

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

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

國家災害防救科技中心 人為災害防治組

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。

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。

主要研究重點包括：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。

關鍵詞：基礎設施、衝擊評估、系統相依性分析、關聯矩陣

一、前言

關鍵基礎設施 (Critical Infrastructure, CI) 是人民生活、經濟發展、政府運作與國家永續生存的重要關鍵。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。

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。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。

二、基礎設施失效之災害衝擊評估

針對天然災害所造成關鍵基礎設施 (CI) 的損害或失效，目前國內的研究較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。

2.1 CI 之區域災害衝擊評估方法

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 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)。

$$\begin{aligned} \text{災害衝擊評估指標} &= f(\text{災害潛勢因子、設施受災衝擊因子}) \quad (\text{式 1}) \\ &= f(\text{災害潛勢因子、設施脆弱因子、失效影響因子}) \end{aligned}$$

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。

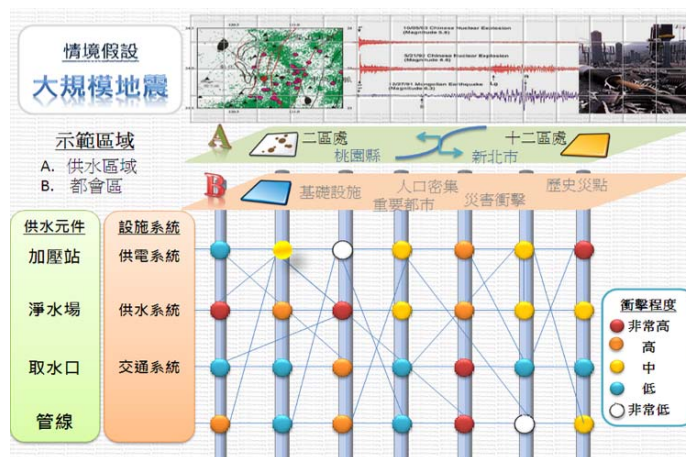


圖1 大規模地震情境下基礎設施失效災害衝擊評估展示架構規劃示意圖

2.2 示範設施系統區域災害衝擊評估方法

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 1 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。

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 2）。

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。

第一階段研究重點為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，如圖 3 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。

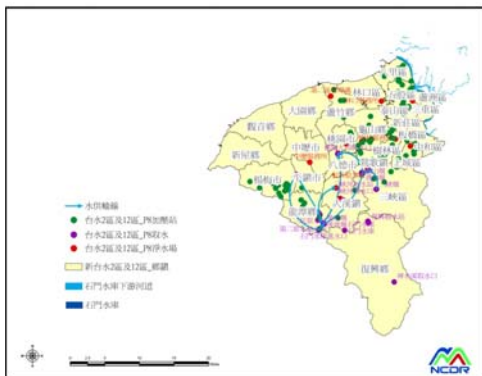


圖 2 台水重要供水元件圖

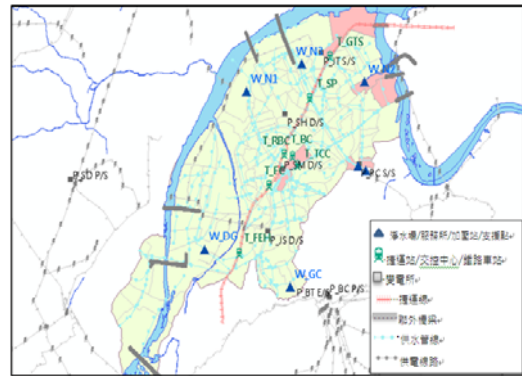


圖 3 示範區內供電、供水及交通設施元件圖

三、災害管理需求之 CI 衝擊效應

3.1 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，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，而本研究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 4），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。

3.2 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，本研究首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。

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。首先以石門水庫為例，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。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。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 1 所示。



圖 4 基礎設施模組架構

表 1 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

四、系統相依性分析技術

4.1 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

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。本研究以感受性系統模型（Sensitivity Model），藉由關聯矩陣的建立，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（馮正民與謝承憲，2005）。

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的程度，所擁有的主動性較高。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）。

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。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 5，說明如後。

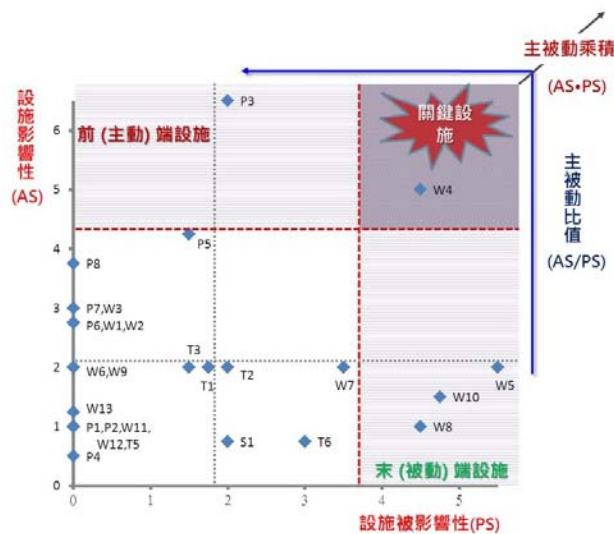


圖 5 工業專區關鍵設施評估

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。
- (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。
- (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。

3. 評估結果之應用

- (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。

4.2 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。

1. 系統相依性量化模型

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 6 所示。

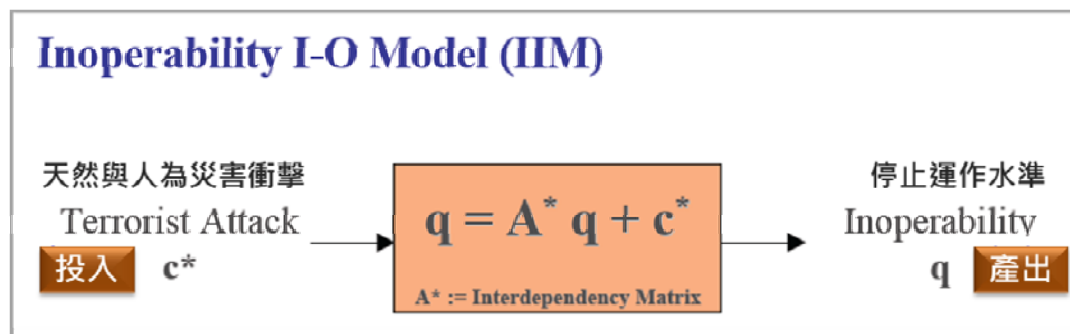


圖 6 基礎設施相依性的停止運作水準投入產出模型 (IIM)

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 2) 所示。

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} P & W & T & H & G \end{matrix} \\ \begin{matrix} P \\ W \\ T \\ H \\ G \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.9 & 0.7 & 0 & 0 \\ 1 & 0.3 & 0.9 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (\text{式 2})$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.9 & 0.7 & 0 & 0 \\ 1 & 0.3 & 0.9 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{式 3})$$

(式 2) 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 3)。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 7 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 8 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。

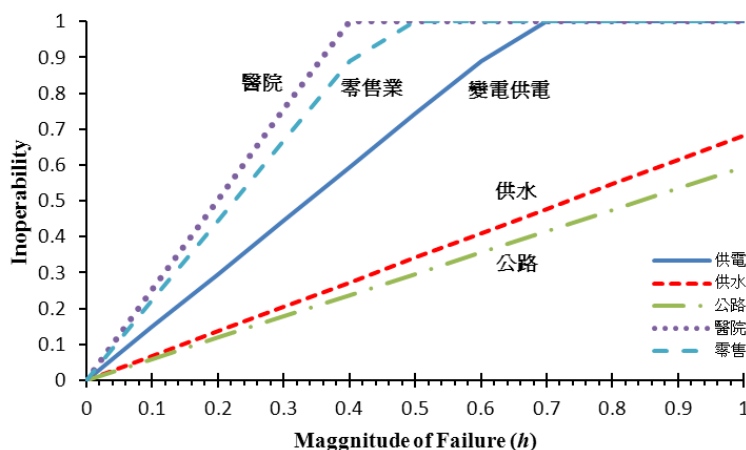


圖 7 外力衝擊供電系統失效程度對系統停止運作水準的影響

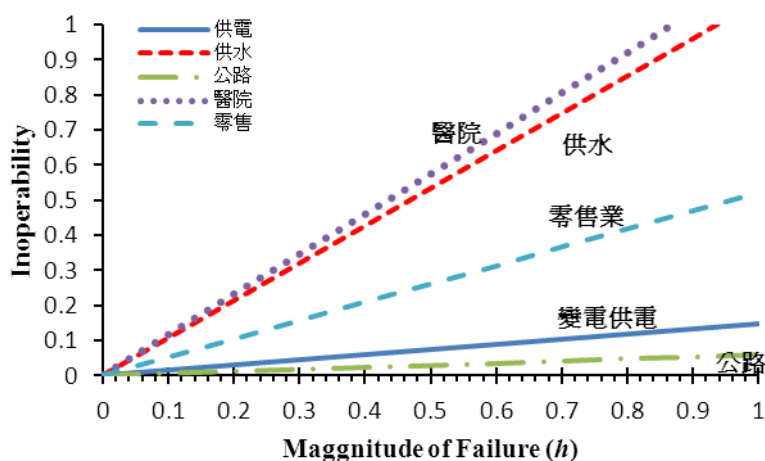


圖 8 外力衝擊供水系統失效程度對系統停止運作水準的影響

五、成果與績效

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。年度成果如下：

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。

參考文獻

1. 內政部社會司，2011，內政部統計月報
2. 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。
3. 馮正民、謝承憲 (2005). “永續運輸評量方法之建構－應用感受性系統模型理論與模糊認知圖”，中華民國運輸學會第 20 屆論文研討會，臺北，109-134.
4. 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。
5. 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
6. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (2004), Guidelines: Risk Analysis – a Basis for Disaster Risk Management, Eschborn: GTZ.
7. Martí J., Hollman J., Ventura C. and Jatskevich J. (2008). “Dynamic recovery of critical infrastructures: Real-time temporal coordination,” International Journal of Critical Infrastructures, 4(1/2).
8. 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.
9. Rahman H., Armstrong M., Mao D. and Martí J. (2008). “I2Sim: A Matrix-partition based Framework for Critical Infrastructure Interdependencies Simulation,” IEEE Electrical Power & Energy Conference.
10. United Nations, International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR) (2009), 2009 UN/ISDR Terminology on Disaster Risk Reduction, United Nations Publication, Geneva.