

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

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



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

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

蘇昭郎、鄧敏政、謝承憲、黃詩倩、吳佳容
李洋寧、周建成、李中生、簡賢文



摘要

國家關鍵基礎設施(Critical Infrastructure, CI)提供了一個國家的國家安全、社會民生、經濟發展、政府運作等持續營運所需要之基本功能或各項服務，對國家的運作與穩定之影響極其重要，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。

鑑於目前國內在災害風險量化與脆弱度評估技術仍顯不足，本研究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。考量國家基礎設施的多樣性以及決策制訂的需求，本研究擬建立各部門共通的風險評估方法，並建立一般性威脅與弱點分析模型，配合整合的風險指標數字與度量，除了讓各基礎設施部門有所依循之外，透過客觀量化的風險分析結果，進行跨部門的風險比較，並建立基礎設施互依性分析技術。

100 年度主要技術面向的研究重點包括：發展關鍵基礎設施災害衝擊評估指標、開發系統相依性分析方法-質化與量化、及建立災害管理平台需求之主題圖等。相關成果重點摘錄如下：關鍵基礎設施災害衝擊評估指標，針對天然災害所造成關鍵基礎設施(CI)的損害或失效，在各區域之單一設施或整合不同設施的衝擊評估，並訂定衝擊評估指標篩選原則，包括災害潛勢、設施脆弱因子與失效衝擊因子等三部分。系統相依性-質化分析方法，運用感受性系統模型(Sensitivity Model)概念，以衝擊矩陣與主被動比技術，找出影響整個系統運作的重要關鍵設施。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。考量以設施失效後所造成地區衝擊程度來擬定分級管理對策，

提出設施分類方法，並以公路總局 100 年度重點監控橋梁為基礎進行加值分類，除回饋公路總局參考外，並提供災害管理應變需求使用。

另本中心基於災害防救科技幕僚的角色，協助行政院國土安全辦公室整合我國關鍵基礎設施安全防護工作，提供技術支援與服務，共同推動國家關鍵設施的安全防護工作。相關研究成果多屬機敏性資料，本技術報告僅彙整部分綱要成果於後續章節，包括推動架構、定義、篩選原則、部門分類、主管機關及權責、關鍵基礎設施防護權責與法令推動、風險評估方法與管理策略、關鍵基礎設施風險機制規劃等部分內容。

目錄

摘要.....	I
目錄.....	i
圖目錄.....	v
表目錄.....	vii
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.....	3
2.1 CI 之區域災害衝擊評估方法.....	4
2.1.1 CI 失效災害衝擊評估指標方法.....	5
2.1.2 CI 災害衝擊評估指標展示架構.....	7
2.2 單一設施系統跨區域災害衝擊評估方法.....	7
2.2.1 示範區背景調查及重要設施資料圖層建置.....	8
2.2.2 訂定供水設施 CI 失效災害衝擊評估指標篩選準則....	11
2.3 建立示範都會區域設施系統間之災害衝擊評估方法.....	11
2.3.1 建立示範都會區背景調查及重要設施資產表.....	12
2.3.2 建立示範都會區重要設施系統間之關聯性.....	17
2.4 小結.....	18
第三章 災害管理需求之 CI 衝擊效應.....	19
3.1 基礎設施災害衝擊分類方法.....	19
3.1.1 案例分析.....	22

3.2 橋梁區域脆弱度衝擊分析.....	26
3.2.1 脆弱度之定義.....	26
3.2.2 地區脆弱度因子選取.....	26
3.2.3 地區脆弱度評估方法.....	29
3.2.4 案例介紹.....	30
3.2.5 區域脆弱度衝擊分析.....	33
3.3 水庫潰壩情境下之災害衝擊分析與主題圖應用.....	37
3.4 基礎設施資訊平台災防應用架構規劃.....	45
3.5 小結.....	49
第四章 系統相依性分析技術.....	51
4.1 系統內因果性、回饋關係及影響強度之界定.....	51
4.2 防減災階段關鍵性 CI 之評估-質化方法：感受性系統(衝擊矩陣)模型.....	54
4.2.1 質化方法：感受性系統（衝擊矩陣）模型.....	54
4.2.2 案例分析.....	56
4.2.3 案例分析結果.....	61
4.3 跨部門關聯性矩陣之建構-量化方法：停止運作水準之投入產出模型.....	64
4.3.1 系統相依性量化模型.....	64
4.3.2 跨部門關聯性矩陣模擬器之建構.....	67
4.3.3 跨部門關聯性矩陣模擬器之建構.....	72
4.4 小結.....	73
第五章 以關聯矩陣建構相依性方法之初探.....	75
5.1 關鍵基礎設施的相依性.....	75
5.1.1 關鍵基礎設施相依性的背景.....	76

5.1.2 相依性的研究方法	78
5.2 關鍵基礎設施相依性模型發展.....	78
5.2.1 IIM 模式說明	79
5.2.2 I2Sim 模式說明	83
5.2.3 基礎設施資料蒐集	95
5.3 IIM 工具應用說明	98
5.3.1 IIM 工具使用者介面	98
5.3.2 IIM 工具程式功能	101
5.4 I2Sim 工具說明	102
5.4.1 I2Sim 工具使用者介面	102
第六章 協助國土辦 CIP 計畫技術支援.....	105
6.1 國家關鍵基礎設施防護計畫之推動	105
6.2 行政院國土安全辦公室 CIP 計畫現階段成果摘錄.....	108
6.2.1 關鍵基礎設施之定義	110
6.2.2 CI 篩選原則	111
6.2.3 CI 部門分類	113
6.2.4 CI 主管機關及權責	117
6.2.5 關鍵基礎設施防護權責與法令推動.....	119
6.2.6 風險評估方法與管理策略.....	122
6.2.7 關鍵基礎設施風險機制規劃	125
6.2.8 對未來 CIP 推動工作建議	127
第七章 成果與績效.....	129
7.1 年度成果	129
7.2 年度效益	130
參考文獻.....	133

圖目錄

圖 1	基礎設施失效之區域災害衝擊評估及應用架構	6
圖 2	大規模地震情境下基礎設施失效災害衝擊評估展示架構規劃示意圖	7
圖 3	全台供水區及水庫分佈圖 (NCDR 產製)	8
圖 4	水 2 區及 12 區重要供水元件圖 (NCDR 產製)	9
圖 5	台水 2 區處及台水 12 區處供水系統架構圖	10
圖 6	供水設施基礎設施災害衝擊評估指標篩選原則	11
圖 7	示範都會區基礎設施系統設施 (元件) 空間區位示意圖	15
圖 8	示範都會區基礎設施系統設施 (元件) 之重點村里分佈圖	15
圖 9	跨河橋梁分佈圖	23
圖 10	跨河橋梁分類	23
圖 11	跨河橋梁分類結果分析	24
圖 12	100 年重點監控橋梁分佈圖	31
圖 13	重點監控橋梁失效之區域脆弱度圖	34
圖 14	石門水庫下游鄉鎮區圖層	38
圖 15 (A)	主題圖:跨河橋梁	40
圖 15 (B)	主題圖:居住人口	41
圖 15 (C)	主題圖:家戶可支配所得	42
圖 15 (D)	主題圖:二級產業家數	43
圖 16	石門水庫潰壩時下游不同淹水深範圍圖層(接合數化前後)	45
圖 17	應科方案基礎設施減災評估應用規劃	46
圖 18	應科方案基礎設施應變評估應用規劃	46
圖 19	基礎設施模組架構	47
圖 20	基礎設施資訊平台雛形	47
圖 21	100 年重點監控橋梁 (公路總局_48 座)	47
圖 22	基礎設施_跨河橋梁熱點分析 (公路總局_1189 座)	48
圖 23	100 年重點監控橋梁地區脆弱度 (公路總局_48 座)	48
圖 24	地震應變圖資應用	49
圖 25	關鍵設施評估模式	56
圖 26	工業專區基礎設施系統相依性案例分析架構圖	57
圖 27	工業專區基礎設施系統關鍵設施 (元件) 空間區位示意圖	60
圖 28	工業專區關鍵設施評估	61
圖 29	基礎設施相依性的停止運作水準投入產出模型 (IIM)	65
圖 30	外力衝擊供電系統失效程度對系統停止運作水準的影響	69

圖 31	外力衝擊供水系統失效程度對系統停止運作水準的影響	69
圖 32	外力衝擊公路系統失效程度對系統停止運作水準的影響	69
圖 33	範例設施關聯示意圖	73
圖 34	使用 MATLAB 進行矩陣求解	73
圖 35	I2SIM 架構	85
圖 36	MATE 矩陣	85
圖 37	示範的輸電網路	86
圖 38	對應的 MATE 矩陣	86
圖 39	UBC 五個 CELL 試驗例設施簡圖	87
圖 40	變電設施簡圖	87
圖 41	供電設施簡圖	88
圖 42	供水設施簡圖	88
圖 43	蒸氣設施簡圖	89
圖 44	醫院設施簡圖	90
圖 45	I2SIM 團隊水蒸氣設施簡例	92
圖 46	UBC 五個 CELL 試驗例設施矩陣	94
圖 47	初版的關鍵基礎設施相依性 UML 模型	95
圖 48	IIM 之 EXCEL 計算工具	98
圖 49	EXCEL 巨集詢問處	99
圖 50	EXCEL 巨集啟用安全性警訊的對話盒	100
圖 51	本研究開發之 I2SIM 建模與計算工具	102
圖 52	變電站設施	103
圖 53	變電站設施相依之方程式組	103
圖 54	發電設施	104
圖 55	發電設施方程式組	104
圖 56	行政院國家關鍵基礎設施安全防護計畫推動架構	106
圖 57	CIP 第一階段計畫管理架構	106
圖 58	CIP 第二階段計畫管理架構	107
圖 59	CIP 第三階段計畫管理架構	107
圖 60	我國中央政府國家關鍵基礎設施防護體系（組織改造後）	122
圖 61	國家關鍵基礎設施防護計畫風險管理架構	123
圖 62	國土安全監管程序架構圖	126
圖 63	先兆事件評估結果之燈號訂定原則	126
圖 64	國土安全整體燈號呈現	127

表目錄

表 1	示範都會區設施系統資產表.....	14
表 2	重點村里及設施系統列表.....	16
表 3	基礎設施分類_以橋梁為例.....	21
表 4	橋梁分類彙整.....	21
表 5	橋梁分類篩選原則.....	24
表 6	跨河橋梁分類_第一類橋梁.....	25
表 7	脆弱度因子內涵.....	27
表 8	橋梁設施失效之脆弱度分析因子.....	29
表 9	100 年度重點監測橋梁（48 座）.....	31
表 10	100 年度重點監控橋梁之災況.....	32
表 11	脆弱度因子尺度.....	33
表 12	100 年重點監控橋梁失效之區域脆弱度統計.....	35
表 13	重點監測橋梁區域脆弱度因子_極度脆弱地.....	36
表 14	國內主要水庫基本資料（部分內容）.....	38
表 15	石門水庫下游受災衝擊區域各項社經指標.....	39
表 16	工業專區基礎設施系統關鍵設施（元件）.....	59
表 17	工業專區基礎設施系統衝擊矩陣.....	61
表 18	不同情境設定下系統相依性綜合分析.....	70
表 19	CIP 第三階段成果產出項目.....	108
表 20	CIP 專案各階段工作概要.....	109
表 21	關鍵基礎設施風險評估方法.....	109
表 22	直接或間接造成大規模人口影響.....	112
表 23	直接或間接造成經濟損失.....	112
表 24	直接或間接損害造成其他關鍵基礎設施部門營運的能力.....	112
表 25	關鍵基礎設施影響因子評量表.....	112
表 26	我國關鍵基礎設施之主部門、次部門及重要元件分類表.....	113
表 27	我國關鍵基礎設施部門與主管機關.....	118
表 28	國家關鍵基礎設施防護辦法（法）草案.....	120

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。自美國「九一一恐怖攻擊事件」以來，對於如何確保國家關鍵基礎設施，並做好各項事先預防與風險管理，已經成為全球各國政府施政的當前重要任務。有鑑於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。

本研究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」（98-100年）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。

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）進行脆弱度評估，並研擬相關減災策略。其分年工作重點為：發展 CI 失效之災害衝擊評估方法、關鍵基礎設施系統相依性分析技術、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、因應行政院災害防救應用科技方案：建置災害管理平台，其中議題六：基礎設施評估與監測等之相關研發與協調規劃工作。

積極開發 CI 失效災害衝擊評估方法，除持續以供水設施為示範例，由災害衝擊鏈分析、系統失效對實體、社會、經濟等造成區域脆弱性衝擊的風險分析方法開發，並針對設施元件與整體系統的停止運作水準的評估方法進行探討，據以提供未來災害應變與減災下基礎設施的災害衝擊評估。

鑒於 CI 失效可能會造成國家社會衝擊，基於本中心減災與應變之災害管理需求，開發 CI 篩選評估工具，與應變需求的應用主題圖，藉以提供災害應變時對於重要設施的預警資訊與加強防護作為。

由系統內相依性分析方法開發著手，運用感受性系統模型（Sensibility Model）、鄰近關聯矩陣（Adjacency Matrix）、系統災害衝擊鏈（Impact Chain）、設施主被動關聯性（Active-Passive Comparison）、停止運作水準之投入產出模型（Inoperability Input-Output Model）與風險評估的觀念，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服務水準（Serviceability）或運作水準（Operability）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

全球環境變遷使得極端氣候型態發生頻繁，而台灣地區天然災害發生次數與強度皆與日俱增，對於人民生命、財產、生活安全造成可觀的損失。針對天然災害所造成關鍵基礎設施（CI）的損害或失效，目前國內的研究多著墨於單一設施的災損評估，缺乏對於不同區之同項設施或整合不同設施的衝擊評估，而部分涉及系統關聯性之議題亦僅能以質化方式進行分析。有鑑於此，本研究以系統相依性為基礎，建構設施之失效衝擊評估分析架構。利用實際資料，開發可實際操作之評估標準。本研究提出 CI 失效災害衝擊評估架構，依據「行政院國家關鍵基礎設施安全防護計畫」中，國家關鍵基礎設施定義項目為：供水、能源、交通、緊急救援與醫院、資通訊、中央政府、銀行與金融、科學園區，而各項設施從中央、縣市、鄉鎮；由上而下，各項設施系統間，在地理上或功能上有著緊密的關係，受災後的設施將造成國家運作及民生基本需求的衝擊。本研究項目今年度主要以開發及建立方法架構為主要目標，其項目如下：CI 失效之區域災害衝擊評估方法建立、單一設施系統跨區域災害衝擊評估方法建立，以及區域系統間災害衝擊評估方法建立。

地震災害發生時，位於重災區之維生管線接受到嚴重損壞，本研究以歷史災例歸納如下：

1. 2011 年 03 月 11 日，東日本大震災，規模 9.0

依據日本內閣府於災後 6 月 24 日公佈，東日本大地震所造成建築物及基礎設施等損失約為 16.9 兆日元，包括住宅、工廠、道路、港灣、供水、供電等設施，其中，供水、供電設施損失約 1.3 兆日元。福島縣災害對策本部公布，由於福島核電廠事件，造成災後停電戶數高達 870 萬戶 3559 處道路損壞、27 處鐵路損壞、77 處橋梁損壞等（東日本大震災復興對策本部，2011）。厚生勞動省 4 月份公佈供水影響戶數約 230

萬戶左右（東日本大賑災復興對策本部，2011）。重災區福島地區於災後 3 月 18 日由福島縣保福祉部資料統計，共調查 61 個市町村的水道單位，其中 37 個市町村水道單位發生斷水情形；另有 2 個市町村水道單位出現供水混濁，主要的損害包含：管線破損、停電導致送水功能中斷及淨水場停止運轉等。由統計資料顯示，於震度 5 弱以上範圍內的水道設施，多有斷水情形發生。

2. 1995 年 1 月 17 日，日本阪神大地震，規模 7.2

日本兵庫縣共有 135 萬 6 千戶供水用戶，其中約 121 萬戶及大阪府約有 2 萬戶發生停水，停電中斷之損害金額高達 2,300 億日元，所受到的損害以管線為主，管線損害大部分集中於震度七的範圍內（周永川等，2001）。

3. 1999 年 9 月 21 日，台灣集集大地震，規模 7.3

集集大地震，震央位於南投縣集集鎮，造成 150 萬戶停電、114 萬戶停水、26 座橋梁嚴重損壞、受損公路約 55 條。設施損壞狀況主要包含：橋梁斷裂、電力中斷、瓦斯滲漏、供水中斷等（921 地震資料分析與災情資訊管理系統，1999）。

觀察國際間重大的地震災害事件，歸納出共同的趨勢：當震區範圍廣大時，災後首先出現避難收容人數眾多、物資缺乏等情形；同時，基礎設施受到嚴重損害，造成行政機關癱瘓、救援工作緩慢、災區居民生活極為不便；震區範圍之都市機能顯著下降，且震後無法迅速恢復正常，進行長期檢查與復舊。

2.1 CI 之區域災害衝擊評估方法

關鍵基礎設施失效與否將直接影響社會持續運作以及復原能力。國外研究已建立因天然災害導致基礎設施與相關產業之影響評估架構，並嘗試分析天然災害時因設施毀壞所導致之產業衝擊。本研究利用系統相依性為分析基礎，建構區域

內設施失效衝擊之評估方法以及災害衝擊評估指標之建立。指標內涵包括災害潛勢、設施脆弱因子、以及失效影響因子三類，並分別針對主、次要設施部門進行空間及功能之衝擊評估。利用地理資訊系統（GIS）整合衝擊指標，進一步將不同設施間之相依性納入考量。本研究開發之衝擊評估方法以實際案例分析確認其可操作性。利用取得之資料將分析系統之衝擊關鍵點，藉由情境分析評估天然災害對於選定之設施系統所造成之衝擊。

2.1.1 CI 失效災害衝擊評估指標方法

以災害的角度進行開發，並且思考對基礎設施之受災前後所需評估的衝擊項目，各項設施層級包括中央、縣市及鄉鎮，由上而下，不同層級的設施系統之間，存在緊密的關聯程度；此外，就地理及功能觀點而言，探討相關受災設施之失效，所導致對國家運作及民生基本需求之衝擊。本研究主要之研究架構在於評估天然災害下，設施系統失效之衝擊，未來可提供減災及應變階段之參考。

本研究彙集國內外資料，參考包括：Müller、GTZ 等對於災害風險及脆弱度之相關研究，根據黃詩倩等（2011）發展適用於基礎設施失效之災害衝擊評估指標，如（式 2.1）所示。主要工作包含：確認分析工具、選定設施及區域；進行背景資料彙集；界定指標/次指標等項目。使用基礎設施失效之災害衝擊評估指標評估因災害致使基礎設施失效而造成的衝擊程度，除考量基礎設施本身之設施脆弱因子（Inherent vulnerability of CI, CI_v ）之外，並考量代表災害發生可能性之危害（Hazard, H ），視為災害潛勢危害因子；此外，亦納入因依存於失效基礎設施而受衝擊之他項設施、社會與民生等相依因子（CI interdependency, CI_i ）。

$$\begin{aligned} \text{災害衝擊評估指標} &= f(\text{災害潛勢因子、設施受災衝擊因子}) \quad (\text{式 2.1}) \\ &= f(\text{災害潛勢因子、設施脆弱因子、失效影響因子}) \end{aligned}$$

基礎設施失效之災害衝擊評估指標：結合災害潛勢、CI 本身脆弱因子以及其失效後所造成之影響程度。

災害潛勢因子 (H): 係指在造成實質毀壞之潛在危險的事件、現象、人為活動或條件。此類潛在事件可能造成人員傷亡、財物損失、生活與服務失序、社會與經濟之崩解或環境之退化。以技術層面而言, 危害可藉由不同地區的歷史資料, 包括可量化的發生頻率與強度, 以科學化的方式分析之 (UN/ISDR, 2009)。

CI 受災衝擊因子: 考量未受災情況, 評估設施脆弱因子 (CI_v) 及失效影響因子 (CI_i)

設施脆弱因子 (CI_v): 針對設施實體與環境之脆弱評估

失效影響因子 (CI_i): 設施於失效後對社會、民生及其他依存性 CI 的影響

面臨不同災害條件之基礎設施受災衝擊因子亦不盡相同, 若區域內存在不同的基礎設施, 應先各別評估之後再進行整合, 並考慮不同基礎設施間的相依性, 且假設災害情境評估災害, 用以評估因災害導致基礎設施失效後所造成的衝擊。完成基礎設施災害衝擊評估後, 將衝擊程度群組化為「非常低」、「低」、「中」、「高」及「非常高」共五種影響等級。由於時間與空間位置的差異以及因子選取不同, 基礎設施失效之災害衝擊評估指標為相對性之評估方式。此研究項目之應用與本中心「P5 地震災害風險分析專案」間的關係如圖 1 所示。

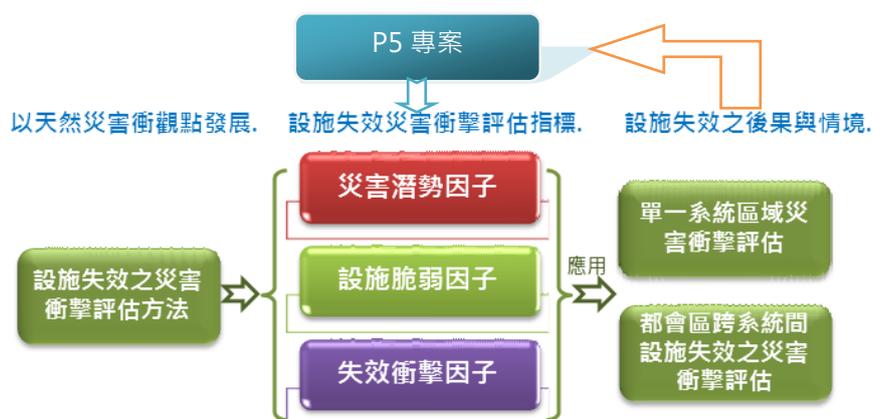


圖1 基礎設施失效之區域災害衝擊評估及應用架構

2.1.2 CI 災害衝擊評估指標展示架構

上述災害潛勢及基礎設施受災衝擊因子資料利用疊加分析及空間分析完成資料庫之建立，應用於情境分析相關研究，展示介面以視覺化方式呈現，如圖 2 所示。未來將各個災害衝擊評估指標進一步設定大規模地震情境（震央位置、深度、地震規模等）後，可模擬探討位於強震區內的台灣自來水事業處第 2 區營運處及第 12 區營運處供水系統以及示範都會區域之供水、供電及交通系統，因強震衝擊及相依性影響所造成之基礎設施元件失效衝擊評估。除了以五個等級之衝擊程度表示外，並評估情境設定下跨系統供水情形的改變，將結果結合 GIS 圖層以展現空間及系統之衝擊，提供公部門減災及應變階段決策參考。

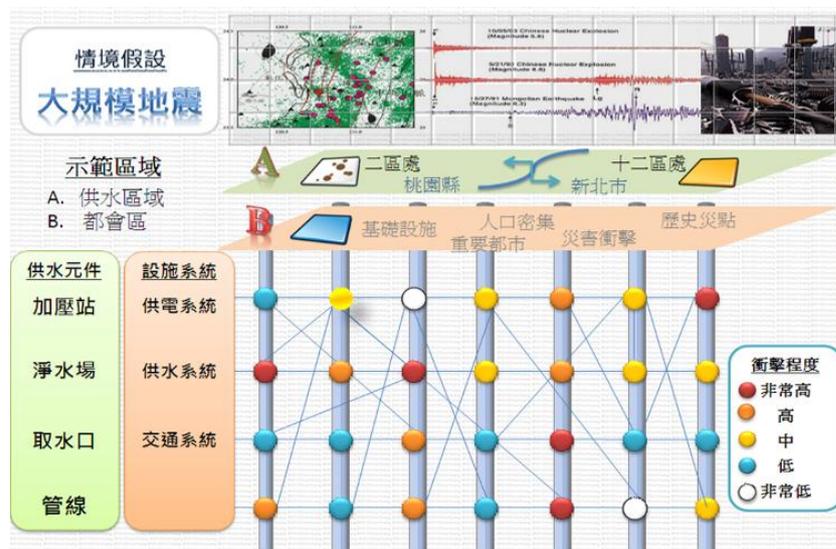


圖2 大規模地震情境下基礎設施失效災害衝擊評估展示架構規劃示意圖

2.2 單一設施系統跨區域災害衝擊評估方法

單一設施系統內，區域災害衝擊評估以石門水庫供水區—台灣自來水公司第 12 區營運處及第 2 區營運處為供水系統為示範系統(區)，首先要進行背景調查、圖層建立、系統關連建立及基礎設施災害衝擊評估指標篩選準則訂定等。

2.2.1 示範區背景調查及重要設施資料圖層建置

全台各地供水區域包含 12 個區處，如圖 3 所示，展示供水區與水庫之間的關係。示範區為石門水庫供水區—台水 12 區處之供水區域包括新北市板橋區、新莊區、樹林區、土城區、三峽區、鶯歌區、等 10 個行政區及三重區、中和區部分地區，供水人口約 200 萬餘人，其主要的水源為鳶山堰、大漢溪、三峽河及台北自來水事業處支援水量，供水量約 82 萬噸／每日(台水第十二區管理處，2011 及台灣自來水公司，2009)。台水 2 區處之供水區域包桃園縣 13 鄉鎮市、新北市林口區、泰山區、五股區及新竹縣湖口、新豐鄉等共 18 個行政區，實際供水人口近 200 萬人，供水量約 108 萬噸／每日，其中 99.8% 水源為石門水庫供給，其餘 0.2% 水源由山澗水補充(台水第二區管理處，2011 及台灣自來水公司，2009)。



圖3 全台供水區及水庫分佈圖 (NCDR 產製)

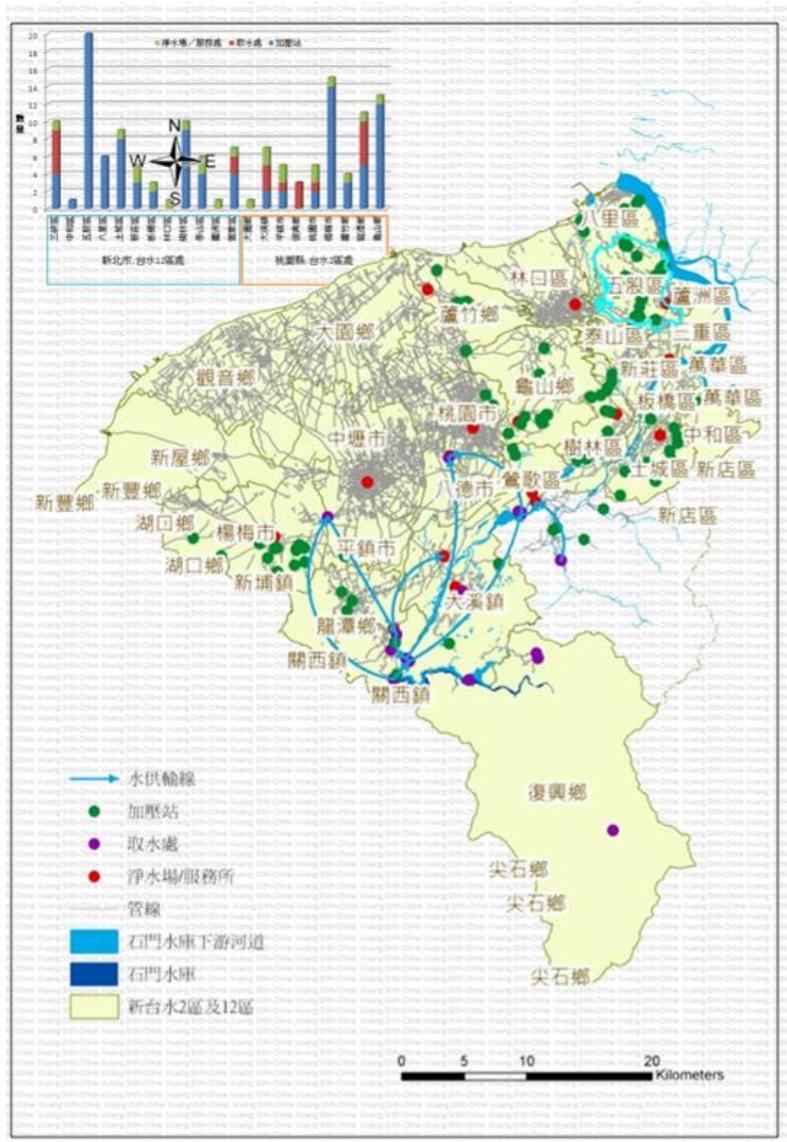


圖4 水2區及12區重要供水元件圖（NCDR產製）

運用地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）技術分別建立二個供水區處之取水、導水、淨水及配水子系統相關重要元件圖層並進行空間關聯性串接，將供水系統中各子系統功能轉換為空間分析，其示範區各設施元件的分佈統計（圖4）。值得注意的是取水口集中在三峽區、復興鄉、大溪鎮、龍潭鄉及鶯歌區；淨水場/服務所集中在新莊區、泰山區、大溪鎮、平鎮市、桃園市；加壓站則是集中於五股區、楊梅市及龜山鄉，統計設施元件數目依序為五股區、楊梅市、龜山鄉等，其中重要的元件主要分佈在三峽區（板新淨水場）、桃園市（大湳淨水場）、大溪鎮（平鎮淨水場）、龍潭鄉（龍潭淨水場）、平鎮市（石門淨水場），而位於復興鄉、大溪鎮及龍潭鄉交界處的石門水庫尤為關鍵。

另外，針對示範區系統內供水流向建立系統關係如圖 5 所示。為石門水庫供水區—台水 12 區處及 2 區處供水區之供水系統圖，由圖中可知石門水庫供給板新地區（台水 12 區處）及桃園地區（台水 2 區處）的用水。

- A. 台水 12 區處：石門水庫的水經過後池堰、鳶山堰再送至板新淨水場處理，每日大約 45.3 萬噸，另一水源取自三峽河，再經由三峽堰至板新淨水場，每日大約 10 萬噸，而再加上每日由北水所購買 38 萬噸，於板新地區每日可供給 82.5 萬噸用水，也可提供桃園地區每日 10.8 萬噸用水。
- B. 台水 2 區處：石門水庫水源經由石門大圳分別到平鎮、石門、龍潭三個淨水場，供給南桃園每日約 77 萬噸的用水；另一個來源為由後池堰再經由桃園大圳至大湳淨水場供給北桃園每日約 30 萬噸的用水，四個淨水場共供給桃園地區每日約 106.9 萬噸的用水，再加上由台水 12 區處所調配的水量每日 10.8 萬噸，總共為 114.5 萬噸供給每日桃園地區的用水。

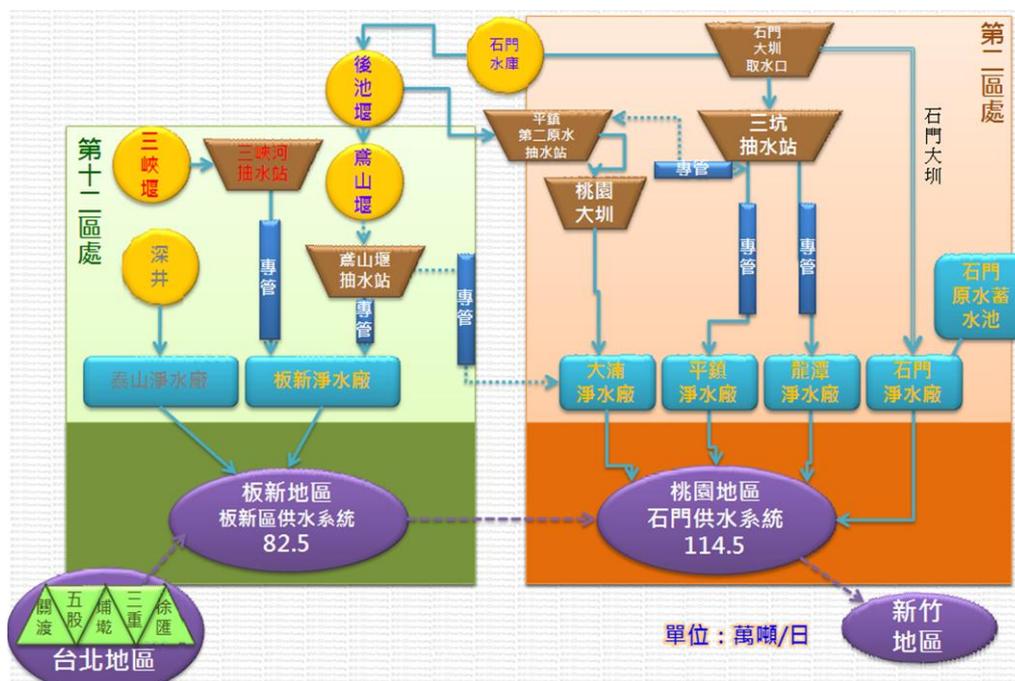


圖5 台水 2 區處及台水 12 區處供水系統架構圖

本研究製作，參考資料：台灣自來水公司

2.2.2 訂定供水設施 CI 失效災害衝擊評估指標篩選準則

以大規模地震事件假設前提下，針對供水系統失效進行災害衝擊評估，示範區為石門水庫供水區-台水 2 區及 12 區內重要設施進行衝擊評估。根據黃詩倩等（2011）提出基礎設施災害衝擊評估指標分為三項因子，如圖 6 所示，災害潛勢的因子將以本中心「P5 地震災害風險分析專案」提供之地震發生機率分佈等資料圖層為主；而在基礎設施脆弱因子中主要以建物、水庫、管線及環境因子為原則針對其不同設施與災損之關係進行篩選，最後，基礎設施失效影響因子分為影響性（人口、範圍）及相依性（相依及取代程度），將上述三項因子進行加乘，將得到各重要設施之基礎設施災害衝擊評估指標結果。



圖6 供水設施基礎設施災害衝擊評估指標篩選原則

2.3 建立示範都會區域設施系統間之災害衝擊評估方法

大規模災害發生時，由於基礎設施遭受嚴重損毀，如：道路、橋樑及通訊網絡於災時無法有效運作與聯繫，導致行政機關癱瘓，且對於基礎設施的脆弱點無法有效掌握，而區域災害防救計畫的制訂，不足以面對大規模複合型災害。其根本原因是政府對於天然災害的衝擊以及基礎設施系統、元件及部門間的關連性無法有效掌握。因此，本研究以可能發生較大衝擊的示範都會區為例，討論基礎設施失效時之區域災害衝擊評估，設定大規模災害事件情境，對於都會區內部相同設施系統或跨系統之設施進行衝擊分析，以獲得較為正確且全面的災情訊息，如：災害衝擊特性、設施系統間的關連性、受損設施衝擊的擴大範圍等。透過定義災害特性、設施關連性、設施衝擊因子及災害衝擊區域，以瞭解災害及其影響特性、

防止災害衝擊區域擴大、有效掌握災害衝擊的受損設施系統。

2.3.1 建立示範都會區背景調查及重要設施資產表

Oh E. H., and Hastak M. (2008) 提出之災害衝擊評估方法，將災害衝擊分為：首要衝擊及次要衝擊。首要衝擊是指災害發生後，直接衝擊設施系統而造成設施損壞或失效，伴隨著首要衝擊而來的即為次要衝擊，次要衝擊則是指受影響產業的服務效能，由於設施損壞造成的服務效能喪失。文獻中提出「首要衝擊的設施系統與次要衝擊的受影響產業」概念，災害發生時，首當其衝的是基礎設施系統，而此類設施資產，又分為兩個項目：主要供應日常維生設施以及受衝擊設施。主要供應日常維生設施包含了通訊、交通、供電、天然氣及石油、供水等，負責供應日常維生及運作之基礎設施系統。受衝擊設施則包含了政府部門、緊急醫療、商業及財經、食品、教育等，受到基礎設施系統損壞衝擊的其餘他項設施，能夠迅速的將分析區域內，繁雜的基礎設施系統加以簡化，本研究將上述概念引用至系統界定中。

挑選衝擊分析之示範區域，主要考量因素如下：

1. 關係到基本維生效能之基礎設施，大多集中於都會區。
2. 首都是一個國家的重要都會城市。
3. 都會區特性則是人口密集、且設施系統複雜度高。

由於設施系統之基礎資料龐大且複雜，若以大首都區域觀念，進行基礎資料蒐集則是相當費時的，因此，先設定以示範都會區域作為開發方法之研究基礎。基於基礎設施相關資訊屬於機敏性資料，僅能概述案例研究的操作流程，將不進行詳述示範區域的系統元件、空間區位、發展狀況等資訊。針對較複雜的都會區首先進行衝擊分析方法開發，後續若應用至較為簡易的郊區衝擊分析，則可易於轉換。

示範都會區域設定為商業活動頻繁之熱門標的區域，區域內捷運系統、台鐵

縱貫線及高鐵，形成便捷的交通網絡、生活機能健全之都會區、四鐵共構交通效應，具有人潮聚集、住商混用，商業都市之特色；然而，居住密度高之都會區域，環境品質則下降，面臨都市災害威脅，防救災難度增高。有鑑於此，從眾多且複雜的基礎設施系統中，以衝擊影響民生之設施系統為首要，挑選三項主要供應日常維生設施系統，分別是：供電、供水及交通等系統，用以簡化分析內容，作為設施系統關聯性之分析對象。

- **第一階段研究重點：設施系統間之空間關聯**

經過基本資料彙集、篩選、分類及元素間相互關係的界定後，依據吳佳容等（2011），選定示範都會區域之設施系統，本研究將設施分類亦將設施分為主要部門、次部門及重要元件三層級加以展示，確認供電、供水、交通系統的設施元件，示範都會區之設施項目及空間區位示意，如表 1、圖 7 所示。此外，都會區域於災時是否能有效控管交通設施，亦是影響緊急應變和救災復原的重要元件；因此，進行都會區域基礎設施系統關聯分析時，亦將交通行控中心納入整體設施系統中探討。

1. 供電系統

供電設施系統方面，由台灣電力公司負責供電與輸電。供電設施元件包含 P_BT E/S 超高壓變電所，由 345Kv 超高壓輸電線輸配各區域之電力，區域內一次變電所 P_BC P/S、P_SD P/S、P_SMD/S、P_JS D/S、P_SH D/S 由 161Kv 一輸配線路輸電至 P_JT S/S 及 P_PC S/S 二次變電所供應示範都會區域之電力。

2. 供水系統

供水設施系統方面，由台灣省自來水公司負責供水與輸水。供水設施元件包含 W_BC 供水服務所、W_DG 加壓站、W_GC 加壓站、W_N1 加壓站、W_N2 加壓站、W_N3 加壓站及輸水 W_PC 支援點透過輸配水管線，各區配水管線供水至各區域使用。

3. 交通系統

交通設施系統方面，區分為兩大類：捷運系統與聯外橋梁。捷運車站共有 (T_GTS、T_SP、T_BC、T_FC、T_FEH、T_RBC) 6 站；聯外橋梁則包含 (T_GF、T_WB、T_DH、T_SH、T_DR、T_FG、T_CL、T_HJ、T_HT) 9 座，將公路橋梁及鐵路橋梁列入聯外橋梁設施元件中；此外，負責控管交通狀況之重要元件 T_TCC 交通行控中心，亦列入考量。

表1 示範都會區設施系統資產表

主要部門 (Sector)	次部門 (Sub-sector)	代號	重要元件 (Critical Element)
能源	電力	P_BT E/S	E/S 超高壓變電所
		P_BC P/S	P/S 一次變電所
		P_SM D/S	D/S 一次變電所
		P_SD P/S	P/S 一次變電所
		P_JS D/S	D/S 一次變電所
		P_SH D/S	D/S 一次變電所
		P_JT S/S	S/S 二次變電所
		P_PC S/S	S/S 二次變電所
		P_pipe	345Kv 超高壓輸電線
供水	淨水系統 供水線路	W_BC	供水服務所
		W_DG	供水加壓站
		W_GC	供水加壓站
		W_N1	供水加壓站
		W_N2	供水加壓站
		W_N3	供水加壓站
		W_PC	供水支援點
		W_pipe	供水管線
交通	陸運	T_GTS	捷運車站
		T_SP	捷運車站
		T_BC	捷運車站
		T_FC	捷運車站
		T_FEH	捷運車站
		T_RBC	台鐵高鐵共構車站
		T_TCC	交通行控中心
		T_GF	聯外重要橋梁
		T_WB	聯外重要橋梁
		T_DH	聯外重要橋梁
		T_SH	聯外重要橋梁
		T_DR	聯外重要橋梁
		T_FG	聯外重要橋梁
		T_CL	聯外重要橋梁
T_HJ	聯外重要橋梁		
T_HT	聯外重要橋梁		

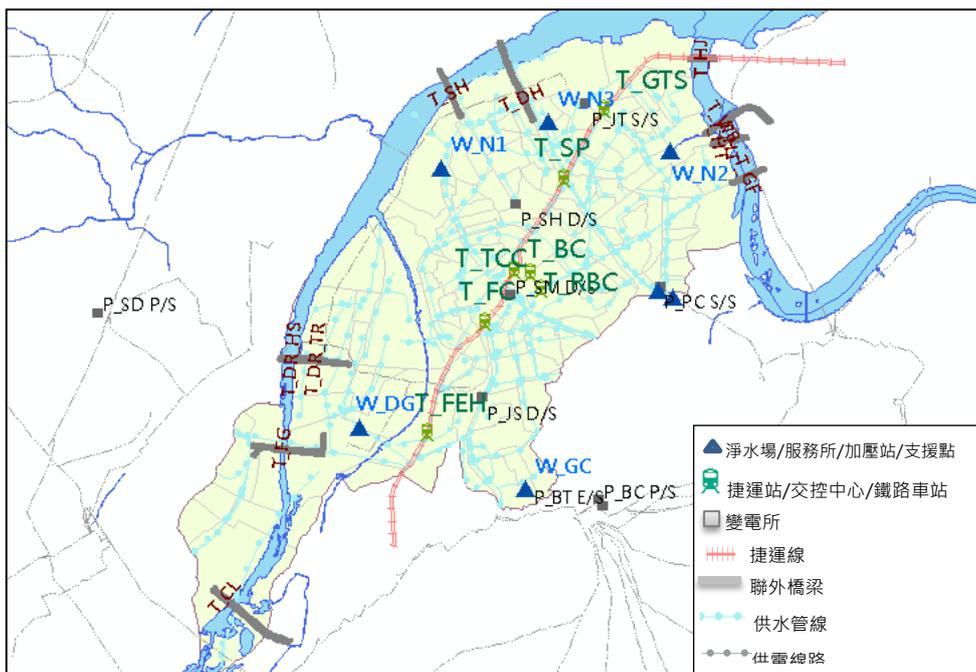


圖7 示範都會區基礎設施系統設施（元件）空間區位示意圖



圖8 示範都會區基礎設施系統設施（元件）之重點村里分佈圖

觀察空間關連特性，將設施通過較多的村里設定為重要村里，請參閱圖 8，上述重要村里中，為災害發生時之重點防護區域。在地理空間分佈上，不同設施間存在空間上的關連特性，表示供電系統中的單點設施失效，將容易連帶衝擊至鄰近的供水或交通設施系統；其中，特別觀察 FS 里、FC 里、BT 里及 GT 里四

個村里皆通過兩種不同的設施系統，重點村里及設施系統列表，請參閱表 2。

表2 重點村里及設施系統列表

村里	面積 (平方公里)	人口數	供水系統	供電系統	交通系統
FC 里	0.2823	4,200		P_SM D/S 一次變電所	T_BC 台鐵高鐵車站 T_TTC 交通行控中心
FS 里	0.1181	3,500	W_BC 服務所 W_PC 支援點		P_PC S/S 二次變電所
BT 里	0.5191	4,200		P_JT S/S 二次變電所	T_HJ 聯外橋梁 T_GTS 捷運車站
GT 里	0.2125	6,600	W_N2 加壓站		T_HT 聯外橋梁 T_WB 聯外橋梁

A. FC 里

FC 里面積 0.2823 平方公里，人口數 4,200 人，主要圍繞著捷運 T_BC 台鐵高鐵車站之四鐵共構車站，此外，並有 T_TTC 交通行控中心，亦為交通系統重要設施之一。供電系統方面，為因應住商辦混合區域用電，亦設置 P_SM D/S 一次配電變電所。D/S 將 161kV 降壓為 11.95 - 23.9 kV，將 22.8kV 配電至高壓配電用戶，再將 22.8 降壓配電至一般住宅用戶（台灣電力公司，2011）。因此，D/S 於供電設施系統中，具有重要之關鍵功能。

B. FS 里

FS 里面積 0.1181 平方公里，人口數 3,500 人，鄰近區域內包含了供水系統之 W_BC 服務所、W_PC 支援點及供電系統之 P_PC S/S 二次變電所。W_PC 支援點主要功能在於調度其他區域提供之水源，因此，供電情況之穩定，將首先衝擊埔墘加壓站支援點之供水效能。

C. BT 里：

BT 里面積 0.5191 平方公里，人口數 4,200 人，以 T_HJ 橋為主要聯外橋梁與市區相鄰，T_GTS 捷運車站座落於本區域；而供電系統方面，P_JT S/S 二次變電所成為供應本區電力之重要供電設施。

D. GT 里

BT 里面積 0.2125 平方公里，人口數 4,200 人，以 T_HT 橋及 T_WB 為主要聯外橋梁與市區相鄰；而供水系統方面，W_N2 加壓站成為本區供水之重要供電設施，且鄰近雙橋梁，對於橋梁上附掛之維生線路具有相當重要之空間相關性。

2.3.2 建立示範都會區重要設施系統間之關聯性

- **第二階段研究重點：設施系統間之關聯分析**

目前之研究成果主要著重於設施在空間上的關聯情形，本研究未來將利用示範都會區之設施元件，進一步分析不同設施系統間之相互關聯性。

當大規模災害發生後的黃金救援時間內，往往無法量化設施系統之嚴重損害程度，而透過設施系統之關聯矩陣，找出各項設施元件在整體系統中之角色定位，將可迅速得到影響系統整體運作之重要設施元件項目，作為後續基礎設施系統失效的災害衝擊評估之基礎。於災中應變時亦可使相關單位強化設施之保護，降低對於災害區域之衝擊程度。利用狀況調查、空間區位、資產表建立，將進行關聯性分析方法之應用成果展示。因應災害情境與系統特性，採用兩種系統關聯性分析方法：質化（主被動比）與量化（停止運作水準之投入產出）方法，透過資料蒐集及實地訪談，據以建立關聯性矩陣，並釐清影響系統關鍵元件與系統受衝擊情形。

以下概略說明關聯性分析方法，詳細介紹請見第四章及第五章。

1. 關聯性基礎設施評估模式-質化方法

主被動比模型，透過感受性系統模型觀念，找出影響整個系統運作的重要設施元件。

2. 關聯性基礎設施評估模式-量化方法

停止運作水準之投入產出模型(請參閱本報告第四章)，藉由數值方法找出哪一個設施元件為系統中的關鍵設施。

後續將以持續「系統分析」概念，進行具有回饋性之「系統相互關聯性方法」建構與討論，辨識一般性威脅之弱點分析模型與基礎設施相互關聯性分析技術。運用上述二種分析方法，以示範都會區為案例應用，以瞭解區域內跨設施系統間的相依性關聯及「重要關鍵設施單元」。

2.4 小結

1. 開發基礎設施之災害衝擊評估指標，分別以災害潛勢因子、設施脆弱因子及失效衝擊因子為評估因子，可依不同災害衝擊與不同類型設施選定不同的評估子項目，藉以提供各項設施進行失效後之災害衝擊評估之依據。
2. 本研究成果為開發「基礎設施失效災害衝擊評估方法」，建構單一設施系統跨區域以及單一區域跨設施系統為案例之評估分析，並使用 GIS 技術應用之整體架構。
3. 初步彙整國內外之歷史災例、文獻回顧、歸納所需之供水系統災害衝擊評估指標項目及示範都會區域設施資產之空間關聯分析，俾利後續設施系統資料庫之建立。
4. 未來(101 年度)將選定高風險之地震活動，以靠近首都區域之活動斷層及淺斷層震源作為選定依據。在設定大規模地震災害情境後，納入災害潛勢資料，結合現階段發展之基礎設施失效災害衝擊評估方法，可獲得示範都會區域設施衝擊評估地圖，以期在減災及應變階段皆能分析在不同災害情境下，設施系統失效之衝擊。

研究成果將可提供中央主管機關、縣市政府、防災相關單位及設施主管機關減災計畫及緊急應變計畫之參考，以針對重點區域加強設施元件之防護及相關檢視工作。

第三章 災害管理需求之 CI 衝擊效應

本（100）年度研究重點在災害管理需求下，基礎設施的分類方式，設施篩選與分類目的有：基於災害管理需求、設施失效後之嚴重影響程度、打破業管單位權責並擬定風險排序之分級管理，此外過去國內在設施脆弱性評估技術仍顯不足，設施風險文獻多以工程角度探討結構實體影響，脆弱性與衝擊之評估大多以災害損失衡量，換言之僅探究設施失效之實體脆弱度，卻鮮有社會、環境與經濟脆弱程度或相關設施受災後周遭區域衝擊評估之研究。100 年並以交通部公路總局 100 重點監控橋梁為範例，進行設施分類篩選，共劃分三個等級以利防護分級管理應用；此外於脆弱度衝擊分析研究，針對橋梁設施因受災失效對鄰近地區所可能產生之衝擊，共選取實體、社會及經濟三項構面共九項脆弱因子以評估地區脆弱度，以交通部公路總局 100 年重點監控橋梁所在鄉鎮為實例分析對象，最後利用地理資訊系統加以圖層套疊，針對各鄉鎮單元之地區脆弱度及並重點監控橋梁失效衝擊加以分析，此方法之建立可提供管理者利用地區脆弱度衝擊分析，進行橋梁設施分類篩選判斷，預先規劃公路橋梁防救災管理重點，據而決定救災資源配置與復原重建之優先性。本年度相關成果如下：

3.1 基礎設施災害衝擊分類方法

國家基礎設施，如前定義所述係指「實體的和虛擬的資產以及生產系統和網絡因重大人為破壞或嚴重自然災害受損，因而有影響政府功能運作，或造成人民傷亡或財產損失，或引起經濟衰退，或生態環境改變，或其他足使國家安全或利益遭受損害之虞者。」國家基礎設施之認定，應以設施因破壞或受損，無法使用或提供服務，所造成下列損害或影響，以為判斷之準則（行政院國土安全辦公室,2011）：

1. 足以直接或間接造成大規模人口影響者。
2. 足以直接或間接造成經濟損失者。
3. 足以直接或間接影響其他關鍵基礎設施營運之能力者。

參考上述計畫所劃定之標準，且考量 100 年度為初期研究並以省道橋梁為設施探討對象，為防災管理需求將分類等級簡化為三類，其標準如表 3 所示。

一般橋梁分類皆以橋梁結構形式、橋長、構造等工程考量為之且工程界仍無標準化之分類系統，綜整相關文獻分類如表 4 所示；惟對於橋梁失效後衝擊分類卻鮮少被討論，有鑑於設施分類為風險管理基本要項，本研究以橋梁設施分類為範例，進行分類原則與應用說明。鄧敏政等(2011a)以橋梁遭受颱風災害為例，分類篩選原則如下(本年度因資料取得問題，目前分類採前三項原則)：

1. 易致災潛勢 (颱風災害熱點、坡地災害熱點、地文災害敏感圖)
2. 斷橋後所影響之鄉鎮人口數
3. 復原難易度 (橋長、道路等級、車流量、替代道路、附掛管線....)
4. 經濟脆弱度 (家戶可支配所得、二級產業家數....)
5. 社會因子 (急救責任醫院距離、低收入比例、依賴人口扶養率、老化指數、身心障礙者比例....)
6. 實質脆弱度 (可能影響人口、替代道路)

表3 基礎設施分類_以橋梁為例

災害管理需求之橋梁分類	
分類	分類說明
第一類	橋梁設施因破壞或受損，無法使用或提供服務，其衝擊足使大規模的社會經濟造成重大影響或中央層級政府威信受損害之虞者。
第二類	橋梁設施因破壞或受損，無法使用或提供服務，其衝擊足使縣市區域規模的社會經濟造成重大影響或縣市層級政府威信受損害之虞者。
第三類	橋梁設施因破壞或受損，無法使用或提供服務，其衝擊足使鄉鎮區域規模的社會經濟造成重大影響或鄉鎮層級政府威信受損害之虞者。

表4 橋梁分類彙整

項次	分類原則	分類種類
1	依運輸用途分類 (徐耀賜, 1997)	<ul style="list-style-type: none"> •鐵路橋梁 •捷運橋梁 •公路橋梁 •水路橋梁 •人行路橋
2	依結構形式分類 (徐耀賜, 1997)	<ul style="list-style-type: none"> •版橋 •梁式橋 •箱型橋 •拱橋 •桁架橋 •懸索橋 •斜張橋 •剛架橋 •特殊型式橋梁
3	依荷重傳遞至支承之型態 (FHWA, 1991)	<ul style="list-style-type: none"> •梁式橋 •拱橋 •懸索橋
4	橋梁重要等級及重要程度 (公路總局, 2004)	<ul style="list-style-type: none"> •極重要 •重要 •次重要 •一般
5	依總長度區分 (公路總局, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> •未滿 10 公尺 •10-49.9 公尺 •50-99.9 公尺 •100 公尺以上
6	依構造分類 (公路總局, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> •木橋 •磚石橋 •混凝土橋 •鋼橋 •吊橋

(本研究彙整)

有關災害熱點，係根據國家災害防救科技中心坡地組 1911 年至 2009 年歷史災害統計資訊 (6,989 筆) 進行劃分，並使用 GIS 軟體裡的 buffer 進行緩衝帶分析，挑選統計重點監測橋梁半徑 500m 以內涵蓋了歷史災害的次數，並使用 Hot Spot Analysis 將各災害次數統計下進行熱點分析，其方法描述如下：

本研究是以 ARCGIS 軟體之空間分析模組進行熱點分析 (Hot Spot Analysis)，針對全台跨河橋附近所發生之災害進行分析，Hot Spot Analysis 一般多應用於分析社會經濟上，藉以觀察某因子在各地區的集中性，利用統計學標準化所得 Z 值來顯示集中程度，公式如下：

$$z = \frac{\chi - \mu}{\sigma} \quad (\text{式 3.1})$$

其中，

χ = 跨河橋災害次數值

μ = 母體平均值

σ = 母體標準差

3.1.1 案例分析

本研究以公路總局 1189 座跨河橋梁為研究對象 (圖 9)，研究方法將參考上述原則項目，共計篩選影響人口、道路等級、橋長、橋梁災害熱點等四項進行分類，最後將各原則的配分進行加總，並以等間距的方式分成 3 類，各項原則篩選分類劃分如表 5 所示，其分析結果如圖 10 所示。

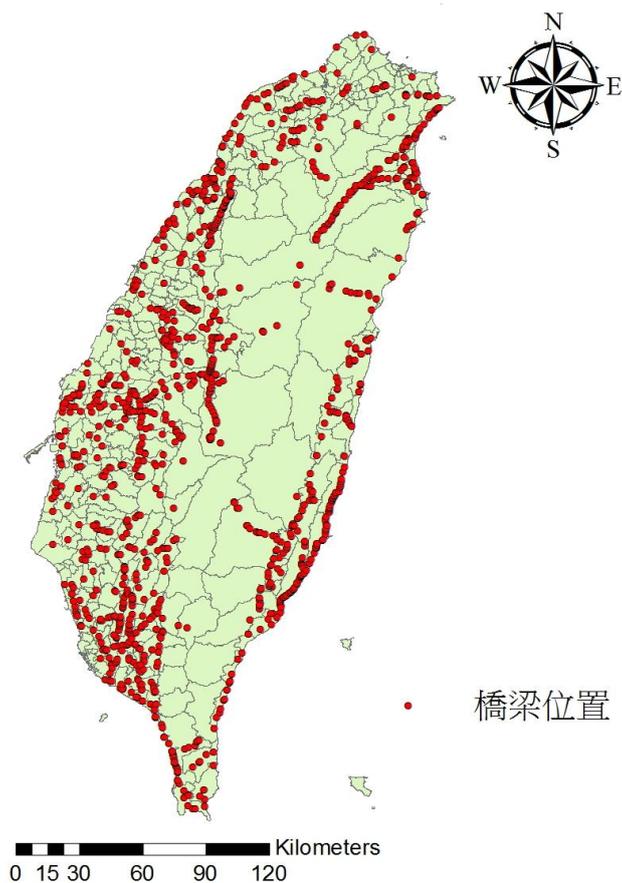


圖9 跨河橋梁分佈圖

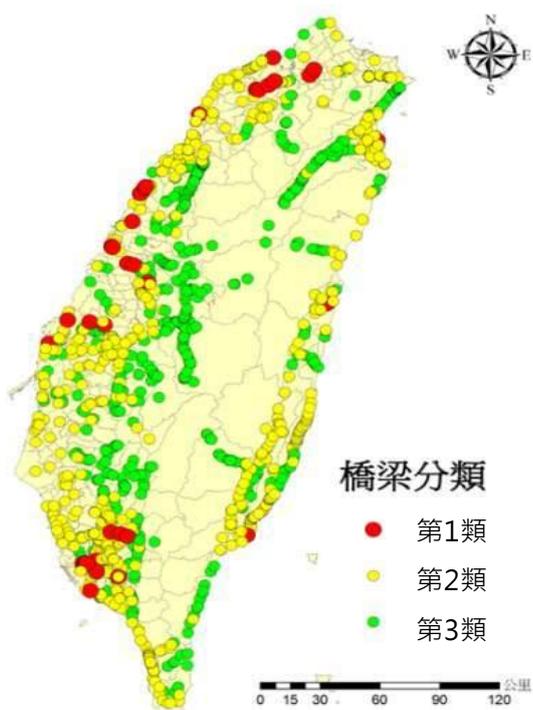


圖10 跨河橋梁分類

表5 橋梁分類篩選原則

篩選原則	分類等級		
	第 1 類	第 2 類	第 3 類
影響人口(人)	>300,000	299,999-200,000	<199,999
道路等級	國道	省道	縣道
橋長(m)	>1,000	999-120	<119
災害熱點 z 值	<-1.0	-1.0 - 1.0	>1.0

結果顯示中華大橋、忠孝大橋、臺北大橋、華江大橋、林口高架橋、大甲溪橋、大度橋、中彰大橋、中彰大橋與西濱大橋等 38 座橋梁屬於第 1 類(如表 6 所示)，依據圖 11 所示，此 38 座橋梁約佔全部跨河橋梁之 3%比例，然分析結果顯示，此類橋梁於災害管理中最重要，除需加強防護並需擬定防災防護計畫，如造成橋梁失效所造成交通衝擊影響最大。

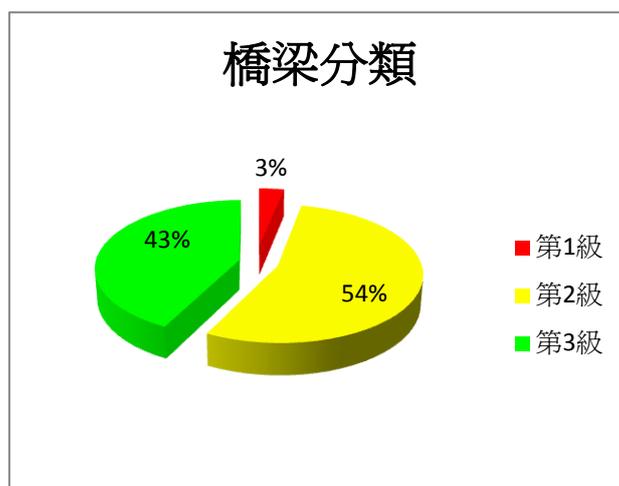


圖11 跨河橋梁分類結果分析

表6 跨河橋梁分類_第一類橋梁

編號	橋梁名稱	路線
1	中華大橋	臺 11 線
2	忠孝大橋	臺 1 線
3	臺北大橋	臺 1 甲線
4	華江大橋	臺 3 線
5	林口高架橋	臺 15 線
6	大甲溪橋	臺 1 線
7	大度橋	臺 1 線
8	中彰大橋	臺 17 線
9	中彰大橋(WH46)	臺 61 線
10	西濱大橋	臺 17 線
11	自強大橋	臺 19 線
12	溪州大橋	臺 1 線
13	EW309 標高架橋	臺 74 線
14	竹港大橋	臺 15 線
15	229K+985 河川橋	臺 61 線
16	高屏大橋	臺 1 線
17	萬大大橋	臺 88 線
18	雙園大橋	臺 17 線
19	里嶺大橋	臺 22 線
20	大智陸橋	臺 1 線
21	山子頂橋	臺 1 戊線
22	建國橋	臺 1 線
23	高鳳橋	臺 1 線
24	老街溪橋	臺 1 線
25	新街橋	臺 1 線
26	永安橋	臺 1 線
27	新檜稽橋	臺 4 線
28	出水至房裡段高架橋	臺 61 線
29	西濱快速公路 WH33-1 標新建工程	臺 61 線
30	西濱快速公路 WH33-2 標工程高架橋	臺 61 線
31	西濱快速公路 WH33-3 標新建工程	臺 61 線
32	里港大橋	臺 3 線
33	高樹大橋	臺 22 線
34	南華大橋	臺 27 線
35	CT010 標高架橋	臺 63 線
36	東華大橋(北上)	臺 11 丙線
37	東華大橋(南下)	臺 11 丙線
38	噶瑪蘭橋	臺 2 線

3.2 橋梁區域脆弱度衝擊分析

本研究以地區脆弱度架構評估橋梁失效之社會、環境與經濟相關衝擊，故需針對脆弱度之定義與衡量方法進行探討，進而藉由文獻之歸納以界定本研究後續據以分析之脆弱度內涵。

3.2.1 脆弱度之定義

脆弱度係指面對危害 (hazard) 發生時，會增加易損程度 (susceptibility) 的狀態 (UN/ISDR, 200)，此狀態取決於實體面 (physicality)、社會面 (society)、經濟面 (economy) 與環境面 (environmen) 的因素 (UN/ISDR, 2004; GTZ, 2004)。因此脆弱度為一反向指標，脆弱度愈高表示該個體或系統具備較差的抵抗能力。而脆弱度因子會隨著時空環境及危害特性而有所不同，尤其，地區脆弱度並非由天然因素所形成，而是由許多人為因素所構成之災害空間，此一災害空間係由經濟、社會、文化、教育、政治，甚至心理因素所共同整合成之一個生活環境與空間。常見 GTZ 及 UN/ISDR 脆弱度因子整理如表 7 所示 (謝承憲等，2010)。

3.2.2 地區脆弱度因子選取

本研究根據謝承憲等人 (2009) 研究成果，並參考 UN/ISDR (2004) 所定義之脆弱度構面，選取因橋梁失效所導致衝擊之地區脆弱度因子，並以實體脆弱度、社會脆弱度及經濟脆弱度等三構面選取評量因子，以居住人口數表達可能受橋梁失效影響之暴露度，人口數愈多表示潛在受影響者愈多，則脆弱度愈高。另以橋梁失效後替代道路距離以顯示地區民眾所可能產生交通延滯之程度高下，利用該替代道路所需花費時間愈長，顯示該地可及性較低，橋梁失效所衍生時間成本愈高，脆弱度亦愈高。

表7 脆弱度因子內涵

文獻出處	維度	脆弱度因子/內涵
GTZ (2004)	實體面	空間區位、設施實體結構技術與品質、人口成長與密度...等
	社會面	傳統知識系統、風險知覺、教育程度、法治水準、人權、公民參與、社會組織與機構、法令、政治、弱勢族群、依賴人口(老、弱、孺)、公共衛生、權力結構、資訊可及性、社會網絡可及性...等
	經濟面	社經狀態、貧窮、食物短缺、農業系統與設施、缺乏多元經濟活動、薪資收入結構、基礎設施(水、能源、醫療、運輸)可及性低、財政體系不健全...等
	環境面	可耕地、水資源、植被、生物多樣性、生態系統穩定性...等
UN/ISDR (2004)	實體面	區位及建成環境的敏感度，以暴露量表示，包括：人口密度、偏遠部落、地點、設施與建築的設計及使用材料...等
	社會面	教育程度、社會安全、基本人權、健全治理機制、社會公平、正向傳統價值、習俗、意識形態；脆弱族群(性別、依賴人口、弱勢族群)；公共衛生(供排水系統、醫療服務)；傳統知識系統、風險知覺；社會權力關係、凝聚力及規範...等
	經濟面	貧窮(多數是老年及女性)人口、舉債水準、可使用信用、貸款及保險、多樣性經濟活動、通訊網路、運輸、供水、污水處理、醫療服務...等
	環境面	自然資源損耗、資源退化、缺乏回復力、毒害及污染的暴露、生物多樣性、土壤退化、水荒...等

橋梁脆弱度衝擊分析首重脆弱度分析因子選擇，本研究三構面脆弱度分析因子項目如下：

1. 實質脆弱度（影響人口、替代道路）
2. 經濟脆弱度（二級產業家數、家戶可支配所得）
3. 社會脆弱度（依賴人口扶養率、老化指數、身心障礙者比例、低收入比例、急救責任醫院距離）

社會脆弱度主要係以社會或人口結構評量當一地區受危害影響時所具備之抵抗或適應能力，若研究範圍內弱勢群體比例愈高，顯示其自保能力較差。據此，本研究利用依賴人口扶養率為社會脆弱度因子之一，依賴人口係指未滿 15 歲之幼年人口及 65 歲以上之老年人口，通常自保及應變能力較弱，需由 15~64 歲工作年齡人口擔負照護及扶養責任。而依賴人口扶養率即為依賴人口與工作年齡人

口之比例，其值愈高顯示工作年齡人口平均之扶養負擔愈重，脆弱度亦愈高。近年臺灣人口結構少子化與高齡化趨勢加劇，依賴人口扶養率逐年攀升。故本研究另以老化指數衡量地區人口老化程度，老化指數為老年人口數與幼年人口數之比值，老化程度愈高則受危害影響程度愈烈。

為評量地區受危害時之應變與救護能力，本研究以醫療體系中地區醫院為對象，分析橋梁失效後各地區喪失醫療可及性之衝擊，尤其年長者或慢性病患者之影響甚鉅。然可得資料僅能以橋梁失效後各研究地區與地區醫院間之距離為社會脆弱度因子，無法進行改變就診習慣所導致之損失推估。低收入戶比例可依分析目的歸類於社會脆弱度或經濟脆弱度，UN/ISDR 研提四項脆弱度構面並非以強制劃分類別為目的，主要用以協助決策者檢視是否有可能關鍵脆弱因子遭遺漏。橋梁失效後轉換運具困難度較高，或因繞路所產生之額外成本對生活影響較鉅。經濟脆弱度部分應將產業損失納入考量，初級與三級產業相對而言受橋梁失效衝擊程度較小，故本研究僅分析次級產業損失，宥於各地區之二級產業產值無法獲得，本研究以各地區二級產業家數為替代因子進行評估。此外，家戶可支配所得顯示其經濟能力，橋梁失效分析中，經濟能力較佳者受衝擊相對較小，故其脆弱度較低，因資料取得問題，故採用納稅平均所得資料（盧鏡臣等，2009）。

本研究以公路橋梁為研究範圍，探討橋梁失效之地區脆弱度，並以鄉鎮為分析單元，相關脆弱度因子如表 8 所示（謝承憲等，2010；鄧敏政等，2011a）。

表8 橋梁設施失效之脆弱度分析因子

分類	脆弱因子	說明
實質脆弱度	影響人口(人)	依縣市主計處統計資料，影響人口為 100 年鄉鎮區之居住人口數
	替代道路距離(分)	橋梁失效後使用替代道路所需花費時間
經濟脆弱度	二級產業家數(家)	95 年工商及服務業普查資料
	家戶可支配所得(千元)	家戶可支配所得顯示其經濟能力，本研究以納稅平均所得資料取代
社會脆弱度	依賴人口扶養率(%)	依縣市主計處統計資料，依賴人口扶養率即為依賴人口與工作年齡人口之比例
	老化指數	依縣市主計處統計資料，老化指數為老年人口數與幼年人口數之比值
	身心障礙者比例(%)	依據內政部統計月報，身心障礙者比例係指身心障礙者與居住人數比例
	急救責任醫院距離(分)	橋梁與急救責任醫院間之距離所需花費時間
	低收入比例(%)	依據內政部統計月報，低收入比例為低收入人數與居住人數比例

3.2.3 地區脆弱度評估方法

本研究所採用之基本資料包括既有的地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 圖層及政府公開之統計資料或研究報告。脆弱因子間之權重設定採用蕭代基等人建議 (蕭代基等, 2010; 李欣輯等, 2009), 採等權重設定, 係由於其操作較為簡便, 且認為重要變項尚未獲得驗證前, 貿然賦予脆弱因子不同權重未必能獲致較佳產出, 另建議可以標準化轉換方式進行脆弱程度劃分, 並以標準差為分層標準進行相互比較, 標準化後 z 值如式 (3.2.1) 所示。

$$z = \frac{x - M}{SD} \quad \text{式 (3.2.1)}$$

其中,

z : 標準化之地區脆弱度

x : 各分析地區之脆弱度

M : 研究範圍內所有地區脆弱度之平均值

SD： 研究範圍內所有地區脆弱度之標準差

3.2.4 案例介紹

為實際探討公路跨河橋失效之鄰近地區脆弱度，考量橋梁道路受災重要性，本研究以交通部公路總局所公布之 100 年重點監控橋梁（圖 12）為研究範圍，受莫拉克颱風影響，主要重點監控橋梁仍以中南部及東部地區為主，共計有天福大橋、橫溪橋、南太麻里橋、知本橋、新園橋、鹿鳴橋、霧鹿橋、新武橋、池上大橋、大內八號橋、青葉橋、八掌溪橋、南雄橋、家源橋、北港溪橋、三地門大橋、口社橋、新潮州大橋、五魁橋、車城橋、枋寮大橋、枋山大橋、楓港橋、林邊大橋、餉潭大橋、力力溪大橋、東港大橋、里嶺大橋、滿州橋、港口橋、峨嵋橋、中港溪橋、民權大橋、萬大大橋、寶來一橋、寶來二橋、寶隆大橋、楠梓仙溪橋、高美大橋、新旗尾橋、橋仔頭橋、大湖口溪橋、北港大橋、赤蘭溪橋、蒜頭大橋、月眉潭橋、西螺大橋、麥嶼厝橋等 48 座跨河橋進行分析，探討上述各橋梁所經鄉鎮橋梁失效之地區脆弱度，相關基本與橋梁現況訊息詳如表 9 所示，表 10 顯示重點監控橋梁之實體破壞、橋址河床淤積及需提前預警封橋等致災成因。



圖12 100年重點監控橋梁分佈圖

表9 100年度重點監測橋梁(48座)

(100.06 發佈, 資料來源: 公路總局)

編號	橋名	縣市	鄉鎮	路線
1	天福大橋	台中縣	新社鄉	臺21線
2	橫溪橋	台北縣	三峽鎮	臺3線
3	南太麻里橋	台東縣	太麻里鄉	臺9線
4	知本橋	台東縣	太麻里鄉	臺9線
5	新園橋	台東縣	台東市	臺9線
6	鹿鳴橋	台東縣	延平鄉	臺9線
7	霧鹿橋	台東縣	海端鄉	臺20線
8	新武橋	台東縣	海端鄉	臺20線
9	池上大橋	台東縣	關山鎮	臺9線
10	大內八號橋	台南縣	大內鄉	臺84線
11	青葉橋	台南縣	東山鄉	165線
12	八掌溪橋	台南縣	後壁鄉	臺1線
13	南雄橋	台南縣	關廟鄉	臺19甲
14	家源橋	宜蘭縣	大同鄉	臺7甲線
15	北港溪橋	南投縣	國姓鄉	臺21線
16	三地門大橋	屏東縣	三地門鄉	臺24線
17	口社橋	屏東縣	三地門鄉	185線
18	新潮州大橋	屏東縣	竹田鄉	臺1線
19	五魁橋	屏東縣	竹田鄉	189線
20	車城橋	屏東縣	車城鄉	臺16線
21	枋寮大橋	屏東縣	枋山鄉	臺1線
22	枋山大橋	屏東縣	枋山鄉	臺1線
23	楓港橋	屏東縣	枋山鄉	臺1線
24	林邊大橋	屏東縣	林邊鄉	臺17線
25	餉潭大橋	屏東縣	新埤鄉	185線
26	力力溪大橋	屏東縣	新埤鄉	185線
27	東港大橋	屏東縣	新園鄉	臺17線
28	里嶺大橋	屏東縣	萬巒鄉	臺22線
29	滿州橋	屏東縣	滿州鄉	200線
30	港口橋	屏東縣	滿州鄉	200線
31	峨嵋橋	苗栗縣	三灣鄉	臺3線
32	中港溪橋	苗栗縣	頭份鎮	臺4線
33	民權大橋	高雄縣	三民鄉	臺21線
34	萬大大橋	高雄縣	大寮鄉	臺88線
35	寶來一橋	高雄縣	六龜鄉	臺20線
36	寶來二橋	高雄縣	六龜鄉	臺20線
37	寶隆大橋	高雄縣	甲仙鄉	臺21線
38	楠梓仙溪橋	高雄縣	甲仙鄉	臺21線
39	高美大橋	高雄縣	美濃鎮	181線
40	新旗尾橋	高雄縣	旗山鎮	臺3線
41	橋仔頭橋	高雄縣	橋頭鄉	臺1線
42	大湖口溪橋	雲林縣	斗南鎮	臺1線
43	北港大橋	嘉義縣	六腳鄉	臺19線
44	赤蘭溪橋	嘉義縣	水上鄉	165線
45	蒜頭大橋	嘉義縣	朴子市	157線
46	月眉潭橋	嘉義縣	竹崎鄉	159線
47	西螺大橋	彰化縣	溪州鄉	145線
48	麥嶼厝橋	彰化縣	福興鄉	臺17線

表10 100 年度重點監控橋梁之災況

(100.06 發佈，資料來源：公路總局)

編號	橋名	現況描述
1	天福大橋	逢豪大雨沖刷嚴重
2	橫溪橋	梁底高程低於現有堤防頂
3	南太麻里橋	依河川治理計畫(莫拉克颱風後檢討)橋梁長度不足
4	知本橋	依河川治理計畫(莫拉克颱風後檢討)橋梁長度不足
5	新園橋	橋下跌水情形造成基礎裸露
6	鹿鳴橋	台9線重要橋梁、河床具沖刷特性；耐震能力不足
7	霧鹿橋	河床淤高
8	新武橋	河床具沖刷特性
9	池上大橋	河床具沖刷特性；耐震能力不足
10	大內八號橋	因莫拉克風災致河床遭沖刷，P1 橋墩及 A1 橋台裸露
11	青葉橋	河道淤積，當白河水庫洩洪時水位易達警戒水位必需封橋
12	八掌溪橋	橋墩基礎裸露
13	南雄橋	通水斷面不足
14	家源橋	因為無竣工圖，無法了解基礎深度而列重點監控
15	北港溪橋	河道束縮及沖刷
16	三地門大橋	惟屬隘寮溪流域，其地勢坡度陡，遇颱風來襲有沖刷之虞
17	口社橋	下部淨高不足
18	新潮州大橋	耐震評估基礎補強
19	五魁橋	下部結構基樁安全不足
20	車城橋	梁底淨高不足，豪雨期間上游牡丹水庫洩洪易達封橋水位
21	枋寮大橋	河床土石淤高、上游存在一士文堰塞湖
22	枋山大橋	河床土石淤高
23	楓港橋	右側護岸尚未整治，恐有引道被沖毀之疑慮
24	林邊大橋	耐震評估不符改建
25	餉潭大橋	屬林邊溪流域，其地勢坡度陡，遇颱風來襲有沖刷之虞
26	力力溪大橋	屬林邊溪流域，其地勢坡度陡，遇颱風來襲有沖刷之虞
27	東港大橋	不符東港溪治理計畫
28	里嶺大橋	位高屏溪流域有沖刷之虞
29	滿州橋	橋齡老舊、通洪斷面不足，豪雨期間易達封橋水位
30	港口橋	橋齡老舊、通洪斷面不足，豪雨期間易達封橋水位
31	峨嵋橋	基礎裸露
32	中港溪橋	P3~P4 之河床沖刷
33	民權大橋	橋墩基礎沖刷嚴重，橋墩、A2 橋台引道及上部結構均有受損
34	萬大大橋	基礎屬 PC 樁，位高屏溪流域有沖刷之虞
35	寶來一橋	橋墩基礎沖刷嚴重，為寶來地區重要出入要道
36	寶來二橋	河床淤積嚴重，A1 橋台傾斜嚴重受損，為桃源地區唯一出入要道
37	寶隆大橋	橋墩基礎沖刷嚴重
38	楠梓仙溪橋	橋梁之 A1 橋台引道嚴重受損
39	高美大橋	橋墩基礎沖刷嚴重，水流深槽變化大
40	新旗尾橋	河道有束縮沖刷情形
41	橋仔頭橋	橋基深度不足
42	大湖口溪橋	上游河道寬束縮，河床水位容易上升至封橋水位
43	北港大橋	橋墩基礎裸露
44	赤蘭溪橋	河床束縮沖刷，河床線下陷致使橋基有裸露情形
45	蒜頭大橋	A2 橋台侵入堤防內橋長不足
46	月眉潭橋	橋墩基礎裸露
47	西螺大橋	基礎裸露
48	麥嶼厝橋	基礎裸露

3.2.5 區域脆弱度衝擊分析

脆弱因子間之權重設定為重要課題之一，決定因子間相對重要程度之方法主要可分為等權設定、專家問卷法及柏瑞圖排序法 (Pareto ranking)。專家問卷或實證調查法為廣為應用之權重決定方式 (蕭代基等，2010；李欣輯等，2009)。本研究主要目的係建立區域脆弱度方法論分析流程，故現階段暫時不針對各脆弱因子間之權重加以調查分配，而各脆弱度因子尺度劃分，亦僅初步利用 48 處重點監控橋梁所處鄉鎮資料及 Arc GIS 軟體之 Natural Break 功能加以劃分，故未來研究將採用專家座談與民眾問卷之調查方式，進一步決定符合現狀之權重與脆弱度因子尺度級距劃分。根據所選取之九項區域脆弱度因子：影響人口數、替代道路距離、依賴人口扶養率、老化指數、身心障礙者比例、急救責任醫院距離、低收入戶比例、二級產業家數、家戶可支配所得，本研究脆弱度因子尺度劃分如表 11 所示，重點監控橋梁所在鄉鎮經得點分數加總與標準化 Z 值計算後，以 GIS 圖層劃分出 5 種級距呈現，其結果如圖 13 所示。

表11 脆弱度因子尺度

脆弱度因子	尺度				
	I	II	III	IV	V
影響人口(人)	<5000	5001-15000	15001-30000	30001-50000	>50000
替代道路距離(分)	<3	3-6	7-10	11-14	>14
二級產業家數(家)	<50	51-100	101-250	251-500	>500
家戶可支配所得(千元)	>700	651-700	621-650	601-620	<600
依賴人口扶養率(%)	<35	35-37	38-40	41-43	>43
老化指數	<40	41-60	61-80	81-120	>120
身心障礙者比例(%)	0.3	0.4-5.0	5.0-7.0	7.1-9.0	>9.0
急救責任醫院距離(分)	<5	5-14	15-25	25-35	>35
低收入戶比例(%)	<0.6	0.6-1.4	1.5-3.0	3.1-6.0	>6.0

為探討區域脆弱度，需進行 48 座重點監控橋梁所在鄉鎮 Z 值計算，有關脆弱度 Z 值劃分標準，係參考行政院「國家關鍵基礎設施安全防護專業服務委外研究案」之國家關鍵基礎設施等級劃分標準（5 種級距），以及 48 處重點監控橋梁所在鄉鎮標準化 Z 值計算結果，依其風險程度高低將 Z 值劃分出 5 種級距（詳如圖 3.2.2 所示），然未來區域脆弱度等級劃分標準，仍須結合橋梁管理權責機關之防災需求加以修正。根據九項脆弱度因子尺度得點分數加總之統計資料，結果顯示地區脆弱度總分數主要界於 19~32 間，平均值為 26.3，標準差為 2.96，經代入公式（3.2.1）標準化，並依脆弱度 Z 值區分為五級，其中低脆弱地區橋梁所佔比例為 6%，Z 值級距 $< (-1.36)$ 、輕微脆弱地區橋梁比例為 23%，級距 $(-1.36 \sim -0.54)$ 、中脆弱地區橋梁比例為 31%，級距 $(-0.55 \sim 0.25)$ 、嚴重脆弱地區橋梁比例為 23%，級距 $(0.25 \sim 1.1)$ 及極度脆弱地區橋梁比例為 17%，級距 (>1.1) ，經由上表統計發現，48 座重點監控橋梁所在鄉鎮地區脆弱度 Z 值以中脆弱地區最多（31%），其次為嚴重脆弱地區橋梁（23%）與輕微脆弱地區（23%）。

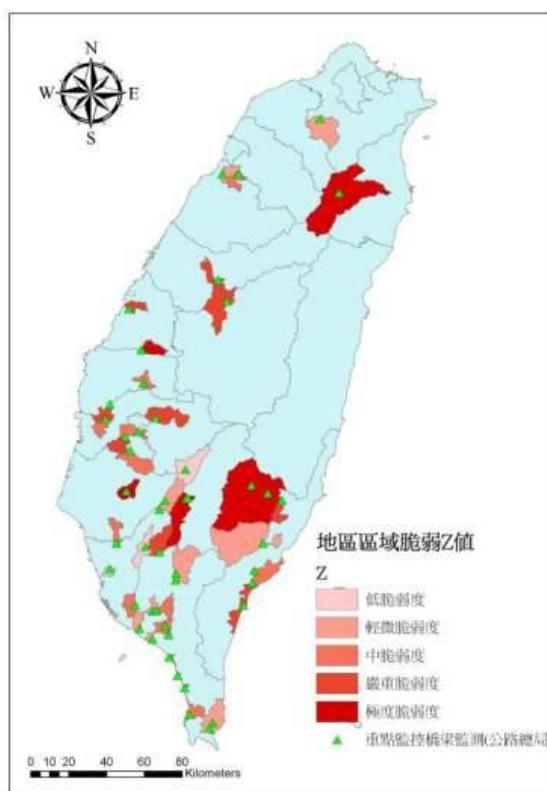


圖 13 重點監控橋梁失效之區域脆弱度圖

相關級距統計資料如下表 12 所示，以中脆弱度地區比例最高，其次分別為嚴重與輕微脆弱度地區。

表12 100 年重點監控橋梁失效之區域脆弱度統計

地區分級	低脆弱	輕微脆弱	中脆弱	嚴重脆弱	極度脆弱
級距	<-1.36	-1.36 ~ -0.54	-0.55 ~ 0.25	0.25 ~ 1.1	>1.1
橋梁(座)	3	11	15	11	8
比例	6%	23%	31%	23%	17%

參考表 11 脆弱度因子尺度，進行各地區九項脆弱因子差異比較，彙整資料詳如表 13 所示。表 13 顯示極度脆弱地區脆弱度因子，影響此區域脆弱度主要因素為經濟與社會脆弱度，例如家戶可支配所得，且皆低於 600 千元，然而二級產業家數影響卻最不明顯，因為除彰化縣溪州鄉外（194 家），其他地區皆小於 50 家。

彰化縣溪州鄉、台東縣太麻里鄉、高雄縣六龜鄉、台南縣大內鄉等四個地區，雖替代道路相當便利，然至責任醫院距離卻須相當的時間（>20 分鐘），高雄縣六龜鄉甚至需要 1 小時，顯示此四地區社會脆弱度因子極為脆弱。另宜蘭縣大同鄉、台東縣海端鄉皆於偏遠地區，替代道路與責任醫院距離相對較長，依正常開車時間來計算，皆須要 30 分鐘以上甚至要 1 小時的時間。

人口結構方面（依賴、老化、身心障礙與低收入戶比例）除了宜蘭縣大同鄉、台東海端鄉在老化比例上較低，其他各地區在人口結構方面皆相當脆弱。

表13 重點監測橋梁區域脆弱度因子_極度脆弱地

橋名	縣市	鄉鎮	影響人口	替代道路距離	二級產業家數	家戶可支配所得	依賴人口扶養率	老化指數	身心障礙比例	醫院距離	低收入戶比例
家源橋	宜蘭縣	大同鄉	(II)	(IV)	(I)	(V)	(IV)	(II)	(IV)	(V)	(V)
西螺大橋	彰化縣	溪州鄉	(IV)	(I)	(III)	(V)	(V)	(IV)	(III)	(III)	(II)
寶來一橋	高雄縣	六龜鄉	(III)	(I)	(I)	(V)	(IV)	(V)	(III)	(V)	(III)
寶來二橋	高雄縣	六龜鄉	(III)	(I)	(I)	(V)	(IV)	(V)	(III)	(V)	(III)
大內八號橋	台南縣	大內鄉	(II)	(II)	(I)	(V)	(V)	(V)	(IV)	(III)	(III)
新武橋	台東縣	海端鄉	(I)	(V)	(I)	(V)	(III)	(I)	(V)	(IV)	(V)
霧鹿橋	台東縣	海端鄉	(I)	(V)	(I)	(V)	(III)	(I)	(V)	(IV)	(V)
知本橋	台東縣	太麻里鄉	(II)	(I)	(I)	(V)	(IV)	(IV)	(V)	(IV)	(IV)

3.3 水庫潰壩情境下之災害衝擊分析與主題圖應用

依據美國國土安全部公佈之 National Infrastructure Protection Plan (NIPP)，水庫為國家關鍵基礎設施其中之一項重要次部門。水庫受災的可能情境有二，包括地震、颱風或人為破壞時發生之潰壩洩洪，以及乾旱或濁度過高時發生之供水失效，本專案 100 年度先進行潰壩洩洪情境下之災害衝擊分析。潰壩洩洪為突發性災害，活動時間相當短暫，從減災工作角度考量，除了災前的安全評估，災後的淹水範圍亦為重要課題，可以提供災害應變情資研判建議。

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，表 14 所示為部分資料內容。

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（經濟部水利署北區水資源局，2006），找出潰壩洩洪時水庫下游之淹水衝擊影響區域。本專案 100 年度先以石門水庫為例，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，如圖 14 所示。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 15 所示。

表14 國內主要水庫基本資料 (部分內容)

水庫名稱	有效容量 (萬立方公尺)	引用水源	位置	功能	管理機關
曾文水庫	49159	曾文溪	嘉義大埔	灌溉、發電、給水、防洪	南水局
翡翠水庫	33582	北勢溪	臺北新店	給水	台北翡翠管理局
石門水庫	20969	大漢溪	桃園龍潭	灌溉、發電、給水、防洪	北水局
德基水庫	15596	大甲溪支流	臺中和平	發電、給水、觀光、防洪	台電
鯉魚潭水庫	11562	景山溪	苗栗三義	給水、灌溉、發電	中水局
南化水庫	9681.35	後堀溪	臺南南化	給水	台水(第六區)
烏山頭水庫	8085	官田溪	臺南官田	灌溉、給水	嘉南水利會
日月潭水庫	7700	濁水溪	南投魚池	發電、觀光	台電
霧社水庫	5439	霧社溪	南投仁愛	發電	台電
寶山第二水庫	3134	石井溪	新竹寶山	給水	北水局
永和山水庫	2809.58	中港溪	苗栗三灣	給水、灌溉	台水(第三區)
牡丹水庫	2793	四重溪	屏東牡丹	給水、灌溉	南水局
仁義潭水庫	2506	八掌溪	嘉義番路	給水、灌溉	台水(第六區)
阿公店水庫	1837	阿公店溪	高雄燕巢	防洪、灌溉、給水	南水局
明德水庫	1244.76	老田寮溪	苗栗頭屋	給水、灌溉	苗栗水利會
白水水庫	1068	白水溪	台南白河	灌溉、給水、防洪	嘉南水利會
新山水庫	1030	新山溪	基隆市	給水	台水(第一區)
蘭潭水庫	925.73	八掌溪	嘉義市	給水	台水(第五區)

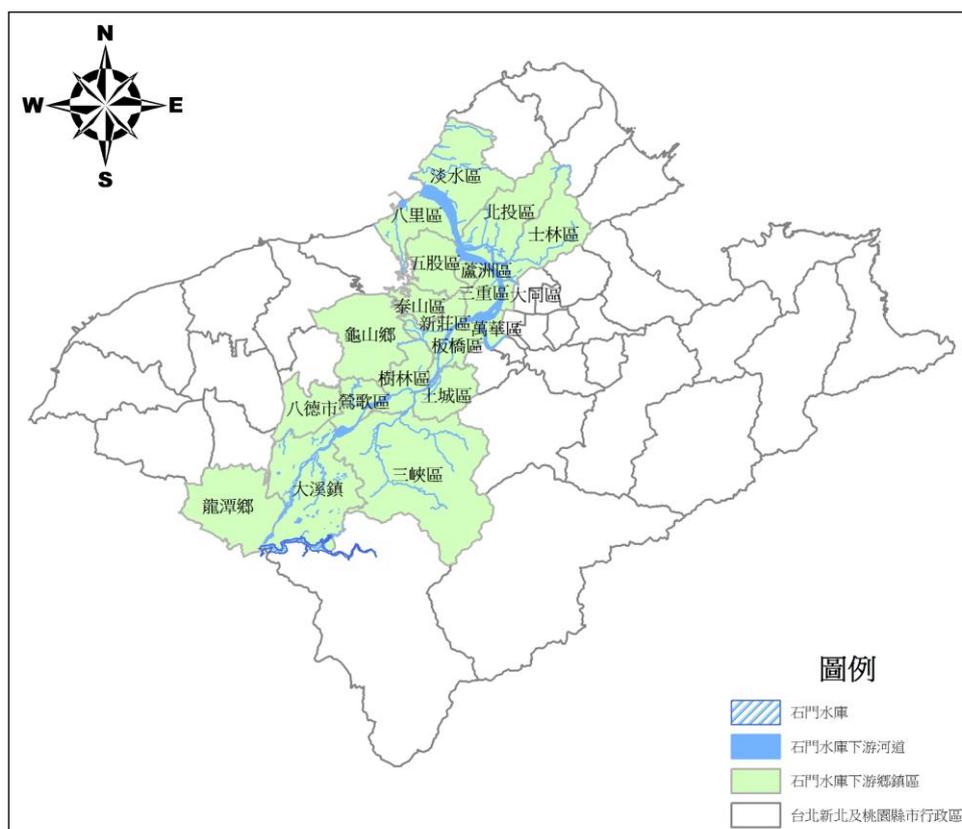


圖14 石門水庫下游鄉鎮區圖層

表15 石門水庫下游受災衝擊區域各項社經指標

鄉鎮	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（吳啟瑞等，2011），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。



圖15 (A)主題圖:跨河橋梁



圖 15 (B)主題圖:居住人口



圖 15 (c)主題圖:家戶可支配所得



圖 15 (D)主題圖:二級產業家數

本專案 100 年度並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（謝承憲等，2010），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 15 為建立之石門水庫下游受災衝擊警示主題圖，包括(a)跨河橋梁、(b)居住人口、(c)家戶可支配所得、(d)二級產業家數等。

後續研究可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，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。唯目前水利署提供之水庫安全評估報告為紙本，無淹水範圍及淹水深之電子檔圖層，本專案 100 年度嘗試接合紙本圖幅並數化建立全範圍圖層，供作災害應變參考，圖 16 為接合數化前後之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。

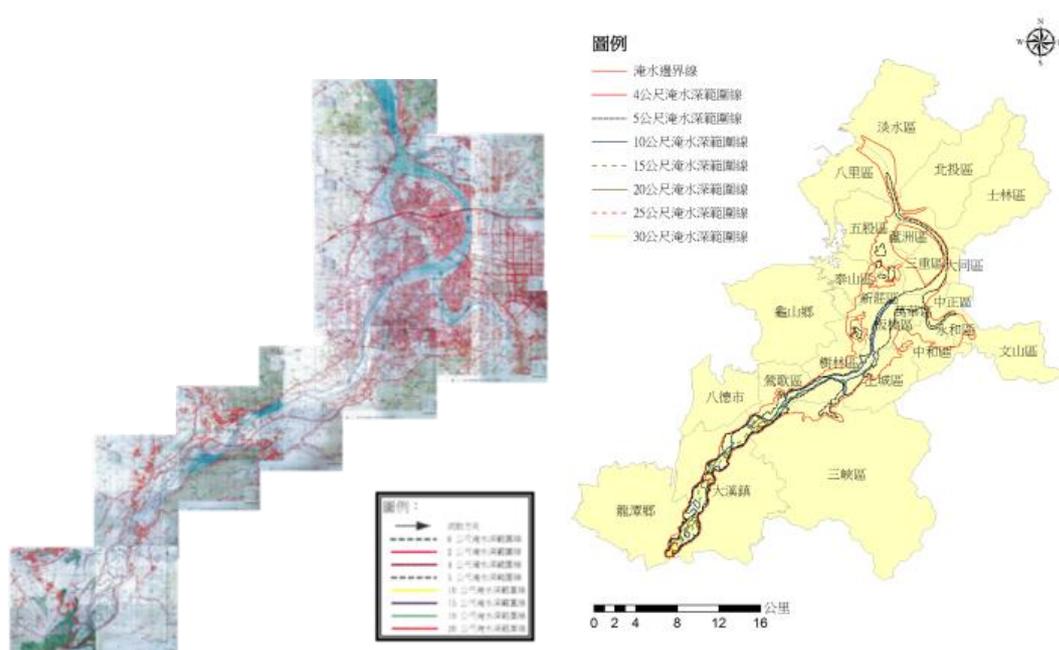


圖16 石門水庫潰壩時下游不同淹水深範圍圖層(接合數化前後)

3.4 基礎設施資訊平台災防應用架構規劃

行政院「災害防救應用科技方案」之「基礎設施（橋梁）評估與監測」課題之整體規劃架構如圖所示，透過資料、模式等成果串接整合，建立監測、評估、預警與管理的整體流程，運用風險指標建構設施災害風險管理流程，此課題研究成果預期可應用於平台中災害應變及減災各階段，例如應用於基礎設施減災風險與應變評估（如圖 17~18 所示），而本專案欲建立之基礎設施模組係全國災害管理平台內之應用模組（圖 19），相關研究成果可落實整合至行政院「災害防救應用科技方案」，並可支援 CEOC 進行基礎設施防護之應變情資研判作業，藉以提升資訊的整合分享與實際操作效率；模組內包含資料庫、模式庫與管理庫等 3 大主軸，於設施管理平台上主要以設施主題圖應用為主，災害管理之主題圖產製主要結合篩選原則與分類、衝擊評估方法、系統相依性分析等模式，此外亦需介接外部預警監測資訊，以供應變期間快速篩選設施分類，提供應變情資研判。今年度初步成果係於 ArcGIS 內建置設施資訊平台雛形（詳如圖 20 所示），此資訊平台架構初步分為基礎設施_基本資料與基礎設施_主題圖，其中基本資料包含歷史災點、土石流潛勢溪流交通設施、供水設施、能源設施等，主要係提供主題圖所需之相關基礎圖層。本年度主題圖產製項目為橋梁分類、橋梁熱點分析、地區脆弱性、石門水庫潰壩衝擊等，部分圖層詳如圖 21~23 所示；設施主題圖係以災害情境下區域衝擊評估分析結果呈現，藉由主題圖中危害範圍與設施篩選與分類，標示危害範圍內各設施衝擊程度，於平時減災提供設施優先防護清冊，災時應變可利用快速篩選設施分類，提供重點區域衝擊應變措施情資研判。

資訊平台亦可提供應變圖資使用，舉例而言，圖 24 為一假設地震情境，假設震源為梅山斷層錯動，導致嘉義市及嘉義縣部分地區震度達 6 級以上，故可利用平台基礎資料套疊震度圖，進一步篩選出重災區基礎設施，最後依各類設施衝擊分類評估，提供相關應變措施。

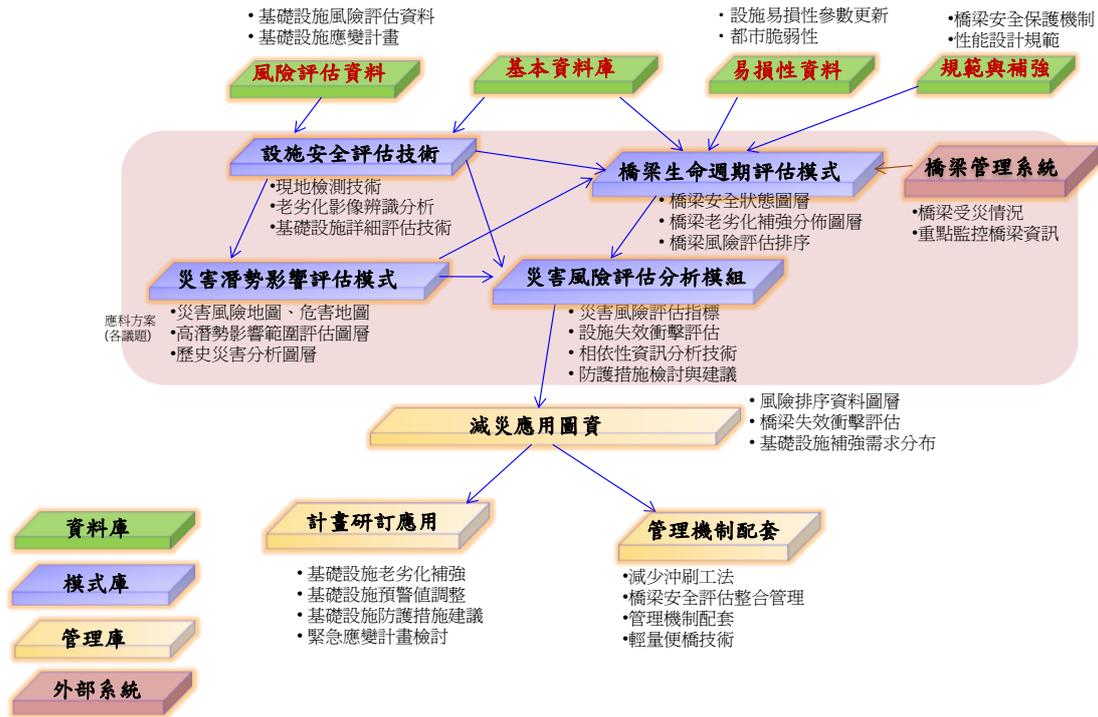


圖17 應科方案基礎設施減災評估應用規劃

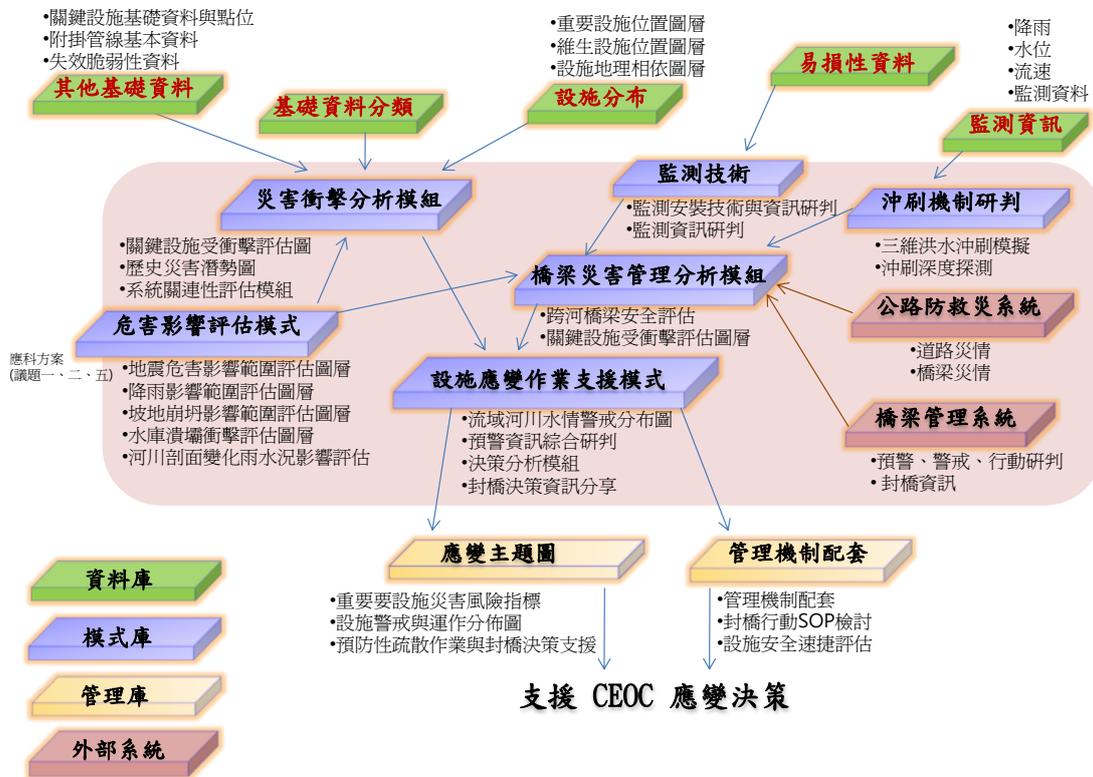


圖18 應科方案基礎設施應變評估應用規劃



圖19 基礎設施模組架構

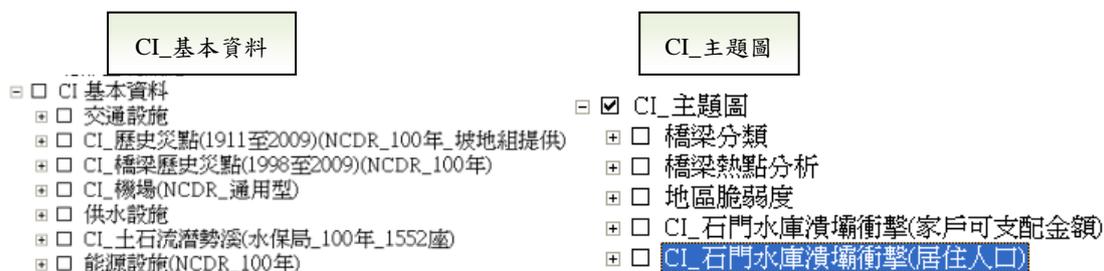


圖20 基礎設施資訊平台雛形

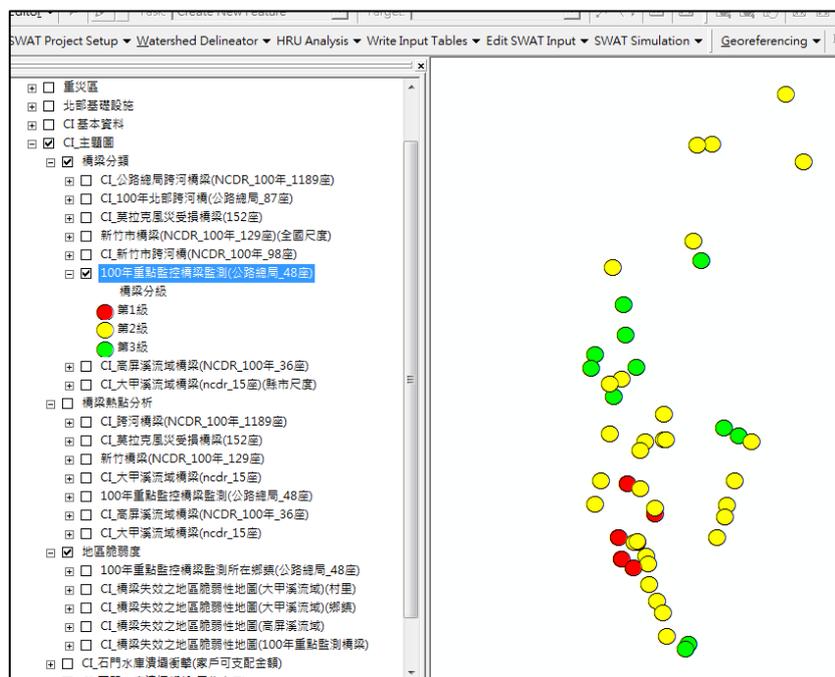


圖21 100年重點監控橋梁（公路總局_48座）

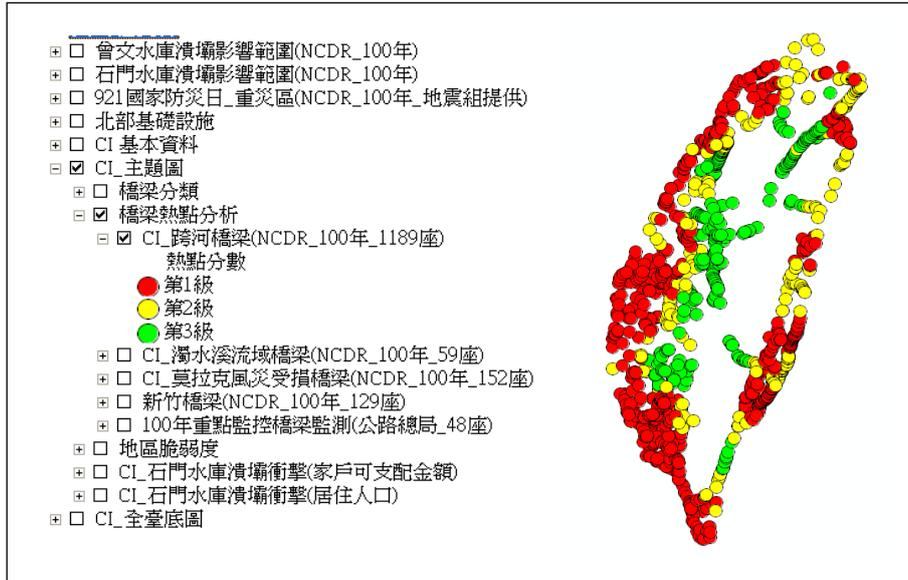


圖22 基礎設施_跨河橋梁熱點分析 (公路總局_1189座)

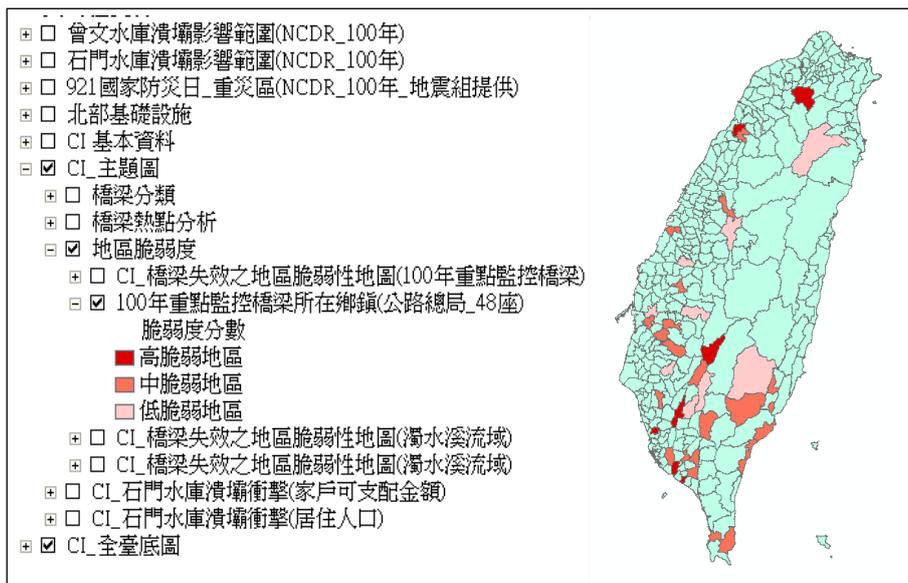


圖23 100年重點監控橋梁地區脆弱度 (公路總局_48座)

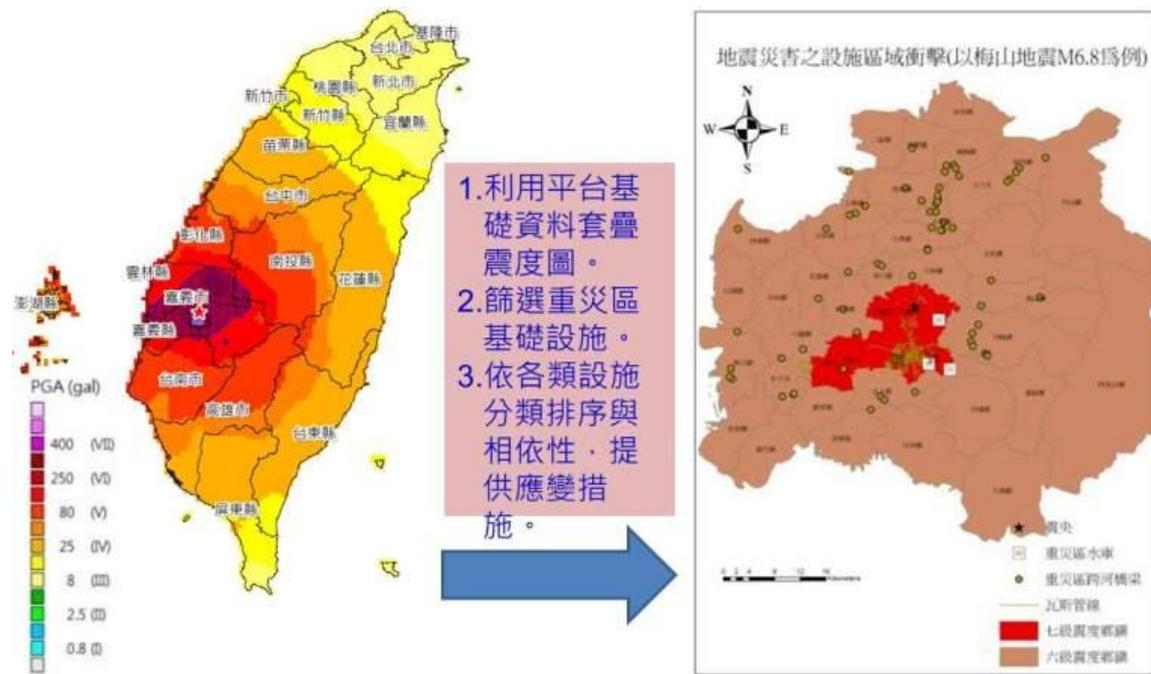


圖24 地震應變圖資應用

3.5 小結

1. 本研究提出設施分類方法，除可反映出重點監控橋梁所在鄉鎮之地區脆弱度外，對於歷史災害亦納入考量，有鑑於近年來極端氣候發生頻繁，建議設施權責機關應儘速進行設施分類，以利災時防災應變管理。
2. 目前公路總局對於重點監控橋梁皆明訂其致災因素，為強化防救災資源分配與分級管理，可依據所提供之設施分類圖，考量設施失效後所造成地區衝擊來擬定分級管理對策，惟有進行設施篩選分類，才有利於災害管理需求應用。
3. 後續研究仍需加強基礎資料建置及脆弱度分析，結合災害情境想定提供平時與災時設施風險排序，據以強化關鍵基礎設施安全防護風險管理。
4. 公路橋梁失效之地區脆弱度地圖，可提供橋梁主管者除由橋梁本身結構之觀點選定監控橋梁外，更可依據橋梁失效後所造成地區衝擊脆弱度擬定分級管理，惟有進行橋梁篩選分類，才有利於災害管理需求應用。故此方法之建立

可提供地區脆弱度衝擊分析，進行橋梁設施分類篩選判斷，預先規劃公路橋梁防救災管理重點，據而決定救災資源配置與復原重建之優先性。

第四章 系統相依性分析技術

4.1 系統內因果性、回饋關係及影響強度之界定

基礎設施系統間相依性在目前的研究上尚在摸索階段，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 NCDR 依災害因果關係推衍所發展的災害衝擊鏈（impact chain）方法等（國家災害防救科技中心，2011），但仍缺乏以系統概念探討脆弱度因子間，尤其是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。為達成探討關鍵基礎設施服務度對社會功能衝擊之目的，本年度將以系統概念進行具回饋性之系統相互關聯性之方法建構與討論，目的係以辨識一般性威脅與弱點分析模型與基礎設施相互關聯性分析技術。

在災害發生時基礎設施除受到直接損害外，設施彼此間的互動也會造成間接性的損害，因此需要去了解基礎設施彼此間的關聯特性，稱之為相依性（Interdependency）。關鍵基礎設施通常屬高度連結且以複雜的方式相互依賴，當一個基礎設施發生損壞時，另一個設施亦會受到影響，而加劇災害或損害的產生。如：颱風期間某區電力供應失效可能影響供油、供水、依靠電力營運的大眾運輸及通訊網路；而當維修人員趕往特定地區緊急修復電力時，會無法與在路途中的其他工程師聯繫，並且因交通也可能受到颱風豪雨引起坡地落石的影響而受阻，因而延誤電力修復時間等。因此，對於基礎設施相依性的相關研究，將有助於了解基礎設施間系統內及跨系統的衝擊關聯，釐清系統的關鍵點，做好設施防護減少受衝擊的影響性，避免可能的連鎖效應（Cascading Effect）造成全面性的災害事故。

基礎設施的相依性一般可分為兩類：

- 單向相依 (Dependency)：指一基礎設施與另一設施存在單向的依存關係，前者會影響或改變後者的服務狀態。
- 雙向相依 (Inter-dependency)：指二項基礎設施存在彼此依存關係，會相互影響或改變彼此的服務狀態。

雙向相依讓系統的防護變得更為複雜，也是目前研究學者所關注的主要研究標的，過去的研究者 Axelrod and Cohen (1991) 認為基礎設施是一個複雜的適應系統 (Complex adaptive system)，每個基礎設施除本身複雜且會隨著時間修正其運作方式外，各個基礎設施都有它自己的方式去逐步形成與其他設施間的關聯性，並進而彼此影響，系統與系統之間的關係均是動態的複雜關係。一項新的基礎設施元件加入系統就會影響現有基礎設施的服務狀態，如：設置新的道路或運輸系統，需要電力的供應，而電力的供應也需要運輸系統運送發電所需的燃料。

學者 Rinaldi et al. (2001) 將系統相依性類型 (Type of Interdependencies) 分為地理 (Geographic)、實體 (Physical)、資訊 (Cyber)、邏輯 (Logical) 上的相依性。一般而言，地理上的相依性由於僅依賴設施位置資訊，在相依性的認定上較無疑義；其他的三個相依性關係，目前較無明確的作法界定設施間的相依關係，多由經驗學習或專家認定。

系統相依性關係亦可分成直接關係與混合關係，直接關係即為上述四種相依關係，混合關係則為上述四種關係的組合。如：水管與電線放在同一共同管道間，可以說二者有地理相依；水的輸送需要電力驅動馬達，以達成輸水的目的，所以兩者間亦有實體相依。所以一般的情形多以利用混合關係來描述基礎設施相依情況，也較能說明系統相依性模型的適用性與其關聯特性。

災害的發生有時其影響的範圍為局部性，直接造成人民傷害有限，但往往因為發生地附近的基礎設施也受損壞，影響相關基礎設施的服務，甚至大範圍的設施連帶失效，間接造成更多社會與經濟上的損失。因此釐清基礎設施相依性關係，發展系統相依性模型研究，找出系統可能失效的情境與其關鍵點，以強化其防護能力避免系統服務失效的發生，目前已是各國發展關鍵基礎設施防護研究的重點

工作之一。

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。國內研究此一領域的發展尚屬初期階段，如：黃士育等（2007）透過貝氏信心網路（Bayesian Belief Network, BBN）發展了一套具有多點攻擊模擬評估工具，分析關鍵基礎設施的相依關係與衝擊影響，用以探討設施防護的效能與相依性關係。曾思敏等（2009）基於改善目前救災策略的成效之觀點，以蒐集基礎設施失效的歷史資料，運用資料探勘（Data Mining）技術，分析各設施間失效的關聯性。

英國學者 Bloomfield et al.（2009）彙整過去各領域系統相依性塑模的相關研究，指出主要的方法論有：資料、資訊與知識（Data, Information and Knowledge）及模式與模擬（Modelling and Simulation）等兩大類，其中以模式與模擬的系統分析技術為研究者的主要採用技術。

若進一步將模式與模擬技術再細分，相關技術包括定性與定量模式、圖形理論、Leontief I/O 模式、貝氏網路、動態系統、Petri Net 網路分析、擴散傳播、代理機制模型（Agent-Based Modelling）、節點與管道模型（Cell-Channel Model）、物件導向（Object Oriented）及統一模型語言 UML 等各種不同模式，相關模式應用對象並不相同，通常無法跨領域運用，無法歸納出採用何種相依性塑模方法較為佳。Pederson et al.（2006）蒐集與分析眾多模擬基礎設施系統相依關係的研究與案例分析，歸納這些塑模方法論多數透過數學模式與模擬方式，呈現其系統多領域相依關係，但研究者並未進一步探討所使用的工具與數值結果，很難一窺實際塑模與計算的細節。

目前有關基礎設施的系統相依性分析研究所使用的方法很多，主要依不同適用對象選用不同的方法，在方法的適用上很難將 A 設施的模型應用到 B 設施，基礎設施的類型很多，特性又各自不同，這也是此領域的研究目前呈現各家爭鳴，但很難一體適用的原因，僅能就所要研究的設施對象，選用較為適當的塑模與模擬方法。

囿於專案人力與專長限制，本研究無法進行工程面是否失效之討論，建議由其他學術研究機構或部會署取得相關資訊；而本研究所建構模式得用以評量給定危害情境下，系統因設施相依性導致失效所餘之服務度(運作水準, operability)。因此，本研究針對不同的情況，建構不同的系統相依性分析方法，並以基礎設施為案例進行方法之操作與分析，探討跨部門之關聯性。

本研究開發之系統相依性分析方法，能針對兩種不同情況加以運用：(1)質化方法：感受性系統（衝擊矩陣）模型。災害造成衝擊的短時間內，系統受損狀況難以量化或需要一段時間才能評估完成，可透基礎設施系統關聯矩陣的建立，找出各項設施在系統中的角色定位，迅速找出影響整個系統運作的重要設施，可使相關單位強化該設施的保護，以降低衝擊；(2)量化方法：停止運作水準之投入產出模型。當災害發生後，系統受損狀況可以量化或有足夠時間進行衝擊評估，透過基礎設施的投入產出模型，可求得各項設施在災害衝擊後的停止運作水準（Inoperability），並可依受災時間進行停止運作水準的回饋，以瞭解災害對基礎設施系統的衝擊程度。以上兩種相依性分析方法之說明與應用，分別在 4.2 及 4.3 兩節中說明。

4.2 防減災階段關鍵性 CI 之評估-質化方法:感受性系統(衝擊矩陣)模型

4.2.1 質化方法：感受性系統（衝擊矩陣）模型

災害衝擊下基礎設施系統的失效程度，往往在短時間內難以量化評估，需要一種質化分析方法來簡化各項設施在基礎設施系統受衝擊時的影響評估，故提出感受性系統（衝擊矩陣）模型。此方法係經過基本資料彙集、篩選、分類及元素間相互關係的界定後，防減災階段關鍵設施之評估主要的工作在於瞭解系統變數代表的功能，進而選定模型系統中所需要的變數，確認系統範疇（Chan and Huang, 2004）。在系統辨識過程中，係由團體諮詢及討論的方式，建構系統資料。探討過程中，權益關係人必須對於系統範圍的描述及系統中變數的設定進行

評量，並透過協商得到共識。根據所建立變數，對照模式內部所內建的準則，考量與周遭環境間的關聯程度，建立系統內關聯矩陣。根據關聯矩陣之評估，可瞭解各項設施在基礎設施系統中之角色定位。

本研究以感受性系統模型 (Sensitivity Model)，藉由前述關聯矩陣的建立，計算出系統角色判定的依據數值，即 AS (Active Sum，變數主動影響程度的總和)、P (Product，該變數在系統中的影響程度)、PS (Passive Sum，變動被動影響程度的總和)、Q (Quotient，變數主動影響與被動影響的比值) 等。利用這四個值的計算，可以表現出各個變數在系統中的角色扮演以及釐清變數間的角色關係。

從衝擊矩陣中計算出每一個變數在系統中所代表的角色，表現在此步驟中，藉由四個座標軸所區分的數十個不同顏色的區塊來說明。因此，當 AS 的值愈大，則該設施主動影響其他設施的力量愈強，在系統中占有愈主動的地位；若 PS 值愈大，愈容易受到其他設施的影響，設施的角色愈被動；對 P 而言，當設施本身對於系統的影響力與被影響力愈高，顯示此設施在系統中扮演關鍵性的角色，迴路關係多；另一方面，Q 值以該設施影響力與被影響力的比值關係，值愈高，則說明設施的變動程度不及系統中其他設施變動的程​​度，所擁有的主動性較高，如圖 25 所示 (謝承憲，2005)。因此，透過感受性系統 (衝擊矩陣) 模型的分析，可找到基礎設施系統中設施影響力與被影響力均高的設施 (元件)，即為此系統中的關鍵設施 (元件)。

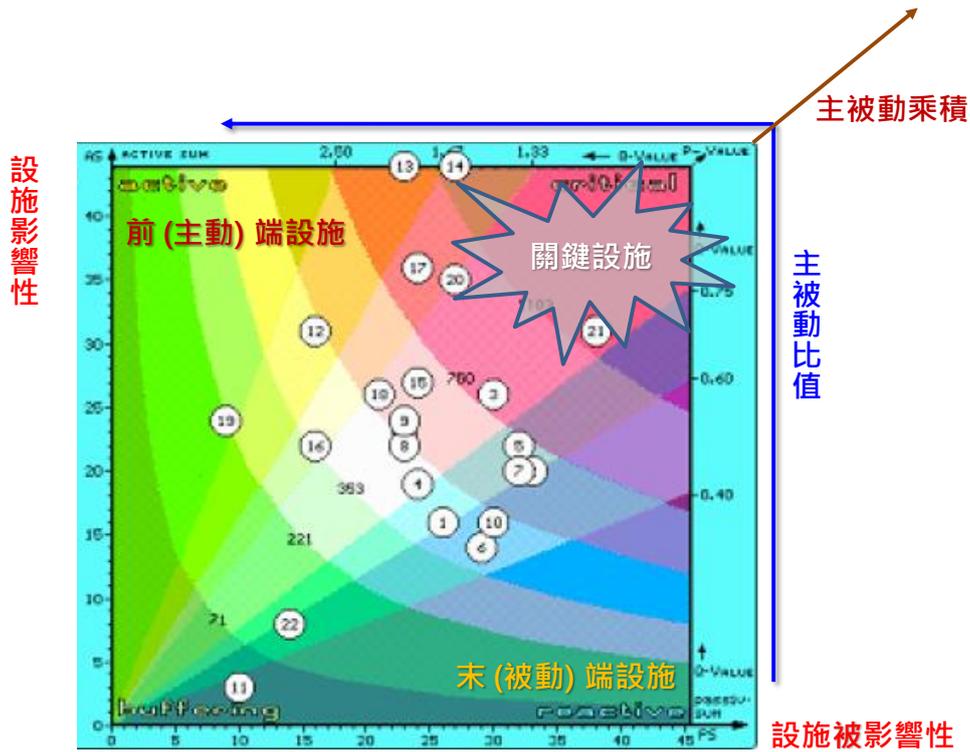


圖25 關鍵設施評估模式

4.2.2 案例分析

本年度挑選國內某一重要的工業專區，作為相依性質化分析方法的的操作案例。但基於關鍵基礎設施資訊屬於機敏性資料，僅能概述案例操作流程，無法詳述該工業專區的系統元件、空間區位、發展狀況等資訊。分析架構為建立工業專區的基礎設施系統關聯，進行基礎設施系統相關性分析，並透過資料蒐集及實地訪談，完成基礎設施系統衝擊矩陣，作為基礎設施系統失效後災害衝擊評估之基礎。工業專區基礎設施系統相依性案例分析架構如圖 26 所示。

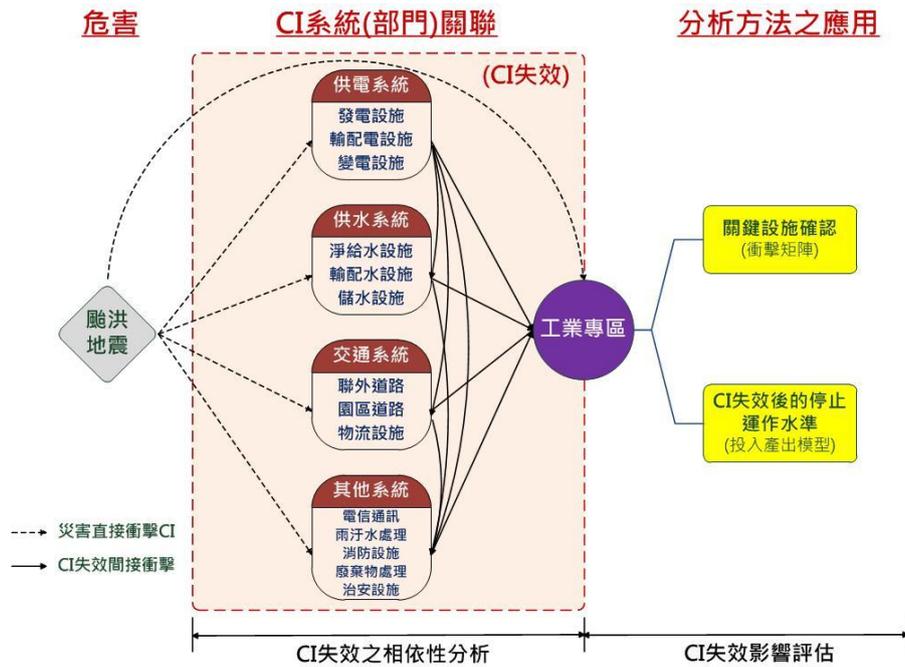


圖26 工業專區基礎設施系統相依性案例分析架構圖

該工業專區管理單位所共同提供的公共服務包括供水、供電、交通、兩污水處理系統、電信通訊、消防、治安與郵政八種，而這些公共服務是產業發展的重要元件，應作為分析該工業專區重要設施的對象。其中，又以供電、供水、交通設施，對廠商營運、生產製造之維持，影響至鉅；是故，本研究選擇工業專區的供水、供電、交通系統，作為系統相依性模擬分析時考量的關鍵設施(如圖 26)。

經過基本資料彙集、篩選、分類及元素間相互關係的界定後，選定工業專區系統中所需要的變數，確認供電、供水、交通系統的關鍵設施(元件)，並將整個工業專區在空間上分為 A、B、C 三區，關鍵設施項目及空間區位示意如表 16、圖 27 所示，說明如後。此外，工業專區管理單位是否正常運作，亦是影響整個系統營運的重要元件；而廠商不僅因關鍵設施失效會受到衝擊，反過來也會向管理單位施壓，進而要求公部門盡速恢復服務，降低系統整體的衝擊。因此，進行工業專區基礎設施系統相依性分析時，亦將管理單位及廠商納入系統中探討。

1. 供電系統

由台灣電力公司負責供電與輸電，工業專區的外部電力來源(P1)有發電廠、E/S 超高壓變電所，由 (P2) 345KV 超高壓輸電線接到

專區內的 (P3) E/S 超高壓變電所，透過 (P4) 161KV 一次輸電線接到 (P5) D/S 配電變電所 (P5)，再由 (P6、P7、P8) 各區 22.8KV 一次配電線分配電力給各區的廠商。

2. 供水系統

由台灣省自來水公司負責供水與輸電，工業專區的外部供水來源為 (W1) 給水廠，由 (W2) 輸水專管接到沿著專區 (T2) 內部道路鋪設的 (W3) 內部主要輸水管線，先將水輸送至 (W4) B 區高架水塔及 (W5) B 區配水池，再經由 (W6、W9) A、C 區的主要配水管線，將水配送到 (W7、W8) A 區高架水塔(配水池)、(W10) C 區配水池，並由 (W11、W12、W13) 各區配水管線供水給各區廠商使用。

3. 交通系統

工業專區交通系統區分為兩大類：內部道路與外部交通系統。內部道路指的是工業專區內的道路，共有 (T1、T2、T3、T4) 4 條；外部交通系統則是指聯外交通如高鐵、台鐵、國道、航空站等，由於本文將工業專區視為一個整體系統，故以 (T5) 表示專區的整體外部交通系統。此外，工業專區亦成立 (T6) 物流事業，提供廠商在生產過程中的原料、半成品、成品的物流輸配送服務。

4. 管理單位與廠商

工業專區中的 (S1) 管理中心，是公部門協助廠商營運的管理單位。另外，本文按照空間分區，將廠商分為 (M1、M2、M3) A、B、C 三區。

表16 工業專區基礎設施系統關鍵設施（元件）

關鍵基礎設施	代號	關鍵設施（元件）	說明
供電系統（P）	P1	發電廠、E/S 超高壓變電所	外部供電系統
	P2	345KV 超高壓輸電線	外部輸電管線
	P3	E/S 超高壓變電所兼配電變電所	內部變配電設施
	P4	161KV 一次輸電線	內部輸電管線
	P5	D/S 一次配電變電所	內部變配電設施
	P6	A 區 22.8KV 一次配電線	內部配電管線
	P7	B 區 22.8KV 一次配電線	內部配電管線
	P8	C 區 22.8KV 一次配電線	內部配電管線
供水系統（W）	W1	給水廠	外部供水設施
	W2	前端輸水管路	外部輸水管線
	W3	後端輸水管路	內部主要輸水管線
	W4	B 區高架水塔	內部儲水設施
	W5	B 區配水池	內部配水設施
	W6	A 區主要配水管線	內部配水管線
	W7	A 區高架水塔	內部儲水設施
	W8	A 區配水池	內部配水設施
	W9	C 區主要配水管線	內部配水管線
	W10	C 區配水池	內部配水設施
	W11	B 區自來水管路	內部配水管線
	W12	A 區自來水管路	內部配水管線
	W13	C 區自來水管路	內部配水管線
交通系統（T）	T1	內部道路	內部道路
	T2	內部道路	內部道路
	T3	內部道路	內部道路
	T4	內部道路	內部道路
	T5	公路、鐵路、航空	外部交通系統
	T6	物流事業	物流中心
管理單位（S）	S1	管理單位	管理中心
廠商（M）	M1	A 區廠商	廠商
	M2	B 區廠商	廠商
	M3	C 區廠商	廠商

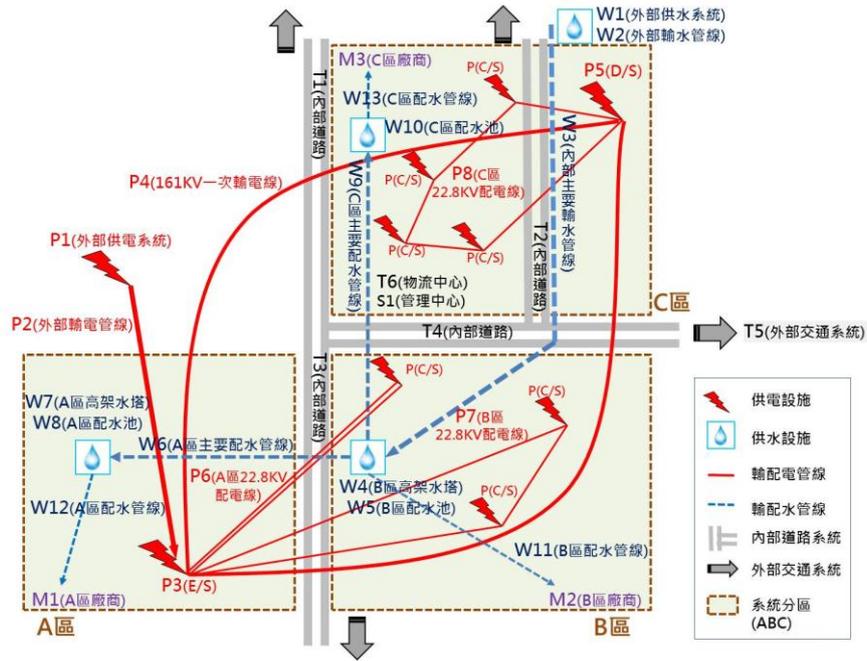


圖27 工業專區基礎設施系統關鍵設施（元件）空間區位示意圖

初步確認工業專區整體系統的關鍵設施（元件）及空間區位後，根據所建立變數，對照模式內部所內建的準則，考量與周遭環境間的關聯程度，建立系統內關聯（衝擊）矩陣。根據衝擊矩陣之評估，便可瞭解各項基礎設施在系統中之角色定位。

關鍵設施確認後，透過專家訪談、權益關係人協商等方式得到共識，完成工業專區基礎設施系統衝擊矩陣，如表 25 所示（因資料機敏性僅示意）。表 25 呈現設施間的”直接”影響關係，影響程度 0~1 分為五個等級，包括 0（完全沒有影響）、0.25（影響很小）、0.5（影響中等）、0.75（影響很大）、1（完全受影響），影響程度（分數）由工業專區的管理單位、廠商共同討論取得共識。

表17 工業專區基礎設施系統衝擊矩陣

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	T1	T2	T3	T4	T5	T6	S1	M1	M2	M3	
P1																																
P2					X																											
P3		X																														
P4						X	X																									
P5				X											X	X	X															
P6																																
P7						X																										
P8																																
W1											X	X	X												X	X					X	
W2																									X	X					X	
W3			X																					X	X						X	
W4		X	X																					X	X						X	
W5		X																						X	X						X	
W6								X																				X	X		X	
W7								X																				X	X		X	
W8						X																		X	X						X	
W9							X							X										X	X						X	
W10											X												X	X							X	
W11																							X	X							X	
W12																													X	X		X
W13																							X									X
T1																							X					X	X		X	
T2																												X	X		X	
T3						X	X	X			X	X													X			X	X		X	
T4																												X	X		X	
T5																												X	X		X	
T6																																X
S1				X	X	X											X	X														
M1												X																				
M2												X	X																			
M3										X		X	X																			

4.2.3 案例分析結果

根據前述研究方法與操作流程說明，完成衝擊矩陣之運算，從而找出工業專區基礎設施系統中每一項關鍵設施（元件）在系統中所代表的角色，案例分析結果如圖 28，說明如後。此外，當進行工業專區關鍵設施評估時，考量廠商（M1、M2、M3）並非整體系統中的“設施”，不宜與其他設施一起進行運算，故並未納入衝擊矩陣運算。

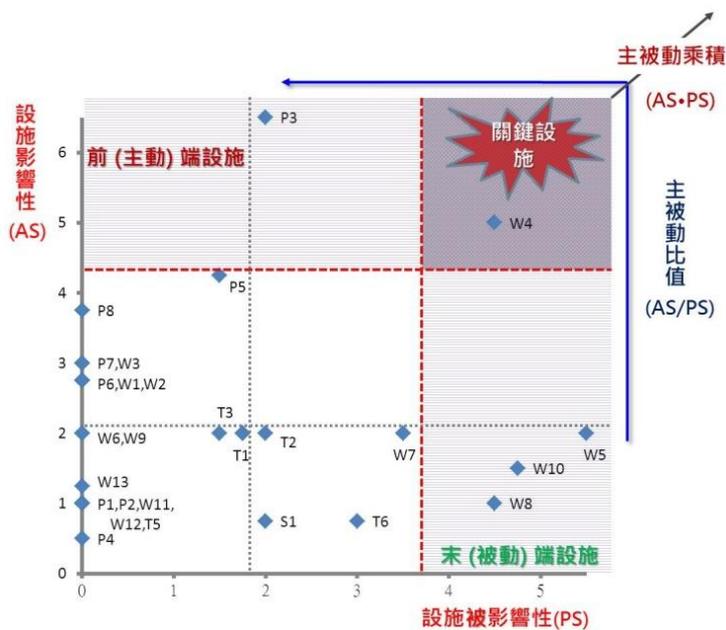


圖28 工業專區關鍵設施評估

1. 九大區塊設定

由上圖可知，為了簡化討論，將原本四個座標軸所區分的數十個不同顏色的區塊，改以設施影響性 (AS)、設施被影響性 (PS) 的最大值、最小值差距三等分為標準 (AS:2.5,4.5; PS:1.83,3.67)，切出九個不同的區塊，並訂定設施影響性 (AS:4.5) 及設施被影響性 (PS:3.67) 為門檻值。因此，若該設施 (元件) 影響性 (AS) 大於 4.5，表示該設施主動影響其他設施的力量較強，在工業專區整體系統中占有愈主動的地位；若該設施 (元件) 被影響性 (PS) 大於 3.67，則表示愈容易受到其他設施的影響，設施的角色愈被動；若該設施 (元件) 影響性 (AS) 大於 4.5，且被影響性 (PS) 大於 3.67，當設施本身對於系統的影響力與被影響力愈高，顯示此設施在系統中扮演關鍵性的角色，迴路關係多。

2. 關鍵設施評估

根據衝擊矩陣運算及設施主被動影響性之評估，工業專區關鍵設施評估之說明如下。

- (1) 關鍵設施：工業專區的 W4 (B 區高架水塔)，其主動影響性 (AS) 大於 4.5，且被影響性 (PS) 大於 3.67，為基礎設施系統中的關鍵設施。可能原因為當自來水公司透過專管將水輸入工業專區，係先將水引入 B 區的配水池及高架水塔，再將水配至 A 區、C 區及 B 區內部廠商使用，倘若 B 區高架水塔失效無法儲水，將無水可配送至其他區域廠商；且因輸水管線未如供電設施有多條迴路互相支援，故 W4 (B 區高架水塔) 設施失效，將影響工業專區整體系統運作。
- (2) 主動影響設施：工業專區的 P3 (E/S 超高壓變電所兼配電變電所)、P5 (D/S 一次配電變電所)，其主動影響性 (AS) 大於 4.5，表示這兩個設施主動影響其他設施的力量較強，為工業專區基礎設施系統的主動影響設施。可能原因為 P3 (E/S 超高壓

變電所兼配電變電所)係外部電力輸入工業專區的入口點,再配電至其他配電變電所,假使此設施失效,將使供電吃緊,影響其他設施之運作。至於 P5 (D/S 一次配電變電所),為 P3 次級的配電變電所,同樣肩負配電變電的重要功能,故亦為工業專區基礎設施系統中重要的主動影響設施。

- (3) 被動影響設施:工業專區的 W5 (B 區配水池)、W8 (A 區配水池)、W10 (C 區配水池),其被影響性 (PS) 大於 3.67,表示這三個設施容易受到其他設施的影響,其中又以 W5 (B 區配水池)設施受影響程度最大。這三個受影響性最大的設施均為配水池,可能原因為配水池需要電力供應才能運作,且若供水、輸水系統發生問題時,配水池運作效能也會降低,因此受其他設施影響的程度較大,為工業專區基礎設施系統中重要的被動影響設施。

3. 評估結果之應用

根據案例操作結果,提出以下幾點防減災策略建議。

- (1) 緊急應變快速評估:由於評估方法簡單且快速,於災害可能發生時進行設施是否失效的快速評估,以利緊急應變之遂行。在本研究案例中,工業專區的關鍵設施為 W4 (B 區高架水塔),應加強該設施的保護機制,以免因 W4 (B 區高架水塔)失效,致使工業專區基礎設施系統運作受影響。
- (2) 防減災策略之研擬:在防減災階段,此評估方法可找出整體系統的主被動影響設施,透過重要基礎設施的評估,了解系統的弱點。除了強化設施的保護機制外,亦可增加系統的迴路,以確保整體系統不因單一設施失效致使運作受影響。在本研究案例中,供水系統多個設施被評估為易受其他設施影響的設施,但供電系統僅有 P3 (E/S 超高壓變電所兼配電變電所)主動影響性較高,可能原因為供電系統迴路完整,若單一設施(如變

電所、輸電線) 失效，仍有其有迴路可繼續供電；但供水系統迴路較少，若有供水相關設施失效，必須仰賴專區內供水設施儲水功能來因應，工業專區整體系統受影響程度相對較供電系統為大。是故，就長期防減災階段來看，必須增加系統迴路以維持正常運作。

4.3 跨部門關聯性矩陣之建構—量化方法：停止運作水準之投入產出模型

災害發生一段時間，系統受損狀況可以量化下，透過基礎設施系統的投入產出模型，可求得各項設施在災害衝擊下系統失效後的停止運作水準，並可依受災時間進行停止運作水準的回饋，以了解災害對基礎設施系統的衝擊程度。分析方法之應用以簡例說明如下。

4.3.1 系統相依性量化模型

系統相依性除了使用模擬方法外，尚有利用設施系統間相互影響關係建模的研究，一些基礎設施研究學者已體認關鍵基礎設施問題的重要性，如 Haimes 教授等人 (2001, 2005a) (Santos et al., 2006, 2008)，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)。Martí 教授 (2008) 及 Rahman (2008) 等人則以 IIM 為基礎，另提出 Infrastructures Interdependencies Simulation (I2Sim) 作法，以電力輸電系統理論分析與模擬設施之間的相依性。本研究主要採用 IIM 模式為理論基礎，建立矩陣模型與求解工具，期能將之應用於工業區公共基礎設施系統相依性模型的描述，如圖 29 所示，以下綜合說明 IIM 塑模技術的基本理論。

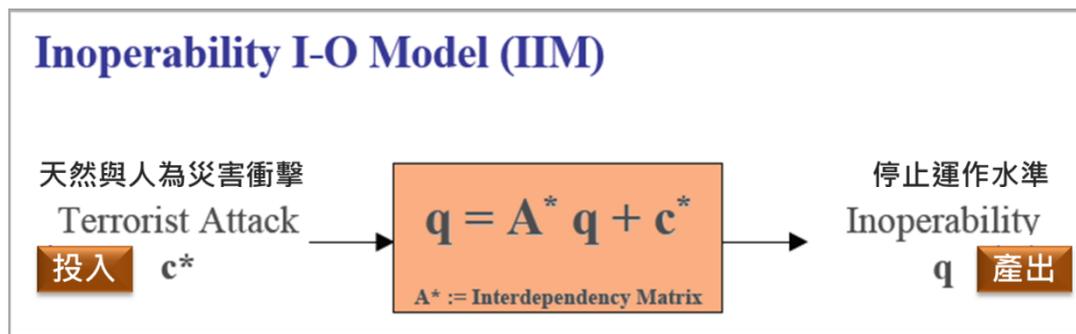


圖29 基礎設施相依性的停止運作水準投入產出模型 (IIM)

Wassily Leontief 教授所創建的投入產出經濟模型 (*I-O model*)，主要用來模擬經濟生產活動的相互影響性，投入產出表代表著一個國家的國民所得會計帳，而整個投入產出架構可以代表該經濟體系內產業間相互關係及經濟活動之縮影，因此投入產出分析法可作為分析產業間生產活動相互影響程度的理想工具。

將 *I-O* 模型應用在基礎設施系統之非地理相依性上，須先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。Haimes et al. (2001, 2005b) 建議，停止運作水準應採用風險的概念，亦即某設施的停止運作水準實際上是以期望值做代表，含有機率的意義。其他參數與假設之說明如下：

- x_j 為第 j 項基礎設施的停止運作水準， $j=1, 2, \dots, n$
- r_i 為第 i 項資源用以管理全部基礎設施的停止運作水準， $i=1, 2, \dots, m$ ，例如所需人力、所需機具、所需資金、所需時間等
- x_{kj} 為第 j 項基礎設施因災害的損毀(失效)，沿著相依性的關聯，造成第 k 項基礎設施不服務的水準， $k=1, 2, \dots, n$
- r_{ij} 為第 i 項資源，用在管理第 j 項基礎設施上
- a_{kj} 為第 j 項基礎設施造成第 k 項基礎設施損毀的機率，若 $a_{kj}=1$ ，表示

當第 j 項設施損毀時，第 k 項設施也會完全損毀

- c_k 為因外力因素，造成第 k 項設施的停止運作水準
- b_{ij} 為係數，表示第 i 項資源，用在管理第 j 項基礎設施上。基本上，每項基礎設施皆需要一項以上的資源

根據上述變數，可定義基礎設施相依性的投入產出模型如（式 4.1）至（式 4.4）所示。

$$x_{kj} = a_{kj} x_j \quad (\text{式 4.1})$$

$$x_k = c_k + \sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \quad \Rightarrow X = C + AX \quad (\text{式 4.2})$$

$$r_{kj} = b_{kj} x_j \quad (\text{式 4.3})$$

$$\sum_{j=1}^n b_{kj} x_j \leq r_i \quad (\text{式 4.4})$$

其中，（式 4.2）矩陣中 A 為一 $n \times n$ 矩陣，經移項後可得

$$(I - A) X = C$$

I 為單位矩陣，假設 $(I - A)$ 為非奇異矩陣（nonsingular matrix），可求解 X 如（式 4.5）所示。

$$X = (I - A)^{-1} C \quad (\text{式 4.5})$$

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。

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

4.3.2 跨部門關聯性矩陣模擬器之建構

不管是天然災害衝擊、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。案例分析選定以區域性都市為例，舉例來說，假設某區域都市的基礎設施有變電供電系統（P）、供水系統（W）、公路系統（T）、醫院（H）及零售業（G）等五個設施， $j=1, 2, 3, 4, 5$ ，其系統關聯矩陣 A 為如（式 4.6）所示。

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} P & W & T & H & G \end{matrix} \\ \begin{matrix} P \\ W \\ T \\ H \\ G \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.9 & 0.7 & 0 & 0 \\ 1 & 0.3 & 0.9 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (\text{式 4.6})$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.9 & 0.7 & 0 & 0 \\ 1 & 0.3 & 0.9 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{式 4.7})$$

（式 4.6）矩陣表示，當變電供電系統失效造成區域大停電時，供水設施受到停電影響尚有七成運作水準，公路系統尚有六成運作水準，而醫院與零售業則完全停擺。當供水系統失效時，由於供電系統僅部分受到影響，供電系統停止運作水準為 90%，公路系統不受影響，醫院停止運作水準為 90%，零售業的停止運作水準為 30%。當公路系統失效時，由於變電站的輸配電纜與公路有關，七

成電力受到影響，變電站停止運作水準為 70%，供水系統由於部分管線為橋樑附掛，停止運作水準為 40%，醫院的停止運作水準為 70%，零售業的停止運作水準為 90%。當醫院或是零售業失效時，對於變電供電、供水或是公路系統則完全沒有影響。由這些相互影響關係可知，關鍵設施的非地理相依性，在資料建立的可靠度上，人為因素頗為重要，需要依賴了解系統的專家，或是可靠的資料來源，方能做最好的假設與估計。

外力情境假設一個颱風影響變電供電系統，使其停止運作水準升高為 h ，如(式 4.7)。解可得 $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1.484h, 0.682h, 0.593h, 2.513h, 2.223h)$ ，由於產出矩陣的停止運作水準為 0 到 1 間的數值，大於 1 代表該設施系統已完全失效，設施系統無法提供服務。因此，當 $h \geq 0.398$ 時，醫院即無法運作服務；當 $h \geq 0.45$ 時，則零售業服務即失效；當 $h \geq 0.674$ 時，則供電系統本身受此其他設施關聯影響，亦無法發揮作用；供水及公路系統則即使 $h=1$ ，仍未完全失效，尚有部分運作水準。此案例中，比較特殊的是變電供電系統不必達到停止運作水準 1，只要 $h=0.674$ 就會讓自身的供電系統失效。

在供電系統失效的案例中，若將外力衝擊的影響程度與設施的停止運作水準交叉分析，在不同供電系統失效的情境(不同的外力衝擊程度 h)下，代入計算，可以得到各子系統設施停止運作水準的差異性，如圖 30 所示。顯示在變電供電系統開始不提供服務時，醫院系統會先失效 ($h \geq 0.398$)，其次是零售業與電力系統本身，而供水及公路系統雖然有受到影響，但仍能維持一部分的運作水準，即使當 $h=1.0$ 時，供水及公路系統仍能部分提供服務。

在相同的系統案例中，若考量因颱風造成原水濁度過高，致使供水系統的失效，以供水系統失效為變數，進行系統相依性分析，其結果如圖 31 所示。顯示供水失效情況對系統中的設施衝擊，以醫院、供水系統本身、零售業為主，但其衝擊程度不如供電失效的衝擊情形，顯示供電失效會比供水失效對此區域型都市的影響與衝擊要來得大。相同的分析方式可以重複選定不同的設施失效情境，進行求解分析，可以進一步了解各設施系統與整個系統之間的關聯程度。若將此五個單獨的衝擊分析合併起來進行綜合研判，就能找出在此區域性都市系統中最為關鍵的系統設施與其對整體系統的關聯特性。

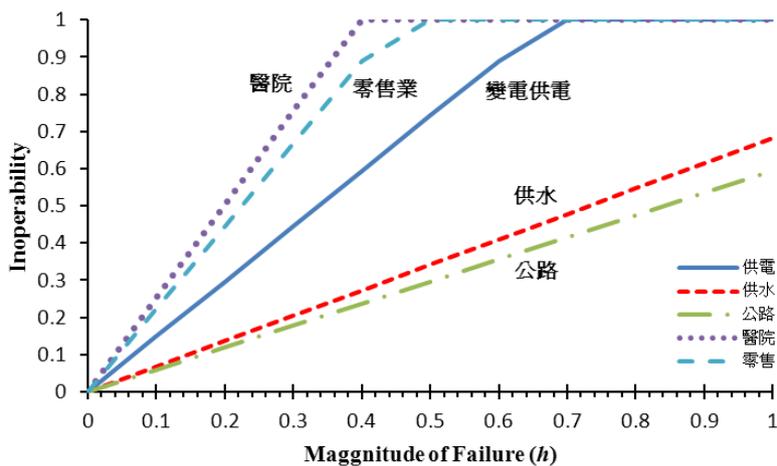


圖30 外力衝擊供電系統失效程度對系統停止運作水準的影響

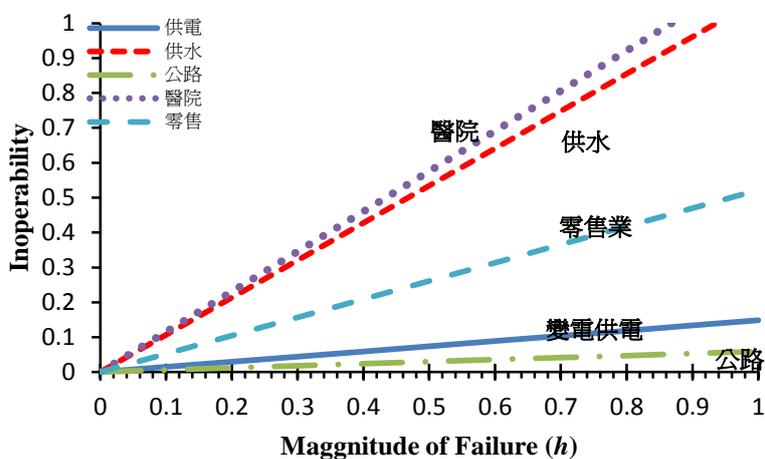


圖31 外力衝擊供水系統失效程度對系統停止運作水準的影響

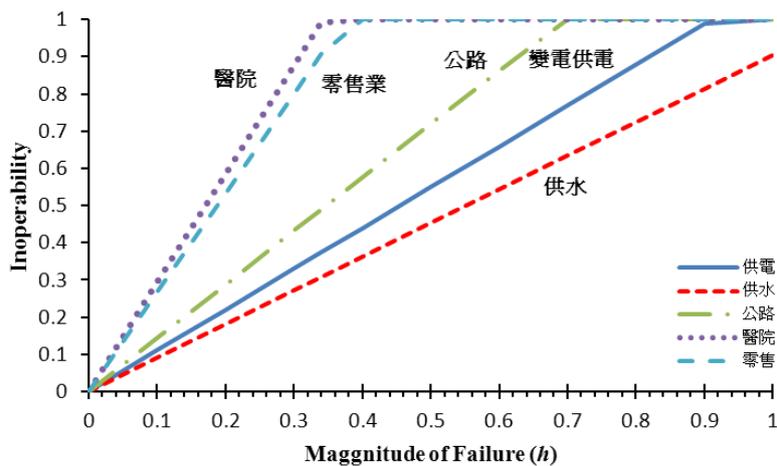


圖32 外力衝擊公路系統失效程度對系統停止運作水準的影響

表18 不同情境設定下系統相依性綜合分析

情境設定													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
投入矩陣(c), h													
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
產出矩陣(x)													
1.484	0.148	1.098	0	0	1.632	2.582	1.246	0.148	1.098	1.098	2.73	2.73	2.73
0.682	1.068	0.905	0	0	1.751	1.588	1.973	1.068	0.905	0.905	2.656	2.656	2.656
0.593	0.059	1.439	0	0	0.653	2.033	1.499	0.059	1.439	1.439	2.092	2.092	2.092
2.513	1.151	2.92	1	0	3.665	5.433	4.071	2.151	3.92	3.92	6.585	7.585	7.585
2.223	0.522	2.665	0	1	2.745	4.887	3.187	0.522	2.665	3.665	5.409	5.409	6.409
x_i 加總													
7.496	2.95	9.027	1	1	10.45	16.52	11.98	3.95	10.03	11.03	19.47	20.47	21.47
當 $h \geq$ 該數值時, 設施失效													
0.674	6.74	0.911	-	-	0.613	0.387	0.802	6.74	0.911	0.911	0.366	0.366	0.366
1.465	0.936	1.105	-	-	0.571	0.63	0.507	0.936	1.105	1.105	0.377	0.377	0.377
1.685	16.85	0.695	-	-	1.532	0.492	0.667	16.85	0.695	0.695	0.478	0.478	0.478
0.398	0.869	0.342	1	-	0.273	0.184	0.246	0.465	0.255	0.255	0.152	0.132	0.132
0.45	1.915	0.375	-	1	0.364	0.205	0.314	1.915	0.375	0.273	0.185	0.185	0.156

由上述簡例分析可知，通常災害造成基礎設施的損害程度 C 向量較容易估計，系統關聯矩陣 A 是其中較為專業與困難估算的部分，然而，一旦有正確的系統關聯矩陣與相依性，將 Leontief 投入產出模型與停止運作水準的觀念整合應用到關鍵基礎設施相依性分析，事實上可以相當準確地描述設施之間的相依性，其計算的部分亦非複雜。系統中設施之間相互影響關係，即系統關聯矩陣，在系統設施模型建立時須給定，其建立之依據可為：(1)專家評分給定；(2)藉由設施損毀或維修紀錄，由頻率反向推得。

在同樣的案例中若將投入矩陣(外力情境)做不同情境的考量進行綜合分析，可以獲得不同產出的分析結果，如表 26 所示。其中情境設定分為三群：單一子系統失效衝擊(1-5)、雙子系統失效衝擊(6-10)及多子系統失效衝擊(11-14)，基於篇幅因素並無法將全部的情境案例完全呈現，僅以基本及代表性的案例分析為主。

不同情境設定下系統相依性的相關分析及說明如下：

1. 情境 1-5 為單一子系統失效的群組分析

如前面求解分析的結果，可知單一設施失效時可以據以分析出

個別設施受到影響的程度，也有其程度大小。由表 1 顯示公路（情境 3）及變電供電系統（情境 1）的失效對整體系統的影響較大，因為其產出矩陣（ X ）中有 3 個係數大於 1；其次為供水系統失效（情境 2）（係數大於 1 的有 2 個），至於醫院及零售業的失效情境幾乎對整體系統的毫無影響性，且大於 1 的係數有 1 個，就是設施本身。

2. 情境 6-10 為雙子系統失效的群組分析

產出矩陣（ X ）中係數大於 1 的個數分別為（4, 5, 5, 2, 4），以供電及公路系統失效（情境 7）與供水及公路系統失效（情境 8）兩個情境的系統整體影響較大。由設施的重複性可知，與公路系統相關的失效情境會造成整體系統較容易受到影響與衝擊。

3. 情境 11-14 為多子系統失效的群組分析

產出矩陣（ X ）中係數大於 1 的個數分別為（4, 5, 5, 5），在數據上可知越多個設施同時失效的情境，對系統的衝擊影響也越大。一般情況其係數愈大，代表系統受衝擊影響的程度愈大。在三種設施失效的情境以供電、供水與公路系統失效的情境組合有較高的衝擊影響。

對於上述分析中，當產出矩陣（ X ）中係數大於 1 的個數太多時，不易比較出那一種情境對系統的衝擊較嚴重。針對此議題，可以將設施失效整體系統的衝擊影響，定義其整體系統的受影響程度（ Imp_{total} ）以產出矩陣各項係數 x_i 加總來代表，即在這個情境衝擊下此影響的總和採用此系統受相依性關聯的整體受影響程度來代表，以式(4.8)表示：

$$Imp_{total} = \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{式 4.8})$$

以產出矩陣（ X ）中係數大於 1 的個數來決定設施失效的衝擊效果，在單一設施失效情境下較能發揮，也簡單易用。但在多重設施失效的情境，因為容易造成產出矩陣（ X ）中係數大於 1 的個數太

多，有些情況全部係數都大於 1，不易進行比較。因此，採用整體系統的受影響程度 (Imp_{total}) 的比較方式，較能針對不同情境的整體衝擊情形進行比較，特別是比較大型的複雜系統，矩陣維度及情境案例數目很多的情況，可以使用蒙地卡羅模擬分析 (Monte Carlo Simulation)，進行大數量情境的分析，以 Imp_{total} 進行衝擊排序，找出系統中的關鍵設施。

將產出矩陣(X)中的 x_i 數值加總，經由各情境的 Imp_{total} 排序，可以找出相依系統中最嚴重的衝擊情境，再藉由單一設施失效情境分析，找出那一個設施單元為系統中的關鍵設施，也就是這些關鍵的設施單元對相依系統的影響程度較高，這兩種方式的運算結果在理論上應該會有一致性。如此，便能比較出那些情境組合的衝擊，對整體系統有較高的影響結果，也能找出那些設施的失效比較具有關鍵性。

本研究所提出系統相依性分析的方法論及其應用屬先期研究方法，所選用的案例分析與應用為研究假設，主要在於方便說明方法的應用面向。後續將以關鍵基礎設施的天然災害衝擊為情境為例，繼續進行不同案例的分析與應用。

4.3.3 跨部門關聯性矩陣模擬器之建構

跨部門關聯性矩陣之建構方面，預期將應用中央大學合作專案之方法論，利用 Leontief I/O 模式及災害衝擊鏈概念，確立跨部門各關鍵元素之因果關係，據以建立關聯性矩陣，並釐清影響系統失效與否之關鍵因素。且應用 I2Sim 模式演算，界定受危害衝擊下應妥善維護之基礎設施，以作為評估規劃單位有效運用資源並整合公共建設計畫之依據。並建立可操作之相依性分析模式離型系統，利用該系統模擬未來時間之相依性進程，並藉由情境分析，進一步研擬改善設施脆弱度與風險，並有效降低危害衝擊之防救災與重建策略方案。

外部團隊現已完成模擬器之初步開發，將系統相關設施區分為設施主體(設

施建物)、連結設施間之通路與流量(線段節線)、設施與通路間轉換之聚合分離單元、儲存設施與外部資源...等類別。將欲分析之系統以視覺化方式表達,如圖 33 所示,並在連結處設定相關參數(未來擬利用專家訪談獲得),完成設定後該模擬器即可將圖像轉換成關聯性矩陣,以方程式形式表達,如圖 34 所示,最終呼叫 Matlab 程式進行反矩陣求解,所得向量即為各設施因相依性及外部擾動後之狀態,可提供規劃與執行人員應用至相關設施管理決策上。

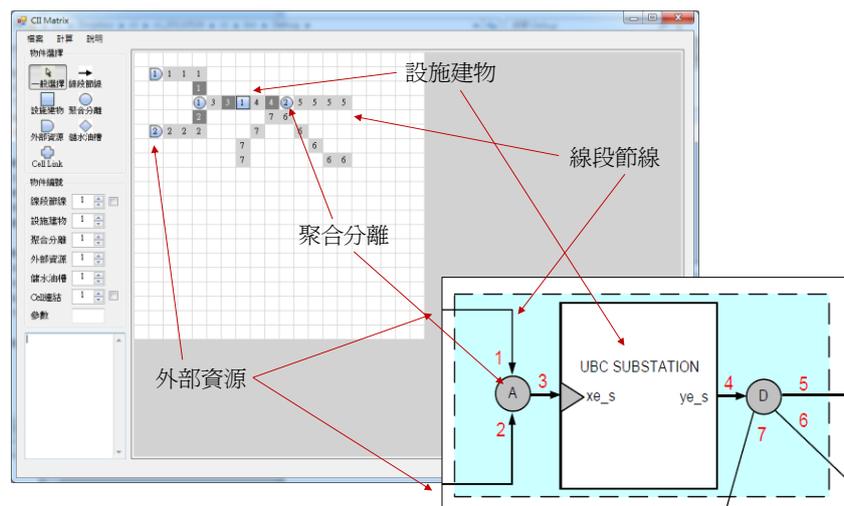


圖 33 範例設施關聯示意圖



圖 34 使用 MATLAB 進行矩陣求解

4.4 小結

本研究以系統分析概念進行具回饋性之系統相互關聯性之方法建構與討論,目的在辨識一般性威脅之弱點分析模型與基礎設施相互關聯性分析技術,找出那些設施的失效比較具有關鍵性。因應不同災害情境與系統特性,發展兩種系統相依性分析方法:

1. 質化方法：感受性系統（衝擊矩陣）模型

透過感受性系統模型，找出影響整個系統運作的關鍵設施。尤以工業專區為案例，落於圖 25 右上角的設施，即為此系統中的關鍵設施。此方法操作簡易，適合對於設施系統關聯無法量化的情形。

2. 量化方法：停止運作水準之投入產出模型

案例分析選定以區域性都市為例，假設基礎設施有變電供電系統(P)、供水系統(W)、公路系統(T)、醫院(H)及零售業(G)等五個設施，如圖 4-5 藉由建立系統關聯矩陣以數值方法找出那一個設施單元為系統中的關鍵設施，適合運用於區域內跨系統設施的相依性分析。

關於兩種系統相依性分析方法的探討，本研究初步獲致下列心得：

1. 採用質化方法-感受性系統（衝擊矩陣）模型，在 CI 系統關聯矩陣形成後，以感受性系統觀念，可得知主被動影響均大的設施，即為此系統的重要設施（元件）。
2. 採用質化方法獲得重要設施（元件）後，應以降低重要設施的主被動影響程度為目的，透過各式防減災的手段或工具，使設施系統間的相依性進行調適。
3. 所提出的量化方法-停止運作水準之投入產出模型，具有系統描述與系統排序功能，可以有效解釋關鍵基礎設施的系統相依性。
4. 採用量化方法與關聯矩陣計算系統受外力衝擊後各系統平衡下的停止運作水準，即受到衝擊的相互關聯性。
5. 量化方法可藉由各種不同情境的綜合分析，運用整體系統的影響程度計算與各情境的 Imp_{total} 排序，可比較出那些情境組合，對整體系統有較高的影響結果，也能找出那些設施組合若失效會比較具有關鍵性。

第五章 以關聯矩陣建構相依性方法之初探

5.1 關鍵基礎設施的相依性

關鍵基礎設施 (Critical Infrastructure, CI) 是國家重要的資產，用以連續地產生或輸送重要貨物或服務，例如公路與鐵路、高速鐵路與捷運設施、機場與港口、通訊設施、輸電與配電設施、發電廠、儲油槽與輸油管線、供水淨水設施、衛生下水道、醫療設施、銀行與財政服務設施等 (Rinaldi et al., 2001)。其中又以交通建設與電力系統設施最為重要，因重大的天然災害往往伴隨著此二關鍵基礎設施的損壞，進而造成人民恐慌與更多的生命財產損失 (Pederson, 2006)。

近來，一些基礎設施研究學者已體認此問題的重要性，如 Haimes 等人 (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 (Input-output Inoperability Model, IIM)。其他學者如 Rinaldi 等人 (2001)，則嘗試將關鍵基礎設施視作「複雜的、會適應的系統 (Complex Adaptive System, CAS)」，亦即每關鍵基礎設施除本身複雜且會隨著時間修正其運作方式外，系統與系統之間的關係，更是一動態且會不斷改變的複雜系統。另些學者，則將各種 CII 分為四類型：實體，資訊，地理，邏輯 (Rinaldi et al., 2001)，但其中只有地理相依性可藉由完整精確的各個關鍵基礎設施管線分布資料以 GIS 相互疊合找出 (Rinaldi et al., 2001; Duenas-Osorio et al., 2007)。Martí 等人 (2009) 則提出 Infrastructures Interdependencies Simulation (I2Sim) 作法，以電力輸電系統理論分析與模擬設施之間的相依性。

過去研究對於災害模擬已有相當程度的結果，但對於相依性的發現與如何表示較少，故本研究使用作者過去研究(關鍵基礎設施相依性之事法線流程)結合專家意見形成相依矩陣並依 IIM 與 I2Sim 方法模擬災害進程，提供訊息給管理者輔助救災決策。

5.1.1 關鍵基礎設施相依性的背景

「災害」，根據韋氏字典的定義，為突發的事件，造成人民傷害與損失 (Merriam-Webster, 2003)。災害管理系統 (Disaster Management System, DMS)，則為期望能對抗災害，與能減少人民傷害與損失的管理系統 (Uddin and Engi, 2002) (Chen et al., 2006) (羅俊雄等, 2002) (陳亮全等, 2003)。災害發生有時其影響的範圍為局部性，直接造成人民傷害有限，但往往破壞發生地附近的基礎設施，間接造成更多人民生命與財產上的損失。因此，在許多災害管理系統中，基礎設施的資料 (Infrastructure Baseline Data)，為系統內部最重要的資料與組成元件，可藉以分析及預測災害的影響範圍，與協助定義降低災害損失的計畫 (Pradhan et al., 2007)。

關鍵基礎設施 (Critical Infrastructure, CI) 對國家來說是為重要的資產，用以連續地產生或輸送重要貨物或服務，例如公路與鐵路、高速鐵路與捷運設施、機場與港口、通訊設施、輸電與配電設施、發電廠、儲油槽與輸油管線、供水淨水設施、衛生下水道、醫療設施、銀行與財政服務設施等 (Rinaldi et al., 2001)。由於過去關鍵基礎設施擁有者均各自建造各自的網路，在設計階段甚少考慮彼此的相依性 (MRA, 2005)，但在設施的運轉維護階段，因實體或地理上等因素，使得不同基礎設施事實上必須依靠其他關鍵基礎設施服務方能正常運轉，一旦災害發生破壞某關鍵基礎設施，這些相依性將很快地惡化災害的損害程度，甚至造成連鎖效應 (Pederson, 2006)。例如，在供水系統增建一台抽水機，雖然增加自來水的傳送距離，但也讓供水系統更依賴電力系統正常供電給抽水機，方能讓整個系統正常運作。這些跨系統的複雜相依關係，將隨著時間演進更新基礎設施元件而更複雜，對於國家安全的威脅和關鍵基礎設施的脆弱性也隨之增加，因此，研究關鍵基礎設施如何相互作用成為一個重要的課題。

近來，一些基礎設施研究學者已體認此問題的重要性，如 Haimes 等人 (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 (Input-output Inoperability Model, IIM)。其他學者如 Rinaldi 等人 (2001)，則嘗試將關鍵基礎設施視作「複雜的、會適應的系統」Complex Adaptive System, CAS，亦即

每關鍵基礎設施除本身複雜且會隨著時間修正其運作方式外，系統與系統之間的關係，更是一動態且會不斷改變的複雜系統。另些學者，則將各種 CII 分為四類型：實體，資訊，地理，邏輯 (Rinaldi et al., 2001)，但其中只有地理相依性可藉由完整精確的各個關鍵基礎設施管線分布資料以 GIS 相互疊合找出 (Rinaldi et al., 2001; Duenas-Osorio et al., 2007)。Martí 等人 (2009) 則提出 Infrastructures Interdependencies Simulation (I2Sim) 作法，以電力輸電系統理論分析與模擬設施之間的相依性。關於 IIM 與 I2Sim 的詳細介紹，詳見後文文獻回顧說明，簡言之，上述各作法的問題總結如下：

- 皆假設設施之間的相依程度已知，須透過專家主觀判定等方法量化其值

此法缺乏客觀評量相依程度，本團隊於 2010 年在 ASCE Computing in Civil Engineering 期刊發表的基於設施損毀紀錄，透過序列資料探勘的作法，可客觀地有效找出 CII 相依程度與量化其值。本作法假設 CII 相依為一時空事件，須同時處理其時間與空間特性，另本作法可分析所有類型 CII 事件，不限於地理相依性，且分析網路之解析度取決於其設施損毀紀錄的資料正確性，詳見文獻回顧一節說明。

- 皆未探討如何儲存 CII 歷程資料，與之後從歷程資料萃取出防救災知識

如 Mendonca 與 Wallace (2006) 分析報章雜誌的災害報導，可從中萃取出防救災知識。然過去學者並未探討如何儲存 CII 事件資訊，累積足夠資料後，如何進而分析萃取出防救災知識。上述學者提出的模式 (IIM 與 I2Sim)，藉由已知的外部事件 (如天災毀壞某些設施，降低其服務水準)，應用模式後可預測各設施的運作狀況。若能將預測結果與實際設施情況予以儲存，一旦累積足夠資料，相信能萃取出更多有用的 CII 防救災知識。

- 皆未探討如何在 CII 事件發生當時，如何即時輔助防救災決策

上述模式在正確設定各項參數後，可模擬各設施的狀態。然若能在災害發生後立即收集現地各設施的狀態，透過高速電腦的運算模擬，相信短時間內便可預測各設施之後的狀態，甚至能建議在 CII 連鎖反應串列中設置防火牆，使得 CII 不致有更大的擴散效應。

綜合以上所述，基於過去研究設施損毀紀錄成果，從時空網路上以較客觀的方式建立設施之間相依性。在 CII 模擬的學理上，目前有兩個主流方法論：IIM 與 I2Sim，如何整合此二方法，發展適用於台灣天然災害較多的 CII 防災應用，為一重要課題。感謝 NCDR 人為災害防治組蘇組長團隊的交流，目前已逐漸瞭解更多 CII 防救災理論與實際情況，應能建立 CII 模型並萃取相關知識。相信經適當運算能夠輔助防救災決策官員應變 CII 事件。

5.1.2 相依性的研究方法

本子項計畫研究目的：

- 運用關鍵基礎設施知識發現流程與專家經驗構成關鍵基礎設施相依性矩陣。
- IIM 與 I2Sim 模型。
- 運用 IIM 與 I2Sim 分別模擬災害進程。

其研究範圍則侷限於關於 CII 模擬模式之選擇上，經與 NCDR 一年多以來的交流，IIM 與 I2Sim 為目前主流且較可行的作法，在後文文獻回顧一節有對其他作法作一整體介紹。

研究方法首先針對過去文獻進行回顧，同時設計測試的腳本與資料格式設定。由此開始分兩的部分進行，第一部分是文獻回顧、模型實踐及環境建置等；第二部分則是研究關鍵基礎設施相依性蒐集。

5.2 關鍵基礎設施相依性模型發展

近來，一些基礎設施研究學者已體認此問題的重要性，如 Haimes 等人 (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 (Input-output

Inoperability Model, IIM)。其他學者如 Rinaldi 等人 (2001)，則嘗試將關鍵基礎設施視作「複雜的、會適應的系統」Complex Adaptive System, CAS，亦即每關鍵基礎設施除本身複雜且會隨著時間修正其運作方式外，系統與系統之間的關係，更是一動態且會不斷改變的複雜系統。另些學者，則將各種 CII 分為四類型：實體，資訊，地理，邏輯 (Rinaldi et al. 2001)，但其中只有地理相依性可藉由完整精確的各個關鍵基礎設施管線分布資料以 GIS 相互疊合找出 (Rinaldi et al., 2001; Duenas-Osorio et al., 2007)。Martí 等人 (2009) 則提出 Infrastructures Interdependencies Simulation (I2Sim) 作法，以電力輸電系統理論分析與模擬設施之間的相依性。以下是對於 IIM 及 I2Sim 團隊的模式做說明。

5.2.1 IIM 模式說明

Leontief 投入產出模型研究問題的核心偏向為資料整合的問題，關鍵基礎設施的非地理上相依性，由於並非直覺地可從設施位置資訊求得，故目前一些學者提出不同的學說。以下，我們採用 Haines 等人 (2005) 所建議的作法，建構在 1973 年諾貝爾經濟獎得主 Wassily Leontief 教授的投入產出模型，最後並說明為何採用此模型，與資料來源等議題。

原始的 Leontief 投入產出模型解釋如下：假設一經濟體有 n 個不同產業，每個產業各自有需要的輸入品，也有輸出品，在一年的時間內假設達到靜態平衡，亦即經濟體內自給自足，符號定義如下：

- x_j 為第 j 個產業的產出， $j=1,2,\dots,n$
- r_i 為第 i 個輸入資源， $i=1,2,\dots,m$
- x_{kj} 為第 k 個產業的產出，用在第 j 個產業上
- r_{ij} 為第 i 個輸入資源，用在第 j 個產業上

Leontief 模型假設以下的變數：

$$x_{kj} = a_{kj}x_j, \quad (\text{式 5.1})$$

亦即投入產出 x_j 的量(即 x_{kj})越多, x_j 真正的產出量就會多, a_{kj} 是一係數

$$r_{ij} = b_{ij}x_j, \quad (\text{式 5.2})$$

亦即投入產出 x_j 的量(即 r_{ij})越多, x_j 真正的產出量就會多, b_{ij} 是一係數

$$x_k = \sum_j x_{kj} + c_k, \quad k=1,2,\dots,n, \quad (\text{式 5.3})$$

亦即 x_k 的總量, 會等於 x_k 用在各產業的總量, 加上此經濟體的最後需求 c_k

結合(式 5.1)與(式 5.3), 產生(式 5.4); 同樣的道理, 可產生(式 5.5); 最後加上一限制式(式 5.6), 亦即用在某產業的資源, 不可大於資源的總量。

$$x_k = \sum_j a_{kj}x_j + c_k, \quad k=1,2,\dots,n \quad (\text{式 5.4})$$

$$\sum_j r_{ij} = \sum_j b_{ij}x_j \quad (\text{式 5.5})$$

$$\sum_j b_{ij}x_j \leq r_i, \quad r_i \geq 0 \quad (\text{式 5.6})$$

以上為原始 Leontief 投入產出經濟模型, 應用在關鍵基礎設施非地理相依性上, 首先定義設施停止運作水準 (Inoperability), 當停止運作水準為 1 時, 代表此設施完全不運作, 當停止運作水準為 0 時, 代表設施正常運作。此外, Haimes 等人 (2005) 建議, 停止運作水準應採用 Risk 的概念, 亦即某設施的停止運作水準事實上是期望值, 含有機率的意義。其他假設說明如下:

- x_j 為第 j 個設施的停止運作水準, $j=1,2,\dots,n$
- r_i 為第 i 個資源用以管理全部關鍵基礎設施的停止運作水準, $i=1,2,\dots,m$, 例如所需人力、所需機具、所需資金、所需時間等等
- x_{kj} 為第 j 個關鍵基礎設施因災害的損毀, 沿著相依性, 造成第 k 個關鍵基礎設施不服務的水準
- r_{ij} 為第 i 個資源, 用在管理第 j 個關鍵基礎設施上

- a_{kj} 為第 j 個關鍵基礎設施造成第 k 個關鍵基礎設施損毀的機率，若 $a_{kj}=1$ ，表示當第 j 個設施損毀時，第 k 個設施也會完全損毀
- c_k 為因外界因素，造成第 k 個設施的停止運作水準
- b_{ij} 為係數，表示第 i 個資源，用在管理第 j 個關鍵基礎設施上。

基本上，每個關鍵基礎設施皆需要一個以上的資源因此，我們可導出式 5.7-5.10。

$$x_{kj} = a_{kj}x_j, j, k=1,2,\dots,n \quad (\text{式 5.7})$$

$$r_{ij} = b_{ij}x_j \quad (\text{式 5.8})$$

$$x_k = \sum x_{kj} + c_k \quad (\text{式 5.9})$$

$$x_k = \sum a_{kj}x_j + c_k \quad (\text{式 5.10})$$

式 5.10 可以變成矩陣的型式，假設 X 為一向量， C 也是一向量， A 為一 $n \times n$ 矩陣， I 為單位矩陣，則式 5.10 可轉變成式 5.11 與式 5.12：

$$X = AX + C \quad (\text{式 5.11})$$

$$(I-A)X = C \quad (\text{式 5.12})$$

若假設式 5.12 的 $(I-A)$ 為 nonsingular，則上述式子求解 X 如下：

$$X = (I - A)^{-1} C \quad (\text{式 5.13})$$

接下來，對式 5.8 作加總，得到式 5.14：

$$\sum r_{ij} = \sum b_{ij}x_j \quad (\text{式 5.14})$$

接下來考慮限制式，基本上用在第 j 個關鍵基礎設施的資源 i 不可能超過整體資源 i 的數量，因此有式 5.15：

$$\sum b_{ij}x_j \leq r_i \quad (\text{式 5.15})$$

舉兩個例子如下：範例一，假設有兩設施，設施 2 完全毀壞會導致設施 1 變成 80%不能提供服務，而設施 1 完全毀壞會導致設施 2 變成 20%不能服務，因此，式 5.11 的 A 矩陣(相依矩陣)為：

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0.8 \\ 0.2 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{式 5.16})$$

現在假設設施 2 遭受外力攻擊，喪失 60%服務水準，因此可得到下式：

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0.8 \\ 0.2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0.6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8x_2 \\ 0.2x_1 + 0.6 \end{pmatrix} \quad (\text{式 5.17})$$

可得 $x_1=0.571$ ， $x_2=0.714$ 。

範例二，假設有四個設施，設施 1 為發電廠，設施 2 為公路，設施 3 為醫院，設施 4 為銀行，假設相依矩陣 A 為式 5.18：

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.8 & 0 & 0 \\ 1 & 0.9 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{式 5.18})$$

上式代表當發電廠壞掉時，公路只有六成服務水準，但醫院與銀行則完全停擺。當公路完全壞掉時，發電廠與銀行還可以有一成的服務水準，醫院可有兩成的服務水準。當醫院或是銀行完全停擺時，對於發電廠或是公路則完全沒有影響。由這些敘述可知，關鍵基礎設施的非地理相依性，在資料的可靠度上，人為因素頗重，需要依賴專家，或是可靠的資料來源，方能做最好的假設與估計。

接著，假設一個颱風影響公路，使其服務水準降了 h ，如下式：

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.8 & 0 & 0 \\ 1 & 0.9 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ h \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (\text{式 5.19})$$

求解可得 $(x_1, x_2, x_3, x_4) = (1.41h, 1.56h, 2.66h, 2.80h)$ ，當 $0 \leq h \leq 0.357$ 。當 $h > 0.357$ 時，銀行就完全停擺，當 $h > 0.376$ 時，則醫院完全停擺，當 $h > 0.641$ 時，則公路完全壞掉。

由以上的說明可知，通常災害造成的關鍵基礎設施損害程度 C 向量較容易估計，相依矩陣 A 是最困難估算的部分，然而，一旦有正確的相依矩陣，Leontief 投入產出模型應用到關鍵基礎設施上，事實上相當準確地考量設施之間的相依性，計算的部分亦非複雜，故本研究採用此模型。

此外 Dynamic Inoperability I-O Model 則是得到各個關鍵基礎設施在各個時間點的狀態。要計算出各個時間點的狀態就需要知道設施受損後的服務狀態如何變化，因此必須要有 $\dot{x}(t) = f(x, \dot{x}, t) + u(t)$ 的資訊，並可將此式稍作整理與給予適當定義改寫為 $\dot{x} = Bx + C\dot{x} = u(t)$ 。

Haimes 等人的研究，陸續刊登在 ASCE Journal of Infrastructure Systems 中，考量諸如範例二的 h 值，為一隨著時間變化的函數等等。但直至今日，Haimes 教授的團隊仍未對如何求得相依矩陣 A ，有適當的說明，仍是以專家自行兩兩估計設施之間的相依性。誠如 Haimes 教授在 2005 發表的文章所言，若要在關鍵基礎設施相依性研究有所突破，則可靠的資料來源絕對是成功的關鍵步驟，此亦為本研究第二目標，期待能以關鍵基礎設施的故障紀錄，反推相依矩陣 A 。

5.2.2 I2Sim 模式說明

加拿大 UBC 大學電機系 Martí 教授團隊多年以來一直從事電力輸電網路的研究，近日關鍵基礎設施相依性議題日益重要，Martí 團隊便轉型以輸電網路所發展的理論，解讀 CII 現象。如圖 35 所示，在 I2Sim 架構下，緊急運作中心(EOC)將有各關鍵基礎設施的代理人，防救災官員透過 I2Sim 可預知未來情況發展，進

而透過代理人溝通與控制對應的基礎設施。

I2Sim 定義模型四個基本元素，如下：

1. Cell：代表設施運作的單元，將有輸入與輸出。
2. Channel：代表連結設施運作的單元，如電線、交通網路、管路等等。
3. Token：代表設施之間的輸入與輸出，且會被傳送的單元，如電力、水等。
4. Control：代表控制設施流量的單元，通常為人或機器所控制。

在電力輸電網路領域，UBC 學者提倡的作法為 Multi-area Thevenin equivalents (MATE)，此法源自 1950 年代 Diakoptics 作法，適合將計算工作平行分散給各處理單元，如圖 36 所示，將輸電網路各子網路切割，形成一矩陣的子矩陣，中間的連結則用 Link Matrix 表達。圖 37 顯示一個示範用的輸電網路，中間 α 表示連結，將此網路分割 AB 兩部分。將圖 37 網路轉換成矩陣形式，則為圖 38。依照 $V=IR$ 公式，以中間 α 為例， $V_{A3}-V_{B1}-z_{\alpha1}*i_{\alpha1}=0$ ， z 代表電阻， i 代表電流， V 為電壓，可謂左邊網路的輸出電壓，將等於右邊網路輸入電壓，加上連結點往右邊流動的電壓。餘此類推，各項 G 值表示各式電阻， h 表示外部電壓。

透過此概念，則將電壓表達設施之間的 Token，利用輸入與輸出恆等的原理，可計算出各設施最後的狀態。其中 G 值表達設施之間的相依性，在 I2Sim 中為專家主觀判定。

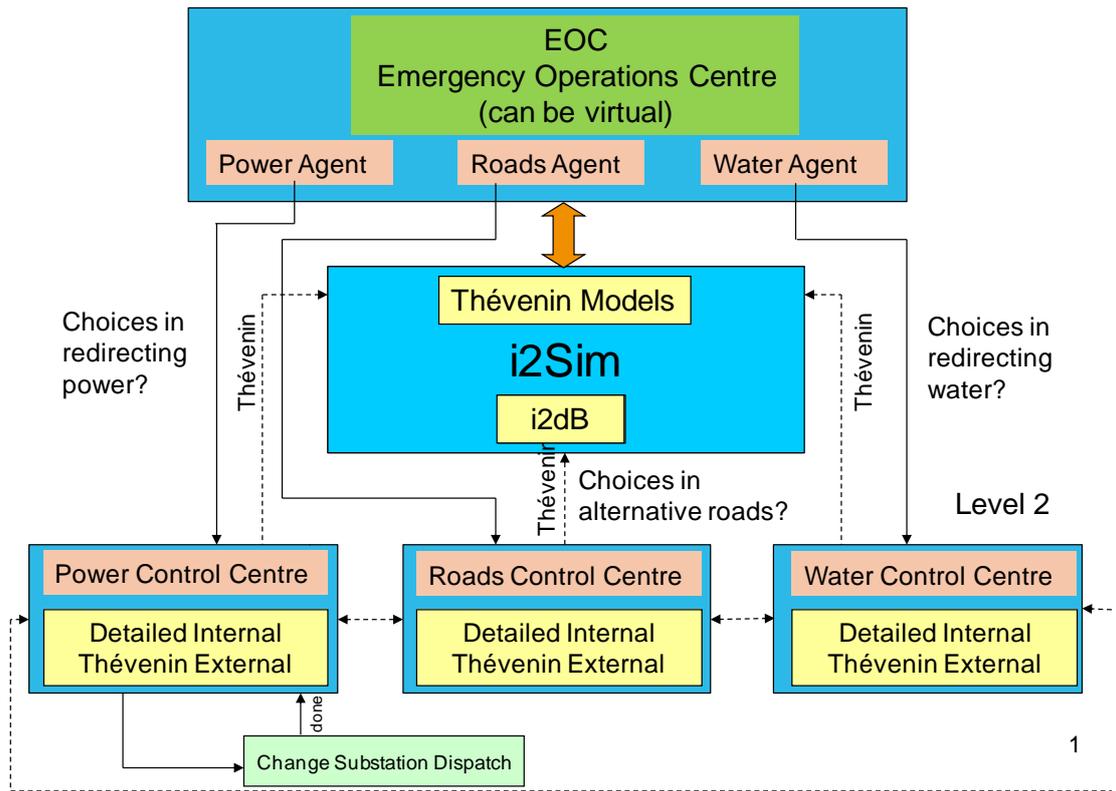


圖35 I2SIM 架構

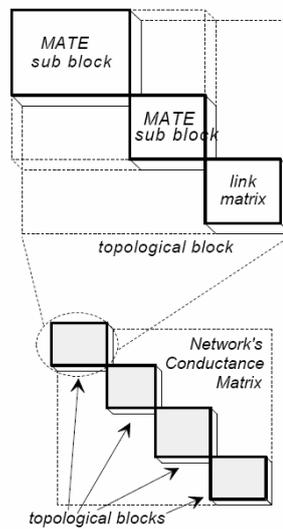


圖36 MATE 矩陣

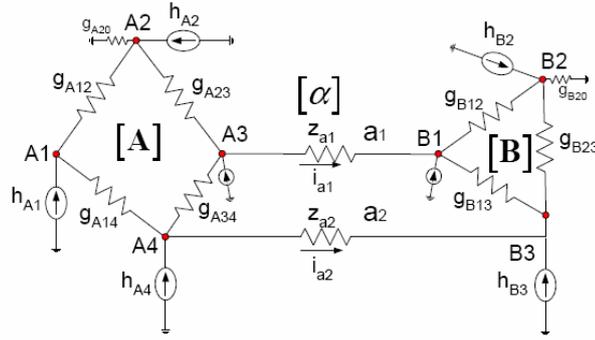


圖37 示範的輸電網路

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	$\alpha 1$	$\alpha 2$		
A1	G_{A11}	G_{A12}	0	G_{A14}				0	0	v_{A1}	h_{A1}
A2	G_{A12}	G_{A22}	G_{A23}	0				0	0	v_{A2}	h_{A2}
A3	0	G_{A23}	G_{A33}	G_{A34}				1	0	v_{A3}	h_{A3}
A4	G_{A14}	0	G_{A34}	G_{A44}				0	1	v_{A4}	h_{A4}
B1					G_{B11}	G_{B12}	G_{B13}	-1	0	v_{B1}	h_{B1}
B2					G_{B12}	G_{B22}	G_{B23}	0	0	v_{B2}	h_{B2}
B3					G_{B13}	G_{B23}	G_{B33}	0	-1	v_{B3}	h_{B3}
$\alpha 1$	0	0	1	0	-1	0	0	$-z_{\alpha 1}$	0	$i_{\alpha 1}$	0
$\alpha 2$	0	0	0	1	0	0	-1	0	$-z_{\alpha 2}$	$i_{\alpha 2}$	0

圖38 對應的 MATE 矩陣

下面將介紹 I2Sim 團隊的方法應用在關鍵基礎設施上的例子，以下為 UBC 大學研究論文中五個 Cell 的試驗例子：

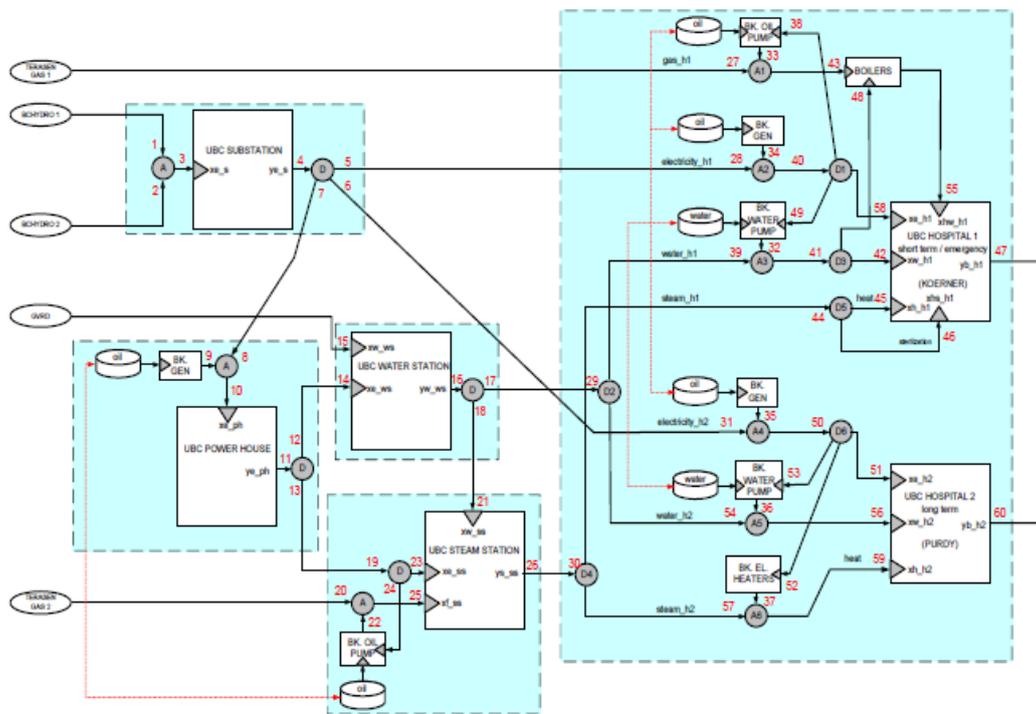


圖39 UBC 五個 CELL 試驗例設施簡圖

在此試驗例五個 Cell 分別為變電設施、供電設施、供水設施、蒸氣輸出設施以及醫院等五個部分。以下將各別拆解說明。

- 變電設施

1					
	1				
A1	A2	-1			
		M1	-1		
			D1	-1	
			D2		-1
			D3		-1

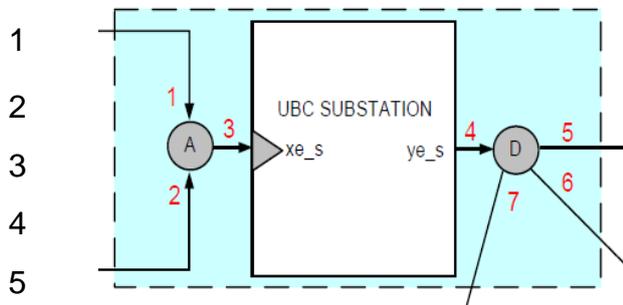


圖40 變電設施簡圖

變電設施依據線路輸出輸入供給情況可以列出下列式子：

$$\begin{aligned}
 x_1 &= u_{v1} & D_1 x_4 - y_5 &= 0 \\
 x_2 &= u_{v2} & D_2 x_4 - y_6 &= 0 \\
 A_1 x_1 + A_2 x_2 - x_3 &= 0 & D_3 x_4 - y_7 &= 0 \\
 M_1 x_3 - x_4 &= 0 & &
 \end{aligned}$$

• 供電設施

1						8
	1					9
A1	A2	-1				10
		M1	-1			11
			D1	-1		12
			D2		-1	13

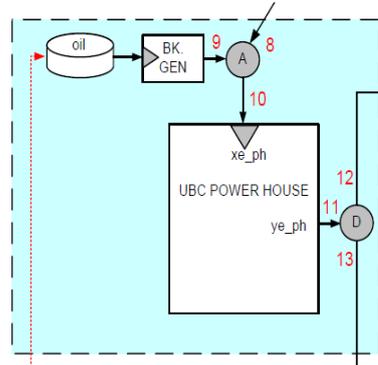


圖41 供電設施簡圖

供電設施依據線路輸出輸入供給情況可以列出下列式子：

$$\begin{aligned}
 x_8 - y_7 &= 0 \\
 x_9 &= M_1 u_{oil} \\
 A_1 x_8 + A_2 x_9 - x_{10} &= 0 \\
 M_1 x_{10} - x_{11} &= 0 \\
 D_1 x_{11} - x_{12} &= 0 \\
 D_2 x_{11} - x_{13} &= 0
 \end{aligned}$$

• 供水設施

1						14
	1					15
M1	M2	-1				16
			D1	-1		17
			D2		-1	18

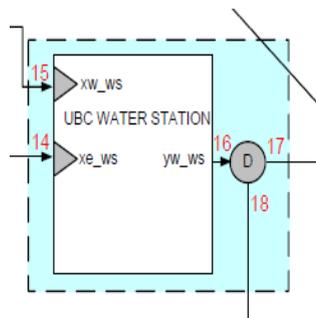


圖42 供水設施簡圖

供電設施依據線路輸出輸入供給情況可以列出下列式子：

$$\begin{aligned}
 x_{14} &= y_{12} \\
 x_{15} &= u_{15} \\
 M_1 x_{14} + M_2 x_{15} - x_{16} &= 0 \\
 D_1 x_{16} - y_{17} &= 0 \\
 D_2 x_{16} - y_{18} &= 0
 \end{aligned}$$

- 蒸氣輸出設施

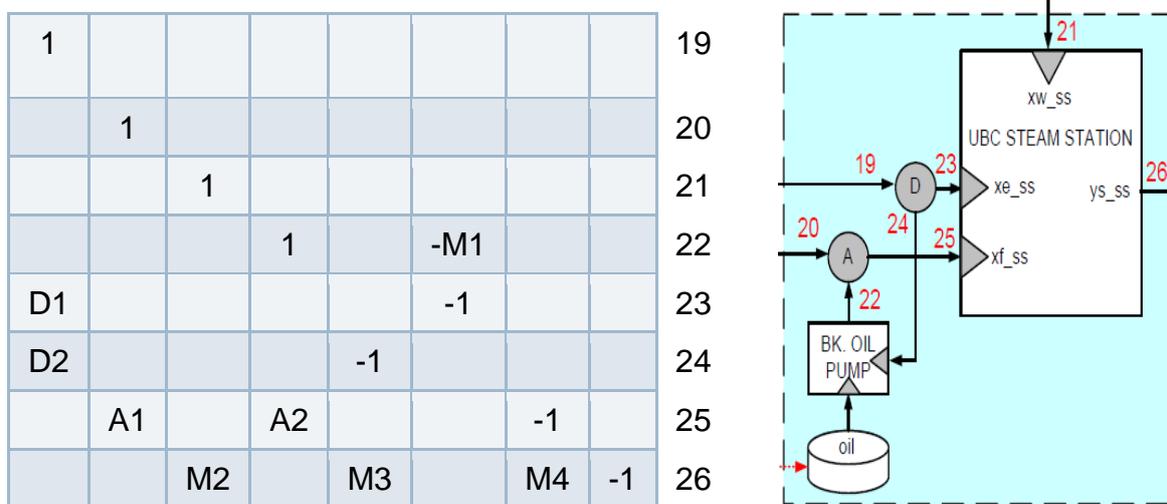


圖43 蒸氣設施簡圖

蒸氣輸出設施依據線路輸出輸入供給情況可以列出下列式子：

$$\begin{aligned}
 x_{19} - y_{13} &= 0 \\
 x_{20} &= u_{g2} \\
 x_{21} - y_{18} &= 0 \\
 x_{22} - M_1 x_{24} &= M_1 u_{oil} \\
 D_1 x_{19} - x_{24} &= 0 \\
 D_2 x_{19} - x_{23} &= 0 \\
 A_1 x_{20} + A_2 x_{22} - x_{25} &= 0 \\
 M_2 x_{21} + M_3 x_{23} + M_4 x_{25} - x_{26} &= 0
 \end{aligned}$$

- 醫院

醫院不同於其他部分，此部分較為複雜故分為幾個部分做拆解說明。

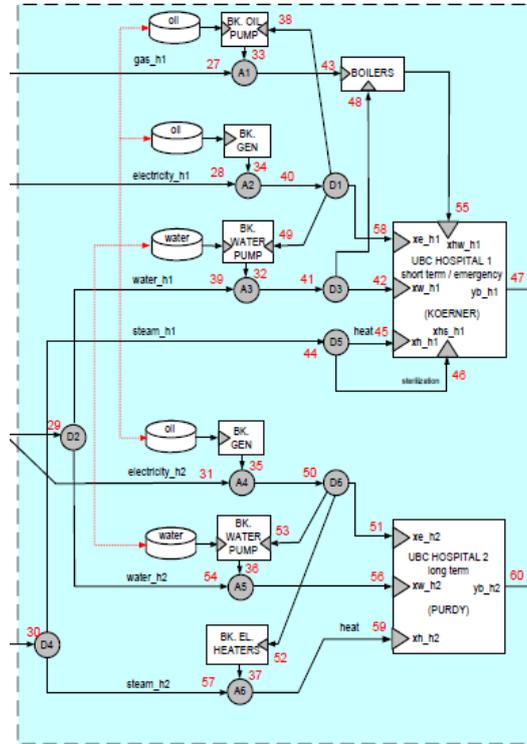


圖44 醫院設施簡圖

1. 第一個部分是醫院由其他 Cell 或是外部接收服務

可以依據來源及設施配置關係得到下列式子：

I					...	27	$x_{27} = u_{g1}$
	I				...	28	$x_{28} - y_5 = 0$
		I			...	29	$x_{29} - y_{17} = 0$
			I		...	30	$x_{30} - y_{26} = 0$
				I	...	31	$x_{31} - y_6 = 0$

2. 第二部分是醫院與備用系統的關係

可以依據來源及設施配置關係得到下列式子：

	32	33	34	35	36	38	49	53	
...	1						-M7	...	...
...		1				-M2	...	...	...
...			1				...	...	...
...				1			...	...	...
...					1		...	...	-M15

$$x_{32} - M_7 x_{49} = M_1 u_{w1}$$

$$x_{33} - M_2 x_{38} = M_5 u_{oil2}$$

$$x_{34} = M_6 u_{oil1}$$

$$x_{35} = M_{13} u_{oil3}$$

$$x_{36} - M_{15} x_{53} = M_{14} u_{w2}$$

3. 第三部分是醫院其他相關連結

可以依據設施配置關係得到下列式子：

$$x_{37} - M_{16} x_{52} = 0$$

$$A_1 x_{27} + A_2 x_{33} - x_{43} = 0$$

$$M_3 x_{43} + M_4 x_{48} - x_{55} = 0$$

$$A_3 x_{28} + A_4 x_{34} - x_{40} = 0$$

$$D_1 x_{40} - x_{38} = 0$$

$$D_2 x_{40} - x_{49} = 0$$

$$D_3 x_{40} - x_{58} = 0$$

$$D_4 x_{29} - x_{39} = 0$$

$$D_5 x_{29} - x_{54} = 0$$

$$A_6 x_{32} + A_5 x_{39} - x_{41} = 0$$

$$D_6 x_{41} - x_{48} = 0$$

$$D_7 x_{41} - x_{42} = 0$$

$$D_8 x_{30} - x_{44} = 0$$

$$D_9 x_{30} - x_{57} = 0$$

$$D_{10} x_{44} - x_{45} = 0$$

$$D_{11} x_{44} - x_{46} = 0$$

$$M_{10} x_{42} + M_{11} x_{45} + M_{12} x_{46} - x_{47} + M_8 x_{55} + M_9 x_{58} = 0$$

$$A_7 x_{31} + A_8 x_{35} - x_{50} = 0$$

$$D_{12} x_{50} - x_{51} = 0$$

$$D_{13} x_{50} - x_{52} = 0$$

$$D_{14} x_{50} - x_{53} = 0$$

$$A_{10} x_{36} + A_9 x_{54} - x_{56} = 0$$

$$A_{12} x_{31} + A_{11} x_{57} - x_{59} = 0$$

$$M_{17} x_{51} + M_{18} x_{56} + M_{19} x_{59} - x_{60} = 0$$

由上述幾個 Cell 的拆解說明，可發現其組成有幾種固定組合表示方式，下面以蒸氣設施為例進行解說。

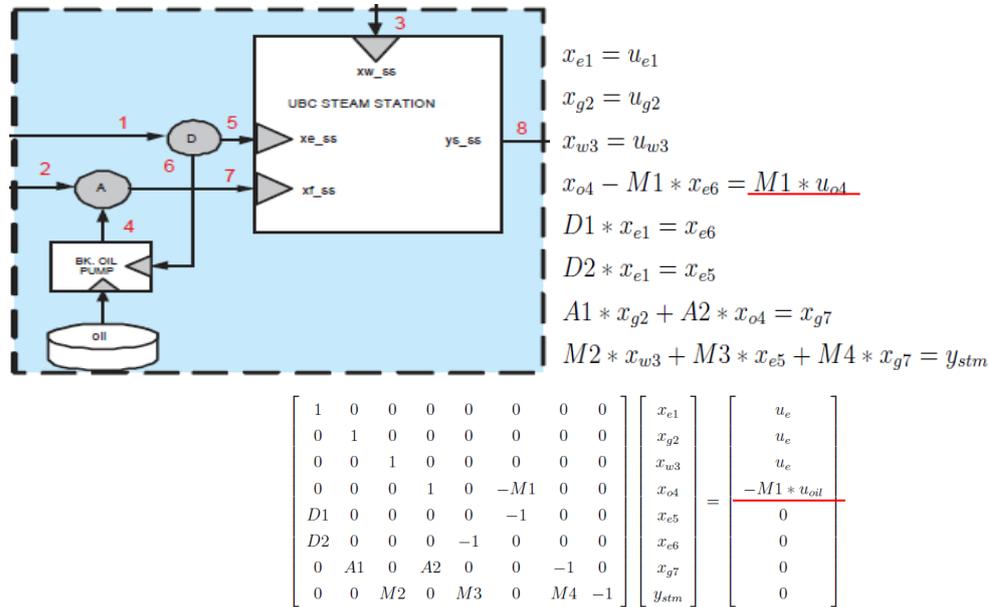


圖45 I2SIM 團隊水蒸氣設施簡例

- 依照設施配線情況寫出式子

一條線段可寫成一個方程式，如圖 45 右上所示。圖上所標示的線段 1 為此 Cell 外輸入服務後接入此 Cell 故 $x_{e1}=u_{e1}$ (x 為內部服務， u 為 Cell 以外的服務)。圖中各種輸入輸出等關係在此系統裡分為三種：

1. 服務經過轉換

此部分由 M 來表示，如圖中 $M_2 * x_{w3} + M_3 * x_{e5} + M_4 * x_{g7} = y_{stm}$ (y_{stm} 表示此系統最後的輸出)。此系統最後的輸出是由 3、5、7 四條截線所提的服務共同提供服務而完成，但最後的輸出並不是完完整整進去多少就出來多少，進行了不同的服務轉換。

2. 相同功能不同來源

此部分由 A 來表示，如圖中 $A_1 * x_{g2} + A_2 * x_{o4} = x_{g7}$ 。 A_1 及 A_2 所控制的是設備所需的服務從何而來，以此例來說若設施供給正常，不需要備援系統則 $A_2=0$ ，反之若系統受損需要備援支持則 $A_1=0$ 表示受損 A_2 則變換

為常數。

3. 輸出給不同的設備

此部分由 D 來表示，如圖中所示 $D_1 * x_{e1} = x_{e6}$ 及 $D_2 * x_{e1} = x_{e5}$ 。由此例來說 $D_1 * x_{e1} + D_2 * x_{e1} = x_{e1}$ 。同一設施的服務供給兩個（含兩個）以上的設備使用時就可以用此來表示。

此外紅線的部分則是因為由局部來看是供給關係，但對於整個系統來說，使用備用的系統越多，外界對於這個系統的供給就能夠越少。

- 組合各個 Cell

將所有的 Cell 所形成的矩陣組合起來

圖 46 中由各個設施相依矩陣依序擺放形成整體的相依矩陣。此矩陣分為三個部分：

1. 斜對角的相依矩陣

由各個 Cell 相依矩陣組成。

2. 斜對角以外的數字

為除了醫院外各個 Cell 之間的服务輸入及輸出關係。

3. 矩陣下方

醫院與其他 Cell 的服務輸入及輸出關係。

- Dynamic I2Sim

為了得知各個時間點的設施狀態，所以必須知道各個設施服務狀態隨著時間變化的情況，因此須計算 $\frac{\partial X}{\partial h} = -A^{-1} \left(\frac{\partial A}{\partial h} X - \frac{\partial U}{\partial h} \right)$ ，其中對於 A 矩陣的偏微分可得

A 、 D 、 M 係數隨時間變化的情況。

5.2.3 基礎設施資料蒐集

為達到蒐集資料及完整分類整理的目標，在這裡模型將以圖 47 所示，上面的各個類別各個細節將在後文一一描述。基本上，模型由三個主要部分組成：(1) 基礎設施和管理類別；(2) 相依性類別；及(3) 基礎設施類型類別。基礎設施和管理類別包含關於一個基礎架構系統本身和它的擁有人組織的資訊。相依性類別是前述三種關鍵基礎設施相依性類型。基礎設施類型類別是指關鍵基礎設施系統每種類型有它自己的屬性。模型的結構描述如下：

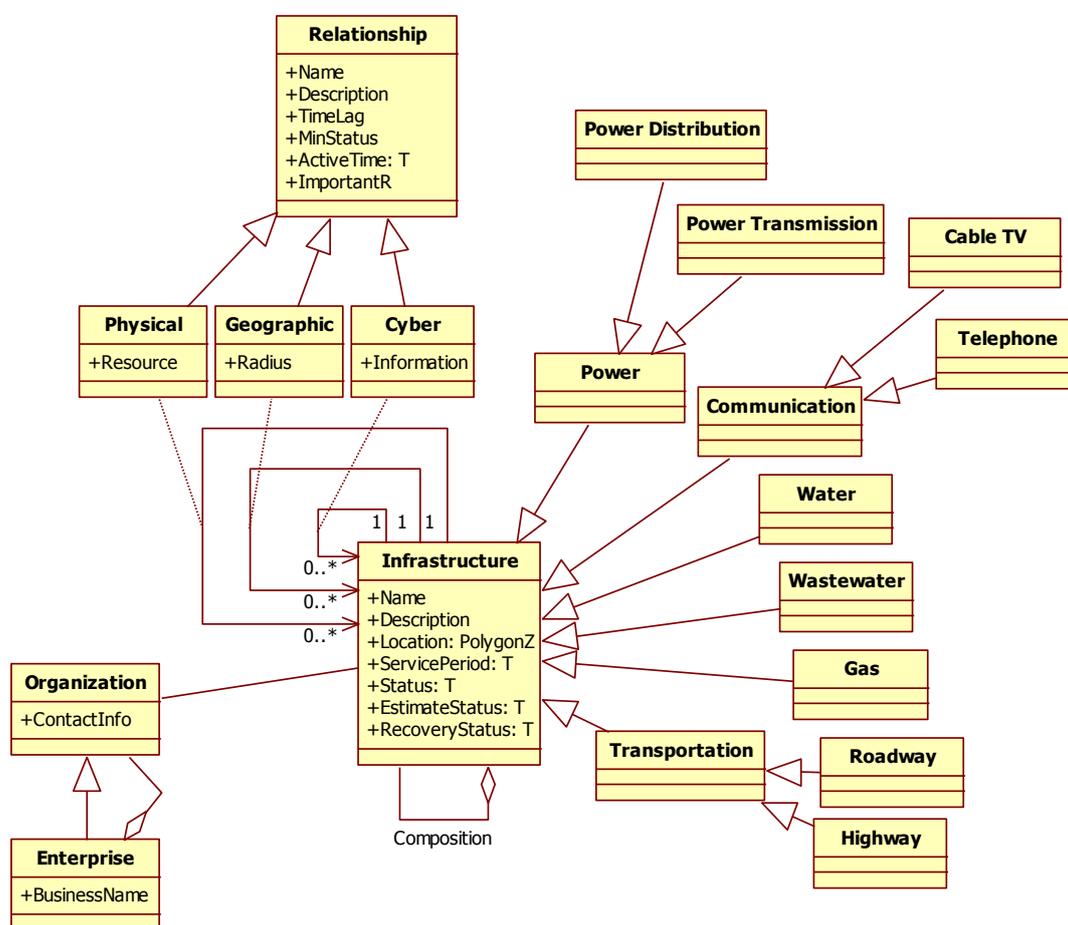


圖47 初版的關鍵基礎設施相依性 UML 模型

- 基礎設施和管理類別

1. 組織：此類別代表一個關鍵基礎設施系統的擁有人。它包括經理人聯繫

資訊，當災害發生、基礎架構的潛在的損害發生時，風險管理者可以聯繫到負責的人。

2. 企業：此類別描述組織的企業實體的概念。

例如，市政府能對給水系統，廢水處理系統和配電系統負責。有三個工程部門在市政府內，因此企業描述市政府，而組織描述各個工程部門。此企業組織架構可容易延伸塑模任何基礎架構的單位組織。

3. 基礎設施：此類別在關鍵基礎設施相依性模型裡描述最重要的概念。

A. 名字：基礎設施的名字。

B. 描述：關於這基礎設施的其他資訊。

C. 形狀位置 Z：基礎設施的位置和形狀，包括垂直的尺寸。現實世界的基礎架構系統由很多部分組成，在模型裡基礎設施物件可描述每個零組件。因此，整個組成關係的一個基礎架構系統可以被一套由很多組成關係基礎設施物件所描述。

D. 服務週期 T：基礎設施的理想服務週期。有時基礎設施服務可能由於維修被停止。如果災害剛好撞上週期基礎設施維修，中斷的服務可能引起更嚴重的問題。在時間資料庫或者 MOD 的理論裡，有兩個時間敏感屬性：有效的時間和交易處理時間 (Tansel et al., 1993; Guting and Schneider, 2005)。傳統的資料庫技術不考慮這樣要求，以致於只有記錄事件的最新的狀況。

E. 恢復計畫 T：基礎設施的復原計畫。如果一個基礎架構系統有故障，它就必須執行恢復計畫。如果修復完成，設施就會繼續運作。

• 相依關係

四種類別如下：

1. 一般關係：此類別在關鍵基礎設施裡描述一種關係的模型。

一依靠基礎設施需要由支援的基礎設施提供服務或者資源。例如，一座電廠的操作取決於入口道路，而在道路上的交通控制系統需要由電廠提供的電。為這相依性兩個物體間建立關係。此類別由六屬性組成：

- A. 名字：關係的名字。
- B. 描述：關於這種關係的其他資訊。
- C. 時間延遲：將引起依靠的基礎設施停止或者降低服務水準的關係的時間間隔。
- D. 最小單位：將啟動關係的支援基礎設施的最小狀態值。
- E. 活動時間：關係開始的時間。這個屬性是有時間性並且能提供一個災害如何傳播的詳細記錄。
- F. 重要性 R：與依靠的基礎設施有關的關係的比率。例如，兩個基礎架構系統支援第三基礎設施的操作。兩個基礎架構系統可以在支援第三個過程中扮演不同的角色。因此，每一個支援基礎設施的重要性不同。

2. 運作：此類別描述運作關係的相依性模型。

在提議模型內，在此記錄那些資源連結這兩個基礎設施。

3. 地理：此類別描述地理關係的相依性模型。

在模型裡同時記錄確定可能工作或者停止的兩基礎設施的邊界的範圍。

4. 資訊：此類別描述資訊關係的相依性模型。

此類別記錄依靠的基礎設施資訊訊息。

• 基礎設施類型的類別

此部分用來確定各種各樣的基礎設施類型。

目前正發展此模型的模擬工具，此工具將使用關鍵基礎設施相依性模型用在台灣的一個小鎮之一次地震災害下，每個關鍵基礎設施系統的事件。給水系統，電力配電線，通信線路和天然氣管道等皆在工具裡被描繪。它們的相依性資料在資料庫裡有記錄。儲存在資料庫裡的相依性資料，工具的用戶能查明災害的與時間維度有關的影響的範圍，另一防火牆的概念將被增加到一種相依性關係，使得災害擴散得以中止。其他應用，例如詢問基礎設施毀壞的某種類型，在未來也將被實現。

5.3 IIM 工具應用說明

5.3.1 IIM 工具使用者介面

本 IIM 工具以 EXCEL VBA 撰寫，如圖 15，適用在 EXCEL 2003 以上版本。



圖48 IIM 之 EXCEL 計算工具

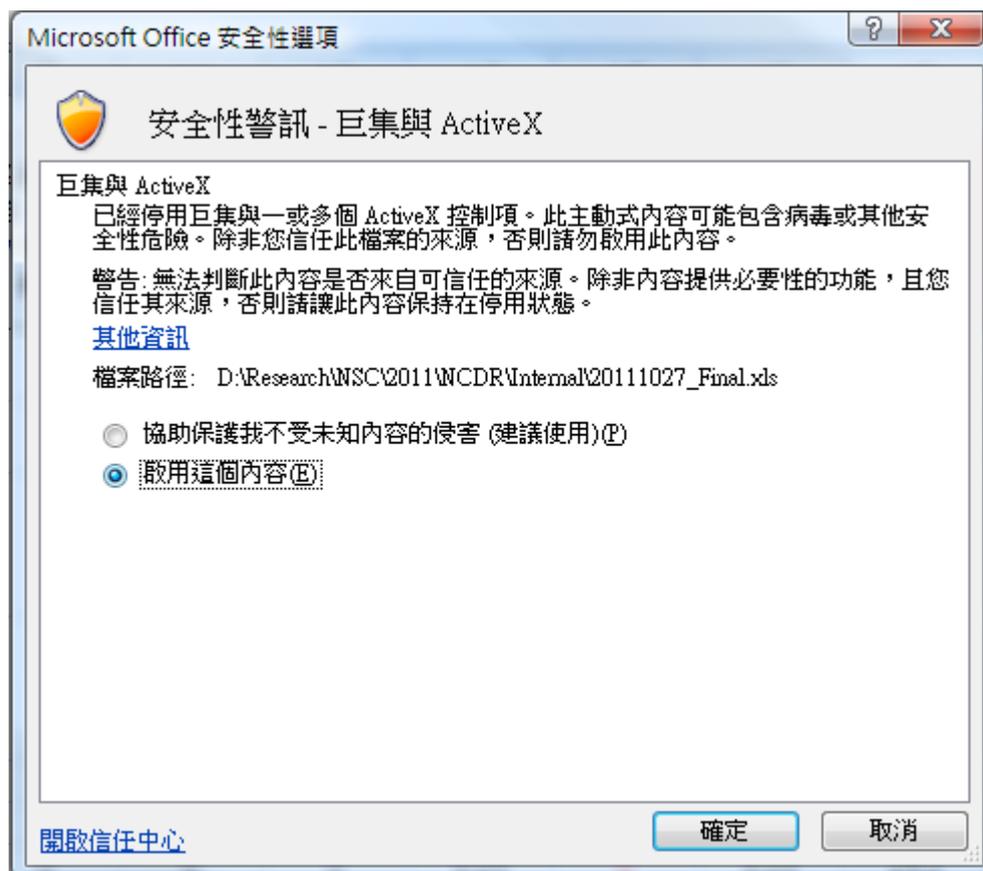


圖50 EXCEL 巨集啟用安全性警訊的對話盒

第二項須填入的資訊為外力造成設施開始損毀的初始狀態向量(圖 48 之 AH 欄)，與相依矩陣定義一致，0 表示外力無影響、設施正常運作，1 表示外力造成設施完全不能運作。當資訊完全輸入後，使用者可按下「計算 (單次)」按鈕，程式將計算最後的每個設施平衡狀態，顯示於圖 48 的 AG 欄，值域與外力向量定義一致。

原經濟理論中的投入產出模型並未限定矩陣或向量之值域上下限，但本問題中必須對值域上下限規定，以免造成設施進入無法定義的狀態。例如，若計算結果某設施狀態大於 1，表示設施非常不能運作，但現實上仍應以 1 表達「不能運作」；依此觀念，若設施狀態值小於 0，代表設施正常運作，且程式應自動校正其值為 0。

5.3.2 IIM 工具程式功能

目前程式提供一分析功能：「計算最大影響外力」。此分析功能假設如下：若假設整體系統失效情形，等於每個設施最後平衡狀態之 Inoperability 值，乘以權重 $1/29$ ，為其答案，則最大影響外力，可分批假設外力造成某設施失效值為 1，透過程式求得整體系統失效值，藉由程式判斷何種外力造成整體失效最嚴重。程式在計算上，將限定設施值域為 0 到 1，一般而言均為外力攻擊某輸電設施將產生最大系統失效度。

目前程式約可執行 $100*100$ 大小的相依矩陣，過大矩陣透過 EXCEL 計算將過於緩慢，未來將重寫此功能直接以 C++ 或 C# 改寫，以加快程式執行速度。

另程式發展方向為：

- 求得整體系統失效程度：使用者可輸入某設施權重，系統應用 AHP 或其它權重分配方式自動計算整體失效。
- 相依矩陣敏感度分析：兩兩設施相依關係目前為專家給定，但程式可透過敏感度分析，瞭解哪兩種設施的相依值變更，將產生整體失效程度較大，接著便透過細部訪談瞭解設施真正相依為何。
- 防火牆：瞭解保護哪一個設施，使對於其他設施無法造成影響，可保護系統的整體運作能力。亦即設立備援設施，使得設施較難損毀，與另一設施相依性低。
- 既有備源設施的塑模：與 I2Sim 不同的是，IIM 對於備源設施較無統一的作法，未來將研擬一適當的機制表達備源設施。在概念上應朝向動態 IIM 發展，設施並非於第一時間損毀，而是在某段時間後才損毀。
- 隨機模擬：應用 Monte Carlo 法，模擬出當外力隨機攻擊某些設施時，系統反應為何。

5.4 I2Sim 工具說明

5.4.1 I2Sim 工具使用者介面

本 I2Sim 工具以 C#與 MATLAB 撰寫，如圖 51。

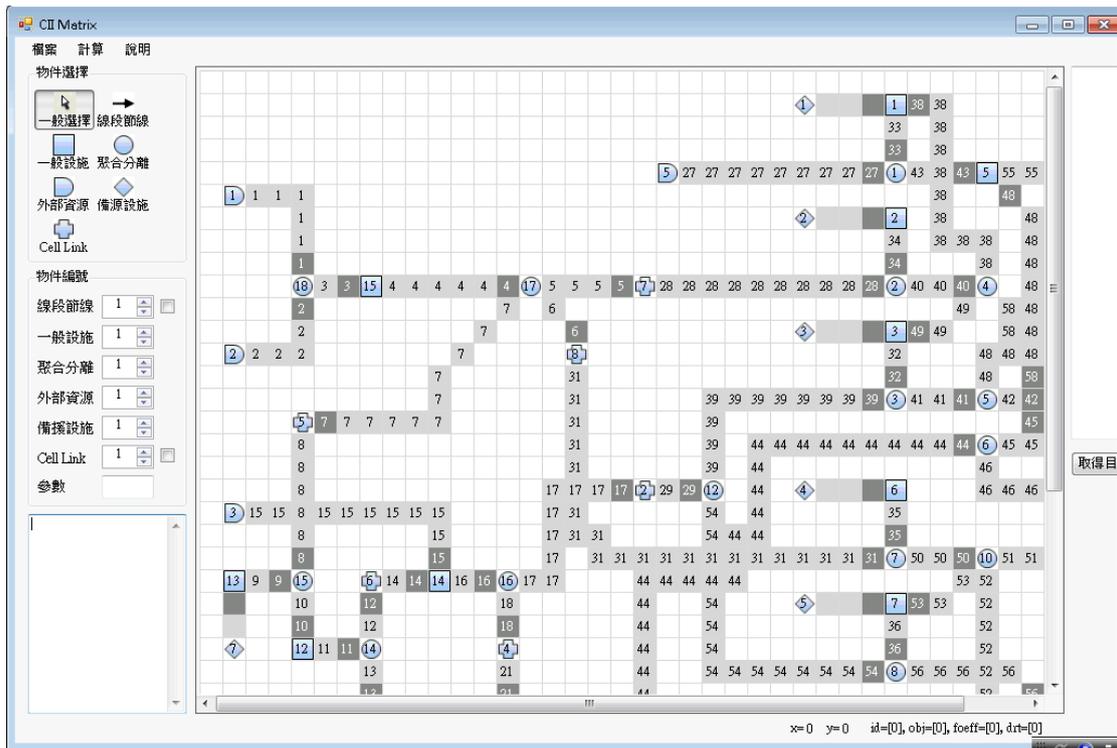


圖51 本研究開發之 I2SIM 建模與計算工具

圖 51 是本程式表達 UBC 校園設施，若只以變電站為例，UBC 設施如圖 52，方程式如圖 53。圖 51 之節線代號與圖 19/20 一致，故圖 51 的外部資源 1 表示圖 52 之 u_{v1} ，外部資源 2 表示 u_{v2} 。所有設施或資源之值為 0 表示無運作，1 表示正常運作。圖 53 中的 A_1 與 A_2 ，表示外部資源 1 與 2 將聚集在一起成為輸入， A_1 與 A_2 為兩外部資源的分配比重，如 0.4/0.6 代表外部資源 1 供應四成輸入，外部資源 2 供應六成輸入，接著， x_3 表達兩外部資源聚合後的變電站整體輸入，因輸入等於輸出，故 $A_1x_1 + A_2x_2 = x_3$ 。

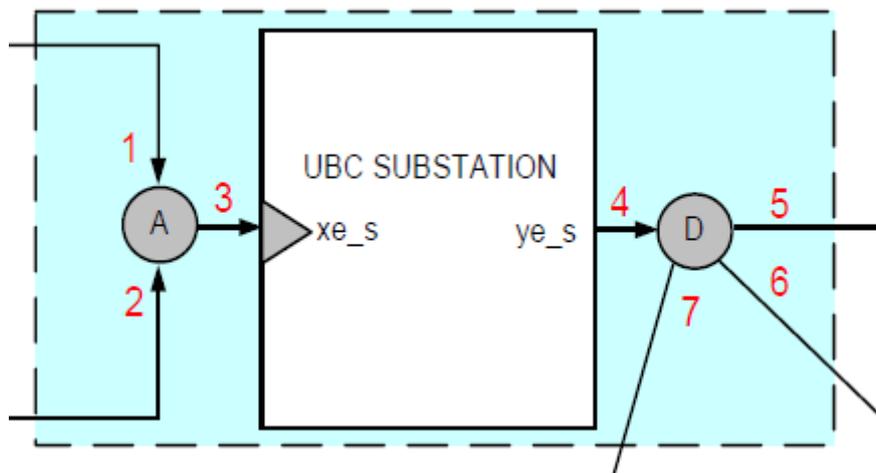


圖52 變電站設施

$$\begin{aligned}
 x_1 &= u_{v1} \\
 x_2 &= u_{v2} \\
 A_1 x_1 + A_2 x_2 - x_3 &= 0 \\
 M_1 x_3 - x_4 &= 0 \\
 D_1 x_4 - y_5 &= 0 \\
 D_2 x_4 - y_6 &= 0 \\
 D_3 x_4 - y_7 &= 0
 \end{aligned}$$

圖53 變電站設施相依之方程式組

因變電站需要 x_3 輸入，產生 x_4 輸出，假設變電站輸入與輸出為一正比關係， M_1 為係數，故 $M_1 x_3 = x_4$ 。當 x_4 輸出後，將依比例分配給 y_5 、 y_6 、 y_7 ，係數為 D_1 、 D_2 、 D_3 。是故，若外部資源運作情形已知，所有係數也已知 (A_1 、 M_1 、 D_1 、 D_2 、 D_3)，則所有設施狀況可求得。

圖 52/53 為 UBC 某發電設施圖與方程式組，圖 54 之線段 8 與圖 52 之線段 7 為同一線段，亦即兩設施因此有相依性，理論上同一線段傳送能量時不會造成損失。線段 8 與線段 9 聚合成線段 10 成為發電站的輸入，線段 9 為發電站的備援設施，在此通常指線段 8 與線段 9 為互補，當線段 8 輸入能量不供應時，線段 9 才供應。另外，備源設施的狀態值域為負的。

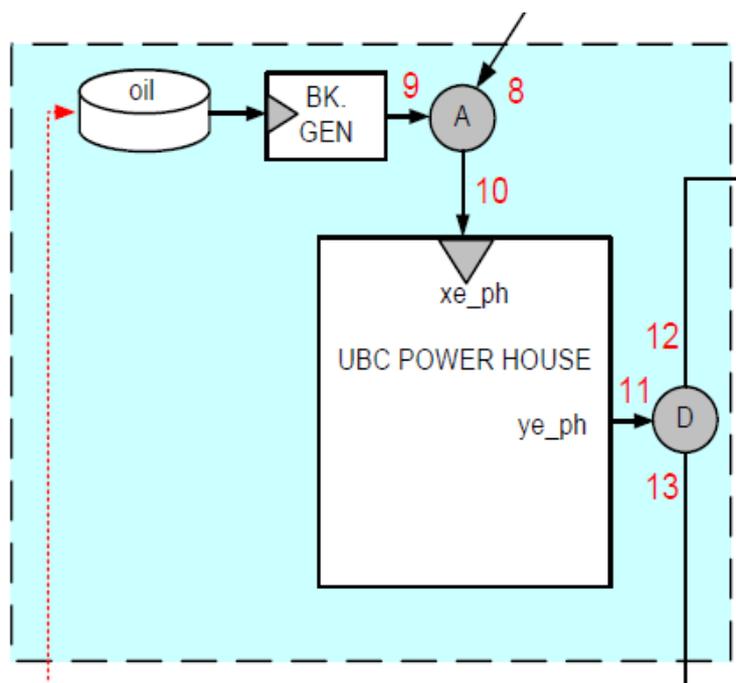


圖54 發電設施

$$\begin{aligned}
 x_9 &= -M_1 u_{oil} \\
 A_1 x_8 + A_2 x_9 - x_{10} &= 0 \\
 M_1 x_{10} - x_{11} &= 0 \\
 D_1 x_{11} - x_{12} &= 0 \\
 D_2 x_{11} - x_{13} &= 0
 \end{aligned}$$

圖55 發電設施方程式組

因此，線段 9 等於備用柴油供應程度，係數 M_1 為 0-1 數字，表達柴油發電效率， u_{oil} 為柴油設施目前運作程度（為負值）。發電設施之輸入可由 x_8 或 x_9 供應，故係數 A_1 與 A_2 為互斥值，同時只會有一個為 1，另一個為 0。發電設施供電效率為 M_1 ，產生能量 x_{11} 後，依照比例分配給 x_{12} 與 x_{13} 用。

簡言之，本 I2Sim 建模工具，可有系統的繪製設施網路連結圖，若使用者可指定各式係數，只要方程式組為正確，便可精確計算出某設施之輸入或輸出的效率。

第六章 協助國土辦 CIP 計畫技術支援

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設施，其安全防護攸關全國民眾人身、經濟、財產、發展與社會安全。本中心基於災防科技幕僚角色，協助行政院國土安全辦公室(Office of Homeland Security, OHS)整合我國關鍵基礎設施安全防護工作，並積極協調各相關業管單位，共同推動國家關鍵設施的安全防護工作。

本研究除原專案規畫之工作外，亦協助行政院國土安全辦公室推動「國家關鍵基礎設施安全防護研究計畫案」(以下簡稱 OHS-CIP 計畫，98-100 年)，由於該計畫受預算凍結因素，第一階段(98 年度)的計畫執行期間為 99 年 1 月至 99 年 6 月，第二階段為 99 年 8 月至 99 年 5 月，第三階段 100 年 6 月至 100 年 12 月。

6.1 國家關鍵基礎設施防護計畫之推動

本專案協助行政院國土安全辦公室擬定國家關鍵基礎設施安全防護計畫推動架構，由國土安全辦公室負責管理、協調、督導及整合工作，本中心負責計畫執行內容規劃與未來整體操作方法的研擬與驗證工作，請參閱圖 56，內容包括(1)推動體系法制與災防應用、(2)風險評估方法與作業程序、(3)資料庫及資訊展示平台等三項為工作重點。由 NCDR 成立 P08 專案與外部各研究小組共同分工合作，未來的成果及產出提供行政院跨部會應用，並與本中心相關災防應用計畫進行整合應用。依上述合作機制並共同研訂我國關鍵基礎設施之主要外力威脅為天然災害優先、人為反恐兼顧為其目標。

OHS-CIP 計畫的執行除一般政策支持與專業諮詢，亦協助監督及參與外部團隊的技術支援，為使 OHS-CIP 計畫能順利推動與研發成果能有效運作，

OHS-CIP 計畫的管理架構共規劃依不同階段有所不同，第一階段以三個子計畫分組執行，請參閱圖 57。第二階段（98 年度計畫）起為加強計畫管理與跨組合作機制，調整為四個層級的會議：政策指導、顧問專家、行政協調、專業協調等會議分別進行，依工作小組進行討論與協調，請參閱圖 58。第三階段 CIP 計畫管理架構則以工作任務為導向，共分為 NIPP 精進版、交通 SSP、科學園區 SSP、風險機制、電信網路次部門規劃及資訊平台精進等六個工作小組執行，請參閱圖 59。

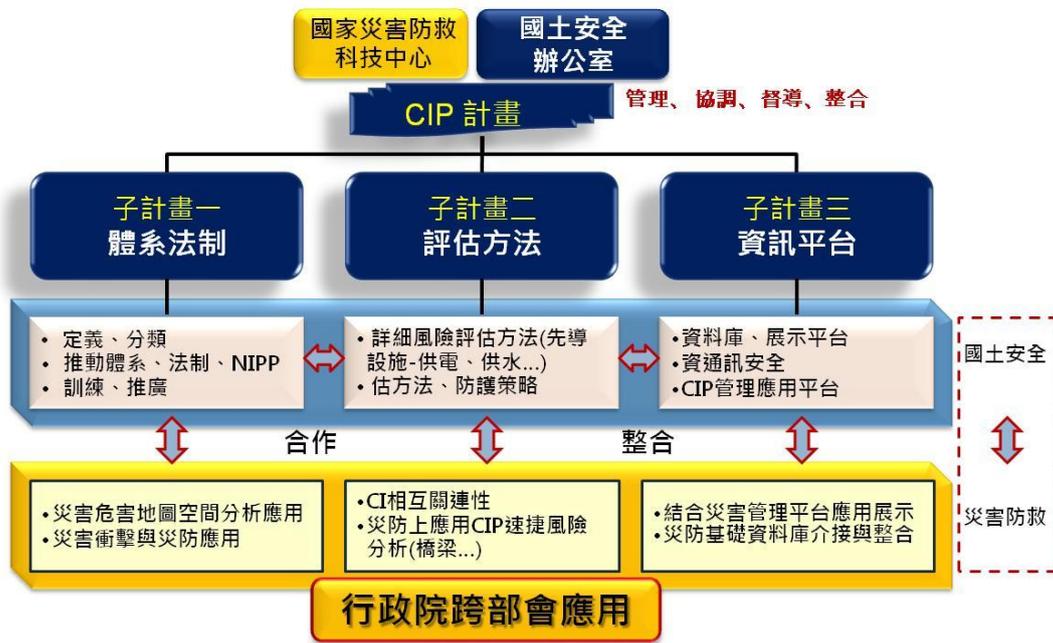


圖 56 行政院國家關鍵基礎設施安全防護計畫推動架構



圖 57 CIP 第一階段計畫管理架構



圖58 CIP 第二階段計畫管理架構

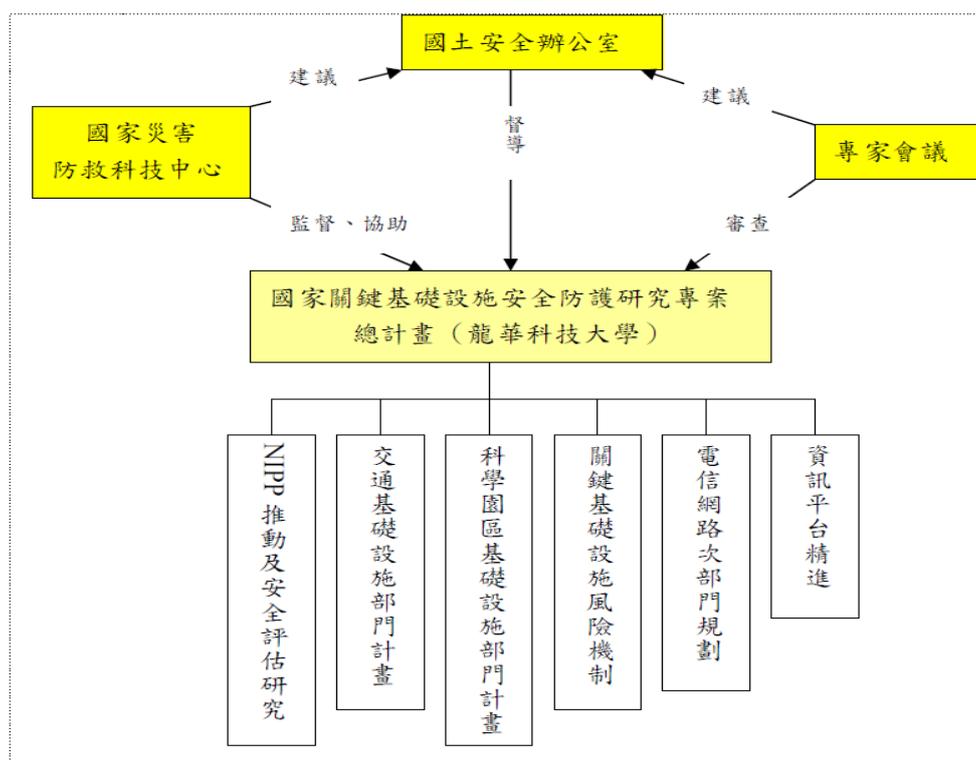


圖59 CIP 第三階段計畫管理架構

6.2 行政院國土安全辦公室 CIP 計畫現階段成果摘錄

本年度為第三階段（100 年度）的計畫執行，CIP 外部團隊分別以「NIPP 推動及安全評估研究」、「交通基礎設施部門計畫」、「科學園區基礎設施部門計畫」、「關鍵基礎設施風險機制」、「電信網路次部門規劃」及「資訊平台精進」等六個工作小組執行，現已完成 CIP 計畫第三階段計畫，其成果產出項目如表 27 所示。各階段的工作概要如表 28 所示。三階段產出的風險評估方法如表 29 所示。

表19 CIP 第三階段成果產出項目

小組名稱	產出項目
NIPP 推動及安全評估研究	<ol style="list-style-type: none"> 1. 協助 NIPP 部會溝通並完成精進版； 2. 交通基礎設施部門計畫之資產辨識、風險評估、風險排序 3. 科學園區基礎設施部門計畫之資產辨識、風險評估、風險排序； 4. 未來執行及推動策略建議
交通基礎設施部門計畫	<ol style="list-style-type: none"> 1. 整體交通基礎設施風險探討； 2. 台北車站共構空間次部門計畫精進 3. 提出立法面與行政面推動建議； 4. 提出可推廣至其他車站之方法
科學園區基礎設施部門計畫	<ol style="list-style-type: none"> 1. 整體科學園區基礎設施風險探討； 2. 中部科學園區次部門計畫精進 3. 提出立法面與行政面推動建議； 4. 協助完成「關鍵基礎設施安全防護條例草案」
關鍵基礎設施風險機制	<ol style="list-style-type: none"> 1. 風險(預警)燈號必要性研究 2. 國土與關鍵基礎設施風險(預警)機制精進 3. 提出立法面與行政面推動建議
電信網路次部門規劃	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電信網路部門現況評估(i.各部會電信基礎設施整合研究; ii.災害時資通整合研究) 2. 電信網路部門安全評估 3. 電信網路次部門計畫精進 4. 相關政策建議
資訊平台精進	<ol style="list-style-type: none"> 1. CIP 三階段成果整合 2. CIP 資訊分享機制精進 3. 關鍵基礎設施基本資料庫擴充與精進

表20 CIP 專案各階段工作概要

	NIPP	電力 設施 SSP	供水 設施 SSP	交通 設施 SSP	科學 園區 SSP	電信 設施 SSP	國土風險 機制（預 警燈號）	CIP 資訊 平台
第一階段 99/1~99/6	草案 版	草案 版	草案 版					雛型 版
第二階段 99/8~100/5	呈核 版	呈核 版	呈核 版	草案 版	草案 版	草案 版	草案版	展示 版
第三階段 100/8~101/1	精進 版			呈核 版	呈核 版	呈核 版	呈核版	精進 版

表21 關鍵基礎設施風險評估方法

評估方法	應用對象
故障樹	電力基礎設施（供電系統、輸電系統） 供水基礎設施（台水第二與第十二區處）
系統模擬	交通基礎設施（台北車站） 科學園區基礎設施（中部科學園區）
ISO 27005	電信基礎設施
其他 （CARVER2）	上述方法不適用之基礎設施

第三階段之工作成果，除總計畫成果摘要報告外，另附下列六本專題報告，詳細敘述各個主題之研究方法與結果：

- 一、我國關鍵基礎設施安全防護總計畫書（NIPP）精進版
- 二、科學園區基礎設施部門計畫期末報告
- 三、交通設施之基礎設施部門計畫期末報告
- 四、關鍵基礎設施風險機制規劃畫期末報告
- 五、電信網路次部門計畫期末報告
- 六、國家基礎設施資訊平台精進期末報告

七、關鍵基礎設施防護計畫指導綱要（草案）

以下茲將前兩個階段成果與第三階段成果的相關重要項目摘錄於下面各小節內容中。

6.2.1 關鍵基礎設施之定義

國際上，於關鍵基礎設施安全防護之經驗，其內容包含美國、加拿大、日本、韓國、新加坡、中國、英國、德國、荷蘭、法國、瑞士、紐西蘭、澳洲等國，以及聯合國和歐盟區域等國際組織，亦紛紛開始重視並著手建構與推動關鍵基礎設施防護之理念與工作，並根據本身國情條件及安全環境特色，運用風險管理方法，評估相關基礎建設部門所面對之威脅及其本身之脆弱性，再推估災難後果之衝擊與影響，界定各國本身關鍵基礎設施之概念與範圍，擬定政策原則及推動策略，建構組織機制與提升執行能量，檢討與修訂相關法令。

第三階段 CIP 成果報告所探討之「關鍵基礎設施安全防護」，旨在參考先進國家之實踐經驗，再評估我國特殊的安全環境（包括地理環境、發展特色、天然災害、意外事件、人為攻擊、敵人威脅等），進而建構一套具體的法制規範與權責管理體系，作為安全防護的基礎。為有效預防及因應複合性災害，我國關鍵基礎設施安全防護將採取「全災害防護」（All Hazard Approach）的概念，並將風險管理理論導入防救災及關鍵基礎設施防護。風險管理的觀點，主要是對各項內、外因子作全面性風險評估，再進行風險處置，透過持續性及系統性風險資訊收集及分析而建立完善防救災體系。此外，本研究亦將探討關鍵基礎設施的判斷準則，透過資產辨識、順序排列、相依性認定等步驟，期能發展出具體有效的防護計畫。最後，本研究亦將針對關鍵基礎設施安全防護的推動工作臚列建議，包括訂定策略目標、建立應變計畫、舉行模擬演練、進行檢討建議、落實追蹤考核等項目，透過本研究之完成，將可喚醒各關鍵基礎設施主管機關及民間擁有者或營運者對於安全防護工作的重視，進而強化國土安全與國家安全。

我國的國土安全業務主要是由行政院「國土安全辦公室」及「災害防救辦公室」共同分工合作，就業務性質區分而言，「國土安全辦公室」之業務著重在國土安全政策方針之規劃及重大人為危安事件或恐怖活動之掌握與處置，至於「災

害防救辦公室」則負責天然災害之防救災工作。基於前述對於安全環境之變遷所造成的影響、風險評估、以及國外經驗，本報告依行政院國土安全辦公室委託研究對「關鍵基礎設施」做成以下定義：

「國家公有或私有、實體或虛擬的資產、生產系統以及網絡，因人為破壞或自然災害受損，因而有影響政府及社會功能運作、造成人民傷亡或財產損失、引起經濟衰退、環境改變或其他足使國家安全或利益遭受損害之虞者。」（行政院國土安全辦公室，2012）

6.2.2 CI 篩選原則

根據上述 CI 定義，基礎設施除了主要部門 (Sectors) 外，各設施系統具有其相對應之次部門 (Sub-sectors) 及重要元件 (Critical Elements) 等三個單元。倘若關鍵設施遭受外力影響，將導致營運中斷或降低運作功能，因此，CIP 計畫為評估關鍵基礎設施主要部門、次部門及其重要元件的防護優先次序，採用下而上累加風險作法，判斷基礎設施之關鍵性，初步建立「關鍵基礎設施判定準則」，其判斷準則如下（行政院國土安全辦公室，2010）：

- 一、足以直接或間接造成大規模人口影響者。
- 二、足以直接或間接造成經濟損失者。
- 三、足以直接或間接影響其他關鍵基礎設施營運之能力者。

基礎設施三個單元之主要部門、次要部門及重要元件，分別依據上述判定準則填寫防護關鍵性之認定標準。各項判定準則因子，依據表 30 至表 33 之影響及損害程度填寫風險分數（行政院國土安全辦公室，2010）。CI 篩選的方式可依表 34，將上述篩選原則依其風險因子的得分加總，其總分等級在 7 分以上者即可考慮列為關鍵基礎設施。

表22 直接或間接造成大規模人口影響

風險因子	非常高 (4)	高 (3)	中 (2)	低 (1)
人口影響(人)	>10,000	1,000 - 10,000	100 - 1,000	<100

表23 直接或間接造成經濟損失

風險因子	非常高 (4)	高 (3)	中 (2)	低 (1)
經濟損失(NT\$)	>300億	30 - 300億	3 - 30億	<3億

表24 直接或間接損害造成其他關鍵基礎設施部門營運的能力

風險因子	非常高 (4)	高 (3)	中 (2)	低 (1)
影響程度與影響CI數量乘積	≥ 12	8(含)~12(不含)	4(含)~8(不含)	0~4(不含)
影響程度與影響CI數量乘積=4*N1+3*N2+2*N3+N4				
影響程度	非常高 (4)	高 (3)	中 (2)	低 (1)
影響CI數量	N1	N2	N3	N4

表25 關鍵基礎設施影響因子評量表

設施名稱	風險因子	風險等級	配分
	人口影響(人)	非常高 (超過10,000人)	<input type="checkbox"/> 4
		高 (1,000 - 10,000人)	<input type="checkbox"/> 3
		中 (100 - 1,000人)	<input type="checkbox"/> 2
		低 (少於100人)	<input type="checkbox"/> 1
	經濟損失 (NT\$)	非常高 (超過300億元)	<input type="checkbox"/> 4
		高 (30 - 300億元)	<input type="checkbox"/> 3
		中 (3 - 30億元)	<input type="checkbox"/> 2
		低 (少於3億元)	<input type="checkbox"/> 1
	影響程度與影響CI數量乘積	非常高	<input type="checkbox"/> 4
		高	<input type="checkbox"/> 3
		中	<input type="checkbox"/> 2
		低	<input type="checkbox"/> 1
	合計	總分等級7分以上者即可考慮列為關鍵基礎設施	

6.2.3 CI 部門分類

國土安全辦公室自 2009 年 12 月起委託產、官、學界進行「行政院國家關鍵基礎設施防護計畫專業服務委外研究」，研究參考各國理論與實務運作經驗，並結合我國國情需要，經與學者專家及政府官員討論後，將我國的關鍵基礎設施分為八個部門（sector），依照設施防護優先順序排列如下：

- 一、能源（Energy）
- 二、水資源（Water）
- 三、資通訊（Information and Telecommunication）
- 四、交通（Transportation）
- 五、銀行與金融（Banking and Finance）
- 六、緊急救援與醫院（Emergency Services and Public Healthcares）
- 七、中央政府及主要都會（Government）
- 八、高科技園區（Hi-Tech Industrial Parks）

選定八大項 CI 之主要防護部門項目，並進一步依據各國經驗與我國地理環境與國情，列出我國之關鍵基礎設施主要防護部門項目（sectors）、次部門項目（sub-sectors）與各重要元件（critical elements），請參閱表 34。

表26 我國關鍵基礎設施之主部門、次部門及重要元件分類表

防護順序	主部門 (sector)	次部門 (sub-sectors)	重要元件 (critical elements)
1	能源(Energy)	- 電力	- 發電系統 - 火力發電廠 - 核能發電廠 - 水力發電廠 - 再生能源 - 控制系統 - 輸電系統 - 變電所

			<ul style="list-style-type: none"> - 輸電線 - 配電系統 <ul style="list-style-type: none"> - 配電變電所 - 配電饋線 - 控制中心 - 調度系統 <ul style="list-style-type: none"> - 中央調度中心 - 區域調度中心 - 配電調度中心
		- 石油	<ul style="list-style-type: none"> - 原油 <ul style="list-style-type: none"> - 轉運站及專用碼頭 - 儲槽 - 運輸 - 煉油程序設備 <ul style="list-style-type: none"> - 煉油廠 - 儲槽 - 運輸與管線 - 控制系統 - 油料市場
		- 天然氣	<ul style="list-style-type: none"> - 液化天然氣 (LNG) 接收站 <ul style="list-style-type: none"> - 儲槽 - 運輸與管線 - 配氣站 - 控制調度中心 - 液化天然氣設備 - 控制系統
		- 化學與核能材料	<ul style="list-style-type: none"> - 核能原料儲存及其配送系統管制 - 重要化學原料儲存及其配送系統管制 - 核能廢料儲存及其配送系統管制 - 控制系統
2	水資源(Water)	- 水源	<ul style="list-style-type: none"> - 重要水源地與河川 - 水源輸送
		- 水庫	<ul style="list-style-type: none"> - 貯水池，水庫 - 水庫抽水站設備 - 水源輸送 - 控制系統
		- 淨水系統	<ul style="list-style-type: none"> - 淨水廠 <ul style="list-style-type: none"> - 分水井 - 管線 - 淨水設備 - 淨水井 - 儲水槽 - 出水抽水站 - 控制系統
		- 供水線路	<ul style="list-style-type: none"> - 引入管系統 - 配送系統 - 控制系統
3	資通訊 (Information and Telecommunication)	- 資訊系統	<ul style="list-style-type: none"> - 網路硬體、光纖 - 重要機房 - IDC(Internet Data Center)機房與資料中心 - 軟體系統 - 網際網路骨幹服務

			<ul style="list-style-type: none"> - 網際網路入口及電子郵件服務 - 無線基地台 - 衛星 - 海底電纜 - 控制系統
		- 通訊系統	<ul style="list-style-type: none"> - 有線電話 - 行動電話服務 - 廣播服務 - 衛星通訊及接收站 - 無線通信 - 全球導航系統 - 重要機房 - 重要基地台 - 重要地區交換機 - 海地電纜 - 控制系統
4	交通 (Transportation)	- 陸運	<ul style="list-style-type: none"> - 重要國道及聯絡道(含重要橋樑、隧道) - 省道(含重要橋樑、隧道) - 高鐵(含重要橋樑、隧道、場站、維修場站) - 台鐵(含重要橋樑、隧道、場站、維修場站) - 都市捷運(含重要橋樑、隧道、場站、維修場站) - 重要共構場站(如台北車站) - 重要客運場站、轉運站 - 縣市對外重要聯外道路(如蘇花公路) - 部落重要聯外道路(含重要橋樑、隧道) - 重要產業聯外道路(如海港、機場聯外道路)
		- 航運	<ul style="list-style-type: none"> - 民航局 - 重要(國際)機場：桃園國際機場、台北松山國際機場、台中國際機場等重要設施(如場站服務設施、系統與機場跑道) - 民航票務系統 - 軍事機場重要設施(如場站與機場跑道) - 航空器與維修場站(房) - 機場外圍維安設備與系統
		- 海運	<ul style="list-style-type: none"> - 重要港口主管機關(基隆港務局、高雄港務局、臺中港務局、花蓮港務局) - 重要港口主等重要設施與海運設備 - 港口外圍維安設備與系統
		- 郵政及物流	<ul style="list-style-type: none"> - 中華郵政股份有限公司(總公司、各地方主要分部) - 中華郵政郵務配送系統(含設備與網路)

			- 重要物流產業公司及配送系統 (含設備與網路)
5	銀行與金融(Banking and Finance)	- 銀行	- 各主要銀行總行(含中央銀行) - 付款、結算及收交系統 - 信用與流動資產系統 - 投資信貸系統 - 投資信貸系統
		- 證券與保險投資	- 證券交易所 - 保險投資系統 - 風險移轉(再保)系統
		- 金融市場與外匯	- 貿易市場系統 - 外匯交易系統 - 外匯存底：含- 中央銀行金(國)庫
6	緊急救援與醫院 (Emergency Services and Public Healthcares)	- 醫療照護及醫院	- 行政院衛生署署本部 - 行政院衛生署食品藥物管理局 - 行政院衛生署疾病管制局 - 醫學中心 - 區域醫院 - 重要軍事醫院
		- 緊急應變體系	- 中央災害應變中心 - 內政部消防署署本部 - 空中勤務總隊(含重要機隊駐地與設備) - 海巡署署本部 - 海巡單位相關重要設施與救護設備 - 各縣市政府消防局 - 各縣市災害應變中心 - 各縣市政府警察局 - 主要抽水站 - 相關重要消防與救護設備
7	中央政府及主要都會 (Governments)	- 國會、政府、司法、行政、國安及國防	- 總統府 - 五院院址(立法院、行政院、司法院、考試院、監察院) - 重要部會政府辦公大樓建築(交通部、國防部、內政部等) - 縣市辦公大樓 - 總統府及相關五院重要中央官員(總統、副總統、五院首長)與其官邸 - 重要部會首長(部長以上)與其官邸 - 重要軍事基地與設施 - 主要都會首長
		- 國家資產	- 故宮博物院 - 國立歷史博物館(含國家歷史資料庫)
8	高科技園區(Hi-Tech Industrial Parks)	- 內湖園區	- 半導體產業 - 生技產業 - 通訊產業 - 面板產業 - 光電產業 - 資訊產業

	- 龍潭園區	- 半導體產業 - 生技產業 - 通訊產業 - 面板產業 - 光電產業 - 資訊產業
	- 宜蘭園區	建設中 - 數位創意產業 - 通訊知識服務產業
	- 新竹園區	- 半導體產業 - 生技產業 - 通訊產業 - 面板產業 - 光電產業 - 資訊產業
	- 新竹生物醫學園區	- 生技產業 - 臨床試驗
	- 台中園區	- 光電 - 精密機械 - 半導體產業
	- 銅鑼園區	建設中
	- 后里園區/后里七星園區	- 光電 - 半導體 - 精密機械
	- 虎尾園區	- 光電 - 生物科技產業
	- 二林園區	- 光電 - 半導體 - 精密機械 - 生物科技 - 綠色能源
	- 台南園區	- 生技產業 - 通訊產業 - 面板產業 - 光電產業 - 資訊產業 - 精密機械
	- 高雄園區	- 光電 - 生技醫療 - 電信

資料來源：行政院國土安全辦公室（2010），總計畫：「行政院國家關鍵基礎設施安全防護專業服務委外研究案」，子計畫：國家關鍵基礎設施防護計畫（NIPP）。

6.2.4 CI 主管機關及權責

針對我國關鍵基礎設施安全防護計畫，依據前述八大部門及其對照之中央管理與相關機關如表 35 所示。

相關部會過去已有推動基礎設施相關安全防護計畫，國安會之「復安專案」係為因應有關軍事上之危機；研考會係以風險管理、預防整備為主；經濟部、交通部等亦均有相關計畫；因此，各部會對於關鍵基礎設施防護計畫，均有一定認知；故事先加以協調與整合有其必要性。然而相關成果須顧及整合性、全面性、實務性、國際性。亦即：

1. 整合性：將現有相關部會之計畫予以統合。
2. 全面性：參考全災害（All-Hazards）概念：納入全面性評估，包括天然災害、人為意外、恐怖攻擊、軍事危機等。
3. 實務性：納入各部會現有威脅與評估方法，以能符合各部會實際運作情形。
4. 國際性：納入國際發展經驗，擬定符合國情之安全防護作為。

表27 我國關鍵基礎設施部門與主管機關

主部門 (sector)	次部門 (sub-sectors)	主管機關	重要關鍵基礎設施
能源	電力	經濟部（資源經營管理司、能源署）	發電系統、輸電系統、配電系統、控制系統
		科技部（核能安全署）	台電核能發電廠
		環境資源部（水利署）	台電管理之水庫
	石油	經濟部（資源經營管理司、能源署）	原油儲存及運輸設施、煉油設備
	天然氣	經濟部（資源經營管理司、能源署）	液化天然氣接收站
	化學與核能材料	科技部（核能安全署） 環境資源部	核能原料儲存及配送系統
水資源	水源	環境資源部	重要水源地與河川、水源輸送設施
	水庫	環境資源部	貯水池、水庫、水庫抽水站設備
	淨水系統	環境資源部	淨水廠、出水抽水站
	供水線路	環境資源部	引入管系統、配送系
資通訊	資訊系統	國家通訊傳播委員會	網路硬體、光纖、重要機房、IDC(Internet Data Center)機房與資料中心等
	通訊系統	國家通訊傳播委員會	衛星通訊及接收站、全球導航系統、重要地區交換機、海地電纜等
交通	陸運	交通及建設部	台鐵、高鐵、高速公路、重

			要橋樑與主要長隧道、都市捷運、重要共構場站、重要客運場站、轉運站
	空運	交通及建設部	民航局、國際機場、民航票務系統
	海運	交通及建設部	重要港口主等重要設施與海運設備
	郵政及物流	交通及建設部	中華郵政郵務配送系統、重要物流產業公司及配送系統
銀行與金融	銀行	財政部 金融監督管理委員會	各主要銀行總行(含中央銀行)、付款、結算及收交系統、信用與流動資產系統等
	證券與保險投資	財政部 金融監督管理委員會	證券交易所、保險投資系統、風險移轉(再保)系統
	金融市場與外匯	中央銀行 金融監督管理委員會	外匯交易系統、貿易市場系統
緊急救援與醫院	醫療照護及醫院	衛生福利部	食品藥物管理局、疾病管制局、醫學中心及區域醫院、軍醫院
	緊急應變體系	內政部(災害防救署)	中央災害應變中心、內政部消防署本部、空中勤務總隊等
中央政府與主要都會	中央政府重要政務人員及高級文官	總統府、國家安全會議、五院、各部會首長	總統府、重要部會政府辦公大樓建築、重要政府官員等
	中央政府機關公文資訊系統與重要資料系統	各部會	研考會、故宮博物院、國家檔案局、國家圖書館、中央研究院
	國家重要文化遺產與象徵	內政部	總統府、101大樓、中正紀念堂
高科技園區	科學工業園區	科技部 國家科學委員會	新竹、竹南、龍潭、銅鑼、新竹生醫、宜蘭、台中、虎尾、后里、二林、台南、高雄等。

資料來源：行政院國土安全辦公室(2010)，總計畫：「行政院國家關鍵基礎設施安全防護專業服務委外研究案」，子計畫：國家關鍵基礎設施防護計畫(NIPP)。並參行政部門組織再造加以整理。

6.2.5 關鍵基礎設施防護權責與法令推動

在正式制定法律之前，將由行政院先行發布屬於職權命令之「國家關鍵基礎設施防護辦法」，以供認定與執行上之依據。對國家關鍵基礎設施之防護，有其重要性與須由法律規定，始具有對外之效力。但法律之制定，程序上須由立法院三讀審議通過，總統發布後，始能正式施行。一般具有重要性與實效性之議案，亦可透過由主管機關先行發布「行政命令」之方式，以作為實施之依據。

國家關鍵基礎設施，應有如下之特性與標準。國家關鍵基礎設施，為國家之重要資產，其效能對民生、經濟、交通及人民生命、健康有重要支援地位，如受破壞，會造成國家重大損失者。有關國家關鍵基礎設施，包括民生、經濟、交通及對人民生命、健康有重要關聯設施，其認定基準與等級，由行政院訂之。

對於「國家關鍵基礎設施」之防護目的、認定、範圍，經過研究之後，已相對得出具體可操作性之標準後，亦可依此具體內容標準，予以界定及操作。在形式及規範上，經由主管具體的發布命令後，可有明確之依據積極辦理。

行政院國土安全辦公室，負責國土安全防護有關之任務協調機構，依任務屬性與分工，為國家關鍵基礎設施防護之協調統合機關。在未來組織定位，及任務分配上，應予明定為權責。目前在未立法之前，於相關行政命令中，亦宜先行規定明列其權責，及對各相關執行部會，有協調與統合執行之權責。

CIP 研究團隊提出制定「國家關鍵基礎設施防護辦法（或法）」方向發展，始符合發展與防護之需求，並初步草擬「國家關鍵基礎設施防護辦法（或法）草案」，如表 36 供作未來訂定之參酌。組織改造後我國中央政府國家關鍵基礎設施防護管理體系，如圖 60 所示。

表28 國家關鍵基礎設施防護辦法（法）草案

條次、項目	草案內容
第1條 立法目的	為有效防護國家關鍵基礎設施，避免國家遭受危害維護國家安全，並保護人民生命、身體、財產安全，特制定本法。
第2條 國家關鍵基礎設施之定義、認定基準與等級 施之定義、認定基準與等級	本法所稱國家關鍵基礎設施，係指實體的和虛擬的資產以及生產系統和網絡，因人為破壞或自然災害受損，將遲滯或阻礙政府功能運作，並造成重大人命傷亡或財產損失、或引起經濟損失或成長衰退，或導致生態環境受到影響，或其他足以損害國家安全或利益之虞者。 前項國家關鍵基礎設施之認定基準與等級標準由行政院定之。
第3條 核定程序與效力	國家關鍵基礎設施之認定與等級，由該管主管機關或目的事業主管機關依前條認定基準與等級標準初核，再報請行政院國土安全辦公室，會商相關中央相關機關複核後提請行政院核定之。 國家關鍵基礎設施經核定後應定期辦理檢討，如認有變更等級或撤銷認定之必要者，仍應依前項核定程序辦理。
第4條 本法主管機關及其業務職掌	本法之主管機關為行政院國土安全辦公室，承行政院國土安全辦公室承行政院長之命，統籌辦理國家關鍵基礎設施防護計畫事項，並指揮監督主管機關及目的事業主管機關執行安全防護相關事宜。 本法主管機關其業務職掌如下： 一、關於研擬國家關鍵基礎設施防護政策及法令之相關事項。 二、關於研擬國家關鍵基礎設施風險管理及預警機制之相關事項。

條次、項目	草案內容
	<p>三、關於研擬國家關鍵基礎設施防護作為與緊急應變之相關事項。</p> <p>四、關於聯繫及協調各情報及治安機關協力維護國家關鍵基礎設施之實施事項。</p> <p>五、關於指導、協調、支援國家關鍵基礎設施防護計畫之相關事項。</p> <p>六、關於國內外關鍵基礎設施相關資訊之蒐集分析事項。</p> <p>七、其他有關國家關鍵基礎設施防護計畫之事項。</p>
第5條 安全防護指針	<p>國家關鍵基礎設施主管機關及目的事業主管機關應就該管國家關鍵基礎設施，擬定防護計畫報請上級機關核定後據以執行之。</p> <p>前項防護計畫應定期檢討，必要時得隨時為之。</p>
第6條 防護計畫內容	<p>國家關鍵基礎設施防護計畫內容之規定如下：</p> <p>一、設施任務與功能。</p> <p>二、管理組織及權責。</p> <p>三、防護範圍與地區管制。</p> <p>四、風險管理與預警通報</p> <p>五、防護檢查及其標準與程序。</p> <p>六、緊急應變與事故處理程序。</p> <p>七、管制考核與教育訓練宣導。</p> <p>八、其他</p>
第7條 實施風險管理	<p>國家關鍵基礎設施主管機關及目的事業主管機關，應就該管國家關鍵基礎設施，應定期評估並實施風險管理。</p>
第8條 資訊分享與保密	<p>本法主管機關、國家關鍵基礎設施主管機關及目的事業主管機關應相互提供安全防護所需必要之資訊。</p> <p>前項之資訊除依法列為國家機密者外，應列入公務機密保護。</p>
第9條 預警及通報機制	<p>國家關鍵基礎設施主管機關及目的事業主管機關就該管國家關鍵基礎設施防護計畫，應建立預警及通報機制。</p>
第10條 中央與地方關係	<p>地方政府就該管行政區域之國家關鍵基礎設施，應配合中央相關機關之指導協調，協力維護國家關鍵基礎設施之實施事項。</p>
第11條 公私協力	<p>國家關鍵基礎設施屬私人所有者，應依本法第5條規定擬具防護計畫，報請目的事業主管機關核定後，據以實施。</p> <p>前項防護計畫應定期檢討，必要時得隨時為之。</p>
第12條 公私機關間之資訊分享與保密	<p>本法主管機關、國家關鍵基礎設施主管機關及目的事業主管機關與前條私人間安全防護必要資訊之相互傳遞及其保密，準用第8條之規定。</p> <p>前項私人應傳遞予國家機關資訊義務之履行，相關主管機關定期核發許可、使用或其他執照時，應予納入考量，並得協調相關機關(構)，酌減其保險費用</p>
第13條 相關部門聯繫	<p>本法主管機關、國家關鍵基礎設施主管機關及目的事業主管機關之間，應相互聯繫及密切合作。</p>
第14條 防護職權	<p>本法主管機關、國家關鍵基礎設施主管機關及目的事業主管機關為防護國家關鍵基礎設施之安全，於緊急時，得採取必要之措施。</p>
第15條 監督與檢查	<p>本法主管機關得要求國家關鍵基礎設施主管機關、目的事業主管機關及私人企業、機構提供必要之報告，並得實地檢視。</p> <p>國家關鍵基礎設施屬私人所有者，國家關鍵基礎設施主管機關及目的事業主管機關，得要求其提供必要之報告，並得實地檢視。</p>
第16條 評估與合作	<p>中央各目的事業主管機關、私人企業、機構，所管轄或經營之事項、處所，屬國家關鍵基礎設施之範圍者，除依本法擬定防護計畫，並應例行演練、評估該設施之脆弱度與可能發生之風險，建立客觀登錄資訊，適時向中央主管機關通報反應。</p> <p>前項中央各目的事業主管機關、私人企業、機構，所管轄或經營之事項、處所，與其他機關(機構)之間，為安全防護之必要，或本身之防護涉及其他機關之事項者，應相互合作，並建立定期評估協調之機制。</p>
第17條	<p>國防、警察、消防、環保、衛生等機關應依國家關鍵基礎設施主管機關及</p>

條次、項目	草案內容
職務協助	目的事業主管機關之請求，適時予以協助，平時並應建立聯繫與合作之管道及平台機制。
第18條 罰則	私人違反本法第11、15及16條，處以新台幣3萬元以上10萬元下罰鍰。
第20條 施行細則	本法之施行細則，由本法主管機關擬訂後報請行政院核定之。
第21條 施行日期	本法之施行日期，由行政院訂之。

資料來源：行政院國土安全辦公室(2012)，總計畫：「行政院國家關鍵基礎設施安全防護專業服務委外研究案」，子計畫：我國關鍵基礎設施安全防護總計畫書(NIPP)精進版。

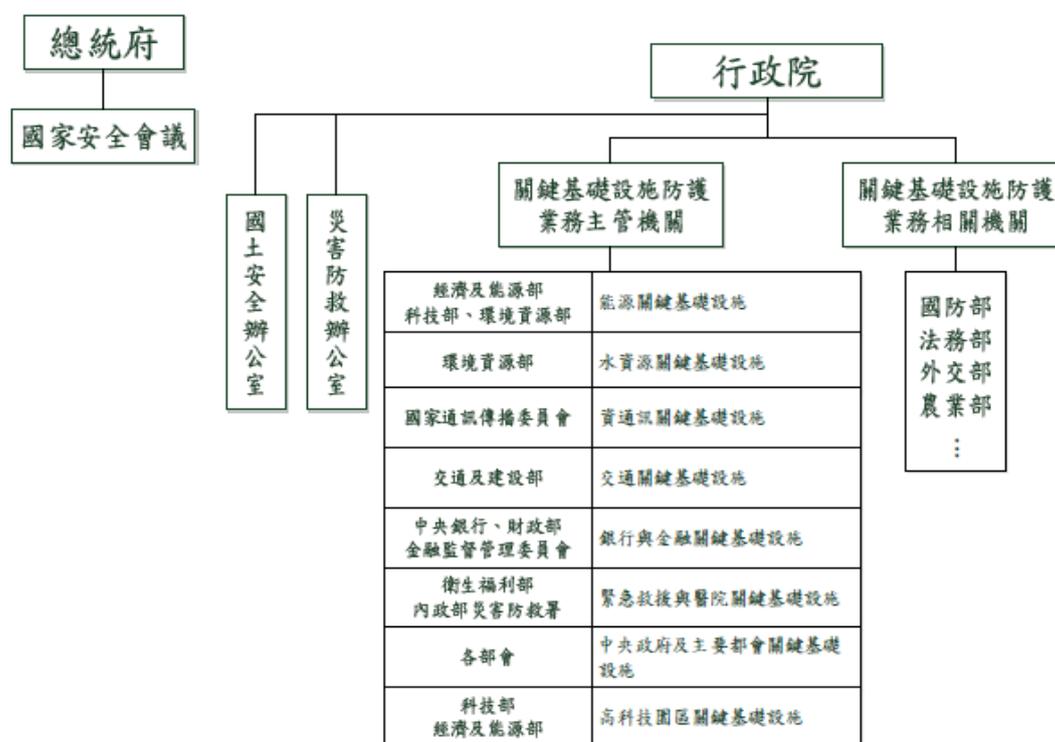


圖60 我國中央政府國家關鍵基礎設施防護體系（組織改造後）

6.2.6 風險評估方法與管理策略

NIPP 風險管理架構採用完整、系統性、合乎邏輯的分析結構，探討並綜合災害影響、脆弱度及威脅資訊之國家或產業風險，以配合關鍵基礎設施 (CI) 與重要資源 (KR) (或二者合併簡稱 CIKR) 防護行動的決策需求，採用風險管理架構主要確保在各個 CIKR 產業界穩定的防護作為。各個產業需選擇一最符合產

業特性，且遵循國土安全部門規範之風險管理架構，來實施產業之CIKR之防護，以確保相關風險分析流程依循 NIPP 準則。圖 61 為 NIPP 風險管理架構，此架構包括下列項目：

1. **設定安全目標**：定義共同構成一個有效的風險管理之特定結果、條件、終結點或績效目標。
2. **辨識資產、系統與網絡**：建立資產、系統和網絡的清單，其中包含國內外資產、系統及網絡，能夠組成國家重要基礎設施及重要資源或提供國家運作重要功能，考量各個 CI 的特性收集風險管理所需資訊。
3. **評估風險**：進行風險評估，評估時考慮潛在的恐怖襲擊或其他的危害(包括，當功能成熟，資產、系統或網絡的依賴關係、依存關係和結果時間變化)直接和間接結果，及已知的對各種潛在威脅或其它重大的危害和一般或特定威脅的脆弱性。決定優先次序：將風險評估結果整合比較，以建立適當的資產、系統、和網絡風險呈現機制，及可能條件下關聯的任務連續措施，包括按照風險建立資產、系統及網絡優先順序，決定並推動最佳投資報酬之減險、保護、韌力或營運持續等措施。

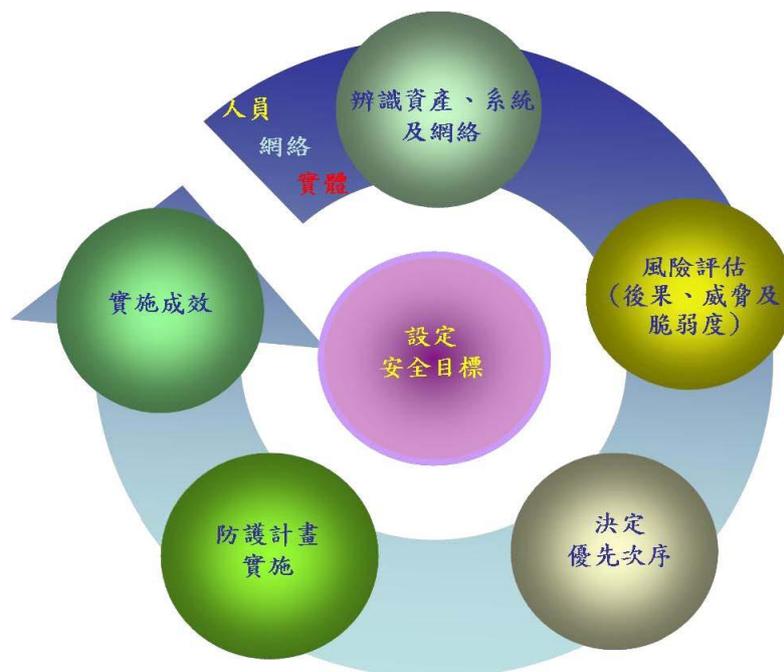


圖61 國家關鍵基礎設施防護計畫風險管理架構

4. **實施保護措施及功能恢復策略**：選擇適當的行動或計畫來降低及管理所識別風險，確定並提供優先事項所需的資源。
5. **效能量測**：於國家行政層級及部門層級使用量測準則及其他量測程序進行量測及進行國家 CIKR 防護計畫的效能評估。

此程序採用持續回饋的方式，供中央政府及 CIKR 夥伴隨時追蹤進度，並執行國家 CIKR 防護及韌力的改善措施。CIKR 在實體、網絡、及人員等方面應該同時考量風險管理架構裡的每個面向，透過公私部門合作架構，針對不同政府層級與部門進行彈性修正，以提供對應的風險管理作業的管理及協調之架構。

於國家關鍵基礎設施防護計畫所採風險管理架構中，將風險定義為風險後果（Consequence）、脆弱度（Vulnerability）、及威脅（Threat）之函數，函數之三個元素定義分述如下：

1. **風險後果**：當恐怖攻擊、天然災害及意外發生時，造成基礎設施及國家資源損傷、破壞及摧毀，對大眾健康及安全、經濟及其他關鍵基礎設施之營運等直接及間接負面影響，稱為風險後果。
2. **脆弱性**：一個資產、系統及網路設計，其設立位置、安全狀況、流程或作業之狀況或者瑕疵之機率，此狀況及瑕疵可能因恐怖攻擊、人為事件、機械失敗及天然災害發生而導致關鍵基礎設施及國家資源之毀損、失效。
3. **威脅風險**：一個特定資產、系統或者網路遭受攻擊或發生意外的機率。若針對恐怖攻擊風險，威脅風險估算需包括意圖分析及恐怖組織的能力分析。對天然災害及意外風險，威脅風險則為其發生機率。

風險評估中須先對個別資產、系統及網路進行上列三個元素評估，再根據評估結果產生一量化風險分數。透過可靠及系統性的分析方法所產生量化風險資訊，作為國家層級及產業層級安全防護風險管理決策訂定的重要資訊。

6.2.7 關鍵基礎設施風險機制規劃

CIP 研究團隊提出國土安全預警燈號構想是透過國土安全監管程序來運作。國土安全監管程序採用由上而下的層級式作法，掌握全面性、全救災 (All-Hazard) 思維，以此發展出監管架構概念，提供政府處理國土安全議題的施政原則。在監管架構之下，國土安全的最高目標為「適當防護全國民眾的健康與安全，使免於因國土安全之劣化而遭受顯著損失」，而支撐此一目標的重要條件來自於我國國土安全現有七大應變體系的健全性，此七大應變體系分別是：「災害防救」、「反恐」、「全民動員」、「毒化災」、「核災」、「生物病原災害」、「資通安全」等，形成如圖 62 的國土安全監管程序架構。

風險指標以燈號呈現，期望以簡單易懂的方式，表達內涵其實是相當複雜的國土安全議題。預警燈號在構想裡分為五種燈號，各自反映不同的風險等級，由低至高分別為綠燈、藍燈、黃燈、橙燈、紅燈，各燈號各自有其代表的風險意涵，將於下文說明。這些燈號來自於兩個來源，一為我國各部會現有運作中的「既有燈號」（或以級數、量表表現）制度，或是各部會未來可能建立的類似燈號；另一個來源為國土安全專家根據其對於國土安全相關議題的觀察，並基於專業研判，針對未來風險趨勢進行分析或評估後所提出的「預測燈號」。此兩種燈號在實際運作時，是以互補的方式並列，亦即各自獨立，彼此不互相取代，也無須互相轉換。

CIP 研究提出以「先兆事件」作為國土安全燈號的研判基礎。所稱先兆事件主要是指關鍵基礎設施相關之部會現有向各國土安全應變體系提交的通報事件，或是來自國外與關鍵基礎設施防護有關之資訊及其他可做為研判基礎設施安全風險劣化程度的事件。進行國土安全觀察時，專家們主要是根據對於這些國內外相關資訊或事件通報，例如國內與國際重大事件、部會內部通報資料、官方管制視察報告、第一手觀察、新聞事件、民意調查結果、輿情...等進行觀察與瞭解，再根據觀察結果，利用各議題相關之專業判斷或模型工具預估，提出這些先兆事件在風險上所代表的變化程度。研究建議各先兆事件評估研判原則如圖 63 所示。國土安全辦公將各關鍵基礎設施的先兆事件安全燈號彙整成個別的國土安全燈號，並以國土安全整體燈號呈現如圖 64 所示，以協助行政院進行國土安全狀態

研判參考。

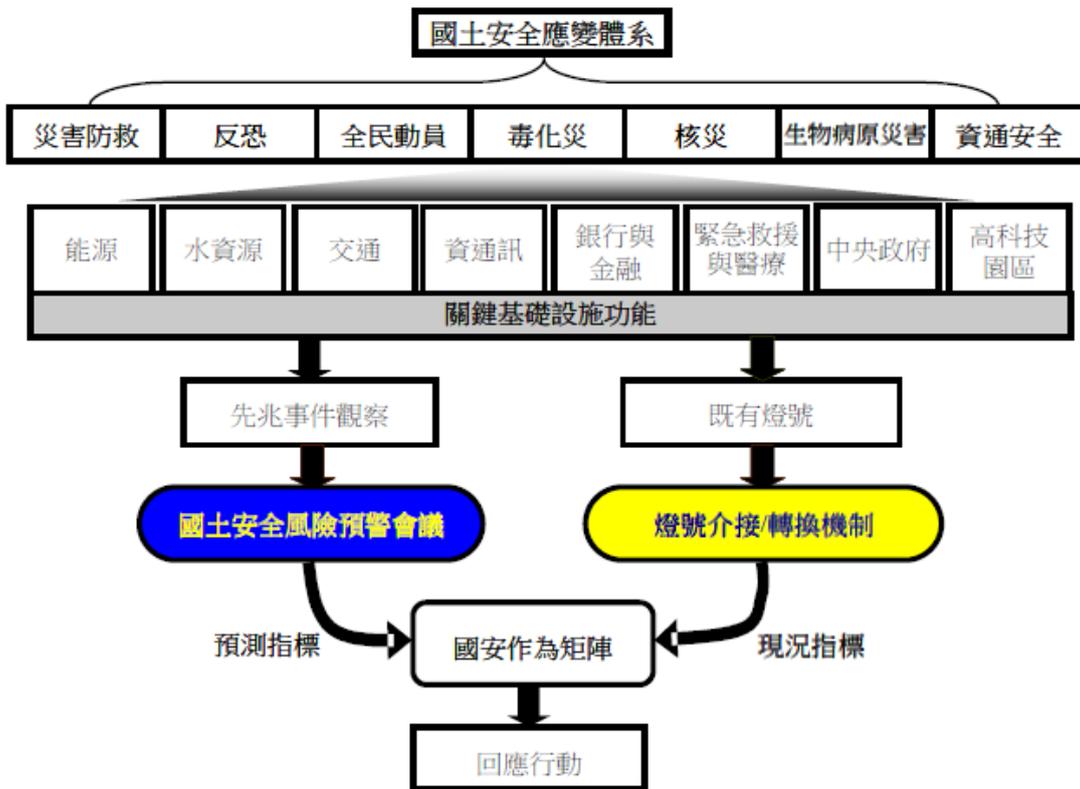


圖62 國土安全監管程序架構圖

- 紅色：風險增加過高
 - ✓ 行政院層級
 - ✓ 立即採取措施，以減緩即將發生之事件爆發後的後果或矯正極度脆弱的現況
- 橙燈：風險增量高
 - ✓ 牽涉到跨部會處理
 - ✓ 需採取預防措施，並預測發展，準備應變，設法減險
- 黃色：風險增加顯著
 - ✓ 部會處理
 - ✓ 高於正常擾動的先兆事件有形成常態趨勢，需採取準備作為，可在各自部會內處理
- 藍燈：風險增量低
 - ✓ 少許先兆事件高於正常擾動範圍，需持續觀察
- 綠燈：基準風險
 - ✓ 正常狀況，各先兆事件均屬於正常範圍內的小擾動



圖63 先兆事件評估結果之燈號訂定原則

關鍵 基礎設施	應變體系		災害防救		反恐		全民 防衛動員		毒化災		核災		生物病原災害		資通安全	
	預測	既有	預測	既有	預測	既有	預測	既有	預測	既有	預測	既有	預測	既有	預測	既有
	能源	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
水資源	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
資通訊	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
交通	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
銀行與金融	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
緊急救援 與醫療	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
中央政府	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
高科技園區	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

圖64 國土安全整體燈號呈現

6.2.8 對未來 CIP 推動工作建議

CIP 計畫團隊對未來國家推動 CIP 工作建議如下：

短期推動工作建議（2~3 年）

- 遵循行政程序請行政院核准國家關鍵基礎設施安全防護總計畫（NIPP），並據以要求關鍵基礎設施部門主管單位建立各部門防護計畫（SSP）。
- 推動「國家關鍵基礎設施安全防護法」立法工作。
- 建立行政院對部門防護計畫（SSP）之審查機制，包括審查程序、審查導則、審查委員等要素。
- 建立行政院協助部會完成部門防護計畫（SSP）之技術團隊。
- 以本專案完成之電力基礎設施 SSP 為基礎，協助相關主管單位完成能源部門 SSP。

- 以本專案完成之供水基礎設施 SSP 為基礎，協助相關主管單位完成水資源部門 SSP。
- 以本專案完成之交通基礎設施（台北車站） SSP 為基礎，協助相關主管單位完成交通部門 SSP。
- 以本專案完成之科學園區基礎設施（中部科學園區） SSP 為基礎，協助相關主管單位完成高科技園區部門 SSP。
- 以本專案完成之電信基礎設施 SSP 為基礎，協助相關主管單位完成資通訊部門 SSP。
- 持續精進關鍵基礎設施安全防護資訊平台。

中期推動工作建議（3~5 年）

- 協助其他關鍵基礎設施部門主管單位完成銀行與金融、緊急救援與醫院、中央政府及主要都會等部門 SSP。
- 推動部門 SSP 審查與監管機制。
- 推動其他 NIPP 與 SSP 相關立法工作。
- 持續精進 NIPP。
- 持續精進關鍵基礎設施安全防護資訊平台。

第七章 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。

7.1 年度成果

- (1) 完成開發 CI 失效災害衝擊評估方法及架構，以供各項設施進行失效災害衝擊評估之遵循依據。
- (2) 完成供水系統以災害為角度之供水系統重要元件之相關圖層建立，及訂定 CI 失效災害衝擊評估指標篩選原則。
- (3) 蒐集災害管理需求之 CI 基本圖資與 CI 等級標示加值，完成 2 項設施圖層加值（橋梁、水庫），並提供災害需求快速分析研判之參考。
- (4) 災害應變需求之 CI 衝擊評估，開發 CI 失效之災害衝擊方法（分類等級與篩選原則制訂）。
- (5) 災害情境之衝擊評估，完成水庫潰壩速捷評估方法與一項下游區域衝擊評估主題圖（石門水庫）。

- (6) 建置基礎設施資訊平台：其架構包含減災與應變應用功能，並已完成 CI 基本圖資、CI 等級標示與災害主題圖之示範例。
- (7) 開發系統相依性分析技術：一種質性方法與一種量化方法，建立跨設施之系統相依性分析方法。
- (8) 協助國土安全辦公室完成國家基礎設施安全防護計畫（NIPP）、個別部門防護計畫（SSP）-供水及供電等兩項、CIP 風險評估方法、關鍵基礎設施安全防護條例（草案）等。

7.2 年度效益

(1) 學術成就

- 本子計畫主要整合設施主管機關與學術研究之成果，予以加值應用於防災管理；並支持中央災害應變中心情資研判組之運作需求，屬任務導向計畫工作，為科技應用性質。
- 建立我國 CI 相依性分析模式方法，並利用考量衝擊鏈與脆弱度分析進行操作，確認模式篩選關鍵 CI 之可行性、及面對危害威脅時之系統行為之模擬可操作性，該成果可提供後續部會業管單位執行相關關鍵基礎設施防護相關作業參考。

(2) 技術創新

- 開發 CI 失效災害衝擊評估及指標方法，以供各項設施進行失效災害衝擊評估之遵循依據。
- 開發兩種基礎設施相依性分析方法：質化與量化方法，質化方法採用主被動比乘積作為關鍵設施元件的選定依據，屬簡易型方法，適用於找出系統中的關鍵項目；量化方法採用停止運作水準的投入產出模型，適用於跨部門系統的評估，可以提供設施受衝擊後系統內各設施項目的停止運作水準，平時建立系統關聯矩陣作為防護強化的依據，應變時提供系統受衝擊後個子系統停止運作水準的迅速評估。

(3) 經濟效益

- 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。

(4) 社會影響

- 本子計畫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。

(5) 其他

- 建立橋樑篩選分類評估方法及 GIS 圖層，提供後續災害對橋梁衝擊評估之參考，可提供 CEOC 災害應變與平時減災應用。
- 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. Bagheri, E., and Ghorbani, A. (2007). Towards an MDA-Oriented UML Profile for Critical Infrastructure Modeling.
2. Chen, L.C., Wu, J.Y., and Lai, M.J. (2006). "The Evolution of the Natural Disaster Management System in Taiwan." *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 29(4), 633-638.
3. Chen, L.C. (2011). Critical Infrastructure Protection Strategy and Development: Taiwan(R.O.C)'s Experience, Proceeding of 2011 International Conference on Homeland Security, Office of Homeland Security, Executive Yuan.
4. Chou, C.C., Chen, C.T., Tseng, S.M., and Lin, J.D. (2008). "Model for Critical Infrastructure Interdependencies." Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, IEEE, October 18-20, Jinan, China
5. Chou, C.C., Caldas, C.H., and O'Connor, J.T. (2007). "Decision Support System for Combined Transportation and Utility Construction Strategy." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1994, 9-16.
6. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (2004), *Guidelines: Risk Analysis – a Basis for Disaster Risk Management*, Eschborn: GTZ.
7. Federal Highway Administration (FHWA), 1991, Bridge Inspector's Training Manual 90, Revised Edition, Washington, D.C.
8. Fisher, R., and Peerenboom, J. (2000). "Interdependencies: A DOE Perspective." 16th Annual Security Technology Symposium & Exhibition, Office of Critical Infrastructure Protection, June 28, 2000, Williamsburg, Virginia.
9. Gutting R.H., and Schneider, M. (2005). *Moving Objects Databases*, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.
10. Haimes, Y. (2005). "Infrastructure Interdependencies and Homeland Security." *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, 11(2), 65-66.
11. Haimes, Y., Horowitz B., Lambert, J., Santos, J., Lian, C., and Crowther, K. (2005) "Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. I: Theory and Methodology." *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, 11(2), 67-69.
12. Kranc, S.C., Yalcin, A., Tsalatsanis, A., and Collier, N.O. (2007). "The Efficacy of Utility Data Management." FDOT Research Project BD544-27 Report, University of South Florida, Tampa, FL.
13. Kraus, E., Quiroga, C., Brown, R., Stevens, C., and Koncz, N. (2007). "Development of a Utility Conflict Management Tool." TxDOT Research Project 0-5475 Report, Texas

- Transportation Institute, College Station, TX.
14. Lewis, Ted. G. (2006). *Critical Infrastructure Protection in Homeland Security- Defending A Networked Nation*, John Wiley & Sons, Inc.
 15. Laefer, D., Koss, A., and Pradhan, A. (2006). "The Need for Baseline Data Characteristics for GIS-Based Disaster Management Systems." *Journal of Urban Planning and Development*, ASCE, 132(3), 115-119.
 16. Merriam-Webster. (2003). *Merriam-Webster's Eleventh Collegiate Dictionary*, Springfield, Mass.
 17. MRA. (2005). Joint Infrastructure Interdependencies Research Program (JIIRP) Symposium, the Department of Public Safety and Emergency Preparedness Canada (PSEPC), November 10, 2005, Ottawa, Ontario, Canada.
 18. Müller, M., Vorogushyn, S., Maier, P., Thieken, A. H., Petrow, T., Kron, A., Büchele, B. and Wächter, J. (2006), "CEDIM Risk Explorer – a map server solution in the project 'Risk Map Germany,'" *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(5), 711–720.
 19. Murry, A. T. and Grubestic, T. H. (2007). *Critical Infrastructure- Reliability and Vulnerability*, Springer.
 20. OGC. (2008) <http://www.opengeospatial.org/>
 21. Oh E. H., and Hastak M. (2011), Impact Analysis of Natural Calamities on Infrastructure and Industries, 4th International i-Rec Conference 2008 Building resilience: achieving effective post-disaster reconstruction (TG 63 - Disaster and The Built Environment), Christchurch, New Zealand.
 22. Peachavanish, R., Karimi, H., Akinci, B., and Boukamp, F. (2006). "An ontological engineering approach for integrating CAD and GIS in support of infrastructure management." *Advanced Engineering Informatics*, Elsevier, 20, 71-88.
 23. Pederson, P., Dudenhoeffer, D., Hartley, S., and Permann, M. (2006). "Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research." INL/EXT-06-11464, Idaho National Laboratory: Critical Infrastructure Protection Division, Idaho Falls, Idaho.
 24. Pradhan, A., Laefer, D., and Rasdorf, W. (2007). "Infrastructure Management Information System Framework Requirements for Disasters." *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 21(2), 90-101.
 25. Quiroga, C., Ellis, C., Shin, Y.S., and Pina, R. (2002). "A Data Platform for Managing Utilities along Highway Corridors." TxDOT Research Project 0-2110 Report, Texas Transportation Institute, College Station, TX.
 26. Quiroga, C. (2005). "Utility Research at TxDOT." AASHTO/FHWA Right-of-Way and Utilities Conference, AASHTO, Austin, TX.
 27. Radvanovsky, R. (2006). *Critical Infrastructure- Homeland Security and Emergency Preparedness*, Taylor & Francis Group.

-
28. Rinaldi, S., Peerenboom, J., and Kelly, T. (2001). "Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies." *IEEE Control Systems Magazine*, 21, 11-25.
 29. Tansel, A., Clifford, J., and Gadia, S. (1993). *Temporal Databases: Theory, Design, and Implementation*, Benjamin-Cummings, San Francisco, CA.
 30. Taylor, C. and VanMarcke, E. (2006). *Infrastructure Risk Management Processes- Natural, Accidental, and Deliberate hazards*, ASCE and American Society of Civil Engineering.
 31. Uddin, N., and Engi, D. (2002). "Disaster Management System for Southwestern Indiana." *Natural Hazards Review*, ASCE, 3(1), 19-30.
 32. United Nations, International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR) (2004), *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, Geneva: United Nations Publication.
 33. United Nations, International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR) (2009), *2009 UN/ISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*, United Nations Publication, Geneva.
 34. USFDA. (2003). *Disaster preparedness phases*, U.S. Federal Drug Administration, Rockville MD.
 35. Wolfson, O., Xu, B., Chamberlain, S., and Jiang, L. (1998). "Moving Objects Databases: Issues and Solutions." *Proceedings of the Tenth International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, IEEE, Capri, Italy, 111-122.
 36. Wolfson, O. (2002). "Moving Objects Information Management: The Database Challenge." *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin Heidelberg, 2382, 15-26.
 37. 921 地震資料分析與災情資訊管理系統：<http://gisdb.ncree.gov.tw/ncree/doc/>，2011.09.19
 38. 內政部社會司，(2011)，內政部統計月報。
 39. 東日本大賑災復興對策本部，(2011)，<http://www.reconstruction.go.jp/topics/infra-excel.pdf>，2011.09.19
 40. 交通部公路總局公路統計資料_97年公路橋梁統計資料，2008
http://www.thb.gov.tw/TM/Menu/Menu05/menu05_01.aspx / 97_06.xls.
 41. 交通部公路總局，(2004)。橋梁重要程度等級之建立，交通部公路總局委託研究案，128。
 42. 台灣自來水公司第十二區管理處，98年10月修訂，災害緊急應變計畫。
 43. 台灣自來水公司第二區管理處，99年四月修訂，災害緊急應變計畫。
 44. 台灣自來水公司 (2009)，98年度台灣自來水事業統計年報。
 45. 行政院國土安全辦公室(2009)，我國關鍵基礎設施防護之執行現況及規劃，關鍵基礎設施防護 - 方法、防護計畫及資料整合架構研究-研究報告，國家科學技術發展基金補助計畫。
 46. 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。
 47. 行政院國土安全辦公室(2011)，國家關鍵基礎設施安全防護(2/3)－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. 行政院國土安全辦公室(2012)，國家關鍵基礎設施安全防護(3/3)－關鍵基礎設施安全防護計
-

- 畫專業委外服務研究，期末報告。
49. 李欣輯、楊惠萱、廖楷民、蕭代基.(2009)，水災社會脆弱度指標之建立，建築與規劃學報，第 10 卷第 3 期，163-182。
 50. 周永川、何泰源、陳福勝，2001，地下維生管線地震防災對策，中華技術，90 年 4 月。
 51. 張志宇，陳亮全，蘇昭郎 (2011). 現階段我國關鍵基礎設施安全防護推動策略，環境工程會刊，第 22 卷，第二期。
 52. 徐耀賜，1997。橋梁結構之基本功能，初版，全威圖書有限公司，台北市。
 53. 吳佳容、黃詩倩、謝承憲、簡賢文(2011)，CI 失效區域災害衝擊評估方法-以示範都會區為例，2011 臺灣災害管理研討會。
 54. 吳啟瑞、鄧敏政、蘇昭郎、傅金城、葉克家、許銘熙、簡賢文 (2011). 山洪災害對石門水庫及其下游衝擊之風險管理研究，第十五屆海峽兩岸水利科技交流研討
 55. 盧鏡臣、郭彥廉、楊惠萱、李香潔.(2009)，災害的社會經濟衝擊—台灣鄉鎮層級的評估架構，2009 年臺灣災害管理研討會。
 56. 陳亮全、洪鴻智、詹士樑、簡長毅.(2003).“地震災害風險-效益分析於土地使用規劃之應用：應用 HAZ-Taiwan 系統。”都市與計劃，中華民國都市計劃學會，30(4)，281-299.
 57. 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，2011，第 28 屆自來水研究發表會。
 58. 經濟部水利署北區水資源局，(2006)，石門水庫安全評估綜合報告。
 59. 鄧敏政、蘇昭郎、謝承憲、陳進發 (2011a). 公路橋梁之脆弱度衝擊分析 - 以 100 年重點監測橋樑為例，臺灣公路工程，第 37 卷，第 11 期，30-47。
 60. 鄧敏政、蘇昭郎、簡賢文、林育丞 (2011b). 災害管理需求之基礎設施分類-以公路橋梁為例，2011 臺灣災害管理研討會，台北。
 61. 蕭代基、李欣輯、楊惠萱.(2010)，災害損失與社會脆弱度評估，國家災害防救科技中心技術報告 No. NCDR 98-T11。
 62. 謝承憲、蘇昭郎、吳佳容，(2010)，災害風險評估技術指引(NCDR 98-T13)，國家災害防救科技中心技術報告，台北縣。
 63. 謝承憲、蘇昭郎、鄧敏政.(2010)，公路橋梁失效之地區脆弱度分析-__以大甲溪流域為例，中華民國運輸學會 99 學術論文國際研討會，論文集 P.1833-P.1849 頁，民國 99 年 12 月。
 64. 謝承憲、蘇昭郎、吳佳容，(2010)，災害風險管理與減災之工具，災害防救電子報第 059 期。
 65. 羅俊雄、葉錦勳、陳亮全、洪鴻智、簡文郁、廖文義.(2002).“HAZ-Taiwan 地震災害損失評估系統。”台大工程學刊，國立台灣大學工學院，85，13-32.
 66. 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。