮流圖	60
圖 55	蘆洲轄區系統圖	61
圖 56	大安轄區系統圖	62
圖 57	以 101 年北部供電系統最高負載日為系統潮流狀況的背景基準	62
圖 58	核一、核二廠除役及協和火力電廠關廠後之潮流圖	63
圖 59	龍潭北 E/S 及龍潭南 E/S 事故後北部系統潮流圖	64
圖 60	IIM 法分析程式	66
圖 61	災害損失評估之程序	68
圖 62	都市的運作系統模型範例	80
圖 63	珊迪颶風造成紐約地區嚴重災害衝擊之系統模型	82

表目錄

表 1	都會區震後損壞衝擊評估分析項目	9
表 2	圖資資料列表.....	13
表 3	維生設施系統地震易損性曲線之 IM 一覽表 (摘自 SYNER-G [21])	17
表 4	防救災重要設施現階段資料彙整情形	24
表 5	重要設施資料庫清單	34
表 6	全台工業區基本資料分析表	35
表 7	個別工業區_資本額分析表 (大里工業區)	35
表 8	個別工業區_設廠總數與設廠面積分析表(大里工業區).....	36
表 9	台北市捷運站座落於淹水潛勢之威脅排序.....	38
表 10	石門水庫潰壩下游受災衝擊區域社經指標.....	41
表 11	交通設施_軌道系統資產清單.....	44
表 12	交通設施_道路系統資產清單.....	45
表 13	大台北供電系統元件說明.....	54
表 14	大台北地區供電系統衝擊評估之情境模擬與後果描述	57
表 15	101 年中送北及南送中潮流限制表.....	63
表 16	大台北地區供電系統衝擊分析.....	65
表 17	HAZUS - MH MR5 直接實體損壞的評估項目	73
表 18	都市系統運作之基礎設施系統模型的建議選用項目	76
表 19	都市系統運作之基礎設施系統模型的關聯矩陣.....	78
表 20	個別子系統的運作水準以醫院系統持續營運為例	79

第一章 前言

1.1 緣起

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)。

本計畫案經行政院政務委員建議應與行政院國土安全辦公室 (Office of Homeland Security, OHS) 「國家關鍵基礎設施安全防護風險管理、安全防護計畫、資訊共享及分析平台」(98-101 年，共四階段) 計畫合作。基此，在科研技術方面，本計畫主要著重於 CI 失效與災害衝擊評估、災害管理需求之 CI 衝擊評估、系統相依性分析技術的開發。而 OHS 與外部團隊的研究重點在於 CI 的定義分類與篩選、設施本身的風險評估技術、資訊應用平台的開發與建置，以及協調部會參與並提供相關資訊，並在資訊平台上採用共通的標準，以利相關資訊的介接與加值應用，各年度重要產出如圖 1 所示。



圖1 P8 專案工作里程碑與各年度重要產出圖

1.2 研究目的與推動方式

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。101-102 年度 P08 專案整體工作架構示如圖 2。

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、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與系統整體受衝擊情形。

第二章 基礎設施失效之災害衝擊評估

台灣地區天然災害發生頻繁，統計資料顯示台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台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、橋樑、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，如何維護維生設施和重要防救災設施之持續營運，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，本研究團隊擬就北台灣維生系統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。本文扼要介紹如何利用 ArcGIS 於都會維生設施震後情境分析之基本流程與架構，並針對各防救災部門的營運條件與特性，初步探討以持續營運條件之地震脆弱性，利用地理資訊系統的圖層套疊等方式，評估維生設施以及重要防救災設施系統，受到地震災害衝擊後之服務能力的可行性。

2.1 CI 失效之災害衝擊評估架構

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。在過去二、三十年裡，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、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。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。

最早的地震災損評估研究源於 1970 年代早期，在 1971 年發生 San Fernando 地震之後，美國政府需要了解人員傷亡情形，作為有效分配醫療資源的依據。爾後將道路、維生設施、通訊等設施系統納入災損評估，用以規劃地震後之緊急應變計畫。在 1997 年，美國緊急應變管理局 (FEMA) 首先提出地震災損評估系統 HAZUS (Schneider P. J. 等, 2006 ; HAZUS-MH MR5, 2010)。近年來，對於防救災的重視以及地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 技術的發展，針對不同區域以及地區設施系統的特徵，一些結合 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 和 2010) 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 年開發台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 3 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、速度、加速度) 分佈，以及地質情形與土壤分佈狀況...等。建立分析資料庫則對社經資產 (如:金融、工商企業、人口分布...等)，以及對於重要設施 (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。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 (Indirect Impact)，則必須藉由系統關聯性 (System Interdependency) 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、災後復原計畫以及減災策略，達到提升都會區抗災能力之目的。

台灣地區天然災害發生頻繁，統計資料顯示台灣國內總生產毛額 (Gross Domestic Product, GDP) 暴露於颱風、坡地、地震、海嘯等災害之比例均為世界前五名。在近 20 年 (1980-2010) 台灣災損統計之中，地震災損約 140 億美金，颱風災損約 50 億美金，平均每年災損約六億二千萬美金 (國家地震工程研究中心，2012)。其中，1999 年 9 月 21 日發生的集集大地震則為台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、橋樑、交通等維生設施中斷等嚴重災情。台灣地區人口約二千三百萬人，其中接近 40% 的人口集中居住於台北市、新北市、基隆市、桃園縣等面積總和僅佔全台灣 10% 的北部縣市，而這些縣市之 GDP 亦佔全國 GDP 的 45%。此外，台灣的政經指揮樞紐集中於這些北部縣市，因此有其必要對這些地區進行地震災害情境分析，並據以進行相關地震災害防治、減災與救災計畫策略制定與實施。

參考日本首都直下型地震計畫之擬定精神與目的，本研究團隊擬以大台北直下型地震對策計畫之開發與訂定，負責發展包括基隆市、新北市、台北市、桃園縣等地區維生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，模擬大台北地區維生設施於地震後之失效情境，據以作為擬定緊急應變

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。

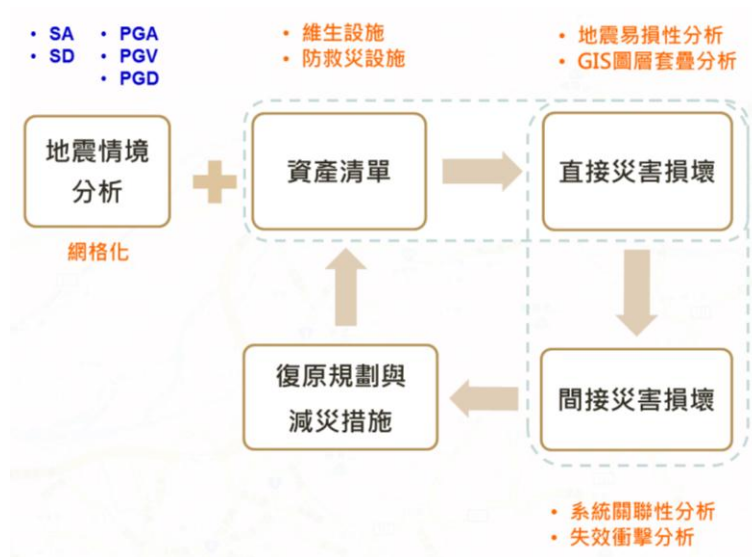


圖3 地震損害分析與減災之關係架構

參考 HAZUS (Schneider P. J. 等, 2006 ; HAZUS-MH MR5, 2010)、Syner-G (SYNER-G, 2009)、日本內閣府地震對策計畫 (日本內閣府, 2012) 以及我國關鍵基礎設施安全防護計畫(行政院國家關鍵基礎設施安全防護專業服務委外研究案第三階段), 本研究歸納都會區震後損壞衝擊評估所需分析之類別以及項目, 如表 1 所示。本研究第一階段為發展自來水、石油、天然瓦斯、電力四項維生系統之震後損壞評估方法架構, 另一項研究課題為針對政府、醫療、消防、警察等防救災系統進行震後之能力評估。

參考國內外發展之災損評估系統, 維生設施震後損壞評估之分析架構如圖 4 所表示, 包括地震情境模擬、設施資料調查、易損性模組開發、設施直接損壞評估以及設施失效後之衝擊分析。其中地震情境模擬將以最嚴重和最易發生之兩種地震情境作為分析對象; 設施資料調查將就所選定之設施系統項目作清單調查, 建立設施資料庫包括設施點位、材料型式、設備容量等; 易損性模組開發將蒐整國內外之易損性曲線, 篩選適合該區域設施特徵之曲線函數; 設施直接損壞評估模組則利用所建立之易損性模組進行分析; 設施失效後之衝擊評估則利用設施損

壞分析之結果，套疊區域人口、社經資料以及其他重要設施等圖層，建立其影響關係矩陣並作進一步之衝擊分析。本研究所開發之維生設施分析流程將可作為後續其他維生設施分析之用，亦將作為重要防救災設施如醫療、消防、警察等系統之震後能力評估之使用。

表1 都會區震後損壞衝擊評估分析項目

評估類別	評估項目	評估內容	
地震災害情境	地表運動模擬	PGA, PGV, PGD, Sa, Sd...	
	地表破壞分析	斷層錯動、土壤液化、地層滑動	
直接實體損壞	建物設施	一般建物類	住家、商業、工業、農業
		重要設施	政府、醫院、警察、消防隊、避難場所、學校、知名設施
		高損(HPL)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、船運、機場、橋梁、緊急救援道路	
	維生設施	自來水系統、燃料油、天然瓦斯、電力系統、污水系統、通訊系統	
引發性災害	水壩損壞、堤防損壞、海嘯、震後火災、油槽爆炸、有毒物質擴散...		
直接損失	人員傷亡、建築物殘骸量評估		
	遷移和避難需求		
	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 產業持續營運衝擊	系統關聯性分析、產業供需鏈分析、Input-Output Model、產業相互關連性、供應短缺及需求降低影響分析、恢復力	

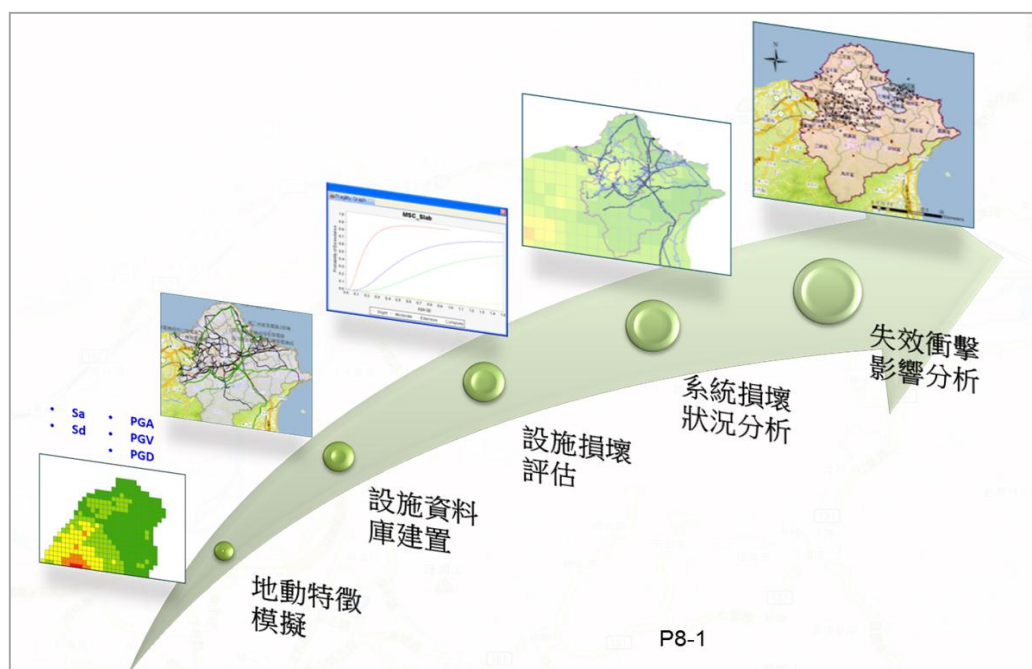


圖4 維生設施震後損壞衝擊評估發展架構

2.2 CI 失效之災害衝擊評估方法

2.2.1 維生設施之衝擊評估方法

與我們日常生活息息相關的維生系統包含各項重要的基礎設施：供電、供水、石油、天然氣、污水系統、資通訊及公路運輸等。面對每年日益增加的各種災害，如何能於災害後妥善保持維生系統運作，降低因為災害導致的損失及生活機能的恢復，則是政府單位與維生設施營運企業更加重視的。本研究以大台北地區為範例都會區域，進行地震災害維生設施之損壞評估。第一階段之維生系統首先針對供電、供水、石油、天然氣等設施系統進行震後脆弱度分析相關研究。

維生系統一般以網狀形式，遍佈需要供應服務的區域，其中又分為架空、負掛或地下的方式鋪設，早期設置系統元件時，以營運成本為優先較缺乏災害考量，因此，相對於其他重要元件（如發電廠、水壩等），維生系統較下游的設施元件（如輸電線路、加壓站等）地震脆弱度則較為脆弱。維生系統於都會區內的佈設複雜且密集，遭遇破壞性的地震後，難以在短暫的時間內完成修復而恢復服務功能，然而，不同的維生設施系統具備不同的特性，以下分別敘述之。

供電設施系統，存在許多電器設備與儀器，平時正常運作時，供電系統的發電量及用電量間必須保持一定的平衡，且供電系統受到任何擾動對於系統的影響是即時的，因此，供電系統即時的穩定度是非常重要的。而供電設施元件及設備，如：變電所或電塔等，有部分設備位於戶外或架空，於緊急搶修作業中，與供水設施相比，較無障礙，較能迅速恢復（洪祥瑗等, 2007）。

供水設施系統，密集的分佈於用戶稠密的都會區域，以管網中的節點及連接管線來控制水壓和水流，供水管線不論是埋置於地下或是附掛於建物或橋梁，遭受到破壞性地震後，往往需要一段緊急修復的時間，無法立即恢復服務效能，將導致緊急救援和醫療用水的短缺，或造成供水設施元件的處理效能喪失等影響（台灣自來水公司第一區管理處, 2011）。

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（洪祥瑗等, 2007）。

本研究參考日本首都直下型地震計畫之擬定精神與目的，針對北台灣維生系統進行地震後之情境分析，示範區域涵蓋台北市、新北市、桃園縣等，除了考量首都區域之重要性，亦考量設施系統的高複雜度，供水、供電、石油、天然氣系統眾多重要設施元件所在位置，皆座落於示範區域內。以下將介紹各維生設施系統之概況，以及如何利用 ArcGIS 於都會維生設施震後情境分析之基本流程與架構，包括目前執行狀況以及後續的發展方向。

一、大台北地區維生設施概述

1. 供電設施

電力系統是一個網絡架構，為了降低遠距傳輸所產生的耗損，一般以提高電壓的方式輸電，輸送電力的過程中通過各級變電所分階段逐步降壓，輸送至眾多的大型或是一般用戶端。此外，就大型設施的系統調度管理而言，若考量到系統內所有的用戶端，將是沒有效率的，反之，應掌握電力系統中上游核心部分-超高壓、高壓、中壓和低壓的電力輸配能力，除了降低電力系統的複雜程度，亦可更清晰的呈現電力系統較為重要的設施元件之損壞狀況。據此，本研究著重在電力系統主要的電壓層級進行後續分析與討論。

電力系統主要的電壓層級分為：345kV、161kV、69kV。主要以交流 345kV 超高壓輸電線路為骨幹，必須通過超高壓變電所（Extra-High Voltage Substation 簡稱 E/S，電壓 345/161kV），將 345kV 降壓至 161kV，其後通過 161kV 輸電線路輸送至一次變電所（Primary Substation 簡稱 P/S，電壓 161/69kV），將 161kV 降壓至 69kV，再通過 69kV 線路輸送至二次變電所（Secondary Substation 簡稱 S/S，電壓 69/23kV 或 69/11kV），將 69kV 降壓至 23 或 11kV，電力繼續輸送和降壓至各級用戶端或是小型變電所（台灣電力公司, 2012）。本研究運用地理資訊系統技術，分別建立北台灣發電、輸電及配電相關重要元件之圖層，其中，示範區域內核能發電廠 2 處、火力發電廠 2 處、台北及桃園龍潭以北地區之 345kV 電塔共計 1,133 處、161kV 電塔 1,342 處、69kV 電塔 4,038

處(參閱圖 5)，相關資料用以進行地理資訊之空間分析，作為地震災害損失評估之基礎。供水及供電系統以及相關 GIS 圖資資料列表，請參閱表 2。

2. 供水設施

供水系統是由河川取水後，由淨水廠將淡水經過「混凝、沉澱、過濾、消毒」等淨水程序，以加壓站通過輸配水管道供給至用戶端。本研究以西勢水庫、新山水庫、石門水庫供水區，包括台灣自來水公司第 1 區處、第 2 區處及第 12 區處，作為供水系統示範區域。台水第 1 區處之供水範圍包括基隆市、新北市汐止區、淡水區、深坑區、坪林區、平溪區、石碇區、三芝區、石門區、烏來區、瑞芳區、金山區、萬里區、雙溪區、貢寮區等 14 區，供水人口約 85 萬人，主要水源為西勢水庫、新山水庫、雙溪、基隆河等，供水量約每日 41 萬噸(台灣自來水公司第一區管理處, 2011)。台水第 2 區處則供應包含桃園縣 13 個鄉鎮市、新北市林口區等共 14 個鄉鎮市區，供水人口約 200 萬餘人，供水量約每日 117 萬噸，其中 99.8% 主要水源來自石門水庫，其餘 0.2% 則由山澗水補充(台灣自來水公司第二區管理處, 2012)。第 12 區處供水區域涵蓋新北市板橋區、新莊區、樹林區、土城區、三峽區、鶯歌區、泰山區、五股區、蘆洲區、八里區等 10 個行政區以及三重、中和部分區域，雖然供水區域是台水各管理區處中面積較小的，但供水人口高達 200 萬餘人，主要水源為鳶山堰攔蓄石門水庫之水量、三峽河、大漢溪以及台北自來水事業處支援水量，供水量約每日 110 萬噸(台灣自來水公司第十二區管理處, 2011)。本研究運用地理資訊系統技術，分別建立上述三個供水管理區處之取水、導水、淨水、及配水相關重要元件之圖層，其中，示範區域內加壓站共 215 處、取水口 48 處、服務處(包含給水廠)28 處、供水管線總長度大於 7,580 公里，供水面積約有 3,678 平方公里，請參閱圖 6，相關資料用以進行地理資訊之空間分析，作為地震災害損失評估之基礎(黃詩倩等, 2011; 台灣自來水公司, 2012)。

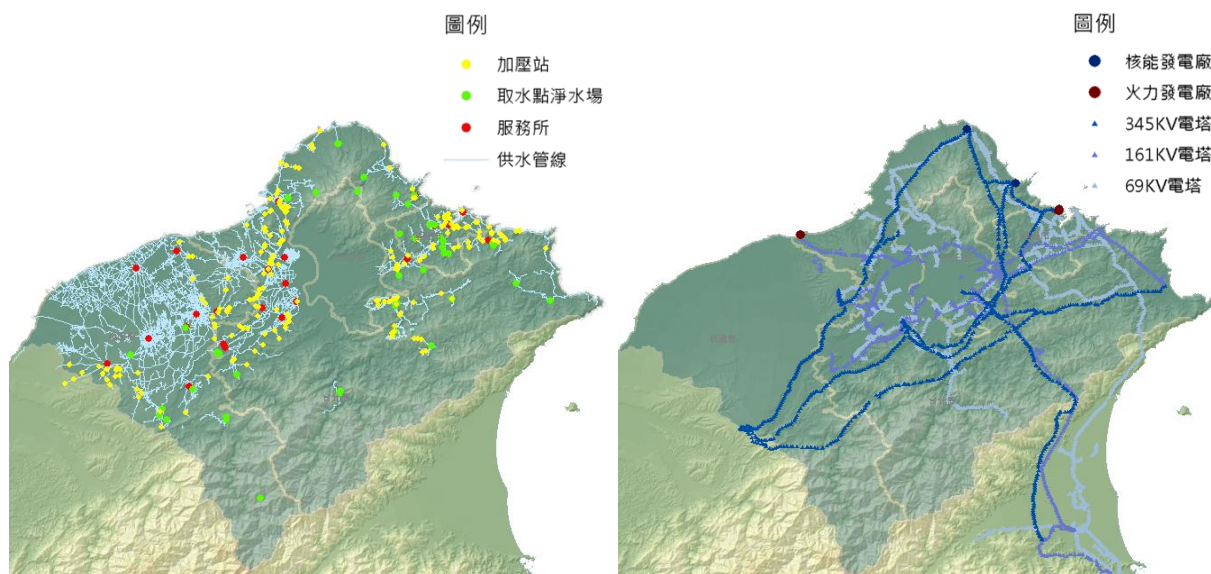


圖5 北台灣供水系統示意圖

圖6 北台灣供電系統示意圖

表2 圖資資料列表

設施項目	設施元件	資料型態
供水系統 (2010)	給水場、服務所	點圖資
	取水口	點圖資
	加壓站	點圖資
	自來水管線	點圖資
供電系統 (2012)	發電廠	點圖資
	變電所	點圖資
	電塔	點圖資
PGA (2012)	全台 5Km*5Km 網格	面資料

二、維生設施之地震易損性分析

易損性曲線 (Fragility Curves) 廣泛使用於風險分析當中，已成為評估風險發生機率 (Probabilistic Risk Assessment) 之重要工具。使用於地震風險分析，易損性曲線可呈現在特定的外力作用下，結構物或設施到達或是超越所設定的反應程度的發生機率。而整條易損性曲線所要表達的是，當結構物或設施暴露在可能遭受的外力作用程度改變下，該結構物或設施之可靠度 (Reliability) 亦或是損壞發生機率 (Probability of Failure) 的變化情形 (Schultz, M., T.等, 2010)。

損壞發生機率一般以常態分佈 (Nominal Distribution) 函數表示，為計算目的亦可用對數常態分佈 (Lognormal Distribution) 函數表示。以對數常態分佈函數為例，其自變數值恆為正，在某自變數下之發生機率則為對應之對數常態分佈函數的累積值 (Cumulative Lognormal Distribution)，而易損性曲線即為對應於自變數變化之機率累積分佈函數。圖 7 為典型之易損性曲線。其中 IM (Intensive Measure) 為危害源之強度值，如風速、淹水高度、地表最大加速度、地表永久位移...等，而不同的易損性曲線對應結構物與設施在不同損壞程度之損壞機率分佈 (Schultz, M., T.等, 2010)。式 1 為易損性曲線函數。

$$P[DS \geq ds_i | IM] = \Phi \left(\frac{\log(IM/\overline{IM})}{\beta} \right) \quad (1)$$

其中 DS 為推估損害程度 (damage state)， ds_i 為設定損害程度， \overline{IM} 為 ds_i 損害程度下 IM 之平均值， β 為對數標準偏差， Φ 則為機率累積分佈函數。

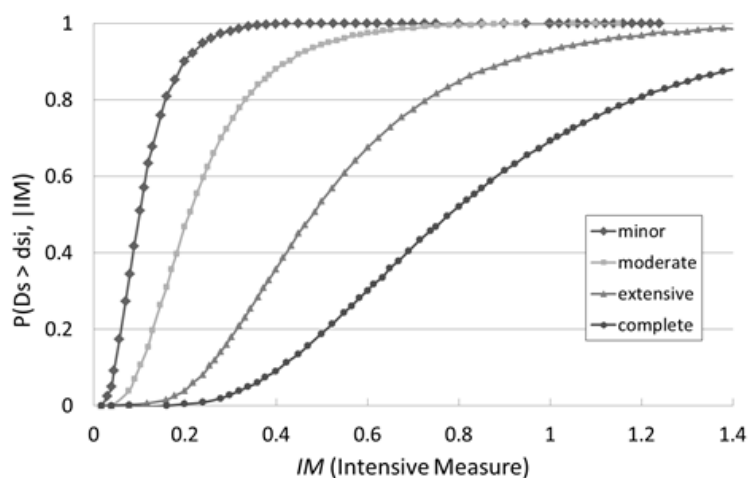


圖7 典型之易損性曲線

易損性曲線可依其損壞機率函數之建立方式分為四類：判斷型 (judgmental)、經驗型 (experimental)、學理型 (analytical)，以及混合型 (hybrid)。判斷型易損性曲線建立於專家或工程師之專業意見與工程判斷結果。經驗型易損性曲線則藉由自然觀察或科學試驗之資料而得。學理型易損性曲線則建立於學理模型之分析結果。混合型易損性曲線則發展於以上兩至

三種資料建立方法。這四類型易損性曲線各有其優缺點，其應用範圍與目的亦不相同。對於易損性曲線之發展與應用可參考文獻[21]。目前對於電力、自來水、天然氣、石油等維生設施系統所發展的地震易損性曲線，依其設施特性可分為設施單元與區域管網兩大類別。歐盟整合型研究計畫 SYNER-G 已彙整地震危害相關之易損性曲線，並就不同設施系統所使用之 IM 類別提出建議，如表 3 所示 (SYNER-G, 2009)。其中，對於設施單元包括建築、設備等多以最大地表加速度 (PGA) 作為易損性曲線之 IM，而對於區域管網則多以 PGV 以及 PGD 為主。本研究參考 HAZUS-MH, SYNER-G 以及國內研究報告結果，彙整電力、自來水、天然氣、石油等維生設施系統之易損性曲線資料庫，作為本研究評估分析之用。由於篇幅之關係，在此省略對各項設施易損性曲線之細節說明。

三、利用 ArcGIS 分析維生設施之震後衝擊評估

維生系統失效影響分析流程歸納如下：

1. 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空間座標。

2. 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(如圖 8 和圖 9 所示)。不同的設施元件以不同的圖形表示。

3. 易損性曲線的建立與分析：

蒐集適用於不同維生設施的易損性曲線，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。

維生設施系統地震易損性曲線之 IM 一覽表，請參閱表。本研究之地震影響參數以 PGA 做為參考，使用每個設施元件之 PGA 值，參考易損性曲線，可得到每個設施元件四個不同程度的損壞機率值，不同的損壞程度由嚴重到輕微分為三種等級，分別以紅色、橘色、黃色表示。

供水設施之設施元件分為：淨水場（取水點）、加壓站、服務所、供水管線；供電設施之設施元件分為：發電廠、變電所、345KV 電塔、161KV 電塔、69KV 電塔。本研究參考表 3 易損性曲線作為設施元件損壞分析之基礎。

其中，供水管線依照管線材料，分為脆性管材以及延性管材，使用不同管材的易損性曲線，推估每單位面積供水管線之損壞機率，進一步加入區域人口資料，未來將可推估供水管線損壞可能影響的人口數，以作為首都直下型地震計畫之參考。

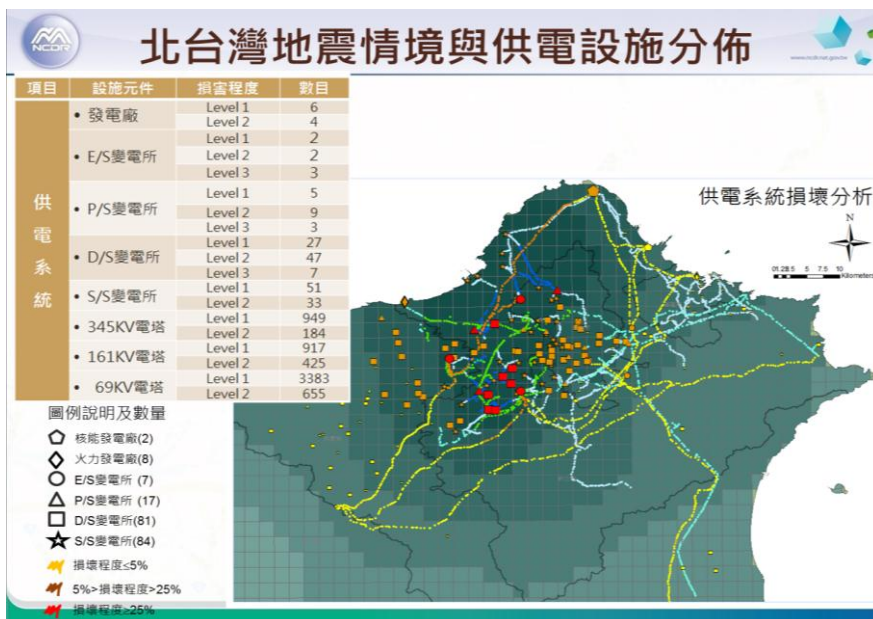


圖8 北台灣地震情境與供電設施分布

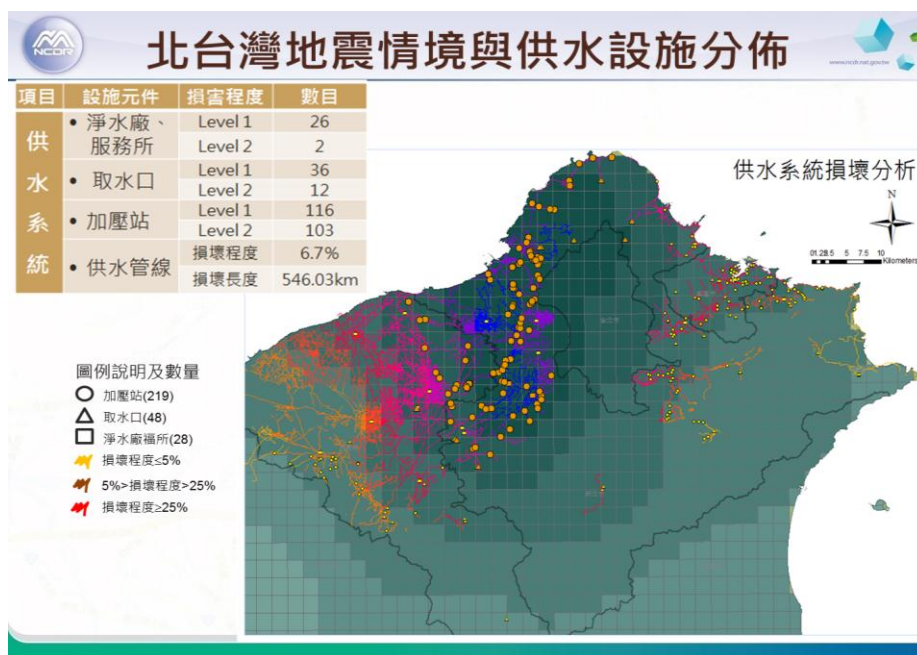


圖9 北台灣地震情境與供水設施分布

表3 維生設施系統地震易損性曲線之 IM 一覽表 (摘自 SYNER-G [21])

設施系統	子系統	Common IM	Recommended IM
供水	取水口	PGA	PGA
	淨水廠	PGA	PGA
	加壓站	PGA	PGA
	儲水槽	PGA, PGD	PGA
	管網	PGV, PGD, PGA, ϵ	PGV, PGD
	運河	PGV, PGD	PGV, PGD
	隧道	PGA	PGA
	汗水處理站	PGA	PGA
供電	變電所及變電設施	S_a , PGA, PGD	PGA
	電網	PGA	PGA
石油 天然氣	煉油廠	PGA, PGD	PGA, PGD
	儲槽	PGA, PGD	PGA
	管網	PGV, PGD, PGA, ϵ , SI	PGV, PGD
	加壓站	PGA	PGA

4. 區域失效影響：

由元件損壞機率加入區域概念，推估單位區域內設施元件損壞率，加以套疊區域人口、社經資料以及其他重要設施等圖層後，建立影響關係矩陣以作為設施失效衝擊分析之依據。

2.2.2 防救災設施之衝擊評估方法

經由過去的災害經驗得知，隨著地震災害的發生，應即刻進行救援任務的防救災單位也可能成為受災對象，導致防救災功能失效，無法有效遏止災情的結果便造成災害的持續擴大。依據本研究規納的「地震災損項目」（如表 1），以及我國過去的九二一震災經驗，可知震災可能造成建物損壞、人員傷亡、震後火災等傷害，需要警察、消防、醫療等協助，以及安全的臨時避難場所等重要防救災設施。在考慮地震情境下的重要防救災設施時應包含「醫療、警察、消防及政府部門」。台北市地區災害防救業務計畫亦指出「地震災害發生後，必須繼續維持機能之重要公有建築物包括警察局、消防局、醫療院所；各級防災中心之辦公處所；各級學校之校舍、集會堂、活動中心及體育館等供避難之建築物」。針對挑選出的四個重要防救災系統，個別了解營運條件、震後的衝擊影響，並建立 GIS 地理資訊系統資料庫，收集各營運條件的易損性曲線，藉此估算營運條件可能的受災損壞機率，再利用圖層套疊的方式，求得設施因地震災害衝擊可能的受災損壞機率，分析結果套疊大台北地區基本圖層，以圖層的方式展示。

規劃之執行步驟流程（請參閱圖 10），包含：

- 防救災重要設施：依據地震災害情境下，選定重要的防救災設施，初步選定設施為消防、醫療、警察及行政部門。
- 建立設施清單及分析重要營運條件：了解設施營運的重要條件，依照條件建立設施的屬性資料，並建立設施清單：利用 GIS 地理資訊系統建立設施資料清單，內含點位、營運條件、服務/影響範圍等屬性資料，同時收集相關文獻、災例，釐清設施的營運條件。
- 失效影響：利用易損性曲線或圖層套疊等方式，分析受災後營運條件的損壞程度，以及對設施的影響程度。
- 設施剩餘服務能力：利用營運條件的剩餘能力及所佔權重，計算設施的剩餘服務能量(%)。
- 震後服務能力評估：綜合消防、醫療、警察及行政部門等防救災設施的

剩餘服務能量(%)分析結果，以行政區為單位，初步評估大台北地區的防救災系統，在地震衝擊後之震後服務能量(%), 進一步提出設施防護建議。

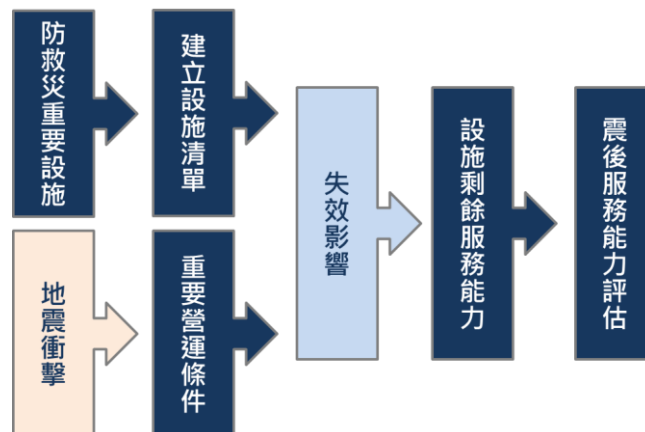
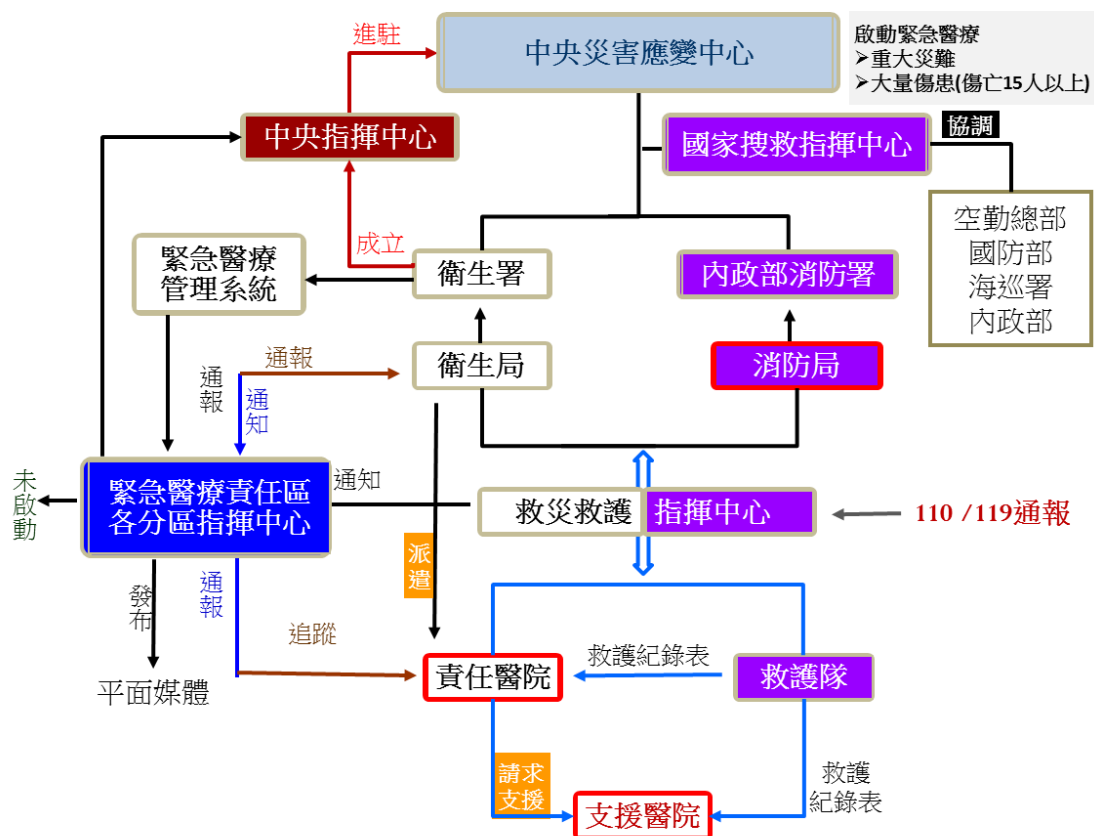


圖10 執行步驟流程

一、大台北地區防救災重要設施概述

當災害發生，經由民眾或地方單位通報消防(119)或警察人員(110)，防救災相關單位獲報後立即前往第一線進行救災救護工作，這些單位包含消防、警察以及醫療，為緊急救援提供主要的能量，若災害事件導致大量傷患或重大災難，應成立中央災害應變中心，消防署及衛生署則各自成立指揮中心並進駐中央災害應變中心，承接中央指示協助調度。其流程圖如圖 11。

快速且有效的救災行動可抑制災害的擴大，以及降低傷亡的發生，並穩定社會秩序，因此，如何確保防救災系統在災後持續有效運作是十分重要的課題。防救災系統包含負責救災救護的消防部門以及醫療系統，以及負責維持社會秩序、傳遞訊息、交通等應變支援工作，協助防救災系統的正常運作的警察部門及政府行政部門。



- 啟動災害應變中心：社會關注事件及預估大規模損傷。
- 三級啟動(綠色)：局部地區緊急事件，縣市可自行處理的小規模緊急事件。
- 二級啟動(黃色)：需跨縣市的相互支援，中央僅需即時蒐集正確災情與救護資料。
- 一級啟動(紅色)：全國總動員，中央災害應變指揮中心啟動，各分區承接中央指示協助調度。

圖11 緊急醫療應變流程圖

各項系統分述如下：

1. 醫療部門

我國衛生行政組織分為「中央」及「直轄市或縣市」二級，《行政院衛生署》為醫療體系中最高的衛生行政機關，負責全國衛生行政事務，並對各級地方衛生機關負有業務指導、監督和協調的責任，下設醫事處、護理及健康照護處等 16 個單位；另設醫院管理委員會負責管理全國 27 間署立醫院，位於大台北地區的署立醫療機構包含基隆醫院、台北醫院、雙和醫院、八里療養院以及樂生療養院。所屬機關包含中央健康保險局、食品藥物管理局和疾病管制局等 8 個機關，以及國家衛生研究院、器官捐贈移植登錄中心、醫院評鑑暨醫療品質策進會等 5 個財團法人機構，請參閱圖 12。

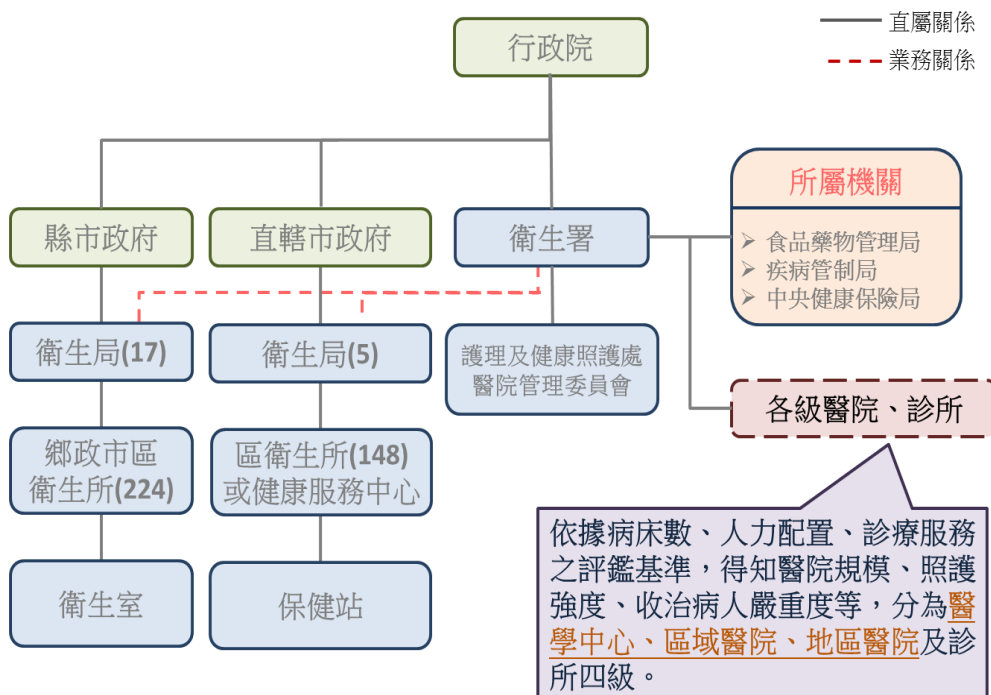


圖12 防救災重要設施-醫療系統

我國依據病床數、人力配置、診療服務之評鑑基準等，將醫院依照營運規模、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 159 個點位，其中 16 個醫學中心、38 個區域醫院以及 105 個地區醫院，包含 7 個國軍醫院，自行政院衛生署網頁及地理醫療資源管理系統等來源，收整各級醫院的設施簡介（含醫院名稱、醫療機構代碼，健保分級、地址、電話、評鑑結果）、責任分級（普通、中及重度）、醫師及醫事人力、病床數及座標。依據世界衛生組織（World Health Organization, WHO）研究顯示，所有災害都需要緊急醫療服務的支援，若醫院遇災無法順利進行救治工作，除了因基本的醫療能力失效而導致傷害惡化致其死亡外，長久下來將造成民心動搖、影響社會秩序與安寧，醫院是人類對抗災害的重要後援單位（WHO/WPRO, 2009）。

2. 消防部門

大台北地區消防部門，依據各分局網頁顯示，共有 18 大隊、12 中隊（僅台北市設立中隊）、161 分隊，包含後勤及行政人員共 6,854 人

(101年10月各分局資料查詢)，消防署另管理基隆港務消防隊，其體系架構簡圖如圖13。自消防署及各分局網頁收集單位名稱、所屬分局、地址、電話及座標，依地址收整168個點位。消防署主要辦理火災預防、人為與天然災害搶救、緊急救護3項消防業務，自90年起依災害防救法規定，另辦理災害管理業務，並統一指揮、監督全國消防機關，執行消防及災害防救任務為職掌事項，各種天然災害及人為事故，均可見消防人員投入救災、救護之蹤跡，在災害防救工作上據有重要的一席之地。當地震災害發生時，消防部門為提供緊急救援，協助各項必須的救災救護工作，負責在倒塌的建物中搶救生命、拯救因都市建物維生系統的非結構要素相互影響而受困的民眾(例如，因電力中斷致電梯停擺而受困其中的人)，以及抑制震後火災(Kyriazis Pitilakis, 2011)。

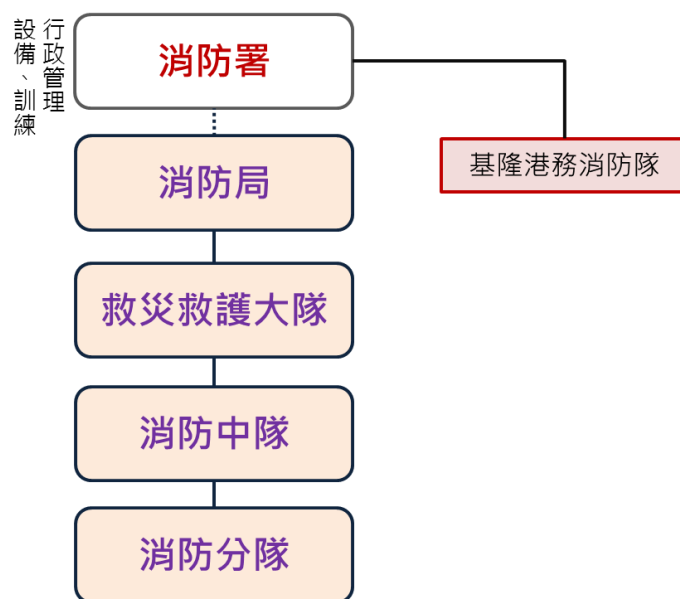


圖13 大台北地區消防部門組織架構簡圖

3. 警察部門

警政署奉內政部部長之命，執行全國警察行政事務，指揮及監督全國警察機關執行警察任務，而各縣市警察局則掌理轄區警察行政及業務。警政署下設直轄市政府警察局及各縣市警察局、科、室、中心、大隊、分局及分駐所，大台北地區設42個分局、343個派出所及分駐所，依警察機關地址統計共380處，請參考圖14。警察機關依專業工作分為

行政警察、刑事警察、交通警察及專業警察四類，簡述如下：

- (1) 行政警察，執行勤區查察、巡邏、臨檢等勤務，依法維持公共安全與社會秩序，同時擔任治安維護、政令宣導等工作，與民眾關係最為密切。
- (2) 刑事警察，負責犯罪預防與偵查工作，以確保社會安寧。
- (3) 交通警察，維持交通秩序、防止交通危害、確保交通安全、促進工通流暢為主要任務。
- (4) 專業警察，因應事業主管機關的業務需要，商准內政部依法設置，以協助事業主管機關執行危害防止任務，如捷運警察、國道公路警察、保安警察、公路警察、國家公園警察大隊等。

當災害來臨時，警政署須派員進駐中央災害應變中心參與作業，並成立緊急應變小組統合指揮，首要任務便是治安維護任務與協助救災相關事宜，包含災區警戒巡邏以防止竊盜、搶劫等不法事件、設置災區警戒標示以維護安全、動員警力維護交通順暢，並協助救難人員執行搶救工作等。受災區域一旦失序，甚至發生暴動，將延誤災區的救災救難等應變、復原作業，導致更大的生命財產損失。

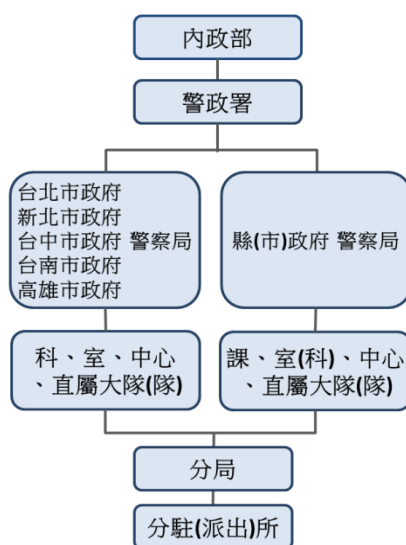


圖14 大台北地區警察部門組織架構簡圖

4. 行政部門

我國位處災害頻繁的區域，隨著經濟發展，致災的影響及經濟損失增高，必須健全災害防救之體制與功能，以達到保護國土及國民生命財產之安全，同時積極性的計畫及機關之間相互協助，方能圓滿達成災害防救任務。為此，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。目前防救災設施之資產清單收整情形如表 4 所示。

表4 防救災重要設施現階段資料彙整情形

項目	單位	數量	資料收集進度
消防	◆ 最小單位：消防分隊。 ◆ 消防署(1)、消防局(4)、消防隊部(30)、消防分隊(133)。	168	◆ 單位名稱、隸屬分局、地址、聯絡電話、座標。 ◆ 資料來源：消防署及各分局網頁。
醫療	◆ 最小單位：地區醫院。 ◆ 醫學中心(16)、區域醫院(38)、地區醫院(105) 包含國軍醫院(7)，共159個點位。	159	◆ 設施簡介(醫療機構代碼、健保分級、醫院名稱、地址、電話、負責人、評鑑結果)、責任分級、醫師及醫事人數、床位數、座標。 ◆ 資料來源：衛生署醫療資源管理系統。
警察	◆ 最小單位：派出所、分駐所。 ◆ 總局(3)、分局(42)、派出所及分駐所(343)、大隊(12)。	380	◆ 單位名稱、隸屬分局、地址、聯絡電話、座標。 ◆ 資料來源：QMAP警察局地圖、各分局網頁。
政府部門	◆ 最小單位：行政區緊急應變中心。 ◆ 分級方式尚未定調。	86	單位名稱、地址、聯絡電話、座標。

二、防救災重要設施失效評估方法

1. 營運條件分析及失效影響

(1) 醫療系統

在過去的研究（李沁妍，2012）中已歸納，保持醫院持續營運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）。若災害衝擊任一營運條件，都可能導致不同程度的醫療困難以及服務中斷。綜合前述與過去九二一震災經驗，其營運條件之關聯性分析如下：

- 建物：建物倒塌毀壞醫療設備，致使醫療中斷。
- 道路交通：道路、橋樑損壞導致交通中斷，或是建物倒塌阻斷道路，都會阻礙救護車護送病患的行動，或是導致救護人員難以到達現場進行醫療救治。
- 設備：地震搖晃致使醫療設備損害，即使建物及人員安好，仍無法進行治療。
- 電力：醫療設備需要電力運作、部分需低溫存放的醫療資源亦需要電力維護，若電力中斷將導致設備失效以及醫療資源損失。
- 供水系統：為維護醫院的衛生環境，以及順利進行醫療行為（如洗腎、消毒），需要足量的醫療用水，一旦缺水將阻礙醫療工作進行。

其他如醫療人力亦與道路交通具有關連性，另外如通訊與電力則與建物狀況相關，地震災害與醫療系統之關連性分析圖如圖 15(左)，此外，醫院多以營運為目的，因此多設立在交通方便且人口密集之處，方便民眾就醫、救護車行進以及醫療資源之配送，導致郊區醫療資源較為匱乏，醫院位置分布如圖 15(右)。

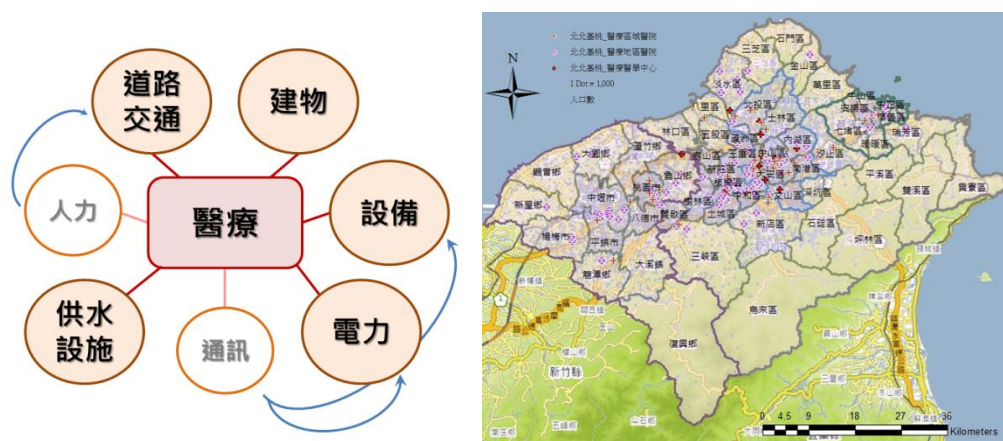


圖 15 醫療院所之營運條件分析（左）以及位置分布圖（右）

(2) 消防部門

綜合前述消防設施所提及之救援工作內容，以及九二一震災的經驗，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，其關聯性如下所述 (Kyriazis Pitilakis, 2011)：

- 建物：建物倒塌致使消防車輛及設備損壞。
- 道路交通：道路、橋樑損壞導致交通中斷，或是建物倒塌阻斷道路，都會阻礙消防人員以及消防車輛之通行。
- 供水系統：因消防水箱、管道以及消防栓等損壞，導致水壓不足或供水失效，造成滅火困難。

其他營運條件如消防人力，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 16 (左) 為消防系統之營運條件分析、圖 16 (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關係。



圖 16 消防部門之營運條件分析圖 (左) 以及消防單位之分布圖 (右)

(3) 警察部門

災難發生時，無論是進行救災救護工作、協助安置災民或是發放救災物資等，需要穩定的秩序及安全的環境來進行，否則可能變成另一場災難甚至暴動，進而導致更多的傷亡。維持警察機關營運之條件，主要是建物與交通如圖 17(左)。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。圖 17 (右) 展示警察機關之實際分布情形，未來將配合地震情境下道路通阻狀況以及區域人口數進行

分析。

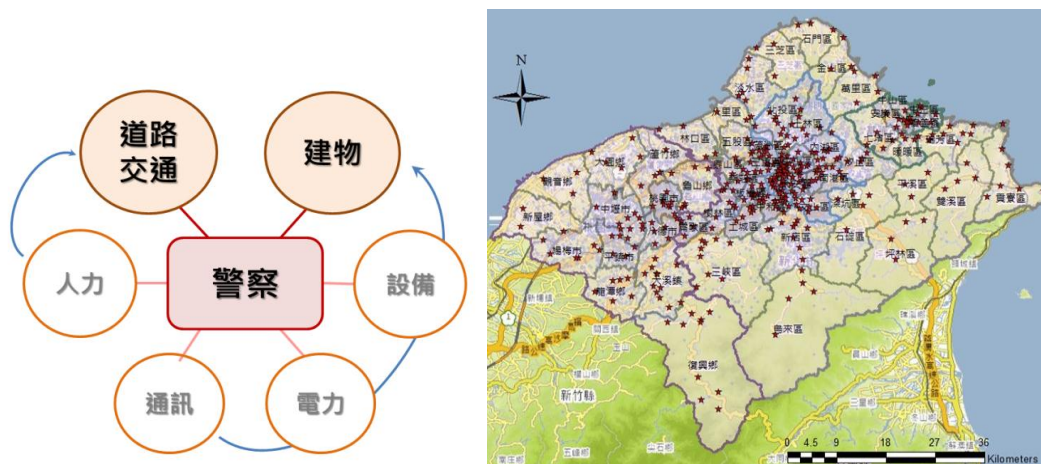


圖17 警察機關之營運條件分析（左）以及實際分布圖（右）

(4) 重要行政部門

地區災害防救計畫中明定「震災災害防救之對策」，在災害預防以及災前整備時期，建議相關行政單位應執行之任務項目，包含行政機關之建物防震診斷與補修加強、健全通訊設備以及緊急備援、員工的教育訓練等。由於缺乏良好的緊急應變機制，許多大型災害已暴露出公部門在災後第一時間的混亂以及指揮緩慢的問題，災後的緊急應變工作，更是考驗地方政府危機處理的能力，包含應變的救災指揮系統、罹難者遺體之處理、賑災物資發放作業以及災民之救急安置問題等規劃。為順利處理上述問題，行政部門應具備震後維持傳達訊息、管理災情資訊，以及行政指揮與整合之能力。圖 10 展示行政部門的主要持續營運條件包含通訊、電力和建物（郭，2001），以及行政部門在台北市之分布圖。

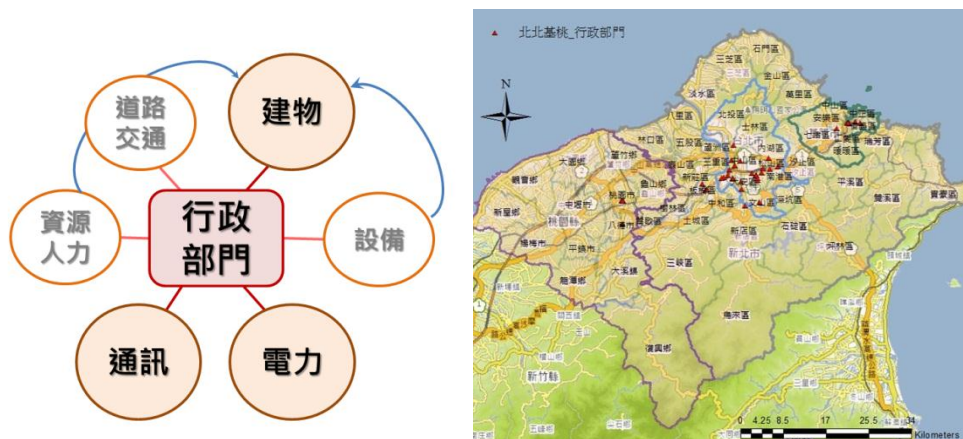


圖18 行政部門之營運條件分析（左）以及台北市之分布圖（右）

評估防救災系統震後可能的衝擊以及運作能力，在災前可檢視系統上的不足、確保災中應變工作之順利，目的在降低災情狀況並縮短災害復原的時間。藉由過去的研究結果及地震災害案例，本文初步分析出各系統的持續營運條件，以及各條件間之相互關連性。未來將利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。圖 19 為初步規劃之評估流程。期望未來之研究成果可納入震後情境推估項目，作為災前準備以及演練之參考，亦可提供各相關設施單位作為救災與應變作為計畫時之考慮。

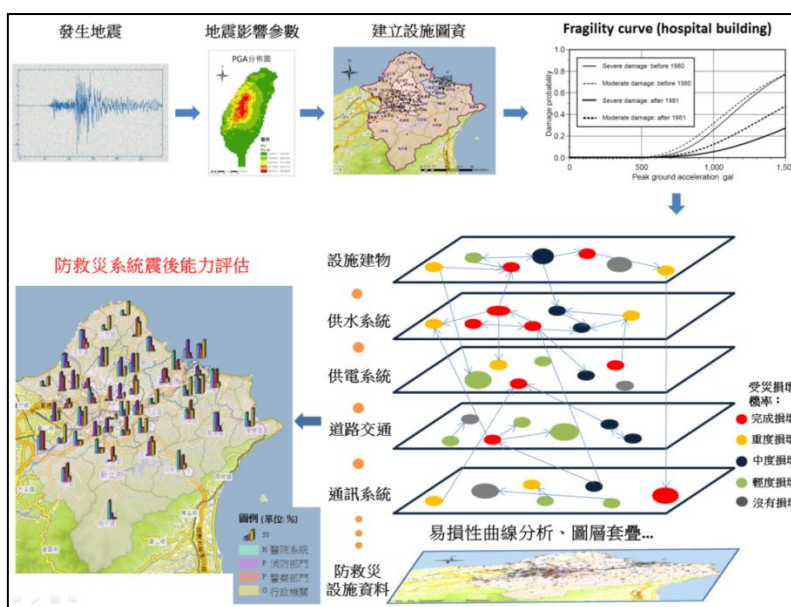


圖19 防救災系統震後能力評估流程

三、估算設施剩餘服務能力

依據地震衝擊設施之狀況情境，估算以行政區為單位的各設施營運條件損壞程度，範例如圖 20 所示。例如某項重要設施之營運條件有 A、B、C 等，各營運條件依失效影響給予不同權重 W1、W2、W3 等，假設原有服務能力為 100%，減去設施的各項營運條件受地震衝擊造成損失，配合營運條件的重要程度計算，簡易計算震後剩餘服務能力%。計算結果套疊 GIS 地理資訊系統，依照圖 21 所示之圖例展示說明。



$$\text{原有服務能力 } 100\% - \frac{\text{條件A*W1(條件B*W2+條件C*W3...)}}{W1(W2+W3...)} = \text{震後剩餘服務能力}\%$$

圖20 震後能力估算方法範例

項目	等級	圖例	服務能力	數目
消防設施	消防署(1)	○	≤ 50%	11
	消防分局 (4)	◡	50%~75%	98
	消防隊部 (30)	□	≥ 75%	59
	消防隊 (133)	△		
醫療設施	醫學中心 (16)	○	≤ 50%	5
	區域醫院 (38)	◡	50%~75%	63
	地區醫院 (105)	□	≥ 75%	91
警察設施	總局 (3)	○	≤ 50%	18
	警察分局 (42)	◡	50%~75%	228
	派出所 (323)	□	≥ 75%	134
	大隊 (12)	△		
行政部門	建構中...			

圖21 設施剩餘服務能力 (%) 說明

圖 22 至圖 24 為各項重要設施震後能力評估結果展示範例，設施等級高低依照圓形、五角形、方形及三角形區別，震後服務能力損失高低則依照紅、橘、黃色區別，並套疊人口分布顯示，圖層底色顏色越深表示人口越密集，而台北市為我國重要經濟活動中心，重要設施繁多，另放大展示。展示結果可知消防及警察單位系依據各行政區戶籍人口比例配置，因此地理分布較為平均，醫院營運主要是服務民眾，多考量交通便利、人口等因子設立，多落在都會中心。

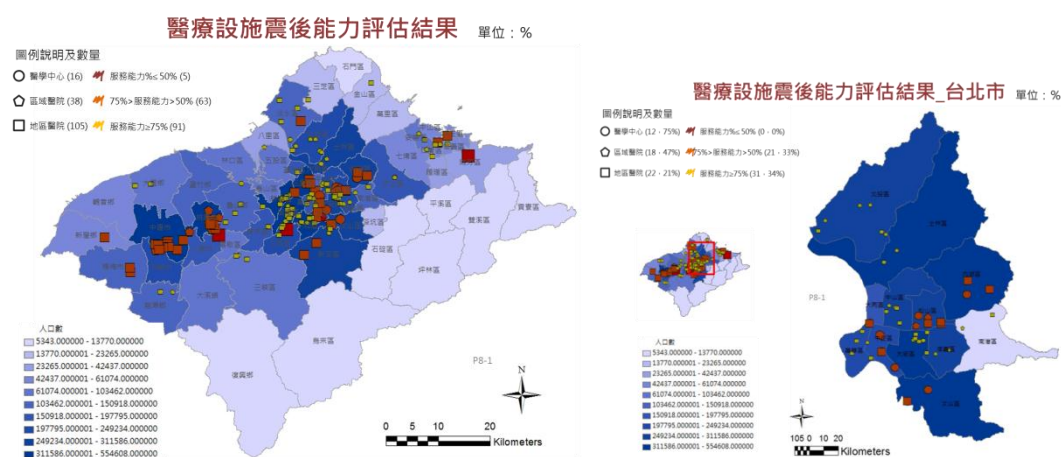


圖22 醫療設施震後能力評估結果及台北市放大展示

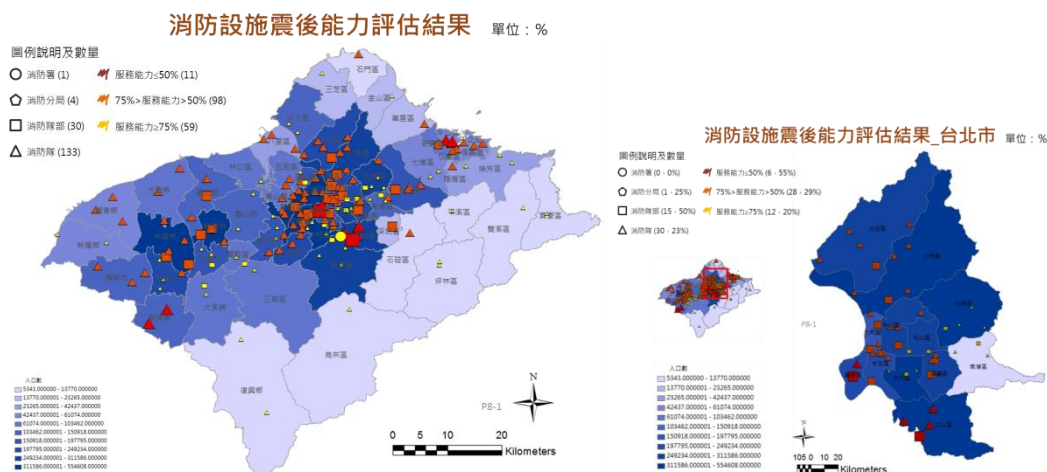


圖23 消防設施震後能力評估結果及台北市放大展示

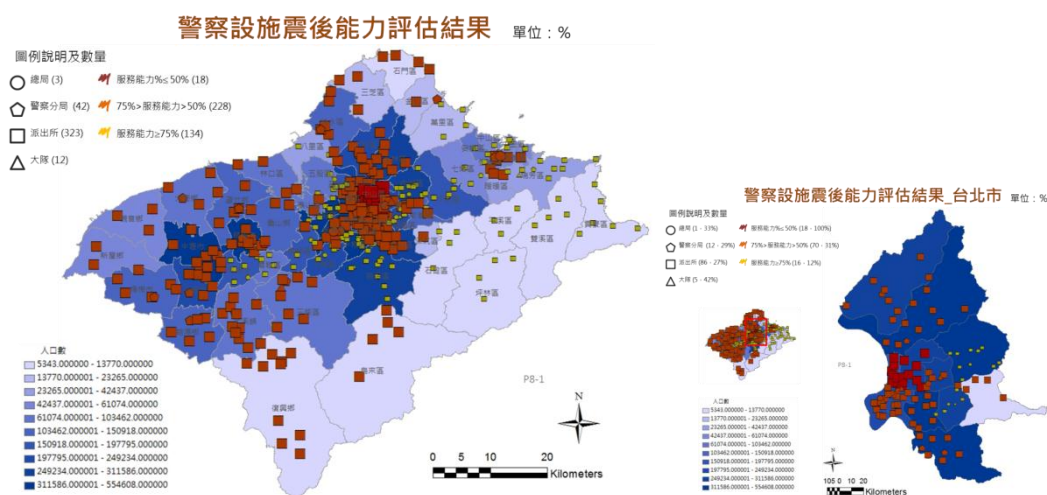


圖24 警察設施震後能力評估結果及台北市放大展示

2.3 小結

本年度完成大台北地區維生及防救災設施之設施運作架構、設施清單與圖資建立、設施損壞衝擊評估流程與分析架構。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，設施系統內部關連圖資之建立，亦需要下一階段的努力和突破資料相容性之困難。而在分析方法精進的部分，則在於系統內的元件關連、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。最後，則是地震參數的使用，本階段研究執行的目的，是以首都直下型地震，作為災害情境的想定，因此，需要適切的地震參數等背景和本土化的資料支持，配合相關設施系統的基礎資料，引用至

目前所選定的衝擊評估分析方法，才能獲得震後失效衝擊分析之具體成果。

本研究針對北台灣維生系統進行地震後之情境分析，後續執行方向請參考圖 25，第一階段：初步建立利用 ArcGIS 分析都會維生設施震後情境之基本流程與架構，目前已建立維生設施基本分析需求項目與圖資資料。由於使用 ArcGIS 工具操作維生設施系統與地震影響之空間分析，將能展示不同維生設施元件與不同地震影響參數之空間關係。

參考我國以及目前世界各國已發展的易損性曲線，將完成設施損壞狀況分析以及建立設施失效後之區域衝擊評估。

第二階段：則是利用目前的研究成果，將維生設施失效之區域衝擊評估，作為重要防救災資源，如：醫院、消防、警察和政府部門持續營運及失效影響評估之參考。

第三階段：結合維生設施極重要防救災設施震後情境分析成果與地形圖，研究目標將可針對老人或身心障礙福利機構、其他社會經濟相關資料等進行圖層套疊分析，以擴大分析地震後都會設施系統損壞情境之評估範圍與項目，據以作為未來擬定大規模地震之緊急應變與減災計畫、災後管理以及復原策略規劃之參考。

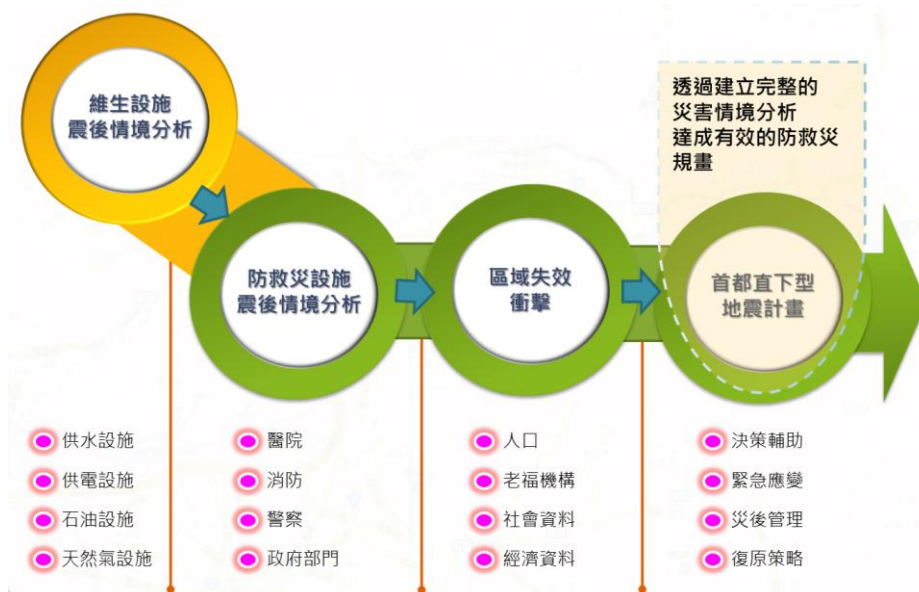


圖25 後續執行方向

第三章 災害管理需求之 CI 衝擊效應

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。本年度工作重點為：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、都會區地震災害之交通設施衝擊評估、發展水庫受災失效之區域衝擊評估指標。本年度相關成果分述如下：

3.1 建立災害管理需求之重要設施基本圖資與資料庫

本年度延續 100 年成果，持續進行重要設施基本圖資與資料庫彙整，目前重要設施分類依據，採用國土安全辦公室委託「行政院國家關鍵基礎設施防護計畫專業服務委外研究」定義，其所選定之八大類關鍵基礎設施計有：能源 (Energy)、水資源 (Water)、資通訊 (Information and Telecommunication)、交通 (Transportation)、銀行與金融 (Banking and Finance)、緊急救援與醫院 (Emergency Services and Public Healthcares)、中央政府及主要都會 (Government)、高科技園區 (Hi-Tech Industrial Parks) 等 (行政院國土安全辦公室，2010)。目前已完成全台五大類 11 項之設施點位資料庫，另資通訊、銀行與金融、中央政府等資料尚未建置，設施包含大台北地區範圍之重要水廠、消防機關、醫院、警察機關、消防機關、達管制量 30 倍以上危險物品場所，以及全台範圍之重要電廠、液化石油氣分裝場、爆竹煙火製造廠及儲存場所、工業區 (工業局業管)、科學園區、供油中心、供氣中心及交通系統等基礎圖資建置，截至 101 年 7 月，相關資料清單與圖資，詳如表 5 與圖 26 所示。

表5 重要設施資料庫清單

CI分類	項目	全台	數量
水資源	供水	水廠	565
	能源		
能源	供電	水力電廠	35
	供電	發電廠	25
	供電	高壓電塔	12485
	供電	變電所	454
	供油	供油中心	17
	供氣	LPG分裝場	108
	供氣	供氣中心	18
交通	交通	航空站	18
	交通	省道跨河橋梁	1189
	交通	台鐵車站	246
	交通	高鐵車站	8
	交通	捷運車站 (含出口)	135
	交通	國際商港	5
	交通	漁港	245
緊急救援 與醫院	醫院	醫院	1702
	緊急救援	警察機關	2041
	緊急救援	消防機關	305
高科技園區	工業園區	工業園區	89
	科學園區	科學園區	15

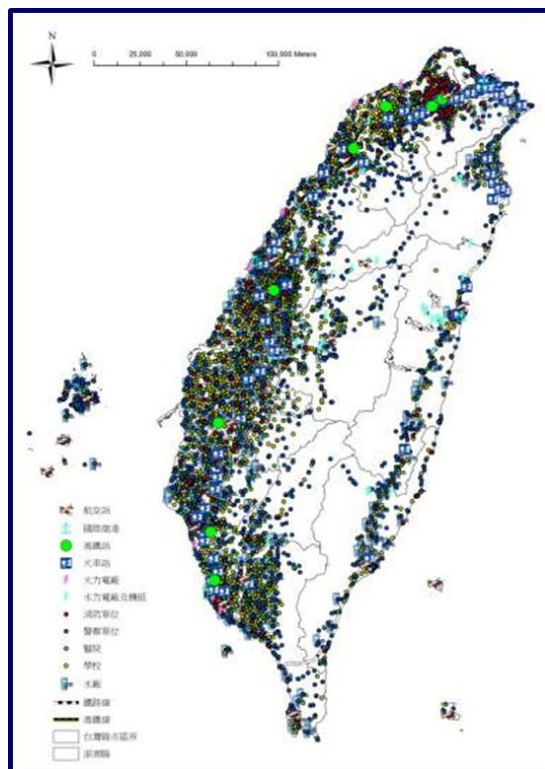


圖26 全台重要設施圖

3.1.1 重要設施基礎資料庫加值

為了進一步瞭解重要設施受災後之衝擊影響程度，進行設施基礎資料庫加值，有其必要性與衝擊資訊參考的價值，本年度已著手進行道工業區資料加值，以下將以經濟部工業局業管之工業區為例進行說明：

一、 全台工業區基本資料分析

針對各工業區內設廠總數、設廠面積、員工人數與資本額進行比較與彙整，俾利全台工業區影響程度資訊參考，相關彙整結果如表 6 所示。

二、 個別工業區基本資料分析

進一步可針對各工業區內設廠總數、設廠面積、員工人數與資本額進行比較與彙整，俾利單一工業區影響程度資訊參考，相關彙整結果如表 7~表 8 所示。

表6 全台工業區基本資料分析表

工業區排名(全台)								
名次	設廠數總排名		設廠面積總排名		員工人數總排名		資本額總排名	
1	新北產業園區	1660	雲林離島式基礎工業區	16148176	新竹工業區	64921	大里工業區	4012124278
2	台中工業區	993	高雄臨海工業區	13892197	高雄臨海工業區	53275	林口工二工業區	297948152
3	大發工業區	549	觀音工業區	4337477	中壢工業區	44993	台中工業區	191225596
4	安平工業區	538	彰濱工業區	4166972	台中工業區	41260	高雄臨海工業區	73486606
5	南港軟體工業園區	530	台中工業區	3659621	龜山工業區	27624	福興工業區	36519070
6	中壢工業區	501	新竹工業區	3579617	新北產業園區	26743	林園工業區	34712229
7	高雄臨海工業區	445	林園工業區	3144053	觀音工業區	24526	雲林離島式基礎工業區	32773841
8	南崗工業區	429	大發工業區	2929136	土城工業區	21241	新竹工業區	24581742
9	新竹工業區	404	中壢工業區	2742156	南崗工業區	19445	南崗工業區	21652288
10	土城工業區	375	南崗工業區	2426833	大發工業區	17789	桃園幼獅工業區	19500766

表7 個別工業區_資本額分析表 (大里工業區)

大里工業區		
名次	公司名稱	資本額(萬元)
1	鼎力金屬工業股份有限公司	45000
2	春錫機械工業股份有限公司	21633.7
3	順集科技股份有限公司	20000
4	寰宇工具股份有限公司	10800
5	喬威進科技股份有限公司	9000

表8 個別工業區_設廠總數與設廠面積分析表(大里工業區)

大里工業區				
名次	產業類別	設廠數比例(%)	產業類別	設廠面積比例(%)
1	機械設備製造業	38.66	機械設備製造業	39.09
2	金屬製品製造業	33.46	金屬製品製造業	33.09
3	基本金屬製造業	3.35	塑膠製品製造業	5.99

3.1.2 淹水潛勢圖應用於設施防災管理

近年來國內重大淹水災害案例顯示，重要基礎設施本身常具有高度的脆弱性，如何評估及預先掌握對這些重要設施的威脅與脆弱度，並採取各項強化或防護之作為，將是政府重要的工作，也是災防體系未來需要關注的目標。工程方法防洪有其極限，面對極端氣候之下大自然的無情衝擊，需要有相關的非工程方法防洪配套措施。淹水潛勢圖(Inundation Potential Maps)具有合理的災害情境設定，可運用作為設施衝擊分析的基礎，也是災害管理的重要程序之一。掌握高淹水潛勢區內的重要設施清單，強化設施之抗災及回復力，並建立緊急應變計畫，方能降低因災害所可能產生之損失。

由政府的立場來看，淹水災害發生時有兩類關鍵設施特別需要被重視。一類是緊急救災設施，例如抽水站、消防隊等，一旦於淹水發生時受災失效，可能使救災運作中斷，並形成骨牌效應擴大災情，嚴重衝擊社會並影響政府運作。2001年納莉颱風時玉成抽水站失效停機，造成台北市大範圍淹水與嚴重經濟損失，即為殷鑑。還有一類是醫療照護設施，除了上述救災重要資源之理由外，這些醫療、身障、老福等機構所收容者大多數屬於災害弱勢族群，災害發生時應優先救援撤離。2010年凡納比颱風時高雄岡山安養院淹水，數十名老人泡在水中險遭滅頂，差點釀成悲劇。淹水災害經常造成民眾財產損失，甚至人命傷亡。想要做好淹水防減災的工作，除了採取工程方法改善關鍵設施之脆弱因子，還有採取非工程方法提升關鍵設施之抗災能力，可應用淹水潛勢圖作為非工程防洪減災手段。

以下針對 0610 水災，進行淹水潛勢圖(24hr q600)與工業區淹水點位套疊，如圖 27。部分工業區位雖不在淹水潛勢高的地區，但卻淹水情形嚴重，例如龜山工業區僅在中低風險區域，顯示 0610 短延時強降雨情形並無法使用淹水

力，並建立緊急應變計畫，方能降低因災害所可能產生之損失。

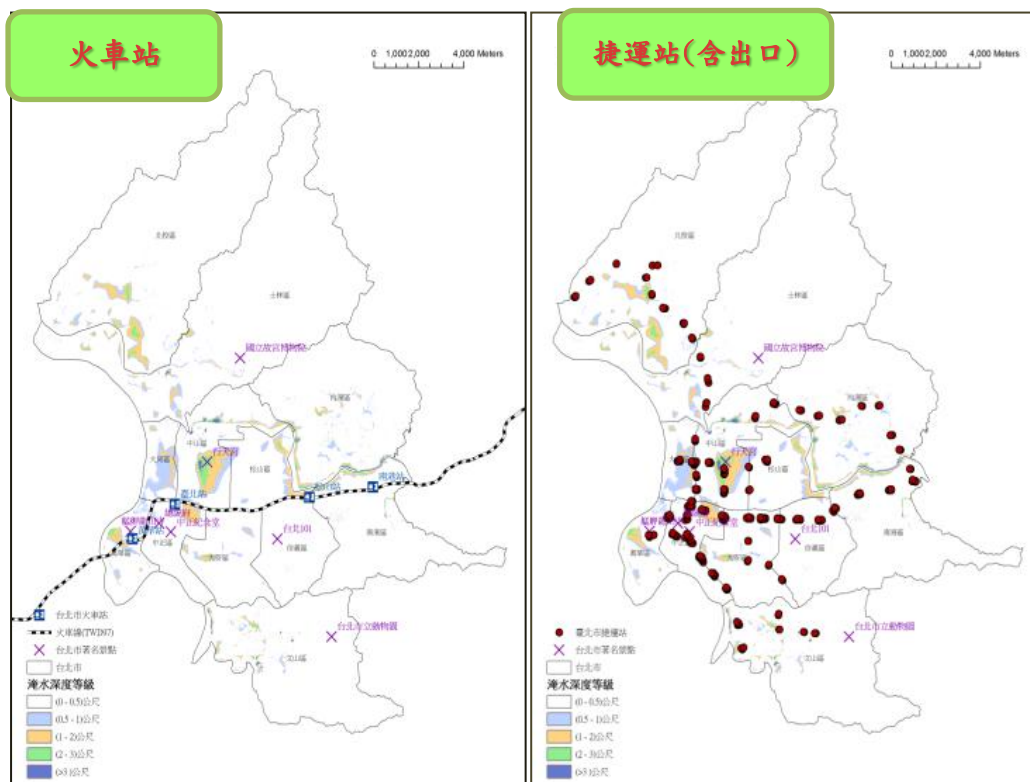


圖28 台北市重要設施套疊淹水潛勢圖 (24HR Q600)

表9 台北市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

3.1.3 基礎設施之淹水潛勢圖套疊分析與風險分級

本小節應用大台北地區 24 小時降雨 600 毫米之淹水潛勢圖，分析醫療機構及抽水站兩類重要設施，藉由重要設施資料與淹水潛勢圖層套疊，可掌握高淹水

潛勢區內的重要設施清單，進行設施座落於高淹水潛勢之威脅排序，俾利於災前減災措施與防護規劃。圖 29 為大台北地區醫療機構與淹水潛勢圖套疊分析結果，圖 30 為大台北地區抽水站與淹水潛勢圖套疊分析結果。

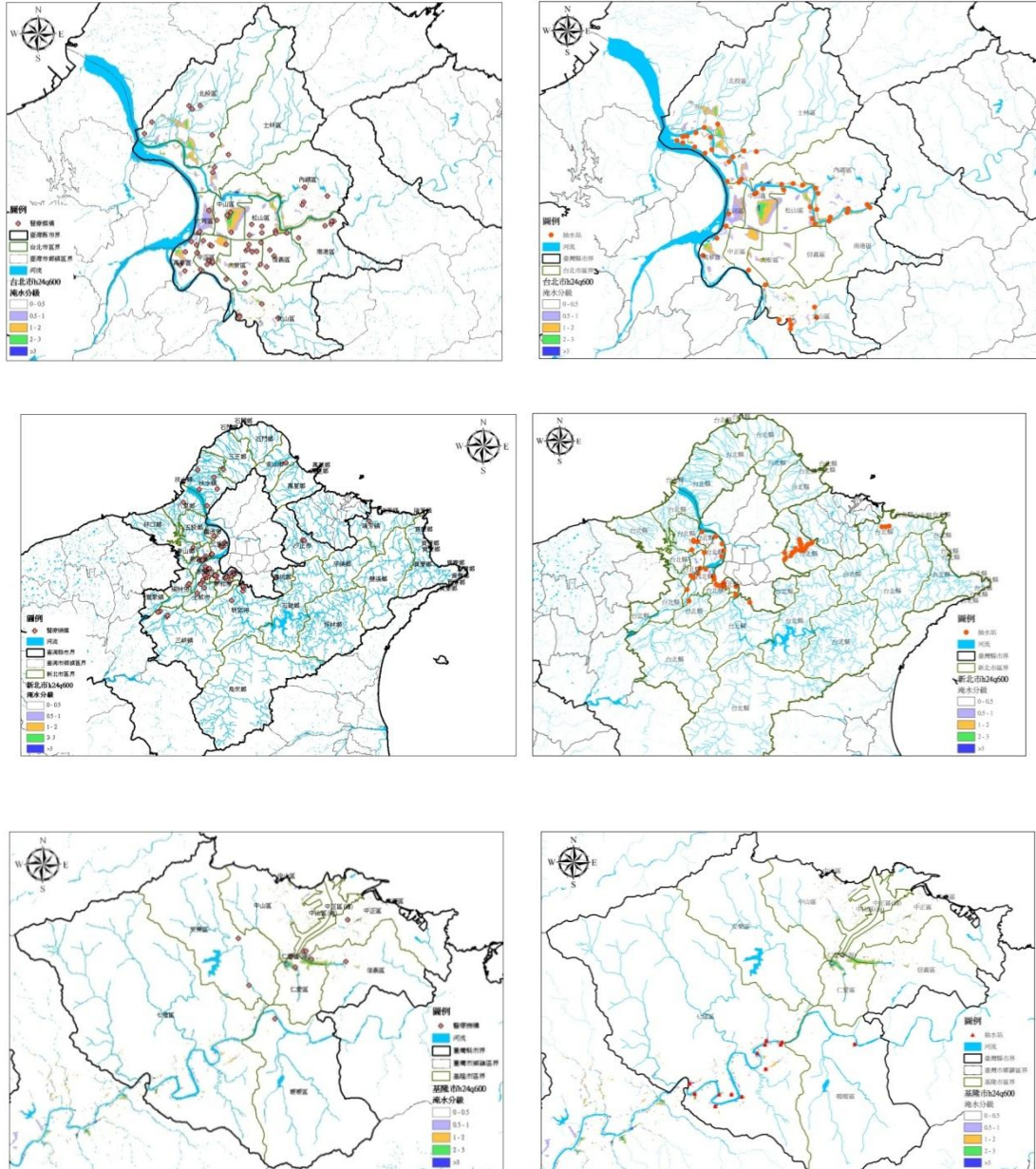


圖 29 大台北地區醫療機構與淹水潛勢圖套疊結果

圖 30 大台北地區抽水站與淹水潛勢圖套疊結果

台北市有 66 處醫療機構，分析結果顯示有 53 處之淹水潛勢小於 0.5 公尺，即僅有發生短暫積水之可能；有 8 處之淹水潛勢為 0.5~1 公尺，有 2 處之淹水潛

勢為 1~2 公尺，應加強淹水警戒做好防洪措施；有 3 處之淹水潛勢大於 2 公尺，災時應考慮優先撤離或垂直避難。新北市有 63 處醫療機構，分析結果顯示有 58 處之淹水潛勢小於 0.5 公尺，即僅有發生短暫積水之可能；有 4 處之淹水潛勢為 0.5~1 公尺，有 1 處之淹水潛勢為 1~2 公尺，應加強淹水警戒做好防洪措施。基隆市有 13 處醫療機構，分析結果顯示有 7 處之淹水潛勢小於 0.5 公尺，即僅有發生短暫積水之可能；有 1 處之淹水潛勢為 0.5~1 公尺，有 5 處之淹水潛勢為 1~2 公尺，應加強淹水警戒做好防洪措施。

台北市有 45 處抽水站，分析結果顯示有 23 處之淹水潛勢小於 0.5 公尺，即僅可能發生短暫積水；有 7 處之淹水潛勢為 0.5~1 公尺，有 6 處之淹水潛勢為 1~2 公尺，應做好防汛準備避免抽水機組被淹沒失效；有 9 處之淹水潛勢大於 2 公尺，應檢查確認其抽水機組安置高度及位置是否合宜安全。新北市有 23 處抽水站，分析結果顯示有 14 處之淹水潛勢小於 0.5 公尺，即僅可能發生短暫積水；有 8 處之淹水潛勢為 0.5~1 公尺，應做好防汛準備避免抽水機組被淹沒失效；有 1 處之淹水潛勢大於 2 公尺，應檢查確認其抽水機組安置高度及位置是否合宜安全。基隆市有 11 處抽水站，分析結果顯示有 3 處之淹水潛勢小於 0.5 公尺，即僅可能發生短暫積水；有 1 處之淹水潛勢為 0.5~1 公尺，有 3 處之淹水潛勢為 1~2 公尺，應做好防汛準備避免抽水機組被淹沒失效；有 4 處之淹水潛勢大於 2 公尺，應檢查確認其抽水機組安置高度及位置是否合宜安全。

3.1.4 發展水庫受災失效之區域衝擊評估指標

本研究發展水庫潰壩下游區域風險評估指標，首先回顧過去相關文獻並瞭解評估指標內涵，彙整過去水庫下游受災衝擊區域分析結果，包括各項社經指標與不同淹水深範圍；然後進行區域評估指標分級化，包括社會衝擊面向（人口數、產業家數、弱勢族群比例等），以及淹沒影響面向（淹沒面積、淹沒深度、淹沒設施等）；指標分級化再計算權重後，可進行風險排序，提出優先防護建議。

研究流程首先進行資料蒐集，並提供全國災害管理平台內之基礎設施模組使用。目前國內水庫合計 96 座，考量水庫功能的重要性，選擇有效容量達 1,000 萬立方公尺之主要水庫計 18 座，蒐集其基礎資料。資料蒐集後進行加值分析，

針對潰壩受災情境，綜整水利署提供之水庫安全評估報告，找出潰壩洩洪時水庫下游之淹水衝擊影響區域。

以石門水庫為例，劃定水庫下游鄉鎮區後匯入 GIS，繪製石門水庫潰壩情境下淹沒範圍之鄉鎮區圖層，再將石門水庫下游區域災害衝擊圖層套疊社會經濟資料（內政部社會司，2011），包括居住人口數、家戶可支配所得、二級產業家數、老化指數、依賴人口扶養比例、身心障礙比例、低收入戶比例等，由 GIS 分析所得結果如表 10 所示。

表 10 石門水庫潰壩下游受災衝擊區域社經指標

社會衝擊面向	居住人口數(位)	家戶可支配金額(元)	二級產業家數(家)	老化指數(%)	依賴人口扶養率(%)	身心障礙比例(%)	低收入戶比例(%)
新北市淡水區	>14 萬	>85 萬	>4 百	62.91	30.0	3.3	0.61
台北市北投區	>24 萬	>101 萬	>4 百	79.47	36.0	7.9	1.95
台北市士林區	>28 萬	>116 萬	>8 百	89.81	35.7	4.4	1.98
新北市八里區	>3 萬	>69 萬	>2 百	56.65	30.1	3.8	1.29
新北市五股區	>7 萬	>68 萬	>1 千 7 百	46.72	31.7	3.8	0.54
新北市蘆洲區	>19 萬	>67 萬	>1 千 8 百	34.41	29.1	3.2	1.28
新北市三重區	>38 萬	>67 萬	>2 千 7 百	62.14	29.1	3.9	1.20
台北市大同區	>12 萬	>91 萬	>6 百	99.93	37.8	5.1	2.53
新北市泰山區	>7 萬	>72 萬	>8 百	35.58	30.5	3.3	0.31
新北市新莊區	>40 萬	>70 萬	>6 千	35.66	28.8	3.3	0.96
桃園縣龜山鄉	>13 萬	>77 萬	>1 千 7 百	45.92	34.5	3.9	0.97
台北市萬華區	>18 萬	>78 萬	>7 百	130.05	37.0	6.1	4.03
新北市板橋區	>37 萬	>75 萬	>2 千 7 百	54.16	30.0	5.3	1.28
新北市樹林區	>17 萬	>66 萬	>3 千 9 百	39.95	30.3	3.5	0.97
新北市土城區	>23 萬	>69 萬	>1 千 9 百	40.05	26.4	3.5	1.32
桃園縣八德市	>17 萬	>68 萬	>1 千 7 百	46.42	34.0	3.8	0.64
新北市鶯歌區	>8 萬	>63 萬	>9 百	43.24	32.2	3.8	1.66
新北市三峽區	>10 萬	>66 萬	>5 百	48.15	35.9	4.2	1.60
桃園縣大溪鎮	>9 萬	>66 萬	>4 百	58.64	41.0	4.4	0.72
桃園縣龍潭鄉	>11 萬	>78 萬	>6 百	49.58	36.6	4.1	0.58

根據石門水庫下游受災衝擊分析結果，居住人口數以新北市新莊區、三重區與板橋區為影響人口最多的三個區域；家戶可支配所得以台北市士林區、北投區與大同區為經濟情況較佳的三個區域；二級產業家數以新北市新莊區、樹林區與三重區為產業衝擊最大的三個區域。上述區域在水庫潰壩情境下，受到災害衝擊損失可能較大。衝擊分析結果亦顯示，石門水庫下游各鄉鎮區中，老化指數（老年人口與幼年人口之比值）以台北市萬華區、大同區與士林區為最高的三個區域；依賴人口扶養比例以桃園縣大溪鎮、台北市大同區與萬華區為最高的三個區域；

身心障礙比例以台北市北投區、萬華區與新北市板橋區為最高的三個區域；低收入戶比例以台北市萬華區、大同區與士林區為最高的三個區域。上述區域為水庫下游災害防救能力較差之弱勢區域，受到災害衝擊時可能有較嚴重災情發生。

進一步應用水庫潰壩時下游不同淹水深範圍圖層，進行不同情境衝擊分析，針對淹水衝擊面向因子（淹沒面積、淹沒深度、淹沒設施等），經由 GIS 套疊與風險排序，提出優先防護建議，使用於災害應變措施情資研判。

圖 31 為石門水庫潰壩時下游不同淹水深範圍圖層。如從潰壩洪水淹沒下游之最嚴重情境研判，以桃園縣大溪鎮、新北市土城區、樹林區及板橋區受到洪水侵害程度最為嚴重，其中桃園縣大溪鎮最大淹水深度超過 12 公尺，新北市土城區最大淹水深度超過 9 公尺，樹林區之最大淹水深度超過 5 公尺，新北市行政中心之板橋區也有部分區域嚴重淹水，最大淹水深度達 4 公尺以上。



圖31 石門水庫潰壩下游不同淹水深範圍圖層

本研究針對石門水庫下游受災衝擊之脆弱度因子，建立衝擊警示主題圖提供全國災害管理平台展示應用。衝擊警示主題圖為風險管理分析重要之圖像化成果，結合了危害（包括強度與機率）及脆弱度因子，首先對資料進行數量上的演算，然後將風險資訊透過災害潛勢圖及區域脆弱度圖交叉分析後求得，經由 GIS 地理資訊系統以空間化的方式呈現。主題圖分析之脆弱度因子包括設施脆弱度、經濟脆弱度、社會脆弱度等面向，圖 7 至圖 10 為石門水庫下游受災衝擊主題圖，包括跨河橋梁、居住人口、家戶可支配所得、二級產業家數等。



圖32 主題圖:跨河橋梁



圖33 主題圖:居住人口



圖34 主題圖:家戶可支配所得



圖35 主題圖:二級產業家數

3.2 都會區地震災害之交通設施衝擊評估

回顧國內 921 集集地震與日本 311 地震災情，救災物資運送與避難動線規劃，有賴於道路系統的運作功能發揮，故在地震災後之與救災過程中，道路系統將衝擊整體防救災的成效。陳亮全等人指出道路系統於震災中主要可分為直接損害（道路系統本體受損）與間接損壞害（道路系統受到阻礙），道路直接損害類型為：道路斷裂、鐵路彎曲起伏、高架道路或橋梁斷落等，其成因主要為地盤隆起、搖撼、土壤液化等自然環境破壞，間接損壞型態計有：路面破壞、高架道路或高架橋因搖動之破壞、土壤液化災害、地震地滑、建築物破壞或倒塌災害、自來水管線斷裂所導致之道路關閉、天然瓦斯管線斷裂所導致之道路關閉..等（陳亮全等，2003）。都會區地震災害之道路系統交通設施衝擊評估因此，緊急道路系統在防災整體的規劃作業上，扮演了最關鍵性的角色。本節目的建立人為災害防治所需之重要技術，特別是重要基礎設施的災害衝擊評估，建立重要基礎設施災害管理資料庫，作為災害應變與減災管理需求之用，101 年工作為建置基礎設施災害管理需求之主題圖，建立大台北地區地震災害交通設施衝擊評估圖。

3.2.1 建立都會區交通設施基礎圖資

交通設施基礎資料主要分別進行軌道系統與道路系統資產與圖資建置，相關資料如下所示：

表11 交通設施_軌道系統資產清單

設施項目	設施元件	資料內容	數目	備註
台鐵	• 火車站	中心勤威圖資：車站名稱、點圖層	246	<ul style="list-style-type: none"> • 由NGIS平台，台鐵提供地震行車運轉S.O.P • 震度達五級強時停止運轉
	• 軌道線	線圖層		
高鐵	• 高鐵車站	中心勤威圖資：車站名稱、點圖層	8	<ul style="list-style-type: none"> • 由NGIS平台，高鐵提供地震停機/開通檢查判斷標準 • 地震偵測器偵測到地表加速度達40 gal以上(約芮氏4級地震)時，列車自動啟動煞車並停車
	• 軌道線	線圖層(全長345 km)		
台北捷運	• 捷運車站(含出口)	中心勤威圖資：車站名稱、點圖層	135	<ul style="list-style-type: none"> • 由NGIS平台，臺北捷運公司提供地震停機/開通檢查判斷標準 • 震度在4級(含)以上時，停車檢視系統設施、設備無異常後列車以半自動限速5公里/小時以下進站疏散旅客，系統暫停營運。 • 台北市捷運工程局提供各路線設計震度資料(0.23g,0.18g)
	• 軌道線	線圖層		

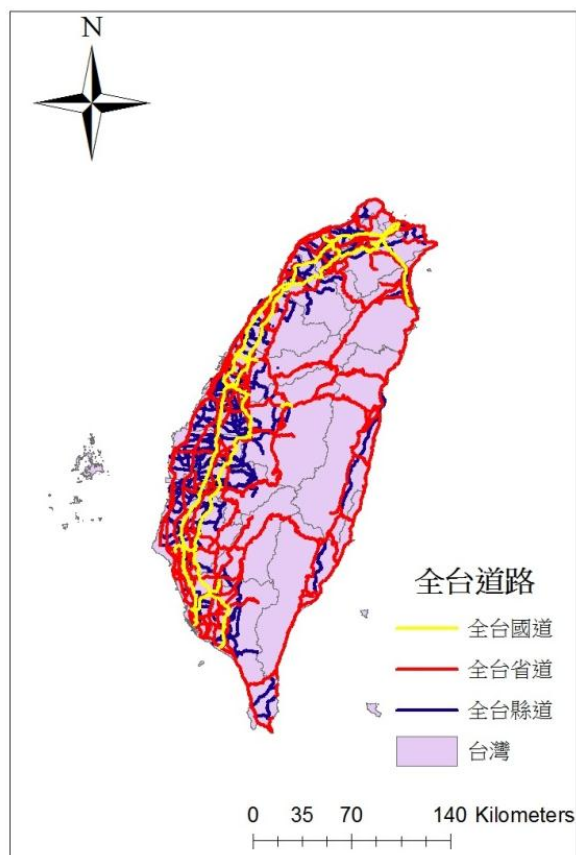


圖37 全台道路設施圖資

3.2.2 建立交通設施衝擊評估技術

以下基於都會區地震災害之交通設施衝擊評估需求，提出交通設施於防災管理評估案例（如圖 38 所示），相關流程與架構已初步完成規劃。

一、圖層套疊篩選方法

二、破壞分析評估方法

圖 40 顯示本方法架構，藉由引進易損性破壞分析，進一步提供設施服務水準等相關量化評估結果（如圖 41 所示），圖 41 顯示在 101 國家防災日演練情境下，臺灣北部地區山腳斷層錯動，引發芮氏規模 7.1 地震，北部地區最大震度 7 級，震央位置為新北市萬里區，造成基隆市、臺北市、新北市及桃園縣等地區大規模災害，相關行政區之道路服務水準推估。可提供相關防災決策與資源調度參考。

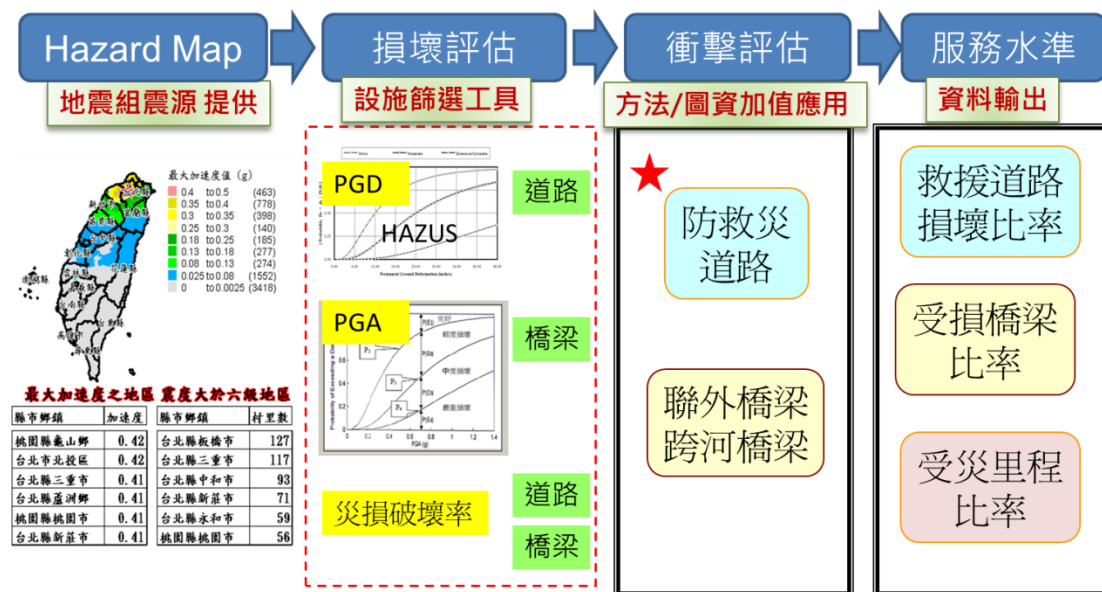


圖40 道路系統衝擊評估流程架構

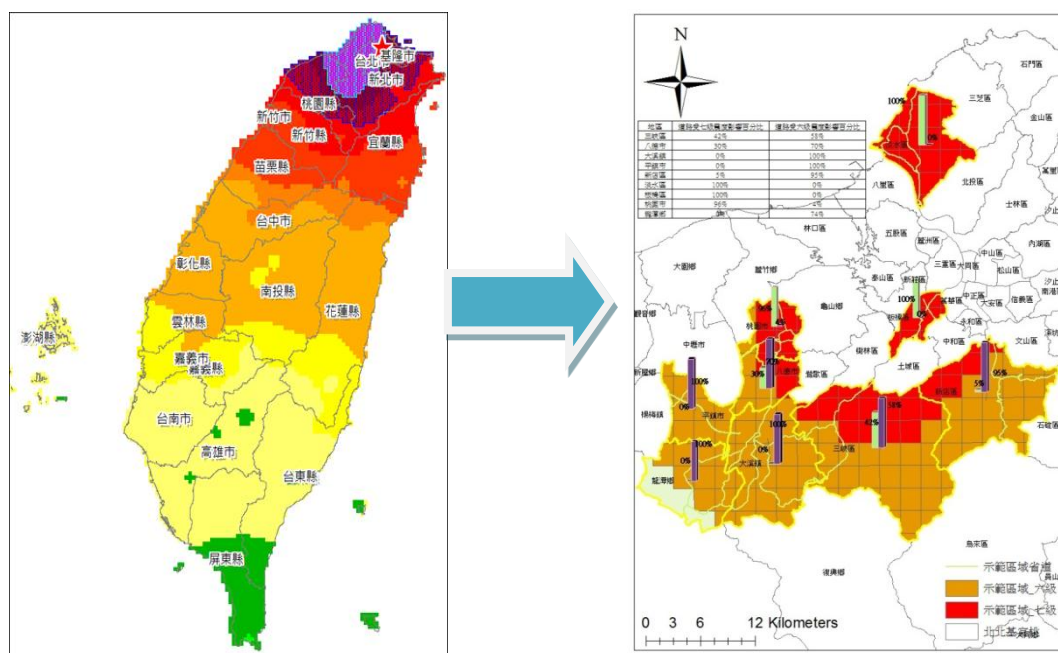


圖41 交通設施失效衝擊評估結果示範例

三、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 42 所示。

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	1 台 4 線 全線(雙向) 036K+090-036K+110 阻斷長度 20 m
省道	1	0	1	
代(自)養縣道	0	0	0	

2
台 4 停止運作水準%
=(停止運作量 / 正常運作量)
=阻斷長度/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%



圖42 道路及鐵路災情加值應用示範例(a)(b)

3.3 小結

- 一、本研究建立災害管理需求之重要設施基本圖資與資料庫，後續仍須持續更新及維護，另依據不同災害外力類型，所產製之防災管理主題圖，將俾利於設施防災管理需求。
- 二、淹水潛勢圖套疊設施圖資之加值應用可初步瞭解受災潛勢風險，俾利提供防護計畫檢討及減災措施制訂參考依據。
- 三、都會區地震災害之交通設施衝擊評估尚屬開發階段，針對防災道路於災害管理上之重要性，配合大規模地震情境想定，相關衝擊評估技術開發急待建立。

第四章 系統相依性分析技術

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，亦即若該項設施單元失效將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與確認模式之可行性外，並進行大台北地區之供電系統評估、都市系統運作與基礎設施模型、與系統相依性分析技術－停止運作水準模型之應用程式（有關停止運作水準模型 IIM, Inoperability I-O Model，請參閱國家災害防救科技中心蘇昭郎等人（2011）所著 100 年度技術報告-T33）等工作，以下將此三項工作重點與產出分述說明。

4.1 大台北地區之供電系統評估

101 年度擬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（Critical Infrastructure）系統相依性分析。

電力系統主要是由發電系統、輸電系統與配電系統結合而成，供電系統為發電廠與用戶間的橋樑，是電力系統的動脈，由綿互全省的輸電網路與變電所所組成。以台電輸變電系統架構為例，由水力、火力或核能等發電廠所產發的電能，為了能達到遠距離的長遠輸送及減少輸送過程中的電力損失，發電廠產生之交流電源，先經由開關場把電壓昇壓到 345kV，再經由 345kV 超高壓輸電線路輸送到超高壓變電所（Extra Substation, E/S），經超高壓變電所 345kV/161kV 降壓後除供給 161kV 特高壓用戶，部分電力再經由 161kV 特高壓一次輸電線路輸送到一次變電所（Primary Substation, P/S）經一次變電所 161kV/69kV 降壓後除供給 69kV 特高壓用戶外，部分電力再經由 69kV 特高壓二次輸電線路輸送到二次變電所（Secondary Substation, S/S），經二次變電所及一次配電變電所（Distribution Substation, D/S）降壓供給高壓配電用戶。（台灣電力公司全球資訊網，2012）

鑒於供電系統之正常運作，係維持國家發展與人民生活的重要基礎設施。本

專案 101 年度擬進行供電系統之相依性分析，並與 P8-1 之研發結合，進行地震災害衝擊下，大台北地區供電系統失效之災害衝擊評估，研究流程如圖 43 所示，說明如後。



圖43 供電系統災害衝擊評估之研究流程

4.1.1 系統範疇確定

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，本研究界定大台北地區供電系統範疇如圖 44 所示。



圖44 大台北地區供電系統範疇界定

系統範疇界定之原則，以大台北地區（北北基）行政區為主，將行政區內之發電、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，作為大台北地區供電系統範疇的界線，圖 44 紫色虛線以北之區域即為本研究界定之系統範疇。

4.1.2 系統分析與建模

針對大台北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雛型系統。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 13 所示。

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（下節說明）與電力潮流分析，評估大台北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13 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 (CDCC)
	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

4.1.3 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 14。

1. 情境一：地震災害

參考「101 年國家防災日地震災害狀況推演」情境，臺灣北部地區山腳斷層錯動，引發芮氏規模 7.1 地震，北部地區最大震度 7 級，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。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)。本情境假設因地震災害造成汐止 E/S、頂湖 E/S 失效，如圖 45

所示。



圖45 情境設定(1)_地震災害

2. 情境二：颱風災害

假定 OO 颱風在大台北地區造成強降雨，暴雨強度達 24 小時 600 毫米，部分供電設施可能位於淹水潛勢區。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。因此本情境假設因颱風災害造成蘆洲 P/S、大安 P/S 失效，如圖 46 所示。

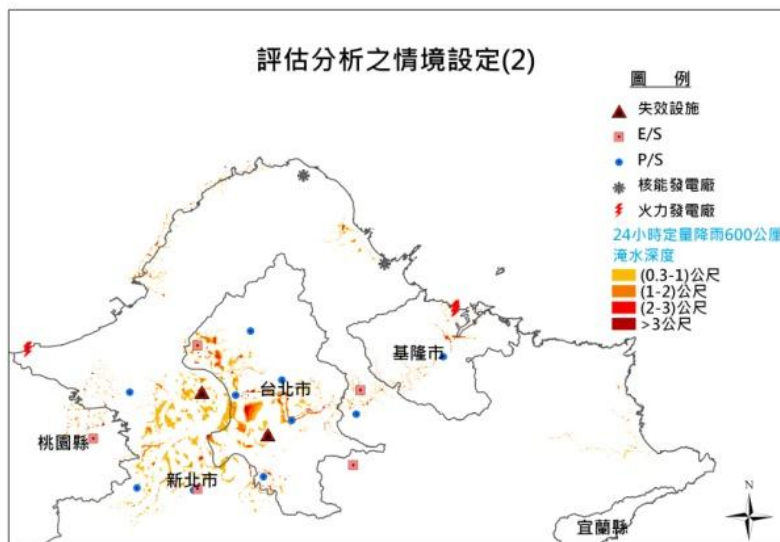


圖46 情境設定(2)_颱風災害

3. 情境三：供電危機

根據報載（自由時報，2012），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。因此本情境假設因核一、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，如圖 47 所示。

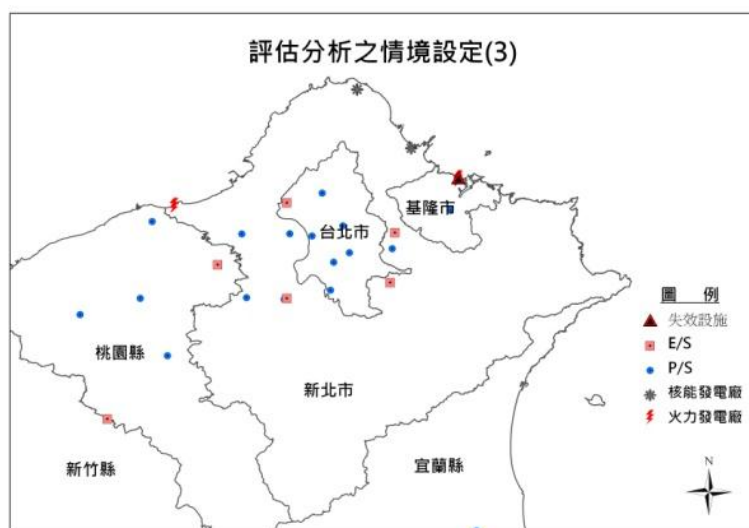


圖47 情境設定（3）_供電危機

4. 情境四：人為攻擊

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，將中南部多餘的電送往大台北。因此，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。因此本情境假設龍潭北 E/S、龍潭南 E/S 遭受攻擊而失效，如圖 48 所示。



圖48 情境設定（4）_人為攻擊

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。

表14 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	可能影響及後果
1	地震災害：北部地區山腳斷層錯動，引發芮氏規模 7.1 地震	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。
2	颱洪災害：颱風侵襲大台北地區	蘆洲 P/S 大安 P/S	造成新北市蘆洲區約 106727 戶、台北市大安區用戶停電。
3	供電危機：核一、核二廠預備除役，協和火力廠關廠	核一廠 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 2827MW、北東電網電源不足 1461MW。
4	人為攻擊：遭受人為惡意攻擊（縱火）	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%。

資料來源：本研究整理

4.1.4 供電系統之衝擊分析

根據本研究設定之情境，協請台灣電力公司電力調度處進行電力潮流分析，以了解各種災害情境下，對大台北地區供電系統造成之衝擊。系統衝擊分析建立於兩個假設基礎：(1) 以 101 年系統最高負載（101/7/11）為基礎，當日系統概況為：北部負載總量（需電量）13138.42MW，北部機組發電量總和為 10965.78MW，中送北電量為（南電北送）2172.64 MW；(2) 供電網路複雜（電力調度流量、流向均隨時間變化），將大台北供電系統簡化為數個子系統，以評估設施失效之衝擊，如圖 49 所示。

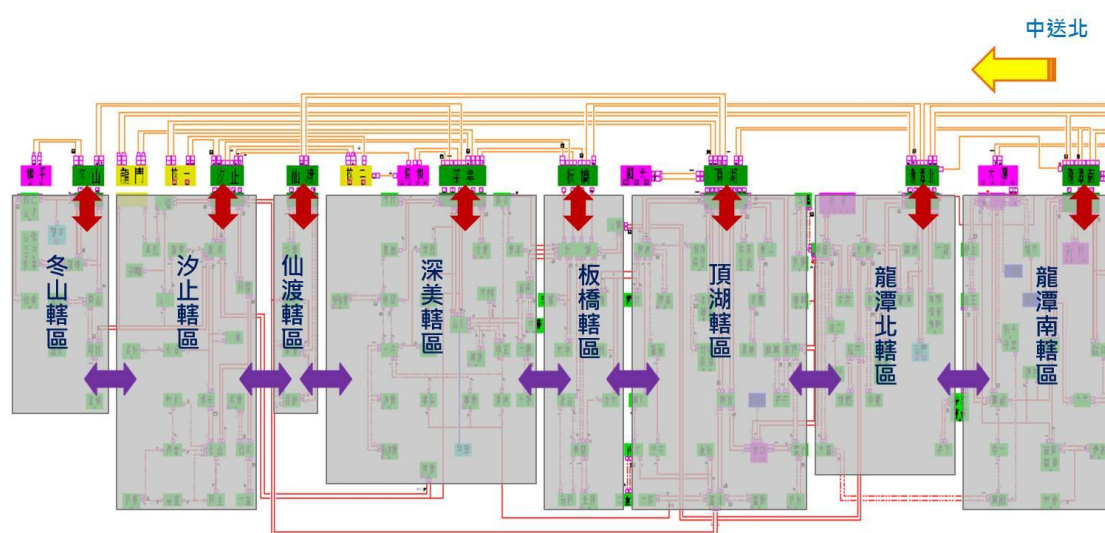


圖49 大台北地區供電系統簡化圖

北部供電系統四種災害情境之系統衝擊分析結果分別說明如下：

1. 情境一、地震災害

系統正常時，汐止轄區負載主要由汐止 E/S 主變壓器、坪林~南港~茄荖線、坪林~南港~龍門線、仙渡~蘭雅線及仙渡~百齡線供電，如圖 50 所示。

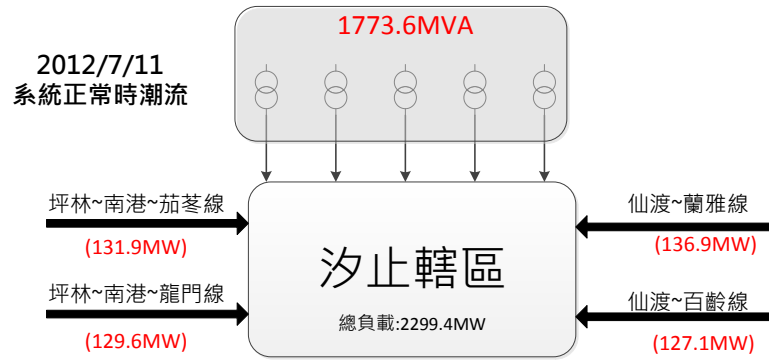


圖50 汐止轄區系統正常時潮流圖

當發生汐止 E/S 全停電時，汐止轄區僅剩坪林~南港~茄荃線、坪林~南港~龍門線、仙渡~蘭雅線及仙渡~百齡線供電，合計供電能量降為 1280MW，預計事故後汐止轄區約有 1019.4 MW 負載無法供電，如圖 51。



事故後預估有1019.4MW負載無法供電

圖51 汐止轄區系統事故後潮流圖

頂湖轄區負載主要由頂湖 E/S 及林口電廠供電，轄區總負載約 3362.4MW，系統正常時之潮流圖如圖 52 所示。

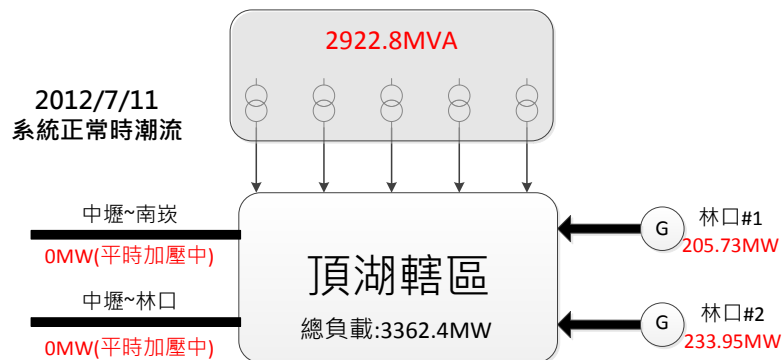


圖52 頂湖轄區系統正常時潮流圖

當發生頂湖 E/S 345kV 全停電時，頂湖轄區負載僅剩林口電廠提供約 526.6MW 供電量，預計事故後約 2835.84MW 負載無法供電，若林口電廠因頂湖事故一併跳脫，則有 3362.4MW 負載無法供電，系統事故後之潮流圖如圖 53 所示。

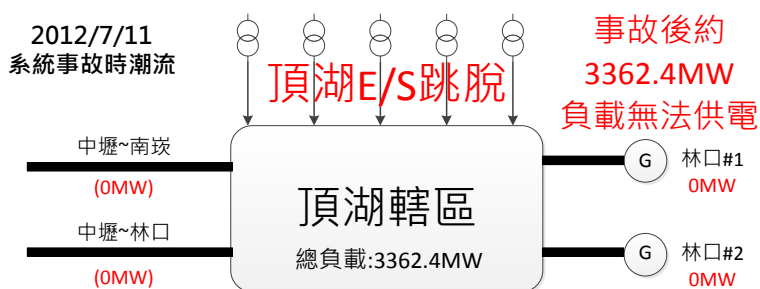


圖 53 頂湖轄區系統事故後潮流圖

若事故後併用中壢~南崁及中壢~林口線約可提供 880MW 供電量，預計事故後卸載量可降至 2482.4MW，事故後併用中壢~南崁及中壢~林口線之潮流圖如圖 54 所示。

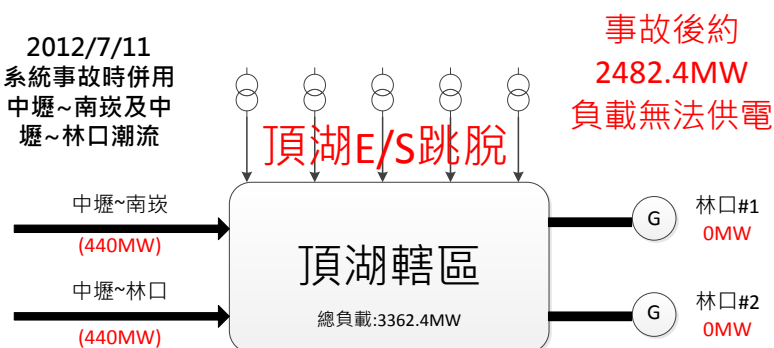


圖 54 併用中壢~南崁及中壢~林口線後頂湖轄區潮流圖

2. 情境二、颱風災害

蘆洲地區總負載約 360.2MW，轄區內有蘆洲~灰瑤紅、白線及蘆洲~社子線相連接，蘆洲轄區系統圖如圖 55 所示。

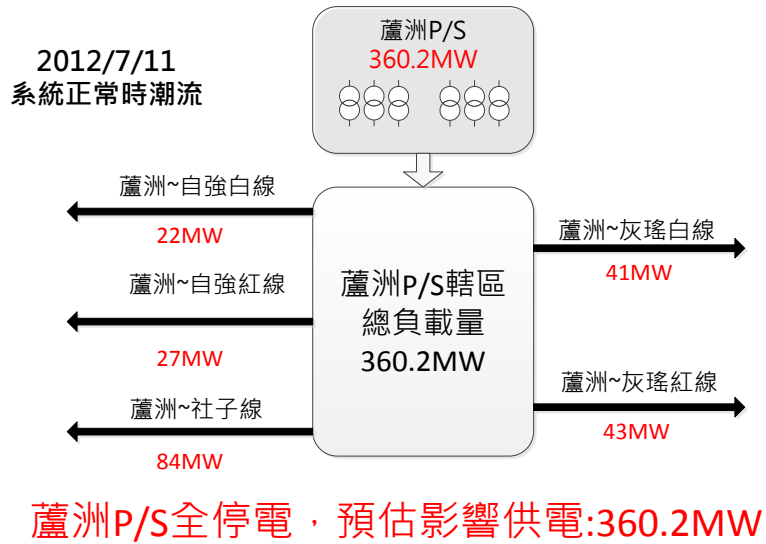
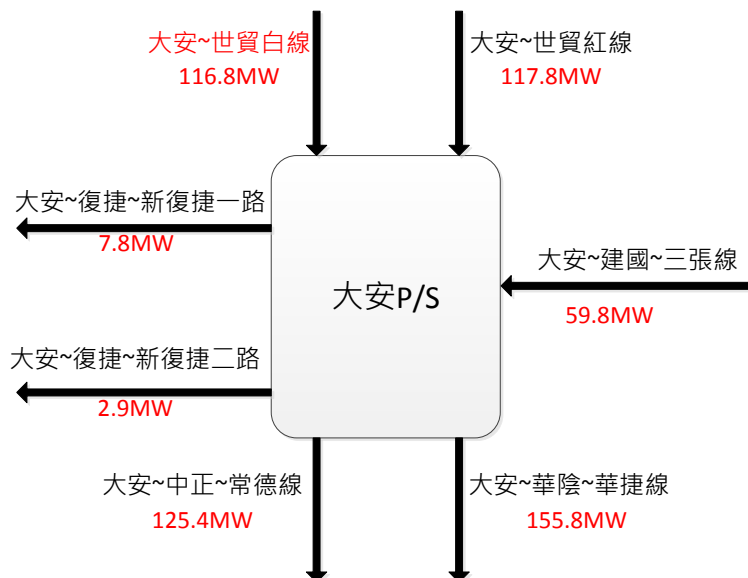


圖55 蘆洲轄區系統圖

蘆洲轄區雖與 69kV 系統相連接，但若發生蘆洲 P/S 全停電事故時，受限於 69kV 系統線路容量不足之因素，蘆洲轄區內負載無法全部改有其他轄區供電，預估將影響供電約 360.2MW。

大安 P/S 轄區系統如圖 56 所示，主要由大安~世貿紅、白線及大安~建國~三張線供電，若發生大安 P/S 全停電事故，將造成復捷、新復捷、華陰、華捷及常德等藉由大安 P/S 供電之變電所全停電，預計影響供電約 291.9MW。



大安P/S全停電，預估影響供電:291.9MW

圖56 大安轄區系統圖

3. 情境三、供電危機

上述機組尚未除役前，北部機組總供電能力為 13127.5MW，當核一、核二廠除役及協和火力電廠關廠後，北部機組總供電能將降為 8076.5MW，若以今年最高負載當日之系統狀況為分析背景，當日北部地區總負載為 13138.42MW，分別由北部機組及中送北 345kV 超高壓主幹線供電，正常時之潮流狀況如圖 57 所示

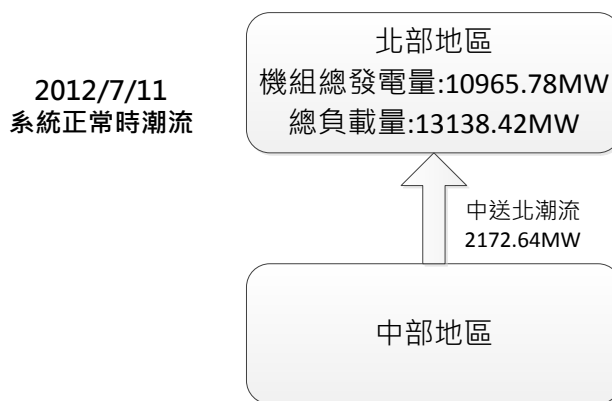
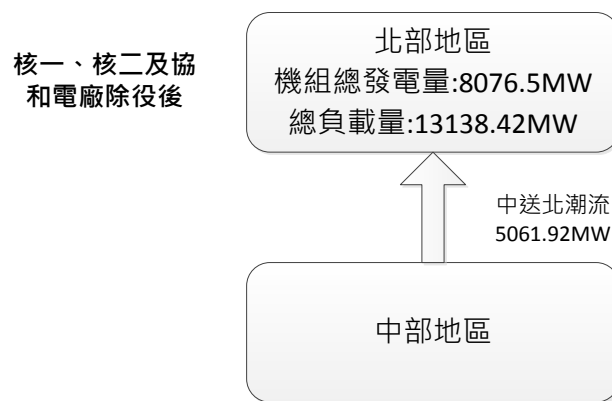


圖57 以 101 年北部供電系統最高負載日為系統潮流狀況的背景基準

核一、核二廠除役及協和火力電廠關廠後，北部地區不足之電源將由中送北 345kV 超高壓主幹線提供，預計中送北潮流量將達 5061.92MW，以彌補北部電源缺口，此潮流量低於中送北潮流 N-0 限制，因此在線路均正常狀況下並無線路超載，惟此潮流已超過線路 N-1 及 N-2 安全限制，若超高壓線路再發生一條線路跳脫 (N-1)，則北部地區須進行限電，限電量約 861.92MW，若發生 345KV 同鐵塔兩路跳脫，則限電量約 2961.92MW，相關核一、核二廠除役及協和火力電廠關廠後之潮流圖及中送北潮流限制分別如圖 58 及表 15 所示。



除役後，北部電源缺口:5061.92MW

圖58 核一、核二廠除役及協和火力電廠關廠後之潮流圖

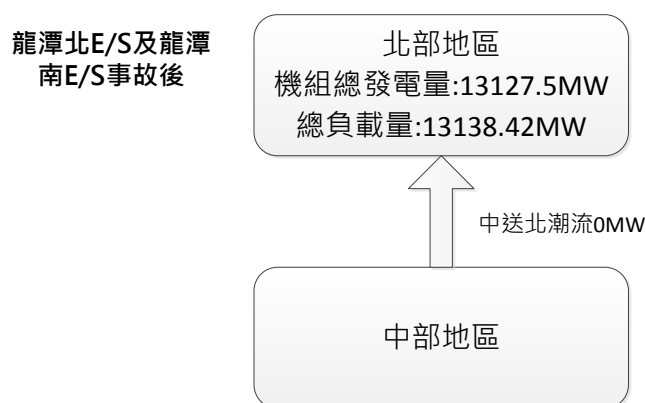
表15 101年中送北及南送中潮流限制表

系統情況 系統區間	中送北、南送中最大輸電能力(萬瓩)			
	N-0	N-1	N-2 同鐵塔	N-2 不同鐵塔
中送北	650	420	210	220
南送中	640	460	350	390

4. 情境四、人為攻擊

龍潭北 E/S 及龍潭南 E/S 遭受人為惡意攻擊 (縱火) 將造成大台北

地區形成孤島系統，南電無法北送，若以今年最高負載當日之系統狀況為分析背景如圖 57 所示，當日北部地區總負載為 13138.42MW，北部機組總發電量為 10965.78MW，中送北潮流為 2172.64MW；當事故發生時，中送北潮流量 2172.64MW 需全部轉由北部機組提供(如圖 59 所示)，目前北部機組總供電能力為 13127.5，若再加上輕油氣渦輪機組約可滿足北部負載用電，然受限於機組升降載速度及啟動併聯等運轉限制，於事故發生時低頻電驛仍須先卸載約 2172.64MW，待機組啟動併聯後才可解除限電，倘若北部負載持續增加，而北部機組並未增建，則事故發生時低頻電驛之卸載量將提高。



事故後，北部電源缺口:10.92MW
緊急啟動核一、核二氣渦輪機
預估可滿足北部地區負載量

圖59 龍潭北 E/S 及龍潭南 E/S 事故後北部系統潮流圖

綜合上述四項災害情境系統衝擊分析，大台北地區供電系統可能受的直接衝擊如表 16 所示。由下表可知，四項災害情境，對大台北地區供電系統整體衝擊最大的是供電危機，若核一、核二除役，協和關廠，北部機組總供電降為 8076.5MW (減少 38.4%)，北部地區供電缺口 (計 5061.92MW) 須由中送北補足，勉強可供電；倘若超高壓線路再發生一條線路跳脫 (N-1)，則北部地區須進行限電，故供電不足是目前大台北地區供電系統是否穩定的最關鍵因素。而根據地震、颱風災害造成部分 E/S 或 P/S 受損，亦會造成地區性的停電限電問題，E/S 損壞對整體供電系統之衝擊大於 P/S。至於人為攻擊龍潭北 E/S、龍潭

南 E/S 之情境，雖因龍潭北 E/S、龍潭南 E/S 失效，造成中送北潮流阻斷，但藉由完善的電力調度，大台北地區供電缺口可減至 10.92MW，影響不大。

表16 大台北地區供電系統衝擊分析

情境設定	外力	受衝擊設施	可能直接衝擊
1	地震災害	汐止 E/S 頂湖 E/S	汐止 E/S 失效，造成汐止轄區(基隆市、新北市汐止區、台北市南港區)缺電 44.3%。 頂湖 E/S 失效，造成頂湖轄區(新北市部分地區)缺電 73.8%。
2	颱風災害	蘆洲 P/S 大安 P/S	蘆洲 P/S 失效，受限於 69kV 系統線路容量不足，無法由其他轄區供電造成蘆洲轄區(新北市蘆洲區)缺電 100%。 大安 P/S 失效，造成復捷、新復捷、華陰、華捷及常德等變電所停電，缺電 291.9MW (100%)。
3	供電危機	核一廠 核二廠 協和火力廠	核一、核二除役，協和關廠，北部機組總供電降為 8076.5MW(減少 38.4%)，北部地區供電缺口(5061.92MW)須由中送北補足。
4	人為攻擊	龍潭北 E/S 龍潭南 E/S	龍潭北 E/S、龍潭南 E/S 失效，造成中送北潮流阻斷，先卸載 2172.64MW(暫時缺電 16.5%)，此時北部機組提升供電量，供電缺口減至 10.92MW。

4.2 系統相依性分析技術－停止運作水準模型之應用程式

本專案與中央大學周建成教授研究團隊合作，依照停止運作水準模型理論方法（IIM, Inoperability I-O Model，有關 IIM 請參閱國家災害防救科技中心蘇昭郎等人（2011）所著 100 年度技術報告-T33）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 60 所示。

	A	B	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AM
1		Monte Carlo	設施	設施	設施	14.25	0	0	0	1.20425
2		計算 (單次)	17	18	19	8.375	0	0	0	1.0105
3	1	設施 1	0	0	0	6	0	0	0	0.82125
4	2	設施 2	0	0	0					
5	3	設施 3	0	0	0					

圖60 IIM 法分析程式

程式共有六個區域，三大功能，第一區為程式功能區，除 IIM 法計算結果外，研究團隊也新增兩項模擬功能，詳細說明如後。第二區為程式在計算後，將依指定的條件排序設施的重要性，結果置放於此。第三區為設施因外力攻擊最終平衡後，每個設施的狀態值，在 IIM 的定義下，1 表示設施完全停轉，0 表示設施正常運作。第四區為外力攻擊系統的各設施之初始向量，值域與前述相同。第五區為計算用欄位，程式新增功能必須使用到。第六區為 IIM 法相依矩陣資料的置放區。

程式第一區之「計算（單次）」功能為將第四區的外力初始向量與相依矩陣為輸入值，計算第三區各設施最終狀態為輸出值，計算的方法則仿照 IIM 法。

第一區之「計算最大影響外力」功能，為假設外力會攻擊某一設施，使之完全失效，並假設每個設施失效對整體系統影響程度一樣，求得哪一個受到外力攻擊的設施，將使得系統整體失效程度最大。本功能輸出在第二區，以本系統為例，程式輸出：「1(14.25),12(11),13(11),2(8.375),3(6),14(4),7(3),9(3),8(1.75),10(1.25),4(1),5(1),6(1),11(1),15(1),16(1),17(1),18(1),19(1)」。

表示若設施 1 受外力攻擊停轉，整體系統失效程度為 14.25，排序第一名；若設施 12 受到外力攻擊停轉，整體系統失效程度為 11，排序列第二名，餘此類推。

第一區之「Monte Carlo」功能，為執行蒙地卡羅模擬分析，需要兩項已知參數：(1) 外力一次最多可攻擊多少設施，以 K 表示；(2) 模擬多少次的外力攻擊，以 J 表示。本功能可求得保護何種設施，在各式各樣的外力攻擊下，使其可持續運作，將使整體系統失效最小。本功能可謂尋找出最牽一髮動全身的設施，並將之保護，如設置防火牆、備源設施等防護設施，使得該設施的功能可一直提供，以至於整體系統失效最小。程式首先依照參數隨機產生各式各樣外力攻擊的腳本，假設外力攻擊一開始造成 1 至 K 項設施停轉，對每個腳本而言，先計算出原始系統整體失效度為 $d0scenario$ ，然後一一改變每設施的相依矩陣，相當於為每設施設置防火牆使得相依性效應無法擴散，然後求得此狀況下系統的整體失效程度 $di,scenario$ ，原則上 $d0scenario - di,scenario \geq 0$ ，指保護某設施將使整體系統失效變小。 $d0scenario - di,scenario$ 可謂保護某設施的成果，程式將結果顯示在第二區，以某系統為例，若 $K=6$ 、 $J=100$ ，程式將顯示 100 次的攻擊腳本詳細資料，如：「1(4,1,) 2(2,3,25,)...」，代表第一次攻擊設施 4 與設施 1，第二次攻擊設施 2、3、25 等。程式將輸出平均保護各設施後的 $d0scenario - di,scenario$ 值，如本例輸出

「12(1.85625),2(0.92375),1(0.885),3(0.7225),13(0.71),14(0.3725),7(0.220625),9(0.09),8(0.031875),10(0.0275),4(0),5(0),6(0),11(0),15(0),16(0),17(0),18(0),19(0)」，代表保護設施 12 成效最大，其次為設施 2、1、3 與 13 等。由上述結果可知，設施 12 在整體系統扮演牽一髮動全身角色，因為無論外力攻擊何種設施，保護設施 12 均可有顯著的效果，可防止擴散效應發生。

4.3 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。

有關基礎設施的災害損失評估的流程如圖 61 所示。災損評估依照災害管理的需求，有不同程度的評估深度：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，而前兩項損壞評估與衝擊評估即為 P8-1 的主要內容。

一般災害損失評估的程序依其評估的目的與項目不同，可分為（元件）、衝擊評估（系統）、情境分析（人的情境）與社經評估（整體）等四項，然後進行災損評估計算。前兩者是物的評估，分別是單一系統元件的損害評估與系統相依性評估，為本計畫的主要工作項目；後兩者屬物與人的綜合評估，加上人的因素較為複雜，包含二次衝擊的災損評估所需要。

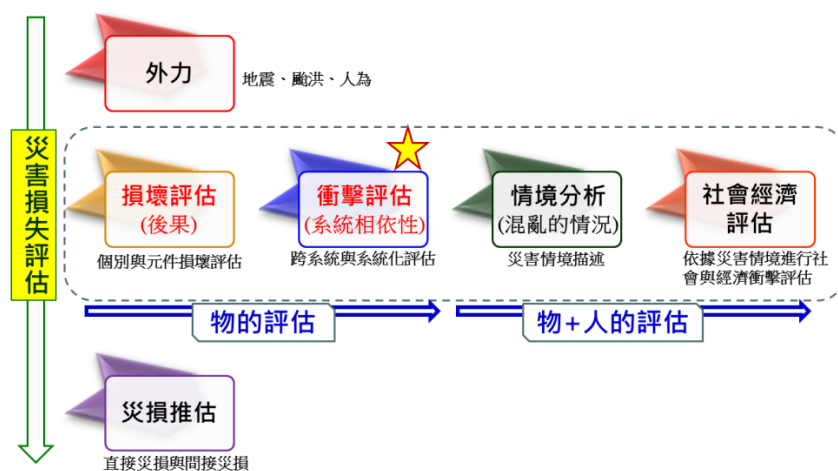


圖61 災害損失評估之程序

都市是一個複雜的動態系統，各項基礎設施扮演著維持這個都市動態系統的重要關鍵角色，此都會系統中存在著所謂系統中的動態系統 (dynamic system of systems)，隨著都會系統的發展與建設，其基礎設施子系統也越來越趨向複雜，

往往各設施子系統均各自規劃與發展，形成自成一格的系統化設施，都市環境就是由不同系統化設施所組成的基礎設施系統所共同支持。因此，都市中的基礎設施具有各自獨立管理又相互依存的關係，往往一個關鍵基礎設施，會造成其他基礎設施的服務中斷，社會經濟受到嚴重衝擊。(蘇昭郎等人, 2011)

4.4.1 支持都市系統運作的指標

一、都市規劃與區域系統

都市及區域系統內容包羅萬象，要選定支持都市系統運作的指標，可從不同角度來思考。對都市規劃者而言，都市系統可分為兩個部分：社會經濟活動以及實質環境。社會經濟活動為滿足其活動目的，對實質環境將產生各種需求，譬如：居住活動就會產生住宅的需求。而實質環境的狀況則會引導社會經濟活動的發生，譬如：購物中心的設置就會引導購物的活動。同時，各種社經活動之間以及各種實質環境之間也會產生互相影響的互動效果。因此，為了有系統地表達與探討這種複雜的影響關係，都市及區域規劃者一般將整個都市系統區分為數個部門，通常區分為屬於社經活動的「人口」與「產業」，以及屬於實質環境的「土地使用」、「交通運輸」與「公共設施」等五個基本部門進行分析，至於「其它」部門，可包括環境、觀光遊憩、財政部門等。(馮正民、林楨家, 2000)

吳信輝(2001)歸納我國區域計畫與都市計畫主要著眼的實質部門有三：土地使用、交通運輸與公共設施，這些實質部門會受到非實質部門所影響，例如：社會、經濟產業、財政與政策。由於生態保育觀念日益受到重視，環境保育漸漸被納為實質部門來討論。馮正民等人(2002)將都市整體部門架構區分為三個實質部門：土地使用(含公共設施)、交通運輸、環境保育，以及四個非實質部門：政策、經濟產業、財政、社會，並應用模糊認知圖法與專家意見，探討部門間的影響關聯，包括實質部門間的關聯及非實質部門與實質部門間的關聯。

黃書禮等人(1997)認為都市應朝向兼顧環境、社會與經濟等三個層面

的永續發展，由都市生態經濟系統觀念建立永續發展指標系統。指出都市系統是一都市生態經濟系統的主體，都市除仰賴自然環境所提供之維生服務為其資源基礎外，亦須透過都市系統中各部門協調與合作始得以持續發展。因此，都市系統包含人口、交通、土地使用、環境品質、教育文化、衛生醫療、安全、社會福利等部門之發展，以表示都市整體發展之合理性與永續性。

綜合前述，支持都市系統運作的實質部門大致歸類為：土地使用、交通運輸、公共設施（含衛生醫療、安全）、交通運輸、環境等部門。因此，本文探討災害思維下支持都市系統運作的基礎設施模型，即可依照支持都市系統運作之部門，選定相應之基礎設施進行模型構建與分析。

二、城市競爭力

本節比較各主要國家關鍵基礎設施研究、國際間各項城市競爭力指標，以全球化現代化城市競爭及城市管理角度，探討支持都市系統運作與生活品質的相關指標，彙整說明如下。

在全球化的今日，一個具有國際觀全球化的都市已經比國家整體思維，較為當前全球人類所重視。而一個具國際觀全球化的都市需要具備那些特性？依據國際城市指標報告（The Global Power City Index），具有五大面向：商業活動（30%）、人力資源（30%）、資訊交換（15%）、文化經驗（15%）與政治參與（10%）等，共計 25 項指標項目。其中強調包括經濟、研發、文化互動、生活度、環境、可及性等都市生活品質項目，以及支持這些指標項目的基礎設施扮演著相當重要的角色。（MMF, 2011）

全球化後都市的生活品質已經成為國際公司雇員往來各城市間差旅補貼的重要指標，Mercer LLC. 提出可以用 14 項參數來計算員工在不同都市生活的補償；並以包含政治社會環境、經濟環境、社會文化環境、健康衛生、學校教育、公共服務與交通、娛樂生活、消費物品、住宅、天然環境等，10 大類 39 項指標參數來做為不同都市生活品質的評比報告（Quality of Living Survey），其中許多項目均與基礎設施有關。（Mercer, 2011）

當前國際競爭力之評比，以世界經濟論壇（WEF）及瑞士洛桑管理學院（IMD）所發佈之競爭力年報二者最具代表性及公信力，然觀察其各家的競爭力評比指標項目，基礎設施的服務均在各評比項目中居最重要的指標因子，或是關聯性最高的指標因子。

臺北市政府主計處自 2006 年起針對國際都市統計指標資訊進行蒐集彙整，其指標項目共計 13 類 45 項指標，內涵包括土地人口、婚育概況、勞動就業、教育文化、工商財經、公共建設、交通運輸、社會治安、公共安全、醫療衛生、環境保護、家庭生活、與政府服務等，其中與基礎設施服務有關的內容就佔一半以上。

世界衛生組織（World Health Organization, WHO）面對全球一半以上的人口居住在城市中，到 2050 年，全世界城鎮人口將占總人口的 70%。為因應未來的巨大挑戰，城市可以採取什麼措施？其中所提出五項策略多與基礎建設有關，主要在於改善人的生活環境，特別強調支持城市生活品質的重要基礎設施。（WHO, 2010）

- 在城市規劃中促進健康行為和安全。
- 改善城市生活環境，使人人都能享有適當住所和環衛設施。
- 基層社區參與地方決策。
- 確保城市生活方便，適於老年人居住。
- 增強市區對付突發事件和災害的能力。

三、支持都市系統運作之基礎設施

Chang（2009）提出未來都市的基礎設施面臨三項挑戰：系統相依性、複合災害與永續性的挑戰。聯合國教科文組織（UNESCO）在 2010 年上海世界論壇中，倡議應以建立可持續、具有包容性和創意城市為目標議題，對於都市的永續發展應強調基礎設施的重要性，特別是維生管線持續營運的重要性。

American Lifelines Alliance (ALA) 美國維生管線聯盟針對天然災害所造成維生管線設施系統的危害，訂定相關防護標準與準則，共有十項系統設施：油品生產系統、天然氣系統、水系統（供水與原水）、污水系統、電力系統、通訊系統、港口與陸上水路、公路與道路、鐵路、以及建築與機電元件等。(ALA, 2004, 2005)

美國加州舊金山市 (San Francisco) 有鑑於基礎設施的重要性，特別針對維生基礎設施進行耐震防災的系統性強化，並參考 ALA 的建議，選定九項重要設施：包括水及污水系統、電力系統、天然氣、通訊、公路與道路、港口與水路、捷運系統、鐵路、以及機場等設施項目。(SPUR, 2009)

加拿大亞伯達省艾德蒙頓市 (Edmonton, 2011)，認為維持城市發展的重要關鍵是如何提升老化或過時的基礎設施，以延長其服務與可靠性，並持續投入與都市成長相關的新設施。對於提升基礎設施項目則有下列 12 項基礎設施，包括排水、道路、公園、捷運、建物、船運、交控系統、體育設施、合宜住宅 (affordable housing)、廢棄物處理、高科技設備、與其他等設施系統。

美國 FEMA 所發展的 Hazus - MH MR5 以數值模擬的方法提供震災境況模擬分析，探討在模擬地震作用下各地區的地震災害潛勢、結構物損害程度與數量、人員傷亡和經濟損失等的推估值。主要可分為地震災害潛勢分析、工程結構物損害評估、地震引致二次災害評估、與社會經濟損失評估等四個主要評估模組。其中，工程結構物依其用途和功能的不同，大致分為一般建築物、重要設施、交通系統和維生系統等四大類。(FEMA, 2010) 有關 Hazus - MH MR5 直接實體損壞的評估項目整理如表 17。

內政部建築研究所推動都市防災空間系統手冊，希望透過都市防災系統的規劃，以保障災時生命財產的安全。該都市空間規劃主要是以 TELES 作為災損模擬，強調預先規劃可作為避難使用的空間，包括防災避難圈、防救災據點、防救災設施、避難收容所、避難路線等相關規劃項目 (何明錦，2007)。

表17 HAZUS - MH MR5 直接實體損壞的評估項目

分類		主要項目
一般建築物 General Building Stock		住家、商業、工業、農業等相關建物
重要設施 Essential Facilities	防救災重要設施	政府、醫院、警察、消防隊、避難場所、學校、知名重要設施
	高損失 (HPL) 設施	核電廠、水庫、軍事設施 (High Potential Loss, HPL)
運輸系統 Transportation Systems		高速公路、鐵路、捷運、公車系統、港口、船運、機場、橋梁、緊急救援道路
維生系統 Lifeline Utilities Systems		電力系統、自來水系統、通訊系統、燃料油、天然瓦斯、污水系統

綜合上述各項支持都市系統運作的指標項目，實際在各國都市的特色內容並不完全相同，因此對於一個支持都市系統運作的基礎設施項目的選定須因地制宜，依各都市的系統運作需求來選定。

4.4.2 設施系統的相依性

基礎設施系統間相依性分析技術在目前研究上尚屬基礎發展階段，過去文獻多僅針對容易量化之實體脆弱度進行關聯性分析，如關鍵基礎設施關聯性模型所探討之物理性、資訊性、地理性與邏輯性關聯等 (Rinaldi et al., 2001)；或 Pederson et al. (2006) 將社會性納入整體考量；或國家災害防救科技中心依災害因果關係推衍所發展的災害衝擊鏈 (Impact Chain) 方法等 (NCDR, 2012)，但仍缺乏以系統概念探討脆弱度因子間，尤其是針對都會基礎設施的運作與社會功能間的整體性、功能性及循環性等關聯性模型均不易完整建構。

基礎設施的相依性模型主要是在分析及了解基礎設施可能的互動關係、避免損害擴大及作為基礎設施防護的決策與效能評估之用，在不同的觀點所使用的研究方法與結果相差甚大，甚至不同設施別的系統，模型運用上也有很大的差異。對於基礎設施系統相依性模式的應用，本文主要是採用 Haines 教授等人 (2001, 2005) 提出以 1973 年諾貝爾經濟獎得主 Dr. Wassily Leontief 之投入產出 (Input-Output) 模型為基礎的關鍵基礎設施相依性模型，稱做 (Inoperability

Input-output Model, IIM)。Santos et al. (2006, 2008) 曾應用 IIM 於基礎設施系統相依性與產業經濟的衝擊影響。NCDR (2012) 應用 IIM 模式技術於重要工業區設施系統的相依性分析。蘇昭郎等人 (2011) 以都市系統選定變電供電系統、供水系統、公路系統、醫院及零售業等 5 項設施與服務系統為例，應用 IIM 模式說明在災害衝擊下，都市系統運作與基礎設施間的相互影響性。

本研究持續以 IIM 模式為理論基礎，建立矩陣模型與求解工具，期能將之應用於都會區公共基礎設施與服務資源之系統相依性模型的描述。有關 IIM 技術的基本理論並不在本文討論範圍，詳細內容請參考上述相關文獻。在此僅定義基礎設施的停止運作水準 (inoperability)，係指該設施單元、產業或經濟體無法進行生產活動或提供服務的程度，此處設定為 0-1 的任何數值，0 代表系統無失誤的正常運作，1 代表系統完全無法操作。例如某設施單元的停止運作水準為 0.2，則代表該設施單元僅能提供服務的能力為 80%，有 20% 的能力是失效的。

定義基礎設施相依性的投入產出模型如式 (1) - (3) 所示。

$$X = AX + C \quad (1)$$

$$X = (I - A)^{-1} C \quad (2)$$

就基礎設施系統的相依性而言， A 為系統關聯矩陣，代表每項子系統間的相互關係，以 $n \times n$ 矩陣表示之； X 為系統的產出矩陣，為子系統間的相互關聯特性，以各子系統的停止運作水準表示； C 為投入矩陣(即外力)，以各子系統受衝擊後的停止運作水準(失效)表示。

$$\underbrace{\begin{bmatrix} X \\ i \\ \vdots \\ k \end{bmatrix}}_{\text{產出矩陣 } X} = \left(I - \underbrace{\begin{bmatrix} A_{in} & A_{\dots} & A_{im} \\ jn & \dots & jm \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ kn & \dots & km \end{bmatrix}}_{\text{系統關聯矩陣 } A} \right)^{-1} \underbrace{\begin{bmatrix} C \\ i \\ \vdots \\ k \end{bmatrix}}_{\text{投入矩陣 } C} \quad (3)$$

當系統受到外力衝擊，各子系統受到損壞，通常由各系統業管單位依管道通報者，其衝擊後果使得服務水準下降，其外力矩陣 C 可由各子系統衝擊後的停

止運作水準表示之，各子系統的停止運作水準之定義如式(4)所示。

$$\text{停止運作水準}\% = 1 - \left(\frac{\text{現有運作量}}{\text{正常運作量}} \right) \quad (4)$$

以供電系統為例，其停止運作水準=1-(區域內各變電站的現有輸出電量和/正常輸出電量總和)；供水系統的停止運作水準=1-(區域內各給水廠的供水量%)。

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) δ ，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。

$$\delta = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i}^n a_{ij} \quad (\text{各列總和}) \quad (5)$$

另外一項系統的綜合指數為主動影響性 (influence index) ρ ，為系統關聯矩陣中各列 (column) 係數的總和，代表該子系統的主動影響性，以下式表示。主動影響性高代表該子系統的被依賴程度高，一旦受損失效容易影響其他子系統的運作，且其主動影響性高與後果較嚴重，例如供電系統即是主動影響性高的子系統設施。

$$\rho = \frac{1}{n-1} \sum_{i \neq j}^n a_{ij} \quad (\text{各行總和}) \quad (6)$$

式(5)與(6)中，系統綜合指數均採正規化 (normalized) 處理，其綜合指數為0-1的數值，不會受系統選用子系統的數量多寡而影響其指數的高低，因此可以相互比較，也可以藉以說明該子系統在都市系統中的重要性。

4.4.3 都市的設施系統模型

以下將接續前兩節都市系統運作所需之基礎設施與服務項目，以系統分析概念進行系統相依性特性分析與都市設施系統模型建置的探討。以下將分別以基礎設施系統模型建立程序，及其模型之示範操作等兩部分進行基礎設施系統模型的運作方式說明。

一、基礎設施系統模型之建立

綜合上述都市系統運作與系統相依性關聯矩陣理論之敘述，本研究選定以大型都會區（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，並參考第三節的建議項目，依照地區特性分別依重要設施、運輸系統、維生設施等三類，進行基礎設施系統模型的建置，初步選出與都市系統運作相關的基礎系統項目共 25 項，列如表 18。

表 18 都市系統運作之基礎設施系統模型的建議選用項目

分類	主要項目
重要設施與服務 Essential Facilities and Services	政府(GOV)、醫院 (HSP)、警察局 (POL)、消防隊 (FIR)、避難場所 (STR)、學校 (SCH)、銀行金融 (BNK)、重要工業區 (IND)、抽出水站 (PUM)、核電廠 (NPP)、水庫 (RSV)、軍事設施 (MIL)
運輸系統 Transportation Systems	公路 (HWY)、鐵路 (RAL)、捷運 (TRA)、公車系統 (BUS)、港口 (POR)、船運 (SHP)、機場 (APO)、橋梁 (BRG)
維生系統 Lifeline Utilities Systems	電力系統 (PWR)、自來水系統 (WAT)、通訊系統 (CUM)、燃料油 (OIL)、天然瓦斯 (GAS)、污水系統 (SEW)

基於系統與系統間的相互關係數為都市系統運作關聯矩陣的重要基礎，在資料建立的可靠度上，人為研判與評估因素頗為重要，需要依賴了解系統的專家評分給定，或是由可靠的損毀或維修紀錄資料，做最好的假設與估計；亦可由過去的災害經驗加以推算設定與修訂之。本文以大型都會區為例，依照表 18 中的基礎設施項目，據以建置其都市系統運作的關聯矩陣，如表 19。

支持都市系統運作的關鍵設施可由系統關聯矩陣中的主、被動影響性關係得知，一般而言，主、被動影響性均高者，因影響層面擴大，其失效的衝擊後果會較大，即為系統中的關鍵設施。特別是其中主動影響性高者尤其重要，因此需要加強防護與持續營運，一旦失效需能迅速復原，方能使系統的衝擊與損失降低。由表 19 中可知，都市系統運作系統的主動影響性依數值高低排列分別為：電力系統、自來水系統、橋梁、通訊系統、燃料油等五項子系統；其系統的被動影響性依數值高低排列分別為：醫院、重要工業區、機場、銀行金融、消防隊、電力系統等六項子系統，其中電力系統無論主、被動影響性均屬重要的設施系統，故可將電力系統視為都市系統運作的關鍵設施，因為其主、被動影響性皆高，因此一旦電力系統失效將造成都市系統在經濟與社會等各面向的嚴重衝擊與後果，甚至造成骨牌效應，影響都市系統的正常運作。

表19 都市系統運作之基礎設施系統模型的關聯矩陣

	政府 (GOV)	醫院 (HSP)	警察 (POL)	消防隊 (FIR)	避難場所 (SCH)	學校 (SCH)	銀行金融 (BNK)	重要工業區 (IND)	抽水站 (PUM)	核電廠 (NPP)	水庫 (RSV)	軍事設施 (ML)	公路 (HWY)	鐵路 (RAL)	捷運 (MRT)	公車 (BUS)	港口 (POR)	機場 (APO)	橋梁 (BRG)	電力系統 (PWR)	自來水系統 (WAT)	通訊系統 (CUM)	燃料油 (OIL)	天然瓦斯 (GAS)	污水系統 (SEW)	震動影響性
政府 (GOV)			0.2	0.1			0.5			0.2		0.3	0.2		0.1	0.1	0.1	0.1		0.5		0.3	0.1	0.1	0.1	0.13
醫院 (HSP)				0.2			0.1			0.3			0.3		0.2	0.1			0.2	1	1	0.75	0.5	0.5	0.75	0.257
警察 (POL)	0.1						0.1						0.2						0.2	0.75	0.3	0.75	0.2			0.113
消防隊 (FIR)	0.1												0.5						0.2	0.5	0.8	0.75	0.2			0.133
避難場所 (SCH)	0.1																		0	0.5	0.75	0.3	0.1	0.1	0.1	0.085
學校 (SCH)																			0.1	0.5	0.5				0.1	0.052
銀行金融 (BNK)	0.2		0.1					0.2					0.2		0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.75	0.5	0.75			0	0.148
重要工業區 (IND)			0.1				0.3				0.4		0.1				0.2	0.2	0.2	1	1	0.75	0.5	0.5	0.75	0.261
抽水站 (PUM)																				0.75	0.5	0.1	0.2			0.067
核電廠 (NPP)			0.1																	0.75	0.3		0.1			0.054
水庫 (RSV)																				0.5						0.022
軍事設施 (ML)																				0.5	0.3	0.1	0.1			0.043
公路 (HWY)														0.1	0.1				1	0.1						0.057
鐵路 (RAL)														0.1					1	0.3	0.2	0.1	0.1			0.078
捷運 (MRT)								0.2											0.2	0.75	0.4	0.1	0.1			0.076
公車 (BUS)														0.1					1	0.2			0.2			0.065
港口 (POR)																	0.2	0.75	0.5	0.1	0.2	0.1				0.08
機場 (APO)			0.1			0.1							0.3	0	0.1	0.1	0.3		0.5	0.75	0.5	0.2	0.5			0.15
橋梁 (BRG)																										0
電力系統 (PWR)								0.1	0.5											0	0.5	0.1	1	0.75		0.128
自來水系統 (WAT)								0.2		1										0.75		0.1	0.3			0.102
通訊系統 (CUM)																				1	0.2					0.052
燃料油 (OIL)																	1		0.3	0.5	0.1					0.083
天然瓦斯 (GAS)																	1		0.3	0.5	0.1					0.083
污水系統 (SEW)								0.2												0.75	0.5					0.063
主動影響性	0.022	0	0.026	0.013	0	0	0.048	0.009	0.03	0.043	0.061	0.013	0.078	0.009	0.03	0.022	0.117	0.03	0.263	0.613	0.372	0.233	0.187	0.085	0.078	

二、模型之操作與用途

不論是天然災害衝擊、人為恐怖攻擊或是意外事故，其系統受衝擊的後果，對基礎設施而言會造成該受影響設施單元有某種程度的失效，即以該設施單元或系統設施的停止運作水準來呈現，即前述基礎設施相依性的投入產出模型中的投入矩陣 C。

當都市系統受到外力衝擊，透過式 (6) 計算，可以獲得系統初次平衡後的穩定狀態，即各子系統的停止運作水準。若在平時以各種不同外力情境進行模擬分析，例如採用蒙地卡羅方法 (Monte Carlo Method)，進行大數量可能情境的分析，可以找出該系統在何種外力情境下會造成最大的衝擊後果，也可以找出系統中那一項設施的失效或多項設施的失效組合比較具有嚴重的衝擊後果，藉此各設施管理部門可事先研擬減災對策與應變計畫，讓事故的衝擊後果減至最低。

一般而言，災害所造成的衝擊與損失通常很難於事前評估或模擬，基於

對大規模災害管理的需求，災防中心過去積極在基礎設施的災害衝擊評估進行方法與技術的開發，但在跨設施系統間的衝擊分析上目前仍待開發。本子項工作以大台北地區為例，運用基礎設施系統相依性的關聯矩陣，探討都市系統中支持居民生活品質所需的基礎設施的運作模型，一旦設施系統受到災害衝擊而失效，引起都市基礎設施系統的混亂與相互影響性，可提供都市綜合衝擊的情形。

對於設施個別子系統也會受其他設施的停止運作的衝擊影響，例如醫院的持續營運就需要供水與供電，若供電系統停止運作，就會對醫院運作有所影響，如圖 20 所示。

都市運作系統模型是以多項個別子系統所組成，以表 19 中 25 項基礎系統為個別子系統，進行都市系統的運作水準評估，運用都市系統運作之基礎設施系統模型的關聯矩陣，將個別子系統的運作水準作為輸入，經過矩陣運算可求得都市系統的整體運作情形。如圖 62 所示。

都市系統的管理者可綜合各項設施系統的運作水準，將此資訊應用於災前的減災評估，可進行都會區大規模災害的評估與減災對策研擬的重要參考。

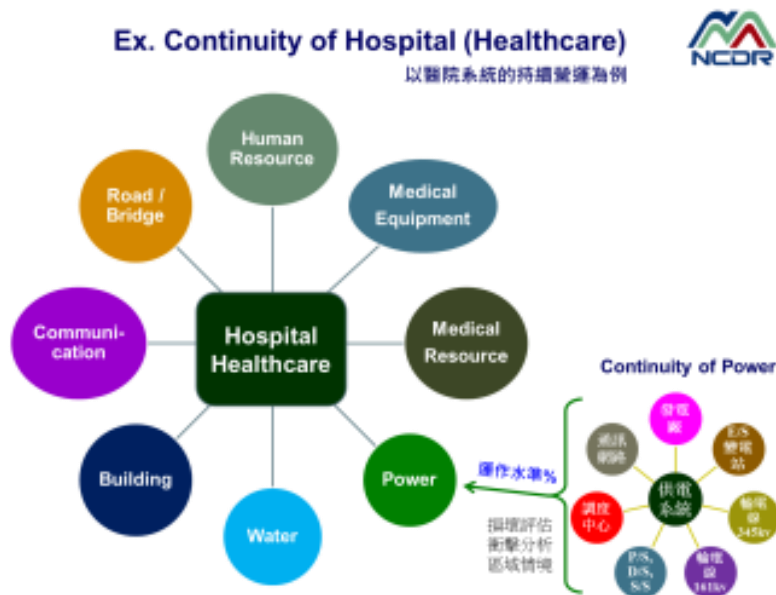


表20 個別子系統的運作水準以醫院系統持續營運為例



圖62 都市的運作系統模型範例

珊迪颶風在2012年10月底重擊美國東北部，造成沿海各州140人死亡，受創最嚴重的區域包括紐約、紐澤西及康乃狄克州等，分析其原因最主要為颶風造成暴潮侵襲沿海城市，暴潮溢淹導致低窪地區淹水，尤其以地下鐵、隧道等最為嚴重。此外，由於變電所爆炸導致大規模停電，衝擊影響包括：華爾街股市交易休市暫停、各式由電腦控制的系統無法正常運作、通訊及網路系統中斷，導致醫院因為停電、淹水等必須撤離，各式經濟損失概估500億美元以上。

以紐約市為例，珊迪颶風在紐約市區造成850萬戶停電，紐約證交所停市2天，第3天起才恢復交易，已嚴重影響全球股市交易。珊迪颶風造成紐約地區嚴重的災害衝擊，風暴侵襲紐約海水暴漲，灌進曼哈頓下城區，沿海與低窪地區逾百萬人因此必須撤離。造成紐約7個地下鐵和6個巴士停車廠全都遭大水淹沒，造成交通重要樞紐中斷，4天後部分區域才得以陸續搶修復原。

珊迪颶風造成紐約地區嚴重的災害衝擊，風暴侵襲紐約海水暴漲，造成紐約7個地下鐵和6個巴士停車廠全都遭大水淹沒，造成交通重要樞紐中斷，

4 天後部分區域才得以陸續搶修復原。紐約各大機場，除了甘迺迪國際機場外，至少關閉二天以上，遭取消班機超過 1 萬 8100 架次。紐約各公立學校連續停課 3 天以上。紐約大學醫院也受停電影響，200 多名病患必須撤離到安全有電力的地區，其中包括 20 多名新生兒。

紐約地鐵專家表示，紐約地鐵系統有 108 年歷史，從來沒有遭遇這樣的災害衝擊，導致紐約交通大幅停擺。因為地鐵系統停擺也造成公車系統嚴重擁擠，加上多條跨河隧道也因淹水無法通行，紐約市區的聯外交通嚴重癱瘓。

紐約曼哈頓東區「愛迪生聯合電力公司」(Consolidated Edison Inc.) 電廠變電所爆炸及兩座地下電力網絡系統因淹水故障，造成曼哈頓隨後變成一座黑暗之城無電可用。受停電影響所造成的二次災害，加重災區的衝擊與搶救復原。地鐵淹水復原因難，停電更是延後修復與電車復駛時間，企業無法正常上班工作，淹水受災區無電可用，災民苦不堪言。珊迪颶風造成的經濟損失，估計高達 500 億美元，主要因為電力與公用事業的損失龐大，加上運輸與道路關閉，使得許多企業停止營運時間長過預期。

珊迪颶風衝擊紐約造成多項基礎設施嚴重受損，紐約市的社會經濟幾乎運作停擺，形成極大的混亂情境與重大的經濟損失。該案例可藉以說明發展本評估方法的重要性，如圖 63 所示。

本研究現階段對於都市基礎設施系統相依性模型雖已完成理論方法架構，限於各項單一設施系統的評估方法尚未具體完成，因此目前仍未能以不同外力衝擊來計算整體系統受到衝擊的分析結果，僅以系統關聯矩陣說明其都市系統運作與基礎設施間的關聯性，藉以說明支持都市系統運作的基礎設施如何相互關聯與影響。後續仍將以關鍵基礎設施的天然災害衝擊為情境為例，繼續進行都市系統運作在不同案例下的分析與應用。



圖63 珊迪颶風造成紐約地區嚴重災害衝擊之系統模型

4.5 小結

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、都市系統運作與基礎設施模型、與系統相依性分析技術—停止運作水準模型之應用程式等工作，其重點產出如下：

一、大台北地區之供電系統評估

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，並完成大台北地區供電系統失效之災害衝擊評估，評估流程如圖 43。本子項工作假定四項災害情境：地震災害、颱風災害、系統供電危機、與人為攻擊等極端情境作為災害外力想定，進行系統衝擊評估與可能衝擊描述。由衝擊評估結果可知，對大台北地區供電系統整體擊最大的是供電危機，若核一、核二除役，協和關廠，北部機組總供電量減少 38.4%，北部地區供電缺口（5061.92MW）須由中送北補足，勉強可供電；倘若再發生其他事故，如超高壓線路再發生一條線路跳脫（N-1），則北部地區須進行限電，故供電不足是目前大台北地區供電系統是否穩定的最關鍵因素。而根據地震、颱風災害造成部分 E/S 或 P/S 受損，

亦會造成地區性的停電限電問題，E/S 損壞對整體供電系統之衝擊大於 P/S。至於人為攻擊龍潭北 E/S、龍潭南 E/S 之情境，雖因龍潭北 E/S、龍潭南 E/S 失效，造成中送北潮流阻斷，但藉由完善的電力調度，大台北地區供電缺口可減至 10.92MW，影響不大。

二、系統相依性分析技術—停止運作水準模型之應用程式

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，IIM 模型操作與說明，如圖 61 所示。程式共有六個區域，三大功能；第一項功能之「計算（單次）」功能為將第四區的外力初始向量與相依矩陣為輸入值，計算第三區各設施最終狀態為輸出值，計算的方法則仿照 IIM 法。第二項功能之「計算最大影響外力」功能，為假設外力會攻擊某一設施，使之完全失效，並假設每個設施失效對整體系統影響程度一樣，求得哪一個受到外力攻擊的設施，將使得系統整體失效程度最大。第三項功能「Monte Carlo」，本功能可求得保護何種設施，在各式各樣的外力攻擊下，使其可持續運作，將使整體系統失效最小。

三、都市系統運作與基礎設施模型

本子項工作以系統分析的概念嘗試對於支持都市系統運作的基礎設施進行系統性研究，在災害衝擊威脅的思維下，進行都市系統運作的建模，藉以描述都市系統中基礎設施的相互關聯關係。並透過關聯矩陣的關聯分析，以主動影響性 ρ 代表系統中的主要的被依賴設施系統，以及被動影響性 δ 代表系統中易受影響的設施系統；若主、被動影響性均高者，代表可能為系統中的關鍵設施。本研究以基礎設施作為系統元件進行都市系統建模，現階段已初步完成理論架構，後續將繼續以災害衝擊為外力，進行不同災害情境組合的系統衝擊評估與關聯分析，發展系統評估工具，以提供都市管理者作為災害管理與危機處理之參考應用。

第五章 成果與績效

關鍵基礎設施是維持國家發展與維繫社會經濟活動的重要基礎與根本，其安全防護攸關全國民眾人身、經濟、財產、發展與社會安全。台灣國土所面臨的主要威脅來源包括軍事、天然災害、人為與科技災害、恐怖攻擊等威脅，由於台灣的氣候條件與地理環境特殊，天然災害頻仍，其中天然災害為最主要的威脅項目。因此，我國 CIP 防護的策略，主要特色為國土安全與災害防救結合（張志宇等，2011；Chen, 2011）。

本專案主要工作在於基於災害防救的需求，開發適合於災防應用的關鍵基礎設施相關之風險分析方法與評估技術，結合大規模災害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。

5.1 年度成果

1. 完成都會區災時重要基礎設施資產清單需求分析。
2. 大台北地區維生設施(自來水、天然氣、瓦斯、石油管線)之設施運作架構、設施清單與圖資建立。
3. 大台北地區防救災設施(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、點位與圖資建立。
4. 建立應科平台所需之重要設施基礎資料庫、及其災害管理主題圖應用例。
5. 完成 CEOC 應變處置報告設施災情統計加值應用示範例。
6. 完成大台北地區交通設施-道路系統(橋梁)篩選與衝擊評估流程，可提供

大規模地震災害設施之基礎資料。

7. 完成淹水潛勢圖套疊大台北地區重要設施(交通設施、醫療照護、緊急救災)之加值應用，及重要設施簡易篩選方法。
8. 完成水庫潰壩對下游區域及重要設施之衝擊評估，完成不同淹水深度及區域衝擊社經指標分析。
9. 完成北部地區供電系統分析之系統界定、範疇界定及繪製系統網絡圖。並進行系統建模、模式分析與評估作業，完成四種情境的衝擊後果分析。
10. 完成都市系統運作之基礎設施模型理論分析。

5.2 年度效益

1. 學術成就

- 完成基礎設施套疊淹水潛勢圖之應用方式，運用簡易套疊篩選方式將可提供設施災害減災措施之參考依據。
- 基於專案及應科方案等災害管理需求，並結合設施篩選準則，可進行設施災害衝擊主題圖繪製。
- 以大台北地區大規模地震災害設施衝擊評估為例，結合地震危害資訊，發展設施衝擊評估方法，可提供風險排序篩選資料，供災害應變與減災後續參考應用。
- 透過系統相依性 IIM 分析方法，可進一步瞭解災害下，基礎設施是如何傳遞其失效的衝擊，其他設施是如何受到關聯設施的影響。
- 運用都市系統運作模型分析可提供災後都市運作與設施服務的綜合情況，以及跨設施系統與功能間的相互衝擊影響性的量化資訊，對於都會區災害衝擊的綜合情境描述提供重要參考資訊。

2. 技術創新

- 建立維生設施與防救災設施之地震脆弱性分析方法與執行架構。
- 創新都市系統運作之基礎設施模型理論分析與建置方法，具有跨設施系統與服務功能的分析技術，可提供設施系統相依性之良好描述。

3. 經濟效益(產業經濟發展)

- 經由衝擊評估方法進行風險排序，以及系統相依分析了解系統的關鍵設施，設施管理單位可以針對風險較高或較為關鍵的設施單元進行強化，可以避免設施失效與系統連鎖效應，減少災害衝擊的損失。
- 完成大台北地區供電系統失效之災害衝擊評估，以極端情境進行供電情境分析分析，提供可能造成供電失效的災害情境，藉以強化供電基礎設施的耐災能力，減少災害衝擊損失。

4. 社會影響(民生社會發展、環境安全永續)

- 與各設施業管單位建立聯繫窗口，以利後續計畫執行。
- 本專案的執行主要乃依本中心任務需求，並配合行政院應科方案之全國災害管理平台之建置，藉以提升資訊的整合分享與實際操作效率。主要工作將依減災與應變需求內容，分別建置其災害主題圖，據以提升平台的操作效率。
- 所產製之CI災害管理應用主題圖，可提供災害管理需求之加值應用，尤其是應變中心開設時，相關災害衝擊預警發布後，可提供篩選與排序工具，特別是會造成重大衝擊影響的重要設施優先加強警戒與防護，藉以強化災害預警及應變研判的效能。

參考文獻

1. American Lifelines Alliance (ALA), 2004. **Matrix of Standards and Guidelines for Natural Hazards**, American Lifelines Alliance.
2. ALA, 2005. **Protecting Our Critical Infrastructure: Findings and Recommendations from the American Lifelines Alliance Roundtable**, National Institute of Building Sciences, Washington, D.C.,
3. Chang, Stephanie E., 2009. Infrastructure Resilience to Disaster, **U.S. Frontiers of Engineering Symposium**, National Academy of Engineering.
4. Elnashai, A. M., Cleveland L. J., Jefferson, T., and Harrald J., 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, Sept 2008.
5. 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.
6. GNS, 2010. **RiskScape User Manual**, GNS and NIWA, May 10, 2010. <http://www.riskscape.org.nz/>
7. HaCIRIC and Loughborough University, 2008. **Healthcare Resilience Tool(HeaRT)**, HaCIRIC, UK.
8. Haimes, Y. and Jiang P. (2001). "Leontief-Based Model of Risk in Complex Interconnected Infrastructures," **Journal of Infrastructure Systems, ASCE**, 7(1), 1-12.
9. Haimes, Y. (2005). "Infrastructure Interdependencies and Homeland Security," **Journal of Infrastructure Systems, ASCE**, 11(2), 65-66.
10. ISDR/WHO, 2008. **2008-2009 World Disaster Reduction Campaign: Hospitals Safe from Disasters**. ISDR/WHO.
11. Kamer, Y., et al., 2010. **Earthquake Loss Estimation Routine ELERv3.0 User Manual**, Department of Earthquake Engineering, Bogazici University, Istanbul.
12. Kyriazis Pitilakis, 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.
13. Mercer 2011. **Quality of Living Survey**, Marsh & McLennan Co., <http://www.mercer.com>, last accessed at Aug. 2012.
14. Molina, S., Lang, D. H., Lindholm C. D., Lingvall, F., 2010. **User Manual for the**

- Earthquake Loss Estimation Tool: SELENA**, NORSAR, Oct. 1, 2010.
15. Mori Memorial Foundation (MMF), 2011. **Global Power City Index**, Tokyo, Japan: Institute of Urban Strategies at the Mori Memorial Foundation.
 16. National Institute of Building Sciences 2004. **HAZUS: Hazard US: Earthquake Loss Estimation Methodology**, NIBS document 5200-03, Washington, D.C.
 17. Prevention Web, 2012. <http://www.preventionweb.net/english/countries/statistics/?cid=245>, (accessed at April, 2012)
 18. Rinaldi, S., Peerenboom, J. and Kelly, T., 2001. "Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies," **IEEE Control Systems Magazine**, 21: 11-25, December.
 19. San Francisco Planning and Urban Research Association (SPUR), 2009. **Lifelines: Upgrading Infrastructure to Enhance San Francisco's Earthquake Resilience**, San Francisco Planning and Urban Research Association.
 20. Santos J., 2006. "Inoperability Input-Output Modeling of Disruptions to Interdependent Economic System," **System Engineering**, 9(1), 20-34.
 21. Santos, J. R. and Haines, Y. Y., 2008. "**Input-Output Modeling for Interdependent Infrastructure Sectors**," Wiley Handbook of Science and Technology for Homeland Security. 1-14.
 22. Schneider, P. J. and Schauer, B. A., 2006. "HAZUS-Its Development and Its Future", **Natural Hazard Review, ASCE**, pp. 40-44, May 2006.
 23. 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, SYNER-G, November 2009.
 24. Schultz, M. T., Gouldby, B. P., Simm, J. D., Wibowo, J., 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, July 2010.
 25. 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.
 26. U.S. Department of Homeland Security, 2009. **National Infrastructure Protection Plan: Partnering to enhance protection and resiliency**, Washington, D.C.
 27. Yeh, C.-H., Loh, C.-H., and Tsai, K.-C., 2006. "Overview of Taiwan Earthquake Loss Estimation System", **Natural Hazards**, Springer, 37:23-37.

28. WHO/WPRO, 2009. **Safe Hospitals in Emergencies and Disasters-Structural, on-structural and Functional Indicators**, WHO/WPRO, Manila, Philippines.
29. World Health Organization, 2010. Urbanization and health, **Bulletin of the World Health Organization**, 88(4), 241-320.
30. 日本內閣府 a, 2012, **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
31. 日本內閣府 b, 2012, **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
32. 李沁妍, 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, NCDR 100-T43。
33. 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**, 國立台灣大學建築與城鄉研究所碩士論文。
34. 陳亮全、詹士樑、洪鴻智, 2003, **都市地區震災緊急路網評估方法之研究**, 都市與計劃, 第31卷第1期, 47~64頁。
35. 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。
36. 黃詩倩、謝承憲、吳佳容、簡賢文, 2011, **建立天然災害下供水系統失效衝擊評估方法**, 第28屆自來水研究發表會。
37. 何明錦、洪鴻智, 2007。 **都市防災空間系統手冊彙編增修**, 內政部建築研究所。
38. 吳信輝, 2001。 **應用模糊認知圖於都市規劃系統關聯之初探**, 國立交通大學交通運輸研究所碩士論文。
39. 馮正民、林楨家, 2000。 **都市及區域分析方法**, 新竹: 建都文化事業股份有限公司。
40. 馮正民、林楨家、吳信輝, 2002。 **應用模糊認知圖法分析都市發展系統關聯之初探**, **都市與計劃**, 第29卷第三期, 中華民國都市計劃學會。
41. 黃書禮、翁瑞豪、陳子淳, 1997。 **台北市永續發展指標系統之建立與評估**, **都市與計劃**, 第24卷第一期, 中華民國都市計劃學會。
42. 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。
43. 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, 2011, **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 No. NCDR 100-T33。
44. 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。
45. 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>.

46. 行政院國土安全辦公室，2012，**我國關鍵基礎設施安全防護總計畫書(NIPP)精進版: 期末報告**，行政院國家關鍵基礎設施安全防護專業服務委外研究案(第三階段)，NIPP 小組
47. 行政院國土安全辦公室，2010，**國家關鍵基礎設施安全防護 (1/3)－風險管理、關鍵基礎設施安全防護計畫、資訊共享與分析平台，期末報告。**
48. 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。
49. 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。
50. 臺北市政府，2011，**臺北市地區防災業務計畫**，臺北市：臺北市政府。
51. 台灣自來水公司第一區管理處，**緊急應變計畫**，2011。
52. 台灣自來水公司第二區管理處，**緊急應變計畫**，2012。
53. 台灣自來水公司第十二區管理處，**緊急應變計畫**，2011。
54. 台灣自來水公司，**台灣自來水事業 100 年統計年報**，2012。
55. 台灣電力公司，2012。 <http://www.taipower.com.tw/#>。
56. 台灣電力公司全球資訊網，2012， http://www.taipower.com.tw/TaipowerWeb/upload/files/32/elec_info_3.pdf。
57. 自由時報(2012)，供電樞紐卡住 北市有斷電大隱憂， <http://www.libertytimes.com.tw/2012/new/jul/25/today-fo5-3.htm>。

書名：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

發行人：陳亮全

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

出版年月：中華民國 102 年 4 月

版 次：第一版

非賣品

ISBN: