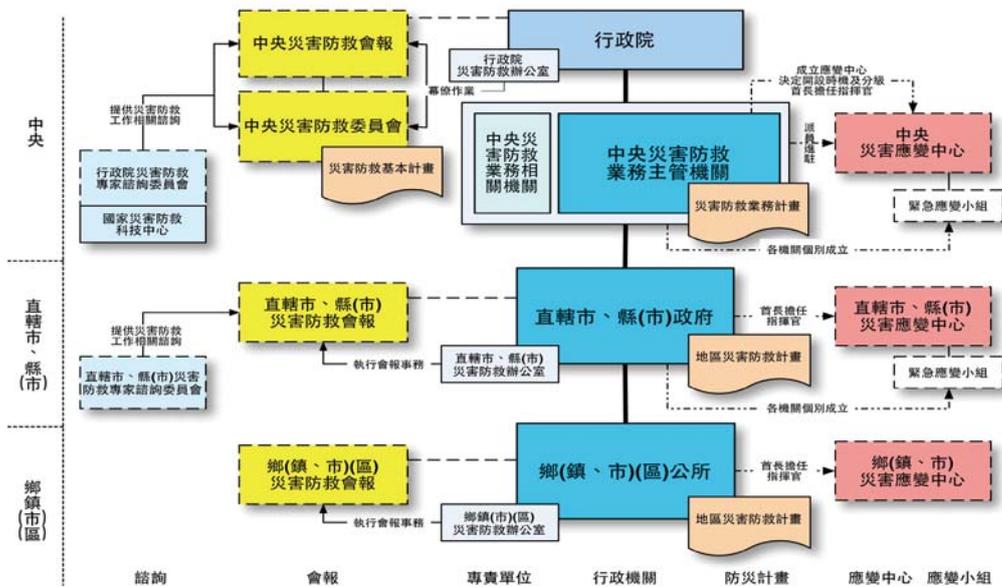


利水木土

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

April
2017



ISSN 0253- 3804



NT\$300



Volume 44, No. 2

社團法人
中國土木工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

回顧
『機場捷運』

特別報導

木鐸集

土木工程與
吳哥古文明的
生與死

防災的
研發與應用

專輯



蘇花改
Suhua Improvement



遇見幸福的行旅



南澳·泰雅族

台九線蘇花公路 締結東部民眾往來北部區間
相對安全便捷的聯絡道路
讓人們的旅程有更多元的選擇

探索宜蘭到花東的風光景緻
感受東部遠離塵囂的悠閒步調
蘇花公路改善工程 讓旅行的腳步更自由

蘇澳·冷泉公園



花蓮·豐年祭



太魯閣國家公園



www.suhua.gov.tw
環境·友善·築路人

廣告

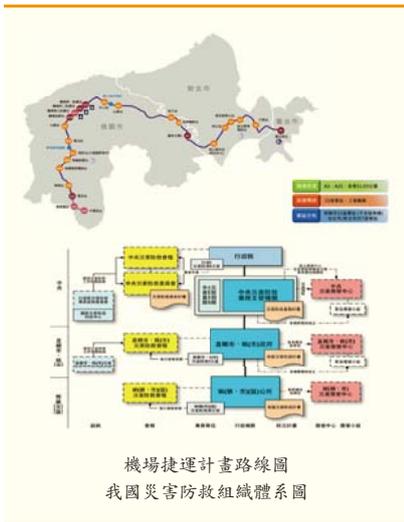


交通部公路總局

這裡還有更多訊息喔! <http://www.thb.gov.tw>

土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



土木水利半月集

先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

出版活動

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

發行人：呂良正

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：宋裕祺 (國立台北科技大學土木工程系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

副主任委員：王華弘 (明新科技大學土木工程與環境資源管理系副教授)

委員：王昭烈、何泰源、李順敏、李維森、林鎮洋、徐景文、曾昭衡、曾惠斌、黃尹男、廖肇昌、劉格非、鄭家齊、謝尚賢

(依姓氏筆劃排序)

定價：每本新台幣300元、每年六期共新台幣1800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：http://www.ciche.org.tw

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十二屆理監事

理事長：呂良正

常務理事：曹壽民 張荻薇 楊偉甫 歐善惠

理事：王昭烈 朱旭 李元唐 宋裕祺 沈景鵬 林其璋 吳瑞賢
胡宣德 高宗正 莫若楫 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 陳國慶
廖學瑞 歐來成 劉恒昌 謝啟萬

常務監事：周南山

監事：李建中 李順敏 林志棟 張培義 楊永斌 壽克堅

秘書長：倪惠妹

中國土木工程學會任務

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

重大工程建設 特別報導

📖 回顧『機場捷運』

朱旭 4



木鐸集：土木與文明

📖 土木工程與古文明生死關鍵的個案分析

五、土木工程與吳哥古文明的生與死

洪如江 14



防災的研發與應用專輯 (客座主編：宋裕祺教授)

📖 專輯序言：防災的研發與應用

宋裕祺 24

📖 天災環境下 — 防災意識的覺醒與防災新思維

張菽薇 26

📖 應用先進科技 降低震害衝擊 — 國震中心研究發展與挑戰

張國鎮 35

📖 臺北都會區防減災害探討 — 以土壤液化潛勢區分析評估為例

彭振聲/張凱堯/張正岳 40

📖 從全球氣候變遷 — 談新北市減災調適策略

李清安 48

📖 橋梁生命週期防災管理系統建置技術研發現況與探討

宋裕祺/陳俊仲/許家銓/周光武/洪曉慧/張國鎮 56

📖 應用無人飛行載具於山崩及河道變遷之量測分析 — 以來社溪為例

廖達峻/張國禎/曾志民/黃敏郎 67

📖 洪災曝險街區之即時動態演算架構

張哲豪/鍾明格/許至璉/吳祥禎/陳春宏/楊松岳/黃思瑋 74

學會資訊看板

台港重大橋梁工程建設與耐震補強研討會報導

84

廣告特搜

麗明營造股份有限公司 — 成就圓滿 使命必達	封底
交通部公路總局 — 蘇花改 遇見幸福的行旅	封面裡
根基營造股份有限公司 — 誠信 品質 服務 創新 永續	封底裡
經濟部水利署南區水資源局 — 高屏堰上游傍河取用伏流水工程	23
經濟部水利署南區水資源局 — 節約小水滴，化解水危機	23
台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 夢想和幸福 零距離的接軌	55
盟鑫工業股份有限公司 — 愛地球·加把勁	66
潤泰營建團隊 — 跨時代整合服務	73
AUTODESK® 工程建設軟體集 — 更超值、更靈活、更簡便	83
泛亞工程建設股份有限公司 — 不斷追尋技術的頂端	86
中華民國土木技師公會全國聯合會 — 土木技師 國之棟樑	86



第二十二屆理監事於2月23日聯席會議之後合影



回顧『機場捷運』



朱 旭／中國土木水利工程學會 會士・理事、中國工程師學會傑出工程師聯誼會 會長
國立台灣科技大學 教授級專家
曾任台北市政府捷運工程局 副局長・總工程司・工程處長
曾任交通部高速鐵路工程局 局長

桃園國際機場（原名為中正國際機場）為國家門戶，政府為改善國際機場聯外交通，提供機場出、入境旅客安全、便利、快速、舒適、準點、高水準的運輸服務，使國際航線能與國內交通網路緊密連結，快速轉乘。自民國 84 年省住都局開始規劃桃園國際機場至台北市區之捷運路線。迄今將近 22 年，歷經行政院民國 85 年核採 BOT 模式辦理，民國 87 年經甄選出長生公司為最優申請人，嗣因該公司本末倒置將此一捷運建設定位為「以沿線土地開發為主軸之附屬的聯外交通系統」，復因財務狀況不佳，空轉 5 年，終至失敗。

扁政府只好改弦易張，而於民國 92 年宣布收回並自行編列預算興建，列入「新十大建設」項目，除了修正台北市區端點站由西門站改至台北車站外，為兼顧都會捷運效能，配合沿線都市發展，帶動地方繁榮，同時併入桃園地方捷運藍線先期路線（中正國際機場至中壢環北站），並於民國 93 年核定『中正國際機場聯外捷運系統建設計畫』，政府求快心切，要求壓縮工期，需於 5 年內完工，預定 98 年 1 月全線通車。

民國 95 年 2 月機電統包工程開工，因著選商因素，導致外界普遍不看好下，從此展開機場捷運長達十一年的施工興建，中間歷經無數的問題及波折，端賴工程主辦單位忍辱負重，不折不撓，克服重重的難關，最後在所有工程人員共同努力及營運興建單位放下成見攜手合作下，終於在民國 106 年 3 月 2 日正式通車。



圖 1 機場捷運計畫路線圖

計畫特性

本計畫跨越台北、新北及桃園三個直轄市，路線全長 51.03 公里，沿線設置 22 座車站及二座機廠（詳圖 1）。總建設經費 1,138.5 億，由中央全額出資。計畫特性有二：

兼具機場聯外及都會捷運功能（快捷及通勤）

採直達車與普通車混合運轉（詳圖 2）、交替發車模式，混合營運路線約 36 公里（佔 70% 路段），亦增系統複雜性及困難度。

提供旅客預辦登機及行李託運服務

延伸機場航空站服務功能至市中心區，除台北站具市區航空大廈（City Air Terminal, CAT）規模及功能，出境旅客可以直接並提早在台北車站內航空櫃台辦理報到（In Town Check-In, ITCI），託運行李，取得登機證。未來新北產業園區站及高鐵桃園站，亦預留提供本項服務。本項計畫是國內繼台北捷運，高雄捷運，高速鐵路之後，最重大國家門戶軌道建設，

也填補了國內最大國際機場無聯外捷運系統之缺口，並完成最後一塊拼圖。

沿線多處曲折（轉彎半徑小於 200 公尺），且因上下林口台地等地形限制，坡度陡峭最高達 4.92%，雖經多次調整坡度超過 4% 路段仍達五處（詳圖 3），全線坡度 3%（軌道規劃設計上限）以上的路段累計超過 12 公里（約佔全線 1/4），並有二處連續長陡坡，最長達 3.92 公里。



圖 2 機場捷運直達車與普通車混合運轉



圖 3 機場捷運陡坡區段位置示意圖

一條機捷 · 二種電聯車

機場捷運為達成系統目標及克服陡坡及婉延曲折線形，機捷電聯車不同於一般都會捷運，採用 100% 全動力（每節車廂皆為動力車廂）配置，以提供電聯車足夠牽引力。並採用承樑式轉向架，提昇長途行車或行經曲線段車輛穩定性及乘坐舒適性。同時車門亦不同於一般都會捷運，採用栓塞式（Plug）車門設計，降低車內、車外噪音 4 ~ 5 分貝。

為符合快捷及通勤兩種營運需求，機捷電聯車亦區分為直達車（停站數少，服務出入境航空旅客為主）及普通車（站站皆停，服務通勤族，地區民眾為主）。外觀部分：除直達車列車加掛一節行李專用車廂外，為利乘客易於辨識，車廂外部基本色調（紫色及藍色）及中英文字標示皆不同（詳圖 4）。內裝部份：最大不同在座椅配置，直達車採橫式（非字型）排列，中央走道兩側各有兩個座位，因受限契約規範座位數之要求，前後座位距離雖不算寬敞，但符合部頒標準規範，普通車採直式（一字型）排列，座椅材質亦不同（詳圖 5 及圖 6）。



5-car Express 直達車 DM-M-M-M-DMB (紫色)



4-car Commuter 普通車 DM-M-M-DM (藍色)

圖 4 一條機捷 · 兩種電聯車



圖 5 直達車外觀 (紫色) 及內裝座椅



圖 6 普通車外觀 (藍色) 及內裝座椅

內裝精進及服務增值直達車

直達車除配備都會捷運之所有安全設備外，並另設置三層固定行李架。為讓航空旅客更覺舒適及溫馨，搭乘直達車旅客更感受到增值服務，參考台灣高鐵商務車廂及國外各地機場聯外捷運，車廂內裝再經深入檢討及評估後，增添至少十六項增值設施及創意服務。分別為：一字型座椅椅背扶手（其上下可同時提供兩位站立旅客抓握），閱讀燈，隱式掛衣勾，椅背區折疊桌板（可承重 10 公斤），對坐區側牆置物架，雜誌書報網及座椅下方行李空間保護桿，並調整部份固定座椅方向及設置沙龍對坐區（特別適合家人及親友結伴乘坐）和國內首創旅客資訊顯示器：包括直達列車位置顯示器（LED）：顯示列車行進方向與最新位置，及多用途液晶電視顯示器（22" LCD），可顯示航班資訊，行車資訊，並可播放廣告、新聞並透過電聯車前、後端戶外攝影機瀏覽車外沿線風光美景（詳圖 7）。



圖 7 直達車精進內裝

台北站高架／地下爭議 · 北市府堅持對的選擇

本計畫原規劃自三重地區以高架方式，跨越淡水河沿市民大道南側，往東於台北火車站北側與市民大道間之廣場，設置二股軌道、側式月台高架端點車站，並以通廊與台北火車站二樓銜接，尾軌及儲車軌延伸至逸仙公園附近（詳圖 8 及圖 9）。此案雖成本低，工期短，但對台北車站特定專用區之整體發展、環境影響、景觀衝擊、交通轉乘，將造成重大的影響。台北市政府自民國 92 年 7 月起，經與交通部多次協商折衝，台北市政府基於機場捷運為百年大計，對台北車站特定專用區之發展、繁榮影響深遠，為整合交通建設與都市土地開發，強化首都交通運輸樞紐的功能，提昇服務品質並塑造國家門戶意象，強烈堅持改採地下化型式進入台北市區，終於 93 年 10 月，交通部在不另增加工程經費原則下，正式委託台北市政府辦理，三重至台北市端點站地下方案土建（含水電、環控、電梯、電扶梯）工程。而台北站設置於台北火車站西側佔地 2.7 公頃，設有二座島式月台、六股軌道之地下四層大挑空車站（詳圖 10 及圖 11），儼如一座地下市區航站大廈，提供出境旅客預辦登機及行李託運服務，藉大舉拓寬 40 年前預留地下通道，東聯台北火車站地下一層，新建地下通道西聯捷運松山線北門站，更結合六鐵及公路客運交通轉乘運輸樞紐，並將現有四條地下街連成一氣，減少地面交通衝擊，提昇轉乘及逛地下街旅客安全性及舒適性。同時將車站上方土地開發一併授權台北市政府，以彌補台北市政府改採地下方案造成巨額建設成本支出。

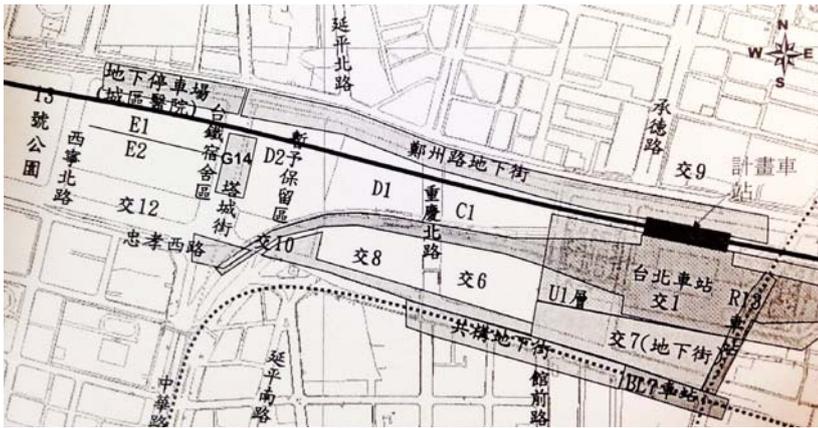


圖 8 機場捷運台北車站（高架方案）位置圖

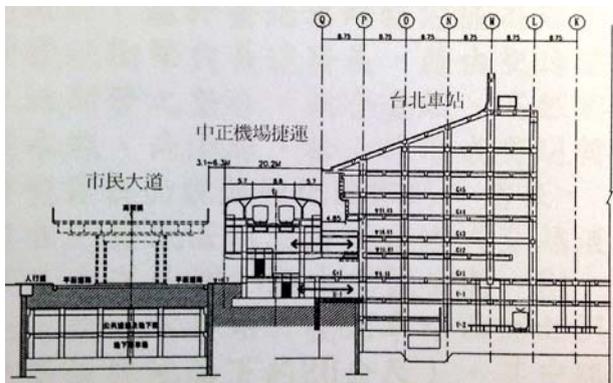


圖 9 機場捷運台北車站（高架方案）剖面圖



圖 10 機場捷運台北車站（地下方案）位置圖



圖 11 機場捷運台北車站縱向剖面圖

事隔十多年，人事雖已變遷，回顧過往，中央、地方分屬不同政黨牽制，在中央不額外作經費奧援下，當時我們作了正確選擇，也不得不佩服台北市政府團隊遠見及堅持，以地下方式進入台北市區。最近接連二次受邀參訪試乘機場捷運（詳圖 12 ~ 圖 16），看見由國際建築大師日本槇文彥（Maki）先生與國內建築大師潘冀先生（詳圖 17）及中華顧問工程司合作規劃設計巧思之氣勢磅礴、美侖美奐、撼動人心，國內首屈一指的機捷「台北車站」（詳圖 18）。這是由來

自英、德、日各方皆具號稱建築界諾貝爾獎—普利茲大獎得主之建築團隊，經激烈的國際競圖脫穎而出，更是所有參與工程人員血汗成果，實在令人引以為傲。它為台北市西區翻轉奠下基礎。只可惜當時整體規設地下車站上方共構雙子星超高大樓（一為 76 層，另一為 56 層，未來台北第二、三高樓），因策略失當及招標不順，未能同步吸引國際投資商進場，無法於通車時一併完成，呈現在世人面前，藉著機場捷運串連塑造國家新門戶，實為美中不足一大遺憾。



圖 12 中工會邱理事長率團參訪試乘機場捷運



圖 13 桃園市鄭市長感謝並慰勉參加機捷試乘首發團（高鐵局員工眷屬）



圖 14 北捷局張局長陪同市議員試乘機場捷運

圖 15 參加機場捷運首發團直達車試乘



圖 16 參加機場捷運首發團試乘



圖 17 與潘冀建築師（左）建築大師槇文彥先生（中）參加通車典禮合影

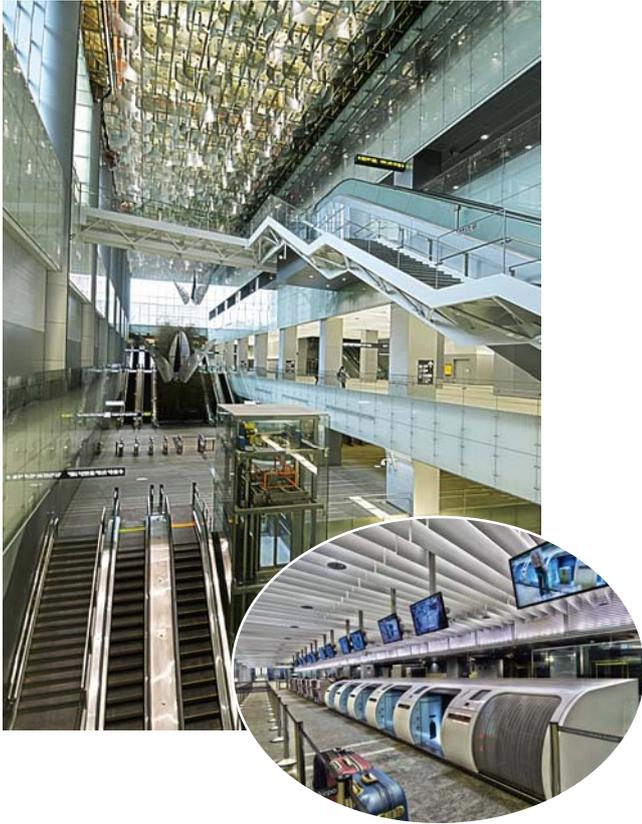


圖 18 機場捷運台北車站

土木工程後來居上 · 全線各標得獎連連

機捷土木工程較機電統包工程晚開工，又遇民國 96、97 年間原物料大幅上漲，造成土建招標不順，當時機電統包標開工已逾二年，有三分之二土建標（約 85% 路線）未發包出去。經重新檢討發包策略，於民國 97 年底全數完成招標，土木工程終於民國 98 年 2 月全面動工。

由於工程主辦單位對土木工程無論進度、安衛及品質皆管控得宜，全線山岳及潛盾隧道於民國 99 年 2 月貫通（詳圖 19），後發包的全線高架橋亦於民國 100 年 8 月順利合龍（詳圖 20），全線土木工程後來居上，而於民國 102 年全部完成。全線安衛有四標獲得行政院勞委會金安獎（詳圖 21）。

全線（包括北捷局代辦台北端部份）工程品質亦有四標獲行政院工程會金質獎（二標特優，二標優等）（詳圖 22 及圖 23），再再創下國內單一計畫工程獲國家級工程大獎最多的輝煌紀錄。在此題醒中國土木水利工程學會，不要忘了提名機場捷運工程代表國家參選亞洲土木工程聯盟舉辦「傑出工程」表揚。讓台灣登上世界舞台。



圖 19 機場捷運潛盾隧道全線貫通



圖 20 機場捷運全線高架橋合龍典禮



圖 21 機場捷運工程榮獲金安獎



圖 22 機場捷運工程榮獲第十屆公共工程特優金質獎



圖 23 機場捷運工程榮獲第十一屆公共工程特優金質獎

機電統包工程最早開工・本應早完工卻一再延誤

機電統包工程包括電聯車、號誌、供電、中央監控、月台門、軌道、機廠設備及機廠土建九大核心子系統，先行辦理招標，民國 94 年 12 月決標，由日商丸紅／川崎／日立三家共同承攬，並由丸紅擔任代表廠商，於民國 95 年 2 月開工。

不同於北捷高運量（鋼軌鋼輪）系統，皆是土建工程先行，機電系統後到。本計畫機電統包商本應好整以暇，但因代表廠商無捷運（尤其號誌系統）實質經驗，復欠缺各系統間整合能力及對分包商管理不善造成：

設計延遲 — 原應二年半完成之設計，至民國 97 年年底無一子系統完成，雖親至東京本部洽社長要求改善並允諾總公司派代表定期來台開會檢討，最終有拖延達二年以上，影響後續作業。

軌道分包商契約爭議 — 致遭分包商扣留 2,000 張設計圖，不得不由工程主辦單位採法律行動取回，拖延未竟設計只得另覓分包商完成。

機廠土建分包商契約爭議 — 導致二座機廠，二座變電站，工進停滯不前。雖經工程主辦單位召開 30 次以上檢討會議，統包代表廠商經一年仍無力解決，民國 101 年 2 月乃強力介入，經通宵達旦長達 17 小時馬拉松式協商會議，雙方合意終止契約，新覓分包商進場，終使停頓工程，重新展開。

號誌系統契約紛爭 — 不僅送審文件嚴重落後，號誌電纜線最外層有龜裂重大品質瑕疵，必須全面抽換更新，嚴重影響工進。此期間交通部協助設法循外交管道向丸紅施壓，民國 101 年 6 月交通部次長率員赴日本國土交通省，請其協助督促統包商並拜會丸紅社長要求重視工程落後情形，儘速有效趨趕。民國 102 年發現統包代表廠商應自行履約號誌作業，竟違約轉包的新事證，而將其提報為不良廠商並遭停權處分。

後依據統包代表廠商民國 102 年提送「統包標整體工程執行計畫」，並由交通部指派有豐富軌道經驗的次長，駐局督導，嚴格管控工進，仍無法達成 103 年底完工，104 年底通車的目標。直至民國 105 年 11 月通過穩定性測試，歷經初勘、履勘及缺失改善完成。民國 106 年 2 月 2 日起機捷公司開放團體及個人免費試乘一個月，而於 106 年 3 月 2 日正式通車。

因著機電統包工程延誤，原本令人擔憂晚 2~3 年始進場，恐延誤機電子系統進場的土建工程，反而皆如期或提早完成，交出軌床及機房讓機電子系統可以進場。最不可思議的，原北捷局代辦台北端部分，具市區航廈規模地下四層車站及過河隧道首度引進雙圓形（DOT）潛盾技術，因工程困難且複雜需較長工期，故較第一階段通車路段（A2~A21）晚十八個月，而納入第二階段通車，然機電統包商自身延誤至少 2 年，使得二階段通車併為一次直通（A1~A21），實為當初始料未及。

馬前總統期許「行車時間」再縮短

馬前總統任內關心機捷，每次視察桃園機場時皆要求聽取機捷簡報，並至少兩次視察機捷工程，一是全線最高車站林口（A9）站，另一至青埔機廠視察首列電聯車（詳圖 24），對車輛內、外部，緊急狀況旅客逃生問題，垂詢甚詳，並親自登車巡視，進入駕駛艙，由車前端開啟之逃生道，親身體驗逃生情境（詳圖 25）。馬前總統更關切「台北-桃園機場」35 分鐘行車時間，可否再縮短？在聽取簡報當面指示再檢討，造成媒



圖 24 馬前總統視察機場捷運首列電聯車



圖 25 馬前總統視察體驗電聯車逃生情境

體高度關注。特於民國 99 年 8 月由交通部毛前部長率本人入府提報檢討成果，總統在聽取簡報後，表示尊重評估建議，同意依原規劃繼續執行。主要鑒於：

1. 線形多處曲折（轉彎半徑 < 500 公尺），佔路線長 12%，而高陡坡（坡度 > 3%）佔路線長 26%，造成限制，無法提速。
2. 契約規範車輛系統採傳統鋼軌鋼輪，其最高運轉時速僅 100 公里，尤其長陡坡下坡，因需考量安全煞車距離及失速風險，時速必須控制在 60 公里（目前實際時速約 43 公里）。
3. 當下整體計畫進度已達 62%，土建施工進度將近 50%，除非土建部分路段拆除重建以改善線形並變更機電系統，否則縮短行車時間效果極其有限。

經再三檢討，機場捷運未來營運可視市場需求調整發車模式，除目前規劃之普通車與直達快車外，增開部分自台北車站直達機場（Non stop）超級直達車（直達特快車），亦有機會將台北車站至桃園機場一航廈（T1）行車時間縮短至 30 分鐘左右，進一步發揮機場捷運之多元運輸效益。機場捷運直達車無論在時間、成本、方便性、安全性及節能減碳等，相較於小客車、台鐵、高鐵皆具競爭優勢。

蔡總統首航體驗一舉實現「縮短行車時間」

今年元月 31 日小英總統首度試乘機捷，在 30 分鐘內「總統級直達車」由台北車站沿線不停站直達國際機場二航廈（T2），提前實現另類「縮短行車時間」之美夢，捷運團隊亮眼的表現，獲得總統「讚」的回應。



圖 26 蔡總統 1 月 31 日視察機捷試營運準備並慰勉在春節工作中的同仁



圖 27 蔡總統 3 月 28 日蒞臨機捷 A21 站聽取前瞻計畫簡報

檢討與策勵

- 本捷運系統為國際機場量身製作首條機場捷運，機電系統廠商招標資格若訂定的更嚴謹，讓有實際捷運（非僅要求一般軌道）經驗且具系統整合能力廠商成為統包主導廠商，不至造成機電系統，自設計、施工（安裝）及測試，每一階段皆一路落後慘狀。主導廠商與多家專業分包商契約爭議不斷，導致原訂計畫民國 98 年通車，工程主辦單位二度展延計畫時程，至民國 104 年通車。甚至民國 103 年馬前總統視察電聯車首度駛入台北車站，當時之交通部長信誓旦旦向馬前總統保證明年（104）年如期通車，後來 104 年底通車跳票，眼見總統任期將屆，行政院公共工程主管單位簽奉院長核准，以密件建議高鐵局以減價（降標）驗收，先通車再改善，企圖作最後努力，趕上民國 105 年 3 月通車。但當時機捷電聯車可用度、穩定度測試皆未通過，如何符合通車條件？交通部只好會同高鐵局主管鞠躬道歉，自始不再對外宣布通車日期，努力改善技術問題及缺失。雖然中央、地方相互角力，紛擾、爭論不斷，但「荒腔走板」通車方案，亦不可取。幸在最後一刻，張前院長定調機捷不勉強也不準備強迫通車原則下，讓工程回歸專業及務實，無需為「心急通車」，更不要為「政治通車」，否則將為國內工程界留下不良的示範，更徒留笑柄。
- 類似巨大規模，複雜且單一計畫千億以上捷運系統工程，一開始為迎合政策指示，就訂定五年完工通車之計畫時程，衡諸國內較長距離鋼軌鋼輪捷運系統實際皆需 8 ~ 10 年，逼得工程主辦單位遇非廠商因素造成之時程延誤，一再報院修正計畫時程，宣布延後通車日期，不但失信於民，更嚴重損害政府

形象，即自民國 94 年政府收回自行推動，亦歷經三任總統，八任行政院長，經十一年仍遲遲無法完成（符合規範平均速度及行車時間）。

- 機捷招標採用鋼軌鋼輪系統，雖屬較穩健之選擇，但就機捷沿線線形條件，機電系統應有更好、更多元之選擇，或因此導致行車速度受限（最大營運時速 100 公里，直達車平均營運時速目前不到 60 公里），較諸香港、吉隆坡、仁川、曼谷機場捷運（最大營運時速 130 ~ 160 公里，平均營運時速 78 ~ 123 公里）皆低甚多，無法有效縮減行車時間。馬前總統任內對機捷行車時間念茲再茲，其來有自。雖然台北松山機場，高雄小港機場皆有捷運連結，只能視為地方通勤捷運中途站，主要服務國內航線旅客為主，較無速度需求，桃園國際機場主要服務國際航線出、入境旅客為主，速度代表國家競爭力，若能將行車時間壓縮至 25 分鐘，甚或 20 分鐘內，更可大大提昇機場捷運的競爭優勢。

未來機會與挑戰

- 機場捷運歷經初勘、履勘並由中央核發地方首長「營運許可」已達安全通車階段目標。唯本計畫執行尚有契約規範未符情事（行車時間及行車平均速度皆未達標），雖未涉及行車安全，但基於本計畫統包標機電系統採公開招標契約條件，工程主辦機關仍應要求廠商於通車後依約完成改善後，再作驗收。
- 機捷台北車站目前預辦登機及行李託運服務，開放給所有自桃機出境旅客，可說是航空公司延伸機場服務至市中心區，對大台北地區民眾而言是一大福音，會不會造成本末倒置，原本針對機捷直達車出境旅客為主之增值服務，反客為主，若更多出境旅客喜愛或更多航空公司加入預辦登機行李託運服務，將導致行李託運爆量，直達車加掛行李車廂無法負荷，甚至造成延誤。
- 營運公司為簡化管理，採用直達車、普通車一樣票價，或可提高營收效益，但將造成普通車旅客較國內一般捷運旅客負擔較高費用，而某些特定車站（A1、A3、A8、A12、A13）通勤旅客搶搭直達車，造成直達車過份擁擠，降低直達車服務及乘坐的品質。而上述站普通車旅客門可羅雀，將喪失原初規劃兩種不同車種意義及「不同票價，不同增值服務」之理念。

- 機場捷運直達車相較於汽車、公路客運、鐵路（台鐵、高鐵），具有快速、舒適，準點及一上車就可直達機場（不需轉乘／接駁）諸多優勢，再加上票價低廉，除了原增添十餘項增值設施及增值服務，桃捷公司更與時俱進獨步國內軌道系統，提供 4G Wi-Fi 無線上網及 3C 產品無線充電座，讓其更具強大競爭優勢。面對每天平均十萬以上航空旅客（尚未包括接、送機親友），及上萬機場和周邊上班族及工作人員，透過沿線車站更便捷轉乘安排及更精緻軟、硬體服務，吸引更多人喜愛搭乘，桃園捷運公司應掌握先機，這將是未來桃捷公司最賺錢的金雞母，更可同步提昇桃園國際機場國際競爭力。
- 機捷台北站連結台北火車站西側地下通道距離頗長，應加速設置上下行電動步道，以減輕旅客（尤其拖曳行李者）步行的負荷。另早期規劃台鐵、高鐵及各線捷運電梯時，未納入機捷旅客轉乘，因此目前電梯數量及容量皆屬不足，應速委託專業顧問公司整體評估檢討後，由中央專案補助（或機捷預算結餘款撥支）儘速辦理，以利航空旅客方便轉乘。
- 最後機捷台北站已完工通車，隆重啟用，其上規劃了雙子星超高大樓，若能積極推動，本早應完工落成。在此奉勸並期盼台北市政府，停擺沉寂太久的雙子星計畫，應趁著目前國內民間房地產業正處於投資萎縮，低迷不振時期，儘速加緊招商，引進國內、外有財力、有經驗大型投資商進場動工。不但讓市庫早日回收因改採『地下方案』進台北市區，超支佰億元的經費。更藉著結合西區改造計畫，塑造首都國家新門戶，再次點亮北台灣的天空（詳圖 28）。



圖 28 機場捷運台北車站共構雙子星大樓願景圖

結語

機場捷運自政府著手規劃起至上(3)月營運通車，一幌也快 22 年，先採 BOT 模式，前後空轉 7 年，回到原點。民國 92 年中央政府宣布自行興建，本人有幸開始參與機捷台北端建造型式之協調及至民國 93 年 10 月交通部委託北捷局辦理台北端地下化方案工程之規劃及設計(含地下車站及地上超高大樓開發)和順利完成後續國際競圖招標。並為克服過河段，緊急逃生通道施工之風險，自日本成功引進國內首次採用雙圓形潛盾隧道技術。

民國 94 年更有幸參與由北市府歐晉德顧問率領捷運局及捷運公司主管考察馬來西亞、香港及日本國際機場聯外捷運於市區預辦登機規劃、設計與交通界面整合，不僅吸取經驗，擴大視野，對當時接手機捷台北站規劃、設計、交通整合及營運配合助益甚大。民國 97 年承蒙交通部毛部長誠摯邀請商調接任高鐵局局長，為困難不少、停滯不前的機捷計畫，努力排除障礙，加速推動往前。土建工程不到二個月，全數完成招標，在民國 98 年 1 月及 2 月分別在桃園縣境及台北縣境，各辦了一次聯合開工典禮(詳圖 29 及圖 30)，正式宣告機捷土建工程全面動工，全力贖趕。而機電系統設計進度嚴重落後，特情商北捷局諮詢有豐富經驗專業工程師協助設計文件審查，加強審查進度及品質，但因統包代表廠商捷運專業經驗及整合能力不足，其負責部份始終拖延，後陸續發生與多家專業分包商契約糾紛，除積極介入協調與協助，也邀統包代表廠商總公司高階人員來台召開履約檢討會議不下 50 次。雖已



圖 29 毛前部長主持機場捷運桃園縣路段聯合開工典禮



圖 30 劉前院長主持機場捷運台北縣路段聯合開工典禮

窮一切可能，但仍無法改變並挽救一開始選商失當所種下一連串的後果，機電統包標工程一再延宕造成整體計畫無法依原已經壓縮及錯估不合理核定時程完成。

民國 102 年 5 月向行政院院長簡報「機場捷運計畫執行狀況及檢討」，我相信凡事盡其在我，成事在天；我深知道凡事臨我，天有美意不必測。為免院長、副院長及剛上任交通部長正為「五楊通車一延再延」飽受媒體及立委抨擊之際，再受撻伐或波及，由本人一肩承擔負起政治責任，提出辭呈，隨即退休，離開此前後兩個單位參與約十年之戰場。

今年 3 月承蒙桃園市鄭市長邀請參加機捷通車典禮(詳圖 31)，前後任三位局長一同出席，為我們曾經共同參與打拼機場捷運見證這歷史的一刻，我們皆深以為傲。



圖 31 陳副總統主持機場捷運通車典禮

身為國家建設的工程師，最後一役戰場在機捷，雖未完投，為「政治」必須先行離開戰場，但內心仍無時無刻不惦記著，深信萬有都互相效力，為要叫人得益處。

我體會尚在崗位上所有主管及同仁們是如何走過這段艱辛未竟之路？一棒接一棒，你們的付出，你們的辛勞，在你們接手的最後一棒為國家完成千億價值的機場捷運工程並成功交棒予機捷營運團隊。同時也要對過去曾經參與一齊努力打拼的主管及同仁們，表達謝意，雖然你們已先後解甲離開這戰場。最後當然更不能忘記顧問公司，廠商等第一線之工作伙伴們，一路走來，倍極辛勞。在此向你們表達最高敬意，因著你們，機捷走出邁邁長夜而邁向今日通車。

機捷今年 3 月 2 日通車是繼「台灣高鐵」全線通車(96 年 3 月 2 日)十年後的重大交通成果。期勉機捷公司接手後，藉著全面提昇旅客服務、營運及維修品質及效益，讓「機場捷運」繼軌道前輩「台北捷運」、「台灣高鐵」成為新的「台灣之光」，再次成為「台灣的驕傲」。





土木工程與古文明生死關鍵的個案分析

五、土木工程與吳哥古文明的生與死

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系名譽教授，中國土木水利工程學會會士

引言

吳哥古文明，位於今柬埔寨（圖 1）西偏北部洞里沙湖（Tonle Sap，長約 160 公里，寬約 60 公里，豐水時段水域面積 16,000 平方公里）東北角湖邊暹粒城（Siem Reap）之北約 6 ~ 25 公里的叢林與農田之中。全部的面積約 400 平方公里（約在東經 103 度 50 分／北緯 13 度 26 分），約為今柬埔寨面積（181,035 平方公里）的 0.2%，約為高棉帝國（Khmer Empire）全盛時期面積（1,200,000）的 0.03%。已被挖掘出來的近百座大規模的廟宇成為世人的焦點。圖 2 為豆蔻寺內古吳哥文字浮雕。1992 年，吳哥被聯合國教科文組織（UNESCO）選為 668 號世界遺產（World Heritage）。

吳哥王朝興起前奏期

吳哥王朝的前身，由 Jayavarman II（790 ~ 835）於 802 年創建於湄公河下游。後遷都於羅洛斯（Roluos）地區，建廟（印度教）於庫倫（Phnom Kulen）山頂，並對外用兵，擴張領土。

Indravarman I（877 ~ 889）繼續在羅洛斯地區經營，印度教寺廟普力科寺（Preah Ko，圖 3）與巴孔寺（Bakong，圖 4），安置祖先之靈。築堤建人工湖 Intratataka Baray（又稱 Loluos Baray，或 Baray of Lolei，今已乾涸）。

接著有三年宮廷廝殺，Yasovarman（889 ~ 910）殺太子登基，續在原都建洛雷寺（Lolei）以及一些未完成的建設。



圖 1 柬埔寨與吳哥位置示意圖（洪如江攝）

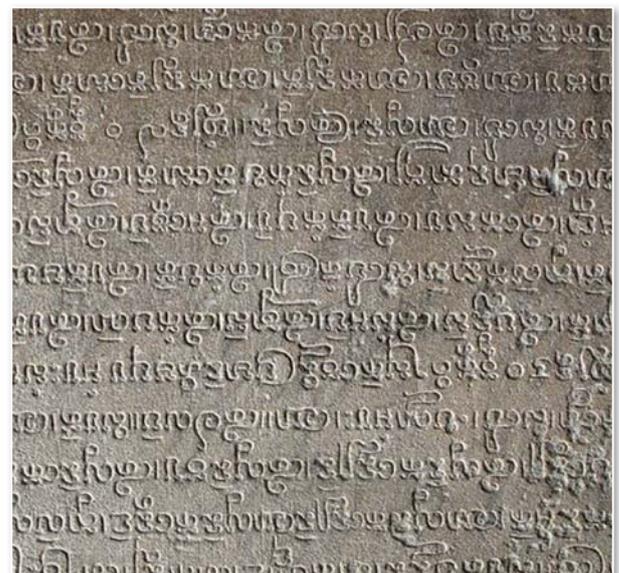


圖 2 古吳哥文字（洪如江攝自豆蔻寺內）



圖3 羅洛斯 (Roluos) 的普立科寺 (Preah Ko) 一景 (洪如江攝)



圖4 羅洛斯 (Roluos) 的巴孔寺 (Bakong Temple) (洪如江攝)

羅洛斯地區的工程建設（寺廟，人工湖），成為後來吳哥王朝工程建設的模範。

吳哥王朝的興起與發展簡史

Yasovarman I (889 ~ 910)，遷都吳哥，建巴肯寺 (Bakheng)，並以之為中心，建設成為高棉帝國（也常被稱呼吳哥王朝）的首都（~ 1431 年）。1431，吳哥被棄。金邊（今柬埔寨首都）興起。其發展簡史列於附錄 A。

土木工程與吳哥古文明的生與死

水利工程與吳哥古文明的興盛

吳哥文明的興盛，主要在於湄公河的水流特徵與水利工程的成功。

湄公河發源於喜馬拉雅山脈，沿寮、越邊界流入柬埔寨，再流向東南進入越南，經湄公河三角洲入海（圖 1）。但湄公河在豐水期間，在金邊之北，水分兩路，主流向東南，另一支流（洞里沙河，Tonle Sap River）向北轉西北流入洞里沙湖（Tonle Sap，長約 160 公里，寬約 50 公里）。洞里沙湖豐水時段（圖 5），面



圖5 吳哥洞理沙湖 (Tonle Sap) 近滿水時，在湖中一望無際 (洪如江攝)

積約 16,000 平方公里，盛產小魚，製造魚漿，暢銷東南亞各國；枯水時段，水域面積只剩 4 分之 1，而浮出 4 分之 3 的濕地，可供種植稻米，其量極大。湖濱水域，建有許多固立高腳屋（圖 6）或漂浮船屋（圖 7）。屋邊或屋中空洞之下，養殖鱷魚。但洞里沙河與洞里沙湖，位於吳哥的最下游，水量雖然龐大，卻無法逆流吳哥城區及其周圍的農田。



圖6 吳哥洞里沙湖 (Tonle Sap) 高腳屋 (洪如江攝)



圖7 吳哥洞里沙湖 (Tonle Sap) 中的船屋 (洪如江攝)

吳哥地區 (Angkor complex) 最大的自然河道，暹粒河 (Siem Reap River)，注入大規模人工湖：東大湖 (East Baray)、西大湖 (West Baray，圖 8、圖 9) 及其灌溉渠道 (圖 10、圖 11)、北大湖 (North Baray) 與各大寺廟例如：吳哥寺 (Angkor Wat) 護城河 (圖 12、圖 13)、大吳哥城 (Angkor Thom) 護城河 (圖 14)。

各大湖之水，經由渠道網絡，供應吳哥城區生活及其周圍農田的灌溉需要。

羅洛斯河 (Roluos River) 之水，注入人工湖羅洛斯大湖 (Roluos Baray)，湖水支持整個羅洛斯地區用水。

吳哥之北的山區，還有多條山溪 (例如 Puok Stream)，供應吳哥農田與民生用水。



圖 8 吳哥西大湖 (West Baray) 出水口上游及湖面 (洪如江攝)



圖 9 吳哥西大湖 (West Baray) 出水口下游及灌溉渠道渠首段近照 (洪如江攝)



圖 12 由橋上觀看吳哥寺 (Angkor Wat) 正右前方護城河 (洪如江攝)



圖 13 由護城河 (190 公尺寬) 外看吳哥寺 (Angkor Wat) 及跨越護城河的大橋 (黃重遠攝)



圖 10 由吳哥西大湖 (West Baray) 堤頂向下拍攝灌溉渠道首段 (洪如江攝)



圖 11 吳哥灌溉渠道與廣大的農田 (洪如江攝)



圖 14 大吳哥城護城河 (洪如江攝)

寺廟工程與吳哥古文明的興盛

引言

吳哥王朝新王登基，多喜新厭舊，傾向新建寺廟，難怪吳哥廟宇多達一千多處。單以被挖掘出來的近百座寺廟，就已經是世界上最大的宗教城鎮。而且，各寺廟工程的布置、設計、建材、以及雕刻之美，力求精緻，至於極端。

吳哥寺 (Angkor Wat, 或譯吳哥窟)

吳哥寺，有人稱之為小吳哥，其實是所有吳哥寺廟個體之中，最大的一座、古文明內涵最豐富的一個體系 (complex)。

吳哥寺的護城河，寬達 190 公尺，建一大橋跨越，參見圖 12、圖 13、圖 15。大橋走到底，必須經過有一長約 500 公尺寬 9.5 公尺的參拜大道 (圖 16)，才能夠到達吳哥寺主廟宇大門。圖 17 示吳哥寺廟宇前綠地及水池。圖 18 示吳哥寺廟宇的一角。圖 19 示吳哥寺廟宇迴廊的一段，其牆壁佈滿紀錄戰爭故事的浮雕 (圖 20)。圖 21 示吳哥寺女神浮雕之一。



圖 15 由跨越護城河的大橋上遠眺吳哥寺廟宇 (洪如江攝)



圖 16 參拜大道 (長近 500 m, 寬 9.5 m) 及遠方的吳哥寺 (黃重遠攝)



圖 17 吳哥寺廟宇前綠地及水池 (黃重遠攝)



圖 18 吳哥寺一角 (黃重遠攝)



圖 20 吳哥戰士搏鬥的浮雕
(洪如江攝自吳哥寺迴廊牆壁)



圖 19 吳哥寺廟宇正殿迴廊的一段，其牆壁佈滿紀錄戰爭及生活故事的浮雕 (洪如江攝)

圖 21 吳哥寺之一浮雕 (黃重遠攝)

女皇宮 (Banteay Srei) — 高僧閉關修練之寺院

女皇宮 (Banteay Srei)，其實是供高僧閉關修練之所。因為採用粉紅色石材建造，美不勝收，西方人初見，以為是女皇宮殿。參見圖 22 至圖 29。



圖 22 從護城河外拍攝女皇宮 (Banteay Srei) 東塔門、跨河土堤道路末端 (洪如江攝)



圖 23 女皇宮 (Banteay Srei) 東塔門 (洪如江攝)



圖 24 女皇宮 (Banteay Srei) 外側一角 (洪如江攝)



圖 25 女皇宮內部一景 (洪如江攝)



圖 26 女皇宮粉紅色石材精雕細鑿而成的寺廟建築 (徐國華攝)



圖 27 女皇宮佛寺精緻門楣 (徐國華攝) →



圖 28 女皇宮 (Banteay Srei) 曾經被盜、被毀，岩塊散落各地，編號以電腦媒合重組 (黃重遠攝)



圖 29 女皇宮 (Banteay Srei) 部分結構重建中 (黃重遠攝)

其他寺廟照片選萃

普力科寺 (Preah Ko, 圖 3), 巴孔寺 (Bakong, 圖 4), 東美蓬寺 (East Mebon, 圖 30、圖 31), 荳蔻寺 (圖 32、圖 33), 巴戎寺 (Bayon, 圖 34)。



圖 30 東大湖心的東美蓬寺 (洪如江攝)



圖 31 東大湖心的東美蓬寺 (洪如江攝)



圖 32 荳蔻寺一景 (洪如江攝)



圖 33 荳蔻寺內浮雕 (洪如江攝)



圖 34 巴戎寺 (黃重遠攝)

皇城 — 大吳哥城 (Angkor Thom)

大吳哥城，面積 1,000 多平方公里（約 3.22 公里 × 3.22 公里）；兩道護城河（圖 14）；兩道城牆；5 道跨越護城河的土堤；4 條幅射連外道路；1 條凱旋遊行大道；9 個水庫；1 個廢水大池；皇宮、欽天塔樓 (Phimeanakas)、巴戎寺 (Bayon)、巴本宮 (Baphuon)、象台、皇家廣場、火葬場平台 (Terrace of the Leper King)、等等各一；6 大座塔式城門 (Gopura)；12 座小型石塔 (Prasat Suor Prat)；2 座迎賓屋 (Khleang)；1 寺廟群 (Preah Pithu Complex)。參考 Marilia Albanese (2006), *Angkor, Splendor of the Khmer Civilization* 一書。

圖 14 示大吳哥城護城河一景。圖 35 示大吳哥城門。圖 36 示大吳哥城大門前道路側邊的善神石雕像（另一側為惡神石雕像）。圖 37 與圖 38，分別示大吳哥城內建築的遠景與近景。圖 39 示城內一角的景觀。

圖 40 示象台。吳哥古文明的大部分宮廟，曾被森林埋沒約 500 年之久；大吳哥城開挖清理之後，還有幾個位置不敢將樹根（例如圖 41）挖除，以免崩塌。大吳哥城內，有許多佛寺雕刻笑容佛首（例如圖 42），號稱「微笑高棉」，意涵：永遠以微笑面對困境。



圖 35 大吳哥城門



圖 36 大吳哥城大門前大道側邊的善神石雕像（洪如江攝）



圖 37 大吳哥城內建築遠景（洪如江攝）



圖 38 大吳哥城內建築近景（洪如江攝）



圖 39 大吳哥城內一角的景觀（洪如江攝）



圖 40 大吳哥城象台 (黃重遠攝)



圖 41 吳哥古文明的大部分宮廟，曾被森林埋沒約 500 年之久 (洪如江攝)



圖 42 微笑吳哥，大吳哥城內許多石雕佛首之代表照片 (洪如江攝)

吳哥王朝衰亡的因素

1327 年之後，吳哥地區未見新增墓碑，判斷高棉帝國已呈混亂狀態。1352 年，暹羅大軍沿「暹—吳公路」攻進吳哥，大肆掠奪及屠殺後退回暹羅。

1352 至 1431 之間，吳哥情況不明。判斷吳哥王朝的領導人及精英份子逐漸逃往金邊。1431 年，吳哥被棄。

吳哥王朝迅速衰亡的原因，大致有下列四種：

- 建造太多寺廟，且多精工雕琢，耗費極為龐大的人力與物力。
- 1295 ~ 1308，國王 Indravarman III，以小乘佛教（強調出家與自我）取代印度教及大乘佛教（Mahayana Buddhism）為高棉國教，出家者眾。各大佛寺擠滿僧侶、舞者、與服務人員，需要數萬農夫生產糧食供應；但水利工程，缺工維修，逐漸荒廢；引發精英份子的不滿，紛紛遷居金邊，加入日益興盛的對外貿易行列。

- 未建設防敵城堡，難檔外敵侵略。
- 氣候變遷，寒冷使得水源不繼，人工大湖乾涸，農產品歉收。此一新理論，Richard Stone 在 National Geographic (July 2009) Divining Angkor 一文之中，以相當大的篇幅加以強調。

附錄 A 吳哥王朝的興起與發展簡史

- Yasovarman I (889 ~ 910)，遷都吳哥，建巴肯寺 (Bakheng)，並以之為中心，建設成為高棉帝國 (也常被稱呼吳哥王朝) 的首都 (~ 1431 年)。在距離洞里沙湖 (Tonle Sap) 約 8 公里處築堤建東大湖 (East Baray, 7 km × 2 km, 庫容約 5,000 萬立方公尺，今已乾涸)。
- 944 ~ 968，建造變身塔 (Pre Rup) 等廟、在東大湖中心建東美澎寺 (East Mebon)，並與今越南的 Champa 王國開戰。
- 968 ~ 1001，建新皇宮、女皇宮 (Banteay Srei, 其實是供高僧閉關修練之所)、塔高寺 (Ta Keo, 但不及完成)。
- 1006 ~ 1050，建普力坎寺 (Preah Khan) 等多座廟宇。開工建設西大湖 (West Baray)。
- 1050 ~ 1066，建巴芳寺 (Bapuon)，在西大湖建西美澎寺 (West Mebon)。繼續建設完成西大湖 (West Baray, 長 8 公里，寬 2 公里，庫容 1.23 億立方公尺) 建設，至今尚屬可用。
- 1074 ~ 1080 間，被越南 Champa 王國入侵。
- 1090 ~ 1107，在暹羅北部建翡邁寺 (Phimai temple)。
- 1113 ~ 1145，對外用兵，領土擴及寮國南部、越南、暹羅之大部分，且及於暹羅灣。對內大興土木，建築多座廟宇；其中，吳哥寺 (Angkor Wat)，以其偉大無雙，常被稱為「吳哥窟」。吳哥寺最初獻給大神「威勢怒 (Vishnu)。
- 1167 ~ 1177，越南 Cham 王國大軍取道湄公河攻達洞里沙湖，再聯合舊高棉勢力攻佔吳哥加以洗劫。
- 1178 ~ 1181，吳哥被今越南 Cham 王國所佔領。
- 1181 ~ 1218，吳哥擊退 Cham 王國入侵大軍；其事蹟雕於巴陽寺 (Bayan) 與 Banteay Chhmar 寺之迴廊中。
- 1203 年，征服東方之 Champa，並統治至 1220 年。Jayavarman VII，虔誠的佛教徒，廣建佛寺、醫院

- (約 100 所)、水庫、與道路。吳哥至緋邁 (Phimai, 今泰國北部) 之快速公路長達 225 公里，沿途建有許多休息站；至目前，許多道路及橋樑尚屬可用；以巴陽寺 (Bayan) 為中心建大吳哥城 (Angkor Thom)，重修皇宮、象台 (Elephant Terrace)、等等。
- 1219 ~ 1243 Indravarman，高棉帝國迅速衰落，退出 Champa 與暹羅。
- 1243 ~ 1295 Jayavarman VIII (1243 ~ 1295) 復辟印度教，摧毀大量佛像；重修印度教廟宇及宮殿，例如吳哥寺 (Angkor Wat)、巴芳寺 (Bapuon)、與大吳哥城中廷宮室。
- 1295 ~ 1308 Indravarman III，小乘佛教 (Theravada Buddhism) 取代印度教及大乘佛教 (Mahayana Buddhism) 為高棉的國教，1309 年且立碑加以紀念。中國元朝使節團員之一，周達觀，於 1296 年到達吳哥，一年多後返回中國，著真臘風土記。
- 1327 ~ 1336 Jayavarman IX，1327 年之後，吳哥地區未見新增墓碑，判斷高棉國已呈混亂狀態。
- 1352 ~ 1357 暹羅大軍沿「暹 — 吳公路」攻進吳哥。劫掠之後退回暹羅？
- 1352 至 1431 之間，情況不明，判斷吳哥王朝的領導人逐漸逃往金邊。
- 1431，吳哥被棄。

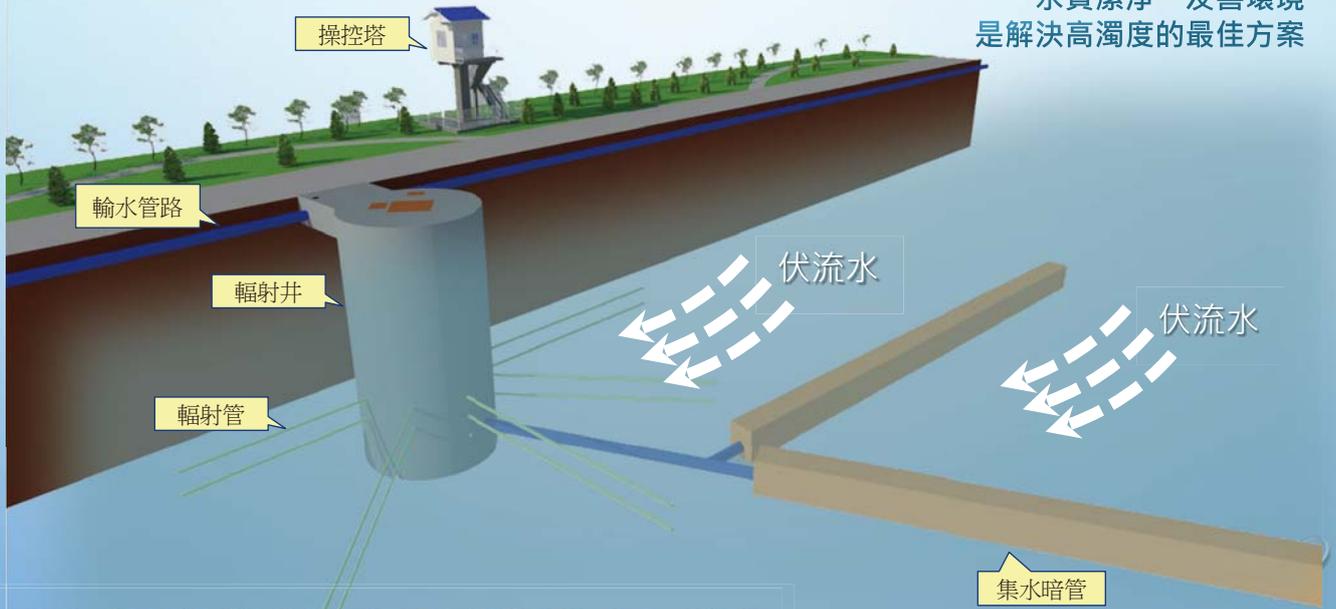
誌謝

吳哥古文明工程的考察，係由東吳大學通識講座支持。部分吳哥古文明照片係由黃重遠先生所拍攝贈送使用。凡此，皆一併在此誌謝。

參考文獻

1. 蔣勳 (2004)，吳哥之美，藝術家出版社。
2. 蔣勳 (2013)，吳哥之美，遠流出版。
3. Angkor - Wikipedia, the free encyclopedia.
4. Freeman, Michael, and Jacques, Claude, (2006), Ancient Angkor, River Books Ltd, Bangkok. 漢文譯本 (吳哥深度旅遊聖經，邱春煌譯，貓頭鷹出版)
5. Marilia Albanese (2006), Angkor, Splendors of the Khmer Civilization, White Star, S.p.a., Vercelli, Italy.
6. Stone, Richard & Clark Robert, (2009), Divining Angkor, National Geographic July 2009, pp 27-55. 

颱風豪雨過後的高屏溪
滾滾濁流常使我們望水興嘆
水量之豐難以取用之困
伏流水經過地層天然過濾
水質潔淨、友善環境
是解決高濁度的最佳方案



高屏堰上游傍河取用伏流水工程

增加每日10萬噸的備援能力
有效提升高雄地區的供水穩定、強化用水調度應變能力



經濟部水利署南區水資源局
Southern Region Water Resource Office
WRA, MOEA



廣告



70
永續水利 卓越七十

節約小水滴，化解水危機

南部地區
已進入第一階段限水，
為守護南部地區水源，請大家一起
「節水省水做得好，大家用水沒煩惱」~

經濟部水利署南區水資源局 廣告



防災的研發與應用

專輯序言

專輯客座主編 宋裕祺／國立台北科技大學土木工程系 教授、國家地震工程研究中心 組長

台灣地理條件特殊、地質狀況複雜與氣象天候多變，境內民眾生命財產與重要基礎建設，無可避免地須面對地震、颱風、洪水等多重天然災害所造成的威脅。上世紀下半葉以來，地殼運動趨於活躍，地震規模超乎預期、氣候變遷異於往常，降雨頻幅屢創新高、山崩地裂屋毀橋斷的災情屢見不鮮，以往「人定勝天」的工程建設信念已淪為華而不實的口號。天然災害既然無法克服，取而代之的，防災與減災已成為當代基礎建設的主流思潮。

本期聚焦於防災，以技術研發為經，產業應用為緯，邀請國內多位在此議題上多有研究的學者與專家發表文章，以饗讀者。

張荻薇理事長撰寫「天災環境下——防災意識的覺醒與防災新思維」一文，論述台灣的天災環境及工程建設所需面對的天災風險，並對防災的新思維與防災策略的發展趨勢等課題提出具體看法：提升「災後復元

力」，須先將「災害最小化」，並從「基礎建設強韌化」及「減災技術高度化」著手，這也是因應氣候變遷減災的根本方法。

張國鎮教授發表「應用先進科技 降低震害衝擊——國震中心研究發展與挑戰」，闡述其所主政國家地震工程研究中心七年來在「震前準備」、「震時應變」與「震後復建」等方面的研發成果，尤其南部實驗設施預計於106年8月正式啟用營運，未來將可進行近斷層地震、高樓層地震模擬等相關研究，建構世界級地震工程研究重鎮，期能從創造在地價值，邁向全球卓越。

彭振聲局長等人撰文「臺北都會區防減災害探討——以土壤液化潛勢區分析評估為例」，報導臺北市政府更新臺北市轄區土壤液化潛勢資訊及建置臺北市區土壤液化潛勢查詢系統，公開臺北市之中級精度土壤液化潛勢圖之最新發展，作為後續臺北市都市規劃與防災之應用參考，對於市政建設與都會防災之推動當有所助益。

李清安副局長闡談「從全球氣候變遷——談新北市減災調適策略」，文中報導新北市政府目前針對氣候變遷衝擊所採取之減災調適策略，包括：調查繪製災害潛勢圖資及防災避難地圖、建構智慧防災監測系統、強化各區公所防救災能力、建置及管理防災公園暨戶外避難處所與製作防災手冊，落實全民防災教育等方面均有具體作為。

宋裕祺教授等人藉由「橋梁生命週期防災管理系統建置技術研發現況與探討」一文，詳述國家地震工程研究中心近年來在橋梁防災管理系統的研究與發展，內容涵蓋橋梁檢監測、地震災損評估、洪水冲刷與材料老劣化等多重災害之評估與管理，可供為橋梁管理單位執行防災管理之參考。

張國楨教授等人著述「應用無人飛行載具於山崩及河道變遷之量測分析——以社溪為例」一文，透過無人飛行載具空拍模型的比對，研判來社溪的河道變遷，定量計算崩塌區量體、土砂淤積量與高程變化量等，呈現無人飛行載具於防救災應用之可能性及優勢。

張哲豪教授等人撰著「洪災曝險街區之即時動態演算架構」一文，以第三代更新的淹水模式為基礎，採用氣象局提供的QPESUMS即時降雨資料與預報降水產品，取代設計雨量，並以平行化與作業化的方式，在1小時之內計算未來3小時淹水模擬結果，製作淹水潛勢圖，並採用即時作業化計算方式，持續不停運作，達到即時洪災曝險街區估算的可能性，對於都會區淹水防範提供行的預測模式。

長期以來，政府投資在基礎建設的經費相對偏少，在防災領域的投入更顯不足。欣聞行政院即將推動《前瞻基礎建設特別條例》，編列8年8,800億元的預算從事軌道、水環境與綠能等建設工作。在此呼籲，政府應更加重視防減災工程，逐年編列預算推動防災科技，以減少天然災害引致的人命傷亡與財經損失。同時也期待產官學研各界，深耕防災研發，提升防災技術，發展防災產業，作為政府施政的後盾，共同為營造一個災害最小化的台灣一起努力！



天災環境下 — 防災意識的覺醒與防災新思維

張荻薇 / 中華民國結構工程技師公會全國聯合會 理事長

台灣位處環太平洋地震帶，又居颱風正衝，深受天然災害的威脅。依 2005 年世界銀行的「天然災害風險分析」報告中指出，台灣有七成的人口與面積遭受天然災害的威脅，天災風險居世界之最，台灣的天災環境令人憂心。2011 年東日本大震災，造成地震、火災、海嘯、核災等的複合型大巨災，受災主因是地震規模超乎預期，災害超出所有的防禦設施及防災對策的極限，所以超乎預料的災害，是難予控制的。

自然力的強度無限，而人類的能力有限，我們可以應用科學與工學的方法來建設硬體的防災構造，但更重要的是要記住天災的威脅與教訓。天災風險不會是零，我們必須竭盡所能來減緩天災的威脅，才能夠有安全的環境，過著安心的生活。本文旨在論述台灣的天災環境及工程建設的天災風險，並對防災的新思維與防災策略的發展趨勢等課題提出看法。

前言

天然災害將帶給人類的未來，有著不確定的災害風險，而受災風險的大小，將依其所處的自然環境、社會條件及時間因素等，有很大的差異（圖 1）。

依世界銀行 World Bank (2005)「Natural Disaster Hotspots – A Global Risk Analysis」報告^[1]指出，台灣有 73.1% 的面積與人口面臨颱風、洪水、地震及山崩等天然災害的威脅，是世界上天災風險最高的國家；依 2015 ~ 2025 Lloyd's City Risk Index 台北城市風險指數排名全球第一^[2]。身處全球天災風險最高的台灣，如何改善災害環境，做好災害應變，以建構安全、安心的防災城市，是極為迫切且重要的課題。

在面臨全球暖化、氣候變遷，天然災害日趨激烈頻繁的環境，我們要如何採取有效的防災策略來減少災害的損失，保障人民的身家安全，是身為工程師必須思考的問題。人類因一再的遭受天災的威脅，喚醒了大眾的災害意識，防災的思維與防災戰略也有了新的發展。基於此，本文將就此發展趨勢作概要的論述，並對台灣的天災環境與天災風險，以及災害防治等課題提出看法，供諸位先進參考。

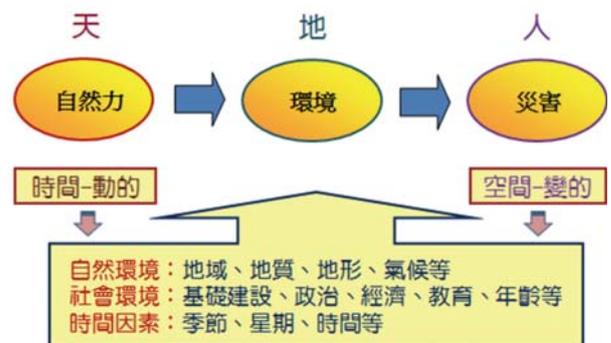


圖 1 天災是未來不確定的災害風險 — 主要決定因子在環境

防災意識的覺醒

全球暖化、氣候變遷已被證實與天然災害有密切的關係，它將使人類未來的災害風險增高，依聯合國「政府間氣候變遷專門委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, 以下簡稱 IPCC) 2007 (AR4)^[3] 指出，全球暖化將使颱風、極端降雨、海平面上升、乾旱等極端氣候更趨激烈，它是造成洪水、土砂災害(山崩、土石流)的主因。IPCC 2014 (AR5)^[4] 更指出天災風險的高低與該地區的天災危害度、環境脆弱性及人口與面積的暴露度等息息相關。歐洲在 2002 年到 2003

年，連續發生氣候異常災害，連鎖性（大洪水→大雪→熱浪）的複合式災害造成 2 萬多人死亡；日本的新瀨在 2004 年，夏：大雨 洪水→秋：中越地震（+坡面災害、河道阻塞）→冬：大雪，也造成連鎖性的複合式重大災害。2016 年 4 月日本熊本縣在數日內，同一區域連續發生兩次震度 7 級的地震，同年 6 月又降下破紀錄的豪大雨，造成嚴重的土砂災害。這種連鎖性複合式的天然災害，已漸漸變成常態，且愈趨頻繁激烈，讓許多已開發國家遭受空前的大災難與經濟損失，防災已成為一個國家最重要的社會議題。

日本具有先進的防災科技與完備的防災對策，但 2011 年 3.11 大地震（M9.0），仍然招致史無前例的大災難（圖 2）^[5-15]，地震過後 6 年，仍有 12 萬人過著避難生活。日本因不斷的遭受天災的威脅，再度喚醒了大眾的災害意識，尤其近期盛傳極可能發生的南海海槽巨大地震（M = 9.1），更讓社會激起了強烈的防災意識。大家已領悟到在巨災中要有存活的机会，就必需建構共生的社會，亦即大地震來襲時，災區通訊與交通全部中斷，地震發生初期無法與外界聯繫，無法獲得外界的任何訊息。因此，活命之道：首先要有自助的觀念，平時作好防災準備，備妥緊急避難用品，其次是鄰居間要互相幫助、互通有無，然後才期待社會或公部門的協助，亦即先要「自助」、再而「互助」、後求「公助」的防災觀念（圖 3）。日本政府也呼籲民眾，平時要準備 7 天份的避難維生物品（圖 4），這些避難維生物品，在日本商場皆普遍販售。

台灣的自然環境及工程建設型態與日本相近，也同樣的遭受地震、颱風與豪雨等天災的侵襲，故日本所歷經的災害經驗及防救災的先進科技，皆可作為我們的參考與借鏡。



資料來源：河北新報社-3.11大東亞災緊急出版特別報導寫真集(2011.04.08)

圖 2 2011 年東日本大震災（M9.0）海嘯災害

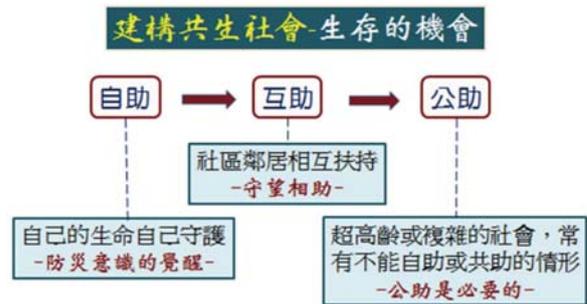


圖 3 激烈的天災環境 — 防災意識的覺醒



圖 4 自助的防災意識 — 避難維生物品 7 天份

台灣的天災環境與工程災害

台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊邊界，橫跨呂宋島弧和琉球島弧，地震活動相當頻繁。從 1906 年 3 月梅山地震（M = 7.1）起，經 1935 年 4 月台中烈震（M = 7.1）、1999 年 9 月集集大地震（M = 7.3）、以迄去年 2016 年 2 月高雄美濃地震（M = 6.6）止，在百年之間發生了 10 次以上的災害性地震，平均不到 10 年就有 1 次社會矚目的大地震發生^[16]。

另因台灣位居颱風正衝，近 20 年來每年都有數個颱風的侵襲，幾乎每隔 1 ~ 2 年就有一次因颱風帶來豪大降雨，引發了洪水或土石流災害。其中，以 1986 年賀伯颱風、2001 年桃芝與納莉颱風、2009 年莫拉克颱風等，造成人員傷亡及交通嚴重災害而成為社會關心的焦點^[16]。

若依 IPCC 2014「氣候變遷災害風險影響要因分析」^[4]，台灣天災害風險如圖 5 所示。「危害度」：氣候變遷對台灣的影響高於全球平均值，約為 120% ~ 140%；「脆弱性」：台灣為高齡化社會、都市人口集中，台北城市風險指數排名全球第一；「暴露度」：台灣有 73.1% 的面積與人口，面臨颱風、洪水、地震及山崩的天災風險，比例居全球之冠。因此，台灣是處在全球天災害風險最高的環境中。



圖5 台灣是全球災害風險最高國家

近年來台灣工程建設屢遭天災的破壞，其中地震災害以1999年集集大地震（ $M = 7.3$ ）^[17]與去年2016年高雄美濃地震（ $M = 6.6$ ）^[18]最受矚目（圖6和圖7）；颱風洪水害與土石流災害，則以1986年賀伯颱風^[19]、2001年桃芝^[20]與納莉颱風、2009年莫拉克颱風（八八水災）^[21]最為嚴重（圖8至圖10）。在台灣，地震、洪水、土砂災害已成為工程建設的最大殺手，而且災害的樣態及嚴重的程度，也常常令人料想不到。

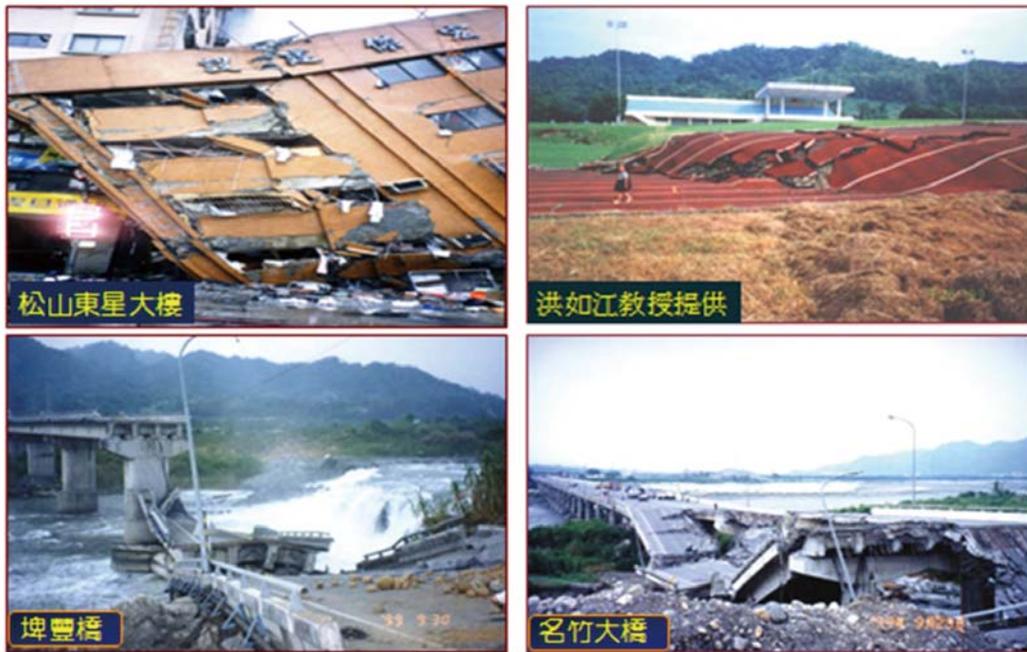


圖6 1999年集集地震（ $M7.3$ ）^[17]



圖7 2016年高雄美濃地震（ $M6.6$ ）^[18]



圖 8 1996 年賀伯颱風 — 橋梁水害及土石流災害^[19]



圖 9 2001 年桃芝颱風 — 橋梁土石流災害 (上)^[20]
2001 年納莉颱風 — 橋梁水害 (下)



圖 10 2009 年莫拉克颱風 (88 水災) 的工程災害^[21]

從巨災的教訓中學習

现行的耐震設計是以過去的震害經驗及調查研究為依據，但是即便以過去最大地震作為設計標準，亦無法否定未來超過之可能性。2011年東日本大地震發生後，工程師已深深體會到基礎建設應有承受災害之「強韌性」及災害時之「危機耐性」，其重點是必須降低「耐震設計中未考慮現象」之危險度^[22]。「耐震設計中未考慮之現象」，除超越考量之地震強度外，其他如大海嘯（2011年東日本大地震及2004年印尼蘇門達臘大地震）、地表斷層錯動（1999年土耳其伊茲米特地震、1999年台灣集集地震）、大規模邊坡滑動（2016年日本熊本地震）等，都是造成重大災害之主因。而這些災害現象，在目前之耐震設計上仍無法將其充分地納入考量。由於天災難料，所以唯有從災害的教訓中學習，如何更有效的防災，來減少災害的損失。

分析比較近二十年來大家熟知的災害性地震，如1994年美國北嶺地震、1995年日本阪神地震、1999年台灣集集地震與2011年東日本大地震等，可以發現橋梁地震災害的成因及主要破壞模式，各次地震皆不相同，引發的地震後續效應也有差別（圖11）。1994年美國北嶺地震：柱挫屈破壞崩塌，防落長度不足落橋，橋台鄰跨效應落橋，斜橋動力效應落橋。1995年日本阪神地震：市區高架橋崩塌或落橋，橋柱主筋截斷處的破壞崩塌，基礎無明顯損傷。1999年台灣集集地震：震害橋梁為斷層地裂帶經過之跨河橋，地層錯動崩塌或橋柱損毀，裸露的基礎受損。2011年東日本大地震：海嘯浮力及強大衝擊的損毀流失，柱挫屈或剪力破壞，HDR支承的破壞，曾作耐震補強橋梁無明顯損傷（圖12）^[23-27]。

依2011年東日本大地震專門調查會的報告，百年來日本三大地震之死亡原因，1923年關東大震災：87.1%為火災，1995年阪神淡路大震災：83.3%建物倒塌，2011年東日本大震災：92.4%為海嘯溺死，每次地震致災的成因皆不相同，每次地震的災難皆超乎意料之外（圖13）。



圖 11 橋梁地震災害的成因與破壞模式

依據2012年世界銀行的「從大規模災害中學習——東日本大震災的教訓」報告^[28]中指出：日本雖有2千多年抵抗天然災害的經驗，也有完備的應對體制與周延的防災對策，然而這次地震仍招致史無前例的大災難。這場超廣域的連鎖性複合式災害——地震、海嘯、核

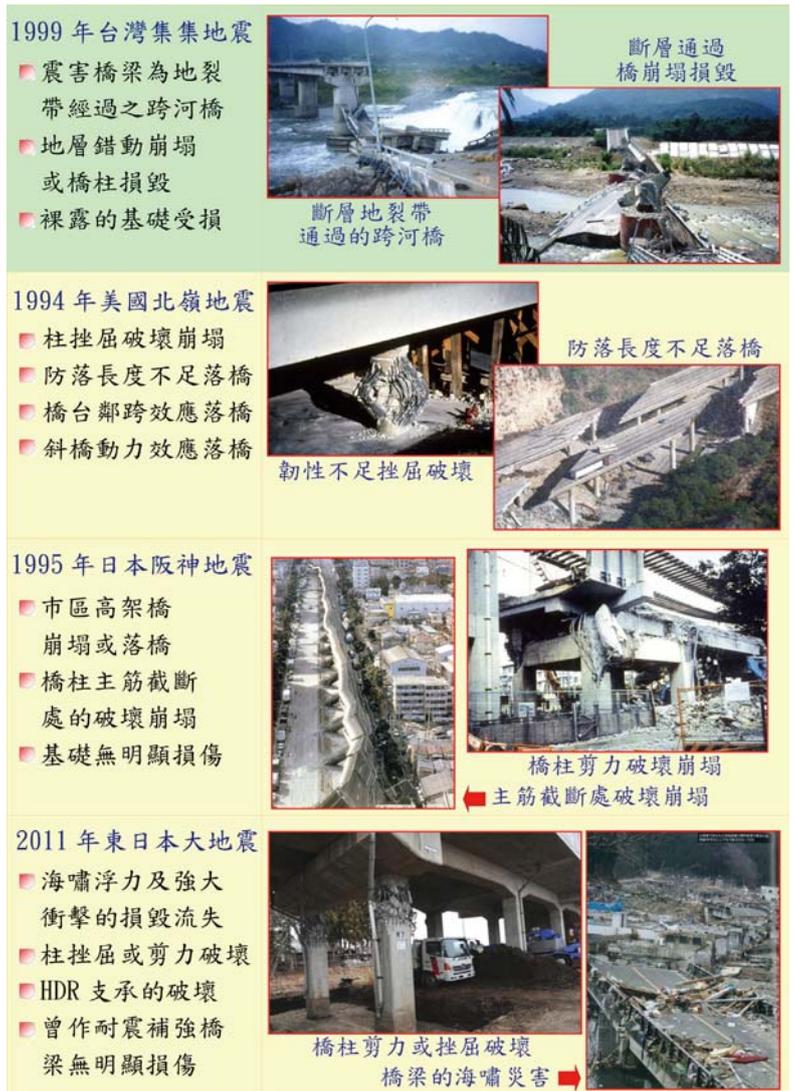
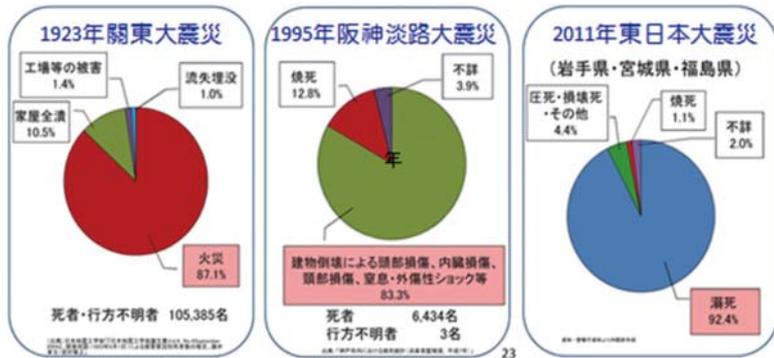


圖 12 橋梁地震災害的模式^[23-27]



資料來源：平成23年5月28日東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第一回）

圖 13 百年來日本三大地震之傷亡原因

災，造成 2 萬人死亡，海嘯侵襲海岸 650 km，500 km² 土地浸泡海水，核能事故導致居民被迫遷移，建物全壞 13 萬戶，半壞 26 萬戶，公路、鐵路交通中斷，港口、機場嚴重損壞等。其災害主因是地震規模超出預期甚多，海嘯高度超過警報，也超出所有的防禦設施及防災對策的極限。從這次大震災之中，許多防救災的方法或措施，災後復舊重建的思維與策略，以及防災新觀念導入耐震設計規範等方面，都有值得我們學習借鏡的地方^[29-32]。僅擇要概述如下：

1. 強化耐震設計與結構耐震補強，確能提升抗震能力：由本次大地震中橋梁損傷情形，可顯見耐震補強的有效性。例如在最大震度 7 級（PGA 達 2933gal）的栗原市附近的東北新幹線高架橋，因曾作耐震補強，並沒有明顯受損情形。橋梁直接因地震造成的災害，主要集中在東北新幹線未經耐震補強的高架橋梁^[33]。根據 1996 年以後之耐震基準進行設計或補修補強之橋梁，於本次大地震中並未產生致命性之地震災害。因此，確認了現行耐震規範對於橋梁耐震性之提升已具成效，以及耐震補強的有效性^[34,35]。基於此次震災之寶貴經驗，日本國土交通省積極推動全國幹線道路高規格之整備，以提高都市間移動之「速達性」^[36]，為將來不可預期的天災作準備。
2. 「耐震設計未考慮現象之考量」：超越設計考量地震、大海嘯、地表斷層錯動、大規模邊坡滑動等災害現象，在目前之耐震設計上仍無法將其充分地納入考量，但它往往是造成重大災害之主因。因此，東日本大地震發生後的隔年，2012 年日本道路橋示方書耐震設計編^[37]已列入「耐震設計未考慮現象之考量」之規定。在追求大地震時之災害最小化，必須提升結構物之耐震餘裕度及危機耐性，才能減少

「超乎預期地震」所引致之災害風險。藉由提高橋梁構造之強韌性，輔以適切之構造計畫，同時考量與地區防救災計畫相結合，方能發揮橋梁在大地震時之防救災功能。

3. 減小「地震伴隨現象」之災害風險，提升「危機耐性」：現行耐震規範對於影響鐵道構造物安全至鉅之「地震隨伴現象」，包括邊坡之滑落、海嘯、地表斷層錯動、餘震等，仍有考量不足之處。2012 年鐵道構造物耐震設計標準^[38]即

有考量「地震伴隨現象」之規定，並導入「危機耐性」之概念。同時強調耐震構造計畫之重要性，在橋梁規劃階段就應對於超越預期之地震力或地震伴隨現象（危機），進行評估災害發生後可能造成的影響，擬定儘速回復功能之對策，提升鐵道構造物之危機耐性。

4. 地震早期預警系統的減災措施：日本東北地方的外海為地震頻繁地帶，東北新幹線之地震早期預警系統，是在近震源之海岸線設置強震儀，當加速度達 120gal，即在沿線發佈警報，在 S 波到達前，管控列車速度。2011 年東日本大震災發生時，東北新幹線有 27 般列車在運行，因路線距離震央約 200 公里，有足夠的預警時間減速。因此震度雖大，但僅造成約 20 處的軌道變位與損傷，並無列車脫軌情形^[34,35]。
5. 資訊通信技術的運用：利用 ITS 站點與行車資訊等，即時掌握道路資訊，災害時提供駕駛可通行之路徑。此次地震海嘯發生時，很多居民藉此道路資訊增加了逃生機會，也提高了救災效率。
6. 活用既有道路之避難機能：東日本大震災時，三陸沿岸路堤道路成為逃避海嘯的場所，很多居民因而獲救。因此遍及各地的道路系統，須具備災害時之避難機能（如設置緊急避難通路與避難階梯等），提供災時之避難空間^[39]。
7. 勿忘天災教訓，重視防災文化傳承：當我們忘記自然力的威脅時，災害總在遺忘的時候來臨。日本極為重視防災文化的傳承，諸如歷史災害的警示標語、災難紀念館（碑）、防災教育公園、避難計畫擬定、防災地圖整備、及防災教育訓練等防災軟體建設，都是持續且積極的在實行。希望民眾勿忘天災的教訓，從巨災中學習，讓災難減到最低。

8. 防災教育演練的成效：重災區釜石市的優良傳統，是視孩童的生命為地方的寶物，非常重視防災教育演練並落實施行。此次地震時中，由於學校老師及家長同心協力引導學生避難成功，全市有小學生 1927 人、中學生 999 人，除請假 5 人外，全部免於海嘯災難，無人傷亡保命成功。釜石市學生海嘯避難成功案例，被譽為「釜石市的奇跡」。
9. 災害風險不會是零，石卷市避難失敗案例：根據宮城縣 2004 年海嘯浸水區域預測圖，海嘯最遠溯上 3 公里，石卷市大川小學距離河口約 5 公里，被指定為避難場所。此次地震後 50 分，學校受到溯上海嘯侵襲，校園避難的教職員與學童 121 人中，死亡 77 人，失蹤 7 人^[40]。巨災的教訓是：「有準備還是可能受災」。
10. 千年希望之丘，愛與希望的復興（圖 14）：岩沼市的災後重建，將受災的農地與建築物等震災遺骸保全，建為紀念公園，作為防災教育的據點，將災害教訓留傳於後代子孫。它整備了長約 10 km 園路，連結 15 座「山丘」作為防災公園，「山丘」具有衰減海嘯的能量及避難的功能，並命名為「千年希望之丘」。利用震災廢棄物建造的「希望之丘」，直徑約 120 m（約 1 個棒球場大小），實作高度為 10 ~ 15 m 比這次海嘯 7.2 m 高出許多，它的規模、形狀及植栽樹種，考慮了海嘯的衰減效果^[41]。
11. 奇蹟的一本松 — 鎮魂、希望、復興的象徵（圖 14）：岩手縣陸前高田市種植約 7 萬株松樹作為防波林，成為風景名勝的「高田松原」，在 311 地震海嘯中幾乎全被摧毀，僅存一棵松樹存活，它給了受災者堅強的勇氣與復興的希望，大家稱它為「奇蹟的一本松」。但一年多後，因樹根被海水嚴重浸蝕，而於 2012 年 5 月枯死。為了保存「奇蹟的一本松」作為希望、復興的象徵，經採伐、樹幹挖空作業、枝幹模型製作，於 2013 年 7 月現場保存作業完成。另該市市長為了這棵在絕望中、希望的奇跡 — 「奇蹟的一本松」，留給後人作為永久紀念，特地請萬寶龍日本分公司，將松樹木材製作成鋼筆 113 支，每支售價 48 萬 1 千日元，於災後四周年 2015.3.11. 限定發售，收入所得的 2 成支援該市復興之用^[42]。

東日本大震災為日本有史以來最大規模的地震，其所產生之廣域複合式災害是從前所未有。因此，在大災



圖 14 從巨災中學習 — 勿忘天災教訓

難中獲得的任何資訊或作為，不論在防災策略、搶救災行動及災情訊息之傳達分析，或者是結構物抗災能力提升、民眾防災教育與訓練等方面，均可作為我們重要且寶貴的經驗與借鏡。雖然天然災害一定會發生，但只要我們多作準備，受害程度與損失一定可以減免。

防災的新思維與防災的基本戰略

人類一再遭受天的肆虐，經歷了慘痛的教訓，累積了許多寶貴的經驗，也增長了抗災的智慧。對於天災源頭的颱風、豪雨、地震等之測報、預警，防救災的設施、設備，災害風險的評估與管理，以及防災科技的研發等各方面，都有長足的進步。但無可諱言的，迄今天災仍然不斷的發生，因為天災難料，災難常常超乎意料。因此，防災科技的先進國家，對於防災思維有新的發展，防災策略也有新的方向^[43]。

日本由於 311 大地震引發巨大海嘯，並導致核電廠嚴重的核輻射外洩災害，造成前所未有的超廣域複合式災害，除當時救災困難外，災後重建更面臨決策艱難、進程緩慢等複雜問題，此與 1995 年阪神地震後能迅速復建，有相當大之差別。因此，日本政府於 2013 年頒布了「國土強韌化基本法」，並於 2014 年 6 月通過了「國土強韌化基本計畫」，以保護人命、國家社會的重要機能可以繼續維持，人民財產及基礎建設災害最小化，災後能迅速復舊與復興等為計畫目標^[44]。

將來的防災思維也會從大家常說的「大震不倒、中震可修、小震不壞」，進一步的要求災後功能性的維持，並以強化城鄉災後復元力為目標。因此在防災策略方面，也從「保住人命、降低經濟損失」，進而追求基

礎建設正常使用、產業供應鏈得以確保、經濟建設持續發展，並以災後國家有快速且強盛的復原能力作為防災戰略的目標（圖 15）。

因此，一個防災城鎮要以「保護人命及經濟損失最小化」作為基本的防災思維，在防災的策略上，高頻率（如 100 年 1 次）災害：主要靠強韌的結構物防禦；低頻率（如 1000 年 1 次）災害：採取強韌的減災系統 + 非結構物的防災對策（如防災地圖、防災教育、防災演練等離災、避災的策略）。同時在土地利用與建築管理上要考慮災害風險，採行軟體與硬體雙層面的防災對策^[45]。基於前述的防災思維，要建構地震防災城鎮的基本戰略可彙整如圖 16 所示^[46]。

另依據 IPCC 2014 (AR5)^[4]，因應氣候變遷災害風險的基本戰略為：「適應」— 對氣候變遷儘速採取有效的調適措施，「減緩」— 持續減少溫室氣體排放，「提升抵禦力」— 無害環境的創新技術與基礎設施的投資，可增加恢復力（圖 17）等。然而要提升「災後復元力」，必須先設法將「災害最小化」，並從「基礎建設強韌化」及「減災技術高度化」著手，這也是因應氣候變遷減災的根本方法。

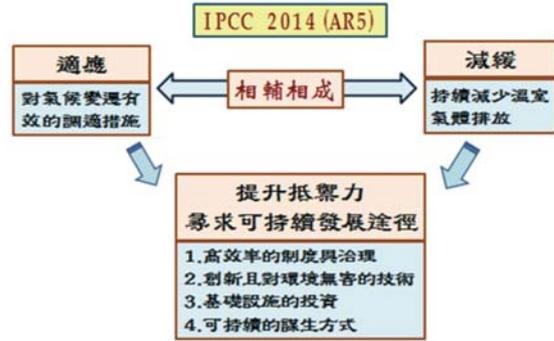


圖 17 因應氣候變遷災害風險的基本戰略

結語

台灣位處嚴苛的天災環境，近年來災害發生頻率與強度均有增加的趨勢，但防救災的環境條件卻愈來愈艱困。任何個人或群體都經不起一場大的災難，天然巨災的發生對於人民的身家安全及產業經濟發展，將造成極大的傷害與影響。我們未來面對的是連鎖性複合型天然災害，災害的樣態及嚴重的程度皆難預料，我們不能等到遭受天災教訓才有所醒悟，任何國家或任何地方發生的天然巨災，都必需當為借鏡，謙卑學習。要用宏觀的角度去深化防災的思維，並以統合性的考量去策劃防災的戰略，如此才能強化國家的災後復元力。災害總在遺忘的時候來臨，必須喚醒大眾的防災意識，先要自助、互助，而後才是公助，全民防災才能建構安全、安心、永續的家園。

誌謝

本文承 諸位專家學者或單位，多年來在現地勘災、資料蒐集等方面的鼎力協助，以及有關防災教育、防災研究及災害防治等方面指導討論，或提供寶貴的防災實務經驗，得以順利完成，在此謹致謝意。

日本東北大學 Ozaka 榮譽教授

日本東北大學 Suzuki 榮譽教授

日本土木學會 (JSCE) Hirose 會長

日本防災構造工學研究所所長 Kawakami 博士

石卷市 建設技術管理總監 大元守先生

NIPPON ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD

日本工營株式會社 技術本部

日本防災科學技術研究所 (NIED)

國家地震工程研究中心 (NCREE)：

張國鎮教授 (台大)、宋裕祺教授 (北科大)、黃震興教授 (台科大)

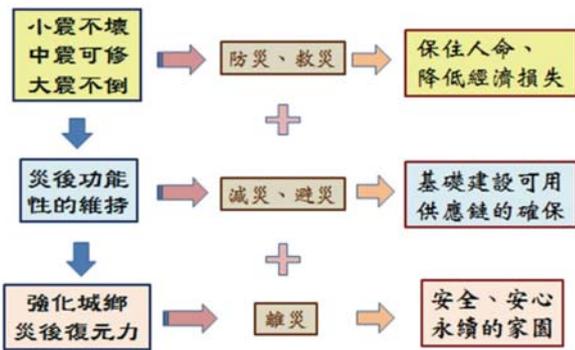


圖 15 防災思維的演進與防災戰略的趨勢



圖 16 建構地震防災城鎮的基本戰略

台灣世曦工程顧問股份有限公司 CECI：

王炤烈總經理、林曜滄總工程師、曾榮川協理、黃炳勳協理、蔣啟恆經理、張英發經理、蘇彥彰正工程師、王泓文正工程師、楊景華正工程師、林正偉正工程師等。

參考文獻

1. Disaster Risk Management Series No. 5, Natural Disaster Hotspots A Global Risk Analysis, The International Bank for Reconstruction and Development /The World Bank and Columbia University, 2005.
2. 2015 ~ 2025 Lloyd's City Risk Index.
3. IPCC, "Climate Change 2007 AR4 Synthesis Report".
4. IPCC, "Climate Change 2014 AR5 Synthesis Report".
5. 日本土木學會,「土木學會東日本大震災特別委員會總調查團調查速報會報告」, 2011.04.08。
6. 日本土木學會地震工學委員會,「土木學會東日本大震災被害調查團(地震工學委員會)緊急地震被害報告會報告」, 2011.04.11。
7. 日本東北大學,「東北大學による東日本大震災1ヶ月後緊急報告會報告」, 2011.04.13。
8. Kazuhiko Kawashima, "Damage of Bridges Resulted from March 11, 2011 East-Japan Earthquake", Department of Civil Engineering Tokyo Institute of Technology, April 15, 2011.
9. 日本土木學會,「土木學會東日本大震災被害調查團緊急地震被害調查報告書」, 2011.05.09。
10. 國土交通省國土技術政策總合研究所, 獨立行政法人 土木研究所,「2011年東北地方太平洋沖地震土木施設災害調查速報」, 2011.07。
11. 張荻薇、曾榮川、王泓文、蘇彥彰,「2011年東日本大震災勘災報告」, 中華技術, 第91期, 財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2011.07。
12. 張荻薇,「2011年東日本大震災 — 廣域性複合式災害」, 2011年結構與地震工程研討會, 中華民國結構工程學會, 2011.12.10。
13. 張荻薇、廖學瑞、丁金彪、何泰源、陳俊樺、蘇彥彰、周永川,「2011年東日本大震災震後六個月勘災報告」, 中華技術, 第93期, 財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2012.01。
14. 張荻薇、周功台、曾榮川、蘇玫心、蘇彥彰、張鈺輝,「2011年東日本大震災震後一年勘災報告」, 中華技術, 第95期, 財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2012.07。
15. 台灣世曦工程顧問股份有限公司,「2011年東日本大震災勘災報告」, 2012.09。
16. 張荻薇, 氣候變遷下台灣路、橋的天然災害及其因應對策, 99年國科會自然處永續學門防災科技研究計畫成果研討會, 2011.2.18。
17. 張荻薇,「921地震橋梁害概要」, 921集集地震結構勘災心得研討會, 中華民國結構工程學會, 民國88年11月。
18. 國家地震工程研究中心,「美濃地震初步勘災簡報資料」, 2016.02
19. 張荻薇,「賀伯颱風橋梁災害之實例概述」, 賀伯颱風災害探討公共工程之規劃研討會論文集, 國立台灣大學土木系, 民國85年10月。
20. 張荻薇、曾榮川、李姿瑩、陳光輝,「桃芝颱風橋梁災害概況及成因分析」, 第六屆結構工程研討會, 民國91年8月。
21. 張荻薇,「從八八水災的工程災害談台灣橋梁的天然災害與災害防治」, 2009年結構與地震工程研討會, 2009.12.19。

22. 張荻薇、曾榮川、黃炳勳、蘇彥彰,「橋梁防災之新觀念 — 東日本311大地震之回顧與省思」, 中華技術, 第111期, 財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2016.07.31。
23. 張荻薇、方文志、陳國隆,「1994年1月17日美國洛杉磯北嶺地震訪查報告書 — 橋梁震害探討」, 國家地震工程研究中心, NCREE-94-001, 1994.03。
24. 張荻薇,「日本阪神震災後橋梁之復舊及耐震補強」, 由阪神地震探討國內橋梁耐震工程之發展方向研討會, 台灣營建研究院, 1996.09。
25. 張荻薇、張國鎮、宋裕祺、蔡孟豪,「集集地震橋梁損害模式之分析探討」, 結構工程第十四卷第三期, 民國88年9月。
26. 張荻薇,「國外交通設施震後重建與強化對策」, 921大地震震後之交通設施強化與重建研討會, 交通部, 1999.10。
27. Kazuhiko Kawashima, "Damage of Bridges Due to the 2011 Great East Japan Earthquake", Proc. of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, March 1-4, 2012, Tokyo, Japan, pp. 82-101.
28. 世界銀行,「大規模災害から学ぶ」東日本大震災からの教訓, 2012。
29. 東日本大震災復興對策本部,「東日本大震災復興構想會議」, 2011.06.25。
30. 張荻薇,「工程災害及復原」, 東日本大震災重建勘察發表會, 國家地震工程研究中心, 2012.7.26。
31. 張荻薇、王炤烈、黃炳勳、曾榮川、蘇彥彰,「311東日本大震災震後重建考察報告」, 台灣世曦工程顧問股份有限公司, 2014.11。
32. 張荻薇,「東日本大震災之震後重建及復興計畫」, 東日本大震災震後重建考察說明會, 國家地震工程研究中心, 2015.01.23。
33. 日本土木學會,「東日本大震災被害調查團緊急地震被害調團 — 高架橋の被害」, 2011.04.11。
34. 室野剛隆,「日本の新幹線鉄道の地震對策」, (公財) 鐵道總合技術研究所。
35. 富田哲郎,「東日本大震災への對應と今後の課題」, JR 東日本, 2011.7.6。
36. 國土交通省,「國土交通省における東日本大震災の復旧・復興に向けた對應」, 2011年6月。
37. 日本道路協會,「道路橋示方書 — 耐震設計編」, 2012年。
38. 日本鐵道總合技術研究所,「鐵道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」, 2012年。
39. 大元 守,「大規模災害での道路の役割 課題」, 第30回台日工程技術研討會, 2013.11.27。
40. 大川小學校事故檢証委員會,「大川小學校事故檢証報告書」, 2011年6月。
41. 岩沼市,「岩沼市東日本大震災津波復興計畫」, 2011年08月。
42. 陸前高田市,「奇跡の一本松保存プロジェクト」, 2012年。
43. 張荻薇,「土木、結構、以橋梁為專業, 天災、地震、視防災為志業」第十三屆結構工程研討會暨第三屆地震工程研討會 2016.08.11。
44. 日本總理府,「國土強靱化基本計畫」, 2014.06.03。
45. 日本中央防災會議,「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波對策に關する專門調查會」審議會, 2011.5.28 ~ 2011.9.28。
46. 張荻薇,「天災難料 唯有從巨災中學習 — 防災思維與防災戰略」, 日本熊本地震勘災考察說明會, 國家地震工程研究中心, 2017.03.02。





應用先進科技 降低震害衝擊 — 國震中心研究發展與挑戰

張國鎮／國立台灣大學土木工程系 教授

臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界處，屬地震非常頻繁之地區。據統計，臺灣約每隔 15 年至 20 年即會發生一次劇災型地震災害，造成極重大之人員傷亡與經濟損失。

為有效推動我國震災科技之研究與發展，行政院國家科學委員會（現為科技部）擇定國立臺灣大學之校園，設立國家地震工程研究中心（以下簡稱國震中心），歷經多年之籌建，至民國 87 年 11 月正式啟用研究大樓，民國 92 年 6 月納入財團法人國家實驗研究院。其設立之宗旨為設置地震模擬試驗室，利用大比例尺或足尺寸靜動態試驗方式，提昇與落實地震工程之研究。另外也結合國內外與地震工程有關之學者及工程師，從事有關地震工程之基本研究和應用研究，分別從理論或試驗方面解決國內工程界之耐震問題，帶動地震工程科技研究之創新，提升學術研究地位。國震中心配合「震前準備」、「震時應變」、「震後復建」之需要，利用實驗設施、實驗方法、分析技術及地震相關資料庫之優勢，整合及培訓國內相關研究人才，強化國際合作管道，期為國際地震工程研究之重鎮。

以下就震前、震時及震後各階段敘述近年工作成果如下。

震前準備

推動耐震設計規範修訂、發展結構耐震評估補強、設備隔震技術以保障生命財產安全，並透過境況模擬技術，研擬防救災計畫。

帶領臺灣建築及橋梁耐震設計規範研擬與更新，提昇建築及橋梁耐震安全

整合產官學界成立規範委員會，主導建物、橋梁及管線耐震設計及補強規範之研擬，協助內政部、交通部及經濟部修正相關規範，確保橋梁建築及管線安全，近年成果包括：協助內政部營建署完成「建築物耐震設計規範」、「建築物實施耐震能力評估及補強方案」等相關規範研擬；協助交通部完成「鐵路及公路橋梁耐震設計規範」、「公路橋梁耐震能力評估與補強準則」等相關規範研擬修訂，此外，亦協助相關單位擬訂相關耐震設計規範、手冊、條文或重大工程設計之參數等，如「高強

度鋼筋混凝土結構設計手冊」、「既有加油站地下儲油槽與輸送管線耐震評估手冊」、「液體管線系統耐震設計指針」及「鉚接類儲油槽耐震設計指針」等。

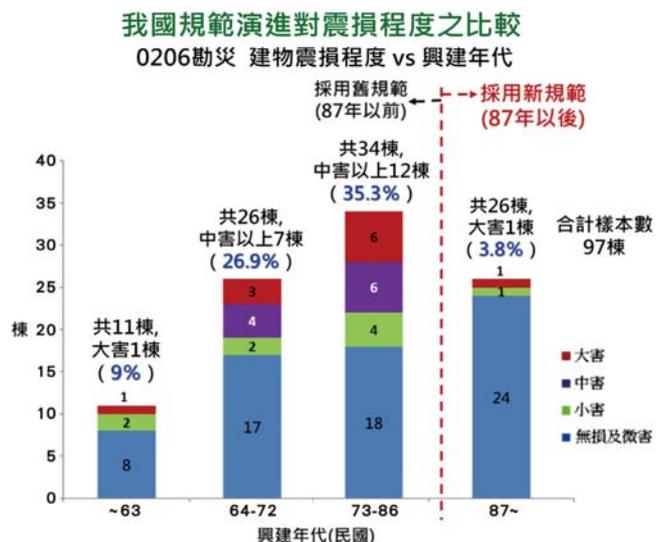


圖 1 依 0206 美濃地震勘災資料，適用民國 87 年以後耐震規範之建築物中，僅玉井國中專科教室因承受超過最大設計地震，一樓柱出現剪力裂縫，但未倒塌，耐震表現符合預設目標。

研發並落實耐震評估與補強技術，提昇既有建築與橋梁耐震能力

在既有建物耐震評估與補強方面，持續增進建築物耐震補強相關技術研究，例如鋼結構校舍耐震詳細評估方法之研擬、開口鋼筋混凝土牆補強之研究、臨街店舖式住宅結構耐震評估與補強技術準則之研究等，藉由研究輔以實驗之驗證，以建立既有建築物評估與補強之準則，有助於落實既有建築耐震補強之施行。

在校舍耐震評估補強服務方面，校舍結構安全與否攸關學校師生之生命財產安全，自98年至105年12月底止，經評估與補強後，確認耐震安全無虞之校舍計有13,959棟，可保障147萬名師生之生命安全、減低家長對於校舍耐震安全之疑慮，以提高社會大眾對於政府重視校園安全之正面形象。此外，透過耐震補強方式強化結構安全，可降低震後校舍損壞或倒塌之風險，並減輕震後政府於短期內籌措經費進行校舍復建之龐大財務壓力，加上耐震補強所需經費僅約拆除重建經費之11%，透過耐震補強方式可在達到同樣效益下大量節省政府經費。

在橋梁延壽技術研發方面，建構能忠實描述各項衰減特性之分析模型，並依此更廣泛且深入的探討不同震源特性之震動特性，將可有助於掌握橋梁在真實地震下之變形需求及受震反應，確保橋梁之耐震性能符合預期之設計目標，以精準評估與控制橋梁之震損，提昇國家運輸系統之安全與服務性。

建構優質耐震結構系統，研發先進抗震技術

為研發新材料、新工法及新技術，提昇重要結構之耐震性能，國震中心積極推動整合型計畫，整合學術界進行研究開發，並獲致豐碩成果。茲分為以下三方面敘述：

(1) 重要結構與設備應用之研究

發展隔、減震設計可應用於國內攸關民生發展甚鉅之基礎建設，如醫院、防救災單位與橋梁等，於震後確保用路人之安全及確保醫療場所之使用功能性，亦可確保防救災體系於災害發生時能夠正常運作，同時亦可有效降低因結構物老化或震損等因素所造成之直、間接生命財產損失，並針對具高產值產業（如高科技廠房



圖 2 在 0206 美濃地震中，臺南市歸仁國中已完成補強校舍均無損壞，待補強之校舍則發生結構性破壞。

等)，在地震發生時之損害與風險成本可降至最低。奈米碳纖維智能骨材感測器於結構內部應力量測技術，可建立鋼筋混凝土結構內部應力量測及橋梁特性識別與診斷技術；平面不對稱結構多尺度熵分析法之結構健康診斷系統可以避免錯估破壞位置而做出無效的補強，提升結構物之生命週期評估能力；醫院管線系統耐震性能補強機制研究，進行管線系統以本土化補強工法進行耐震性能補強設計，量化管線系統補強後提升之效益，並針對我國醫院管線系統之補強方法提出改善方案，研究成果將有助於震後緊急醫療能力之恢復與維持，提升醫院整體耐震性能。

(2) 新型耐震結構工法之研發

發展鋼板阻尼器為間柱之型式，便於配置在建築空間中，有其建築設計上之便利性，可提供工程師在進行鋼骨建築耐震設計時多一項選擇；鋼造制震構件與 RC 構架複合之耐震系統為創新建築耐震系統，此複合系統在受震下之變形能力與消能容量較一般 RC 建物為佳，可確保結構在大地震作用下不會發生急劇破壞，除提升建築結構之耐震性能外，更能保障人民生命安全；進行應用高性能鋼材之耐震構造技術研發，可應用於各式結構系統，減低震後結構損傷，降低使用者之生命風險與財產損失；提出高強度鋼筋與其配件規格規範，目前已通過於臺灣混凝土學會審查，並提出高強度鋼筋混凝土結構設計手冊，現階段將致力於擬定高強度鋼筋混凝土結構系統之施工規範，預期透過完善的施工流程與管理方法，建立高品質、安全且經濟的新節能減碳建築結構系統。

新形式快速橋梁施工法屬於一種預鑄工法，相較於傳統高橋墩採現場澆注混凝土之施工方式，具有生產快速，節塊體小，運輸便利，所需之施工範圍小，因此在施工期間對既有環境之衝擊極低，且在都會區施工對現有交通影響也較小，不容易引起環保團體及民眾之反抗與阻撓，而產生社會觀感不佳之負面訊息及造成工程延誤與施工成本提高之損失。另外，也因其具上述之特點，本施工法亦可適用於山區救災臨時便橋之橋墩搭設使用，對於國防救災也極具貢獻。

「中間樓層隔震系統」保留傳統基礎隔震技術抗震性能的優點，同時提高隔震建築施工及基地空間使用效

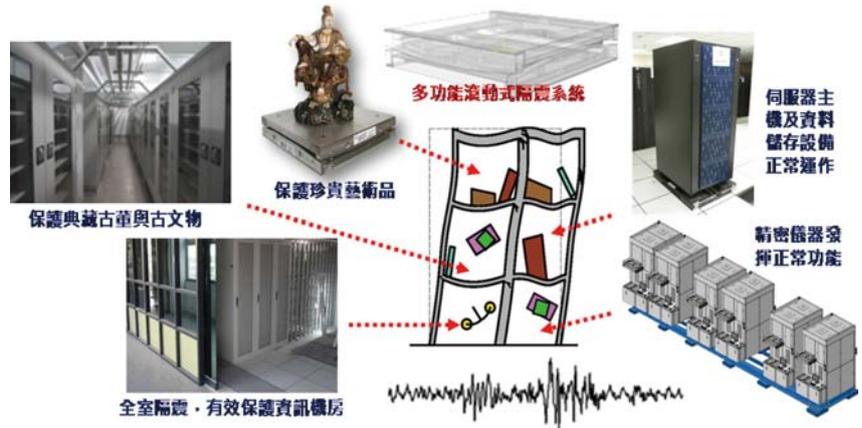


圖 3 滾動式隔震平台應用範圍

率，滿足建築多樣的考量與需求彈性，相關成果已建議於國內現行建築物耐震設計規範中。目前臺灣中間樓層隔震建築物的案件數量已超過所有隔震建築物案件數量一半以上，大幅提昇臺灣隔震技術水準。此外國震中心研發之「滾動式隔震平台」可有效降低地震對重要設備或貴重文物之影響，已實際應用於高科技廠房精密設備、資訊機房、文物典藏設施等，期間經歷多次真實地震考驗，設備均無任何損傷，成效顯著。

(3) 智慧型結構技術研發

研發智慧型高科技廠房遠域地震減災技術，可在遠域地震來臨前數分鐘提出預警，並搭配自動控制技術，避免含有長週期震波之遠域強震，造成高科技廠房中震動敏感設備的失靈與故障，可大幅降低無預警停機所造成之鉅額損失。

強化大地地震工程研究，落實結構物基礎耐震設計技術

檢討現行基礎設計分析方法，改進工程設計程序，有助於提升國內結構基礎耐震設計水準；為協助「安家固園計畫」之執行，開發 SPT 及 CPT 液化評估分析程式，提供各界正確及統一之液化評估分析程式，使各地方政府進行液化潛能圖製作時具有相同之標準。

自主發展核能電廠耐震技術，降低震災風險

藉由累積相關研究成果建立核能電廠耐震分析評估能力，提昇本土技術人才能量，落實核能耐震安全本土化、自主化的目標，減少社會對於核電廠安全疑慮，增強民眾對國內現有核能研究發展之信心，並配合國家能源政策節能減碳，達到能源利用效益最大化之願景。

強化地震動潛勢研究，提升地震基礎研究成果之應用

整合地震、地化及地質相關資料，探討區域的地震

背景活動特性透過時間及空間上的分析與比較，從而瞭解臺灣地震之震波傳遞行為，進入精細構造之探索，並且預估強地動分布，加強都會區重大建設之防震能力，從歸納彙整研究成果能提供斷層區孕震構造完整的輪廓與脈絡，作為地震危害評估的基本資料；透過整合相關技術所開發之強地動即時預估系統，期於強震後迅速提供地震動預估資訊，作為災害評估及救災應變之應用，配合地震活動觀測及前兆研究成果，期能提供全面性的防救災對策，減輕社會大眾對於不可預期之地震威脅的恐懼，促進社會之永續發展。

境況模擬與風險評估

國震中心開發之「台灣地震損失評估系統」，簡稱 TELES，可有效評估地震潛在的危險程度與可能引致的災難和損失，根據模擬地震的震源參數和活動斷層的屬性資料，推估各地地表震動強度、土層破壞機率與引致的永久變位，並可進行各項工程結構物，如一般建築物、橋梁、地下管線等的損害評估，以及對社會經濟的衝擊等等。藉由詳細的災損評估數據，防救專責機構可據以研擬妥適的減災對策和措施並應用在政府的防救災業務和民間企業的風險評估與管理上。根據 TELES 模擬的結果，可提供各縣市政府研擬防震減災的對策，如規劃救災人員和機具的數量、醫療的設施和病床數、臨時避難所的數量和分布、民生必需品的庫存和調度機制、自來水、瓦斯和電力系統的緊急搶修策略和人力物料的調度...等。透過早期損失評估模組，在震後可提供即時的災損推估數據，作為緊急應變的決策參考。結合地震危害度分析理論，可推估不同地區或設施所承受的地震風險，協助擬訂合理的地震保險費率或耐震補強策略...等。

震時應變

於強震來臨前提早預警，並即時進行災情評估與安全監測，進行緊急應變。

跨領域整合產學界，發展「現地型強震即時警報系統」及「斷橋預警 — 雲端防災互聯網」

與國家實驗研究院颱風、晶片、儀科、國網、奈米六個中心以及台大、交大、中大、北科大共同合作，跨領域整合發展「現地型強震即時警報系統」及「斷橋預警 — 雲端防災互聯網」。

現地型強震即時警報系統係利用地震波傳遞的特性，偵測傳播速度較快的 P 波，計算評估後續地震的大小，對影響區域發佈地震警報，爭取數秒至數十秒的時間，提早進行地震防災應變。截至 105 年底，已實際建置於 548 所國中、小校園、中、科管理局、南、科管理局、以及部分高科技廠房，並與中興保全公司合作推動研發成果商品化與商業模式之建立，共同推動地震防災相關研究以及應用推廣服務。

斷橋預警 — 雲端防災互聯網則跨領域整合 ICT 專業單位，可依據上游降雨量推估中下游橋梁沖刷情形，最早能於 6 小時前提出預警，並在中下游橋梁安裝耐久耐候現地型感測晶片，即時監測河川水位流速、橋墩沖刷深度、橋梁振動情形、河川現地影像等，同時發展高速網路傳輸及大數據處理技術，透過雲端告知管理單位橋梁現地狀況，可全年全天候監測橋梁安全，汛期作為封橋決策的依據，平時亦可作為橋梁保養維護之參考。目前已實際安裝於濁水河流域的公路與高速公路橋梁進行長期監測，提升大眾用路安全。



圖 4 斷橋預警 — 雲端防災互聯網系統畫面

早期損失評估

在強震後的短時間內，可能因電力或通訊系統中斷，地區性的災情資料無法即時回報中央，導致災害應變中心無法即時有效掌握災情的規模和分布。為克服上述困難，TELES 已結合中央氣象局的地震速報系統，一旦接收地震報告的電子郵件，震災早期評估模組將自動啟動，在極短時間內將推估的災害潛勢和損害與傷亡數量等資訊，以簡訊或其它方式供災害應變中心參考。



圖 5 複合材料輕量化便橋組立實體

震後復建

震後提供緊急救災設施，協助震後復建。

複合材料輕量化便橋技術研發

與產學界合作完成緊急救災用複合材料輕便橋技術開發，可於 6 小時內組裝完成承載 5 噸，橋面寬 3 米，跨度 20 米之複合材料輕便橋，有效解決颶風地震導致橋梁毀損時，造成部分地區交通中斷之困境。

橋梁安全監測與預警技術

發展光纖式橋梁安全監測技術，能即時監測橋梁變位，可提供橋梁管理單位進行封橋之依據，已與交通部高速公路局、台北市政府及台灣高鐵公司等合作，實際安裝於中山高五楊高架段、台北市大直橋以及高鐵部分路段進行長期監測，此外亦協助公路總局進行台 86 線 24 號橋地震災害橋梁修復工程安全評估及長期監測，並積極推廣至其他橋梁。

近年來國震中心致力於整合內外研發能量、成立專案小組並協助推動部會合作落實研發成果，協助解決耐震問題、跨領域整合產學界，加強產學鏈結以因應複合型災害課題，藉以提昇國震中心在地價值，曾經榮獲經濟部財產局 2013 年國家發明創作獎、中華民國管理學會 2012 年科技管理獎之肯定。在專業研發方面，已先後獲得中國工程師學會詹天佑論文獎及工程論文獎，

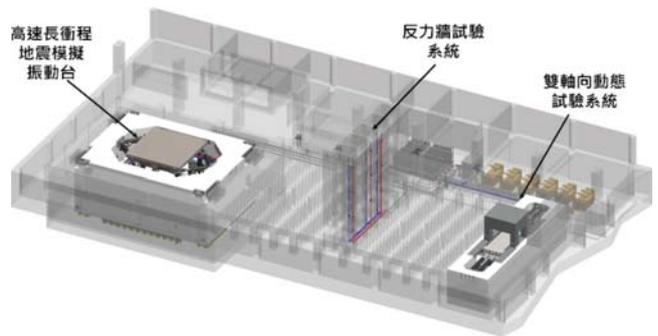


圖 6 國震中心南部實驗設施外觀與內部配置

國家實驗研究院傑出科技貢獻獎學術研究類與技術發展類首獎。除此之外，於 102 年正式籌建南部實驗設施，預計 106 年 8 月正式啟用營運，未來將可進行近斷層地震、高樓層地震模擬等相關研究，研擬經濟有效之耐震對策作為規範修訂參考，並建構世界級地震工程研究重鎮。期能從創造在地價值，邁向全球卓越。 



臺北都會區防減災害探討 — 以土壤液化潛勢區分析評估為例

彭振聲／臺北市政府工務局 局長

張凱堯／臺北市政府工務局 科長

張正岳／臺北市政府工務局 技士

臺北市政府於 2016 年 9 月 10 日率全國之先上網公開臺北市土壤液化潛勢中級精度圖資，公開後 3 個月內網頁瀏覽查詢已達 10 多萬人次。民眾藉由各式行動載具及電腦透過門牌及地籍定位，進行線上查詢，瞭解關切區域土壤液化潛勢評估結果，網頁並提供土壤液化機制說明、土壤液化 Q&A 與市府應對土壤液化因應對策資訊和處理窗口。另外市府也製作土壤液化知識懶人包，提供民眾下載閱讀，以瞭解正確土壤液化觀念。

行政院核定「安家固園計畫」(2016 年至 2021 年) 補助各地方政府製作中級精度土壤液化潛勢圖，加上內政部刻正修訂「風災震災火災及爆炸災害潛勢資料公開辦法」增訂土壤液化潛勢分布圖為震災災害潛勢資料公開項目。本文就臺北市政府在製作中級精度土壤液化潛勢圖的分析產製過程、遭遇的問題及解決方案提供未來各單位執行及操作之參考。

前言

臺北市政府在考量臺北市境內特殊地理環境，於強震來襲時或有土壤液化發生之疑慮，從 1998 年即連續 4 年進行「台北市地質鑽孔資訊化計畫」，除建立營建鑽探資料庫網路服務外，並持續著手辦理市轄境內土壤液化潛勢調查工作。

2016 年 0206 美濃地震造成臺南永康區維冠大樓倒塌，也震出土壤液化的危機，成為社會廣大民眾關心的重大議題。行政院遂指示經濟部地調所，公開全國初級精度土壤液化潛勢圖，並提出三級土壤液化潛勢圖資概念。要求地方政府利用經濟部中央地質調查所已建置「工程地質探勘資料庫」的鑽探資料，及「安家固園計畫」(2016 年至 2021 年) 補助各地方政府進行補充地質鑽探，進行「中級」精度之土壤液化潛勢調查。緣此，臺北市政府配合中央三級土壤液化潛勢圖資推動計畫，

更新臺北市轄區土壤液化潛勢資訊及建置臺北市區土壤液化潛勢查詢系統，率全國各縣市之先，公開地方政府產製之中級精度土壤液化潛勢圖，作為後續臺北市都市規劃與防災之應用參考。

由於土壤液化潛勢資訊之公開影響廣大民眾對於住屋安全狀況之掌握，亦會直接或間接影響區域房屋價格，長久以來，政府部門對於土壤液化潛勢資訊之公開，態度相對保守。然而，在民眾對於涉及自身權益「知」的要求日增及政府強調資訊公開透明之施政潮流下，土壤液化潛勢資訊之公開，有其不得不為之勢。

國內外土壤液化潛勢圖之公開

已知如日本、美國均有公開之土壤液化潛勢圖，圖資比例尺不一，約在兩萬五千分之一或更小，相關潛勢圖資均在網路上公開。

日本係由各地方政府製作，再經中央政府之國土交通省彙整，可於網路上查詢各式圖資，原圖比例尺不一，約為兩萬五千分之一或更小，土壤液化潛勢分析的設計地震，亦依各地可能地震強度而異。土壤液化潛勢的分級，係依據土壤液化潛勢 (PL) 值，區分為高、中、低等 3 級及其他尚未調查區域，全日本共 47 個都道府縣中，共有 40 個地方政府公開土壤液化潛勢資訊。

美國則由美國地質調查所與加州地質調查所合作，針對加州舊金山灣區等 3 個地區，考量該地活動斷層狀況後的設計地震強度，進行分析評估，原圖比例尺不一，約為兩萬五千分之一或更小。土壤液化潛勢的分級，則是依據可能液化的機率或面積做分級，大致區分為 5 級。土壤液化潛勢圖資均已公開在網頁上，可供下載或 GIS 查詢。

目前國內土壤液化潛勢圖建置，係參考美、日做法，建立「三種精度圖資、三種使用功能」之土壤液化潛勢圖定位，即以經濟部地調所公開第一層次「初級精度」的土壤液化潛勢圖資，並做為國土計畫、國土防災之用；再則進行第二層次較精細的「中級精度」土壤液化潛勢圖資調查建置，以做為都市計畫、都市防災之應用。至於第三個層次的「高級精度」土壤液化潛勢圖資則是由個別開發或建案的執行單位，參考第二層次中級精度圖資，為個案規劃設計的需要，依規範辦理基地地質探勘、測繪圖資。

臺北市中級精度土壤液化潛勢圖建置

鑽探資料來源

臺北市各項重大基礎工程設計施工前，均有進行鑽探以作為規劃設計之參考。1986 年內政部營建署委託李咸亨教授執行「台北都會地區大地工程地質資料蒐集及處理之可行性研究」。1988 年，內政部建築研究所籌備處再委託李咸亨教授進行系列之大地工程資料庫系統研究計畫，完成包括資料庫系統，使用手冊，台北市轄管鑽探資料實質建檔和土層剖面專家系統，首度將分散於各工程報告中的鑽探資料篩分研判後，將 1,600 孔建檔於 PC 型 GIS 軟體撰寫之營建鑽探資料庫 (Geolog)。1998 年起臺北市連續 4 年持續進行「台北市地質鑽孔資訊化計畫」，鑽探資料數化檔更累積至 2,800 孔，並完成了 2002 年版臺北市土壤液化潛勢圖。

此次進行中級精度土壤液化潛勢分析之鑽孔資料來源，主要蒐集 2016 年 1 月以前臺北市營建工程鑽探資料庫及中央地質調查所工程地質探勘資料庫等兩大資料庫之鑽孔資料，共 11,917 孔，如表 1 所示。

表 1 鑽孔資料來源

執行單位	臺北市工務局	
提供單位	臺北市政府工務局	中央地質調查所
資料庫	臺北市營建工程鑽探資料庫	工程地質探勘資料庫
鑽孔資料來源	中央和地方政府之公共工程鑽孔資料為主，建管處之民間建築資料為輔，並逐孔加以篩選	中央地調所地質鑽探資料庫至 2016 年年初蒐集之公共工程鑽孔資料
鑽孔數量	4,106 孔	7,811 孔
鑽孔資料範圍	臺北市	大臺北地區
鑽孔總數量	11,917 孔	

鑽探資料篩選條件

工程地質鑽探施作項目通常包含地層分層研判、現地標準貫入試驗和取樣，以及進行室內土壤一般物理性質與力學性質試驗等，依工程屬性需求而決定項目。例如下水道工程之管線呈面狀展開分布，所需地質調查範圍與密度較均勻，埋設深度較淺，且開挖規模較小，故地質鑽探調查深度通常不深，一般約 10 ~ 15 m 左右，不符土壤液化分析需求。而捷運系統，因管線地下化較深，大多深約 20 ~ 25 m 左右，且捷運站體基礎開挖深度大，因此地質調查工作較為周詳。橋樑、高速公路與快速道路之橋墩常採用樁基礎型式，地質鑽探深度較深，以鑽掘至卵礫石層為原則，對於松山層土層部分調查較為詳細。為了地下停車空間，民間大樓建案的鑽孔深度也大約為 20 公尺以上。因此，蒐集之鑽孔資料，主要以上述之管道工程、捷運工程、道路工程及大型建築工程等鑽孔資料為主。

依據建築物耐震規範與解說 (2011) 定義：臺北盆地範圍訂定為淡水河水系內海拔 20 m 以下區域。因為考量海拔超過 20 m 之區域，若其覆土較厚，也不排除有液化可能，故增加海拔 20 m 以上，但覆土層厚度達 4 m 以上的鑽孔資料，亦加以分析，以利後續繪製土壤液化潛勢圖參考使用。

內政部營建署，「建築物基礎構造設計規範（2001）」中指出，Iwasaki *et al.* (1982) 提出的液化潛能指數 PL (Liquefaction Potential Index) 來評估土壤液化之嚴重程度，其深度範圍需為 0 ~ 20 m，依此需篩選出鑽孔總深度 20 m 以上的鑽孔資料進行後續的土壤液化評估工作；文中另規定三種 SPT-N 土壤液化評估方法 (Seed *et al.* (1985)、JRA (1996)、T&Y (1983))，需要土壤液化評估用之分析參數，如土壤單位重 (γ_t)、取樣深度、地下水位、粒徑分析之細粒料含量 (粉土與黏土) 與 SPT-N 值 (N) 等。因此，鑽孔資料篩選原則包含明確的取樣深度，以利液化分析評估；其二，標準貫入試驗之 SPT-N 值需要有數據外，且 N 值數值要合理；其三，粒徑分析之粒料含量總數需正確，其總合應為 100%；其四，選取介於 1.7 g/cm³ ~ 2.3 g/cm³ 較合理的土壤單位重 (γ_t) 資料，確保鑽孔資料正確性。因此如果不符合上述篩選原則的鑽孔資料將予以剔除不使用，上述篩選原則與流程詳表 2 與圖 1 所示，篩選後對應的資料數有 3,060 孔資料如表 3 所示。

表 2 鑽孔資料篩選條件

整理工作	項次	整理項目	篩選條件
一	1	分析範圍	1. 臺北市境內。 2. 不重複鑽孔。 3. 海拔 < 20 m。 4. 海拔 ≥ 20，且覆土層 4 m 以上。
	2	鑽孔總深度	1. 鑽孔總深度 ≥ 20 m。
二	1	取樣深度	1. 有取樣深度數據者。
	2	標準貫入試驗	1. 有 N 值數據者。
	3	單位重	1. 有土壤單位重數據者。 2. 選取介於 1.7 g/cm ³ ~ 2.3 g/cm ³ 土壤單位重。
	4	粒徑分析	1. 粒徑含量總數等於 100% 者。
	5	細粒土壤	1. 有自然含水量數據者
	6	人工判讀	1. N 值合理者 (例如軟弱土壤但 N 值偏高者剔除)。

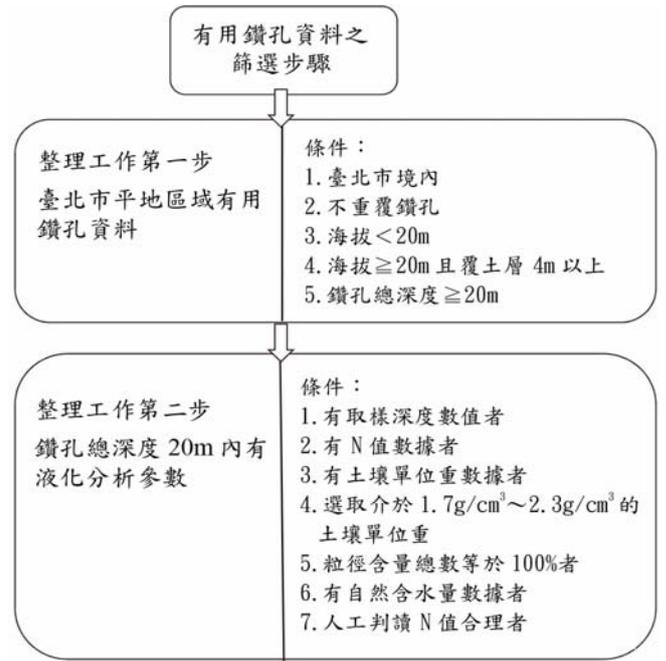


圖 1 鑽孔資料之篩除流程圖

表 3 鑽孔資料篩選工作總表

供土壤液化分析用之 臺北市內鑽孔資料篩選工作		篩選後鑽孔數量 (孔)		
		地調所	工務局	合計
A. 原始鑽孔資料	1. 計畫蒐集鑽孔	7,811	4,106	11,917
B. 臺北市平地區域有用鑽孔資料整理工作	1. 臺北市境內鑽孔資料	5,370	3,600	8,970
	2. 海拔 < 20 m 者或 海拔 ≥ 20 m 且覆土層 4 m 以上者	4,238	3,364	7,602
	3. 鑽孔總深度 ≥ 20 m	2,172	2,386	4,558
C. 20m 深度範圍內有液化分析參數鑽孔	1. 取樣深度數值者	1,976	2,386	4,558
	2. N 值數據者	1,946	2,269	4,215
	3. 粒徑分析數據正確者	1,043	2,219	3,262
	4. 土壤單位重 (1.73 ~ 2.3 g/cm ³)	970	2,096	3,066
	5. 自然含水量數據者	970	2,096	3,066
	6. 人工判讀 N 值合理者	970	2,087	3,057
D. 增建新孔	1. 建管處提供 3 孔資料	970	2,090	3,060

土壤液化情境條件設定

依照「內政部建築物耐震設計規範及解說 (2011)」臺北市設計地震全區為 0.24 g；蒐集近 15 年臺灣地區之代表性地震，監測到的地動資料大多屬板塊隱沒帶地震，並參考臺北市災害防救深耕計畫 (第三期) 中設計加速度 0.24 g 情況下之假設的地震規模，故將地震規模保守假設為 6.9；地下水假設參考經濟部水文資訊網 (<http://gweb.wra.gov.tw/hyis/>)，於臺北市 9 處

的自由含水層地下水監測資料，將監測資料近五年年平均地下水位，並保守增加百分之二十，繪製成地下水等值圖（圖 2），再將 3,060 孔各別輸入該區的地下水位。

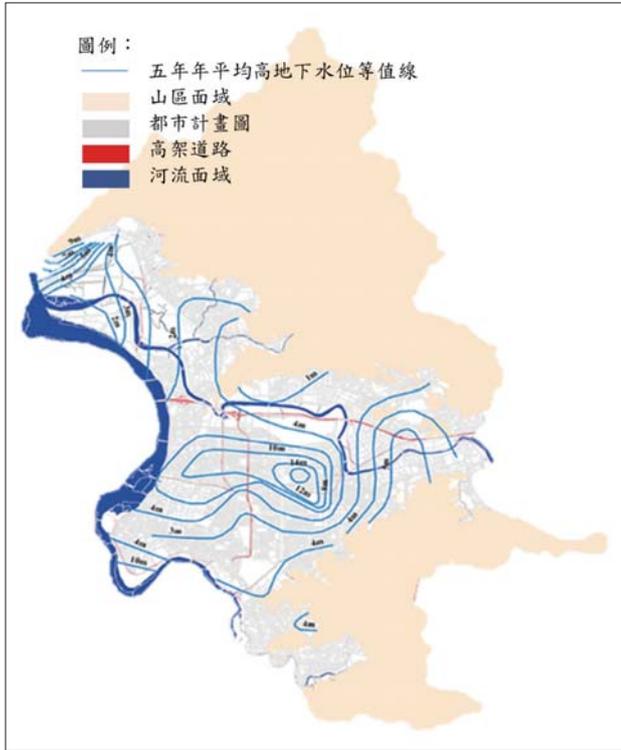


圖 2 五年年平均高地下水位等值圖

土壤液化分析方法與評估流程

分析方法依內政部「建築物基礎構造設計規範」（2001）規定，分別為 Seed *et al.* 簡易經驗法（1985）、日本道路協會簡易經驗法 JRA（1996）與 Tokimatsu & Yoshimi 簡易經驗法（1983），等三種方法，進行臺北市土壤液化潛勢分析工作。分析流程如圖 3 所示。

以各孔位土壤液化潛勢等級，依照李咸亨（1996）提出的臺北市工程地質分區（共 13 區）進行土壤液化潛勢圖內插基準，例如 2 個高度液化的鑽孔，中間相距 670 公尺（3 個網格），中間網格雖然沒有鑽孔資料，但在同一個工程地質分區內，故將中間網格內插為高度液化區。

分析結果比較

將 3,060 孔鑽孔資料，經圖 3 之土壤液化評估流程。將三種分析方法結果個別統計評估後，分類成四種不同級距（高度液化、中度液化、低度液化與無液化），後續交叉比對分別簡稱為 Seed *et al.*（1985）、JRA（1996）與 T&Y（1983）說明比對結果。

比對三種分析方法四種潛勢級距之鑽孔分布結果，Seed *et al.*（1985）高度液化之鑽孔有 2,017 孔，而 JRA（1996）與 T&Y（1983）分別為 1,893 孔與 1,765 孔，

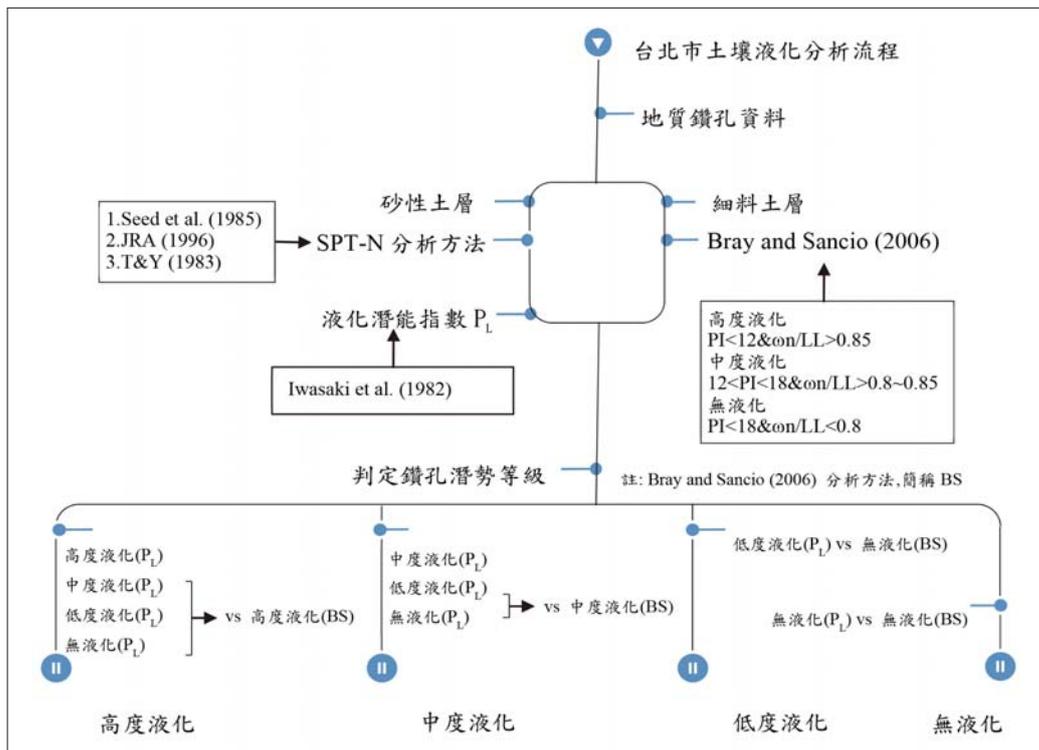


圖 3 土壤液化潛勢評估流程（2016）

有此可見 Seed *et al.* (1985) 結果較保守；T&Y (1983) 低度液化加上無液化共有 532 孔，而 Seed *et al.* (1985) 與 JRA (1996) 分別為 315 孔與 352 孔，T&Y (1983) 明顯較不保守，詳圖 4 所示。經統計四種不同評估方法之四種潛勢級距鑽孔百分比，如表 4 所示。

交叉比對 Seed *et al.* (1985) JRA (1996) 與 T&Y (1983) 三種液化評估方法，其結果分述如下：

1. 比對三種分析方法之四種液化潛勢級距之鑽孔分布結果，整體而言 Seed *et al.* (1985) 結果較保守；而在低度液化與無液化部分，T&Y (1983) 明顯較不保守。
2. 高度液化加上中度液化之鑽孔潛勢百分比，Seed *et al.* (1985)、JRA (1996) 與 T&Y (1983)，分別為 89.7%、88.5% 與 82.5%，有八成鑽孔分析結果屬高至中度液化。

因此臺北市土壤液化潛勢圖之製作即選用 JRA (1996) 之分析結果。

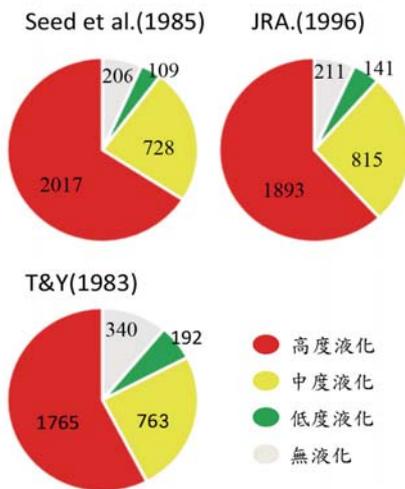


圖 4 三種評估方法之潛勢統計圖

表 4 三種評估方法鑽孔分布百分比表

項次	分析結果	Seed (1985)		JRA (1996)		T&Y (1983)	
		鑽孔數	百分比	鑽孔數	百分比	鑽孔數	百分比
1	高度液化	2017	65.9%	1893	61.9%	1765	57.7%
2	中度液化	728	23.8%	815	26.6%	763	24.9%
3	低度液化	109	3.6%	141	4.6%	192	6.3%
4	無液化	206	6.7%	211	6.9%	340	11.1%
5	合計	3060	100%	3060	100%	3060	100%

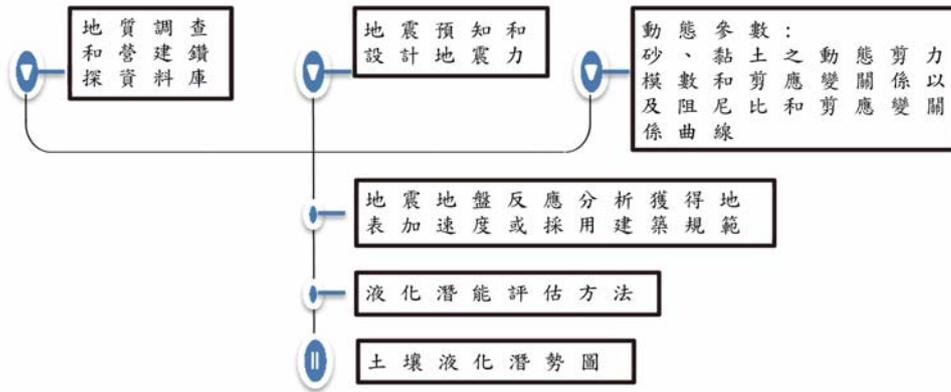
土壤液化潛勢圖繪製

將鑽孔資料對應之不同液化潛勢，使用工程地質三維空間內插法繪出等值圖，並於 GIS 圖中呈現，製作出的「臺北市政府土壤液化潛勢圖」，茲以圖 5 說明流程如下：

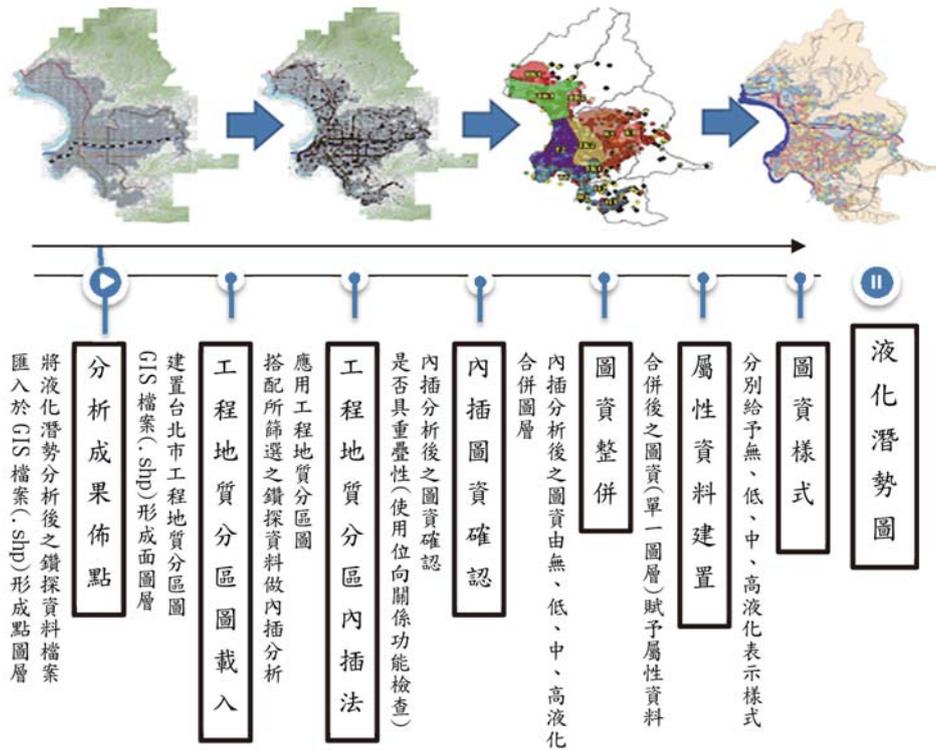
1. 蒐集與篩選可進行土壤液化分析的有用鑽孔資料，共 3,060 孔。
2. 以現行規範設定臺北市境內設計地震為 0.24 g，地震斷層類型假設為第 I 型，作為外力（地震力）之大小；另外地震規模 (M_L) 保守假設為 6.9。
3. 針對選擇的 SPT-N 值深度，計算地震加速度在該處所產生之反覆剪應力比 (CSR, Cyclic Stress Ratio)。
4. 輸入每孔假設的地下水位（本計畫採用近五年平均值再增加 20%）；配合已輸入土壤液化分析用參數，計算該 SPT-N 值深度之土壤反覆抗剪力比。
5. 計算每一深度之安全係數 FS， $FS = CRR/CSR$ 。
6. 將步驟 5 採用 Iwasaki *et al.* (1982) 評估砂質土層液化潛能指數 PL 來進行損害程度分級，分為高度液化、中度液化、低度液化與無液化，共四級。
7. 採用 Bray and Sancio (2006) 評估細粒土壤（粉土與黏土）液化潛勢，進行細粒土壤液化損害程度分級，分為高度液化、中度液化與無液化，共三級。
8. 將步驟 6 與步驟 7 合併研判，取較保守的液化潛勢級別。

根據台北市區大地工程資料庫圖集之三維空間地質柵欄圖，與臺北市工程地質分區圖，作為內插準則，進行三維空間的地質資料判斷，繪出臺北市政府土壤液化潛勢圖，詳圖 6 所示。

本次土壤液化潛勢圖比例尺為五千分之一，分析用方形網格尺寸為 225 公尺 × 225 公尺。圖資提供素地條件下臺北市平地區域土壤液化潛勢分布情形，適用於臺北市都市計畫和都市防災規劃參考。臺北市轄區經評估分析約 26.1% 屬於中、高度液化潛勢區域，另圖資中「非本圖所示資料精度區」占全臺北市全市面積的 14.5%（約 39.44 km²），此區因為鑽孔資料不足，故暫時無法符合中央建議的中級精度（第二級精度）要求，後續將分區分期補充鑽孔資料。



(A) 建置土壤液化潛勢圖原則流程



(B) GIS 建置土壤液化潛勢圖流程

圖 5 建置土壤液化潛勢圖流程

土壤液化潛勢查詢系統開發

查詢系統網頁設計以響應式網頁設計 Responsive Web Design (RWD) 進行，讓所開發的網路系統能在一個網頁下，無論是在傳統的桌上型電腦主機螢幕或是各類行動裝置（平板或手機），都可以適當呈現網頁內容（如圖 7 所示）。

土壤液化潛勢圖層套疊查詢的地理資訊系統 (GIS) 功能採 ESRI ArcGIS 圖資平台架構 (ArcGIS Framework) 進行設計開發，網站程式則盡量都採雲端分流方式設計，各類 Javascript 函式庫（如 ArcGIS Framework 或 jQuery、Bootstrap 等函式庫）或層疊樣式

表 CSS (Cascading Style Sheets) 盡量都引用壓縮檔格式 (.min) 並由各官方網站分流發佈。各式美工圖檔、下載文件檔案 (.pdf 檔或 .odt 檔) 及各類地理圖資交換檔 (.geojson 檔或 .json 檔) 則轉由微軟 Azure 公用雲端服務 (Public Cloud Service) 平台進行雲端分流存取。

民眾藉由各式行動載具及電腦透過門牌及地籍定位，進行線上查詢，瞭解關切區域土壤液化潛勢評估結果，網頁並提供土壤液化機制說明、土壤液化 Q&A 與市府應對土壤液化因應對策資訊和處理窗口，配合圖像化設計說明與網頁美編之教育宣導等功能，網站主要功能架構圖則如圖 8 所示。

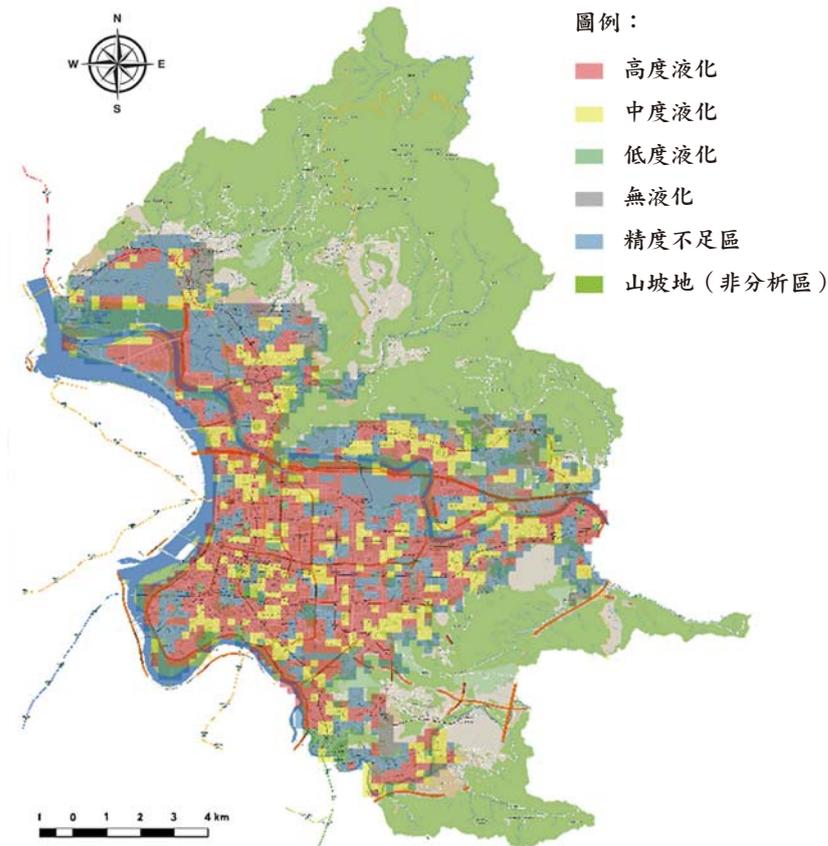


圖 6 臺北市政府土壤液化潛勢圖（2016）



圖 7 網站響應式網頁（RWD）設計

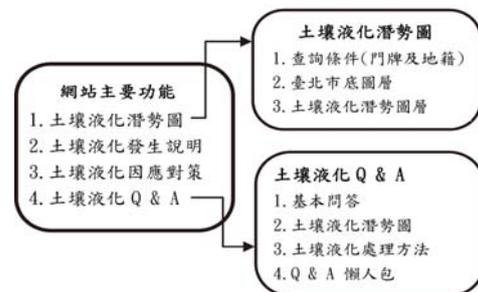


圖 8 網站主要功能架構圖

實務經驗分享

民氣可用，政策支持，資訊公開更順利

歷經 0206 美濃大地震所造成之災害，加上經濟部中央地質調查所於 2106 年 3 月 14 日公開臺北市、新北市等 7 縣市初級精度土壤液化潛勢圖及臺北市政府於同年 9 月 10 日公開臺北市土壤液化潛勢圖，透過媒體大量土壤液化相關報導，民眾得到更多正確土壤液化問題處理資訊後，已漸漸接受資訊之公開，在臺北市亦無潛勢圖公開後影響不動產價格問題，因為民眾已瞭解重點不在是不是位於潛勢區，而在於建物之基礎設計及結構安全問題。目前內政部刻正修訂「風災震災火災及爆炸災害潛勢資料公開辦法」增訂土壤液化潛勢分布圖為震災災害潛勢資料公開項目圖資，加上行政院核定「安家

固園計畫」（2016 年至 2021 年）補助各地方政府製作中級精度土壤液化潛勢圖，基於資訊公開透明，民眾有知的權利，其它地區可配合接受公開之民氣及中央政策之支持，積極完成土壤液化潛勢圖之製作與公開。

土壤液化潛勢分析應有一致性規範

臺北市率全國之先由地方政府製作中級精度土壤液化潛勢圖，惟因目前缺乏全國一致性之分析流程、參數設定、分析方法及產製標準；臺北市政府在此狀況下透過專家學者多次座談及討論會議訂定客觀嚴謹的資料篩選、參數選定及土壤液化分析方法。然而圖資係由政府公開，需具有一定公信力，在法規及政策要求各地區須公開土壤液化資訊，不同單位處理土壤液化分潛勢分

析應有一致的分析作業原則，例如，地下水位、地震情境、鑽探孔位分佈數量、深度、各類需求參數，和分析方法。此部分中央地質調查所應有統籌規範之必要。

不同精度圖資之適用性不同，不宜相互比較

目前國內以「三種精度圖資、三種使用功能」之土壤液化潛勢圖定位，即初級精度的土壤液化潛勢圖資，做為國土計畫、國土防災之用；中級精度的土壤液化潛勢圖資做為都市計畫、都市防災之應用；至於高級精度的土壤液化潛勢圖資則是由個別開發或建案為個案規劃設計的需要，辦理基地地質探勘，測繪圖資。依臺北市公開潛勢圖之經驗，民眾和媒體針對不同精度圖資之差異提出質疑，或針對各別基地或建物是否有土壤液化問題，要求政府單位認定。此部分應向民眾教育，不同精度圖資使用不同鑽探孔位數量及密度進行分析，結果本會有所差異，且本各有不同適用範圍，不宜互相比較；另個別建物土壤液化問題尚涉及建物本身基礎型式，因此不宜以初、中級圖資就個別基地進行可能土壤液化潛勢做判斷，而應回歸高級精度的土壤液化潛勢圖資搭配專業技師對於建物狀態進行整體性評估。

配合圖資公開，整合因應對策

政府公開土壤液化潛勢資訊，雖然滿足民眾知的權利，但因有其專業性，一般民眾不易了解而造成誤解，形成不必要恐慌；另民眾在得知資訊後應如何處理，及政府從施政上應如何協助民眾，都是需整體配合措施加以因應。

臺北市此次公開中級精度圖資，除在專業上力求嚴謹，有多少證據說多少話，開發簡易查詢系統，同時提出九項因應配套措施包括：液化知識懶人包及 Q&A 透過民政系統發送、成立土壤液化工作站提供諮詢、老屋健檢申請與補助、都市更新整維經費補助、公有建築地質改良示範計畫、新建建築物抗土壤液化規定及建管審查流程強化、強化震災（土壤液化）應變作為、多元重建方案與圖資精度再提昇等措施，提供民眾有關土壤液化問題簡易及多元諮詢服務管道，並提供民眾相關建物健檢與建物補強經費資訊與實質補助。

結論

「臺北市政府土壤液化潛勢圖」透過市府工務局營

建鑽探資料庫及中央地質調查所工程地質探勘資料庫，蒐集各公共工程及可信賴私有鑽探資料，經篩選分析後共計獲得 3,060 孔進行液化潛勢評估，並透過與專家學者的研討，以嚴謹的態度、資料說話的原則，製作出比例尺五千分之一中級精度土壤液化潛勢圖，這是全國第一個由縣市政府提出符合中央建議三級圖資中的第二級圖資，主要目的是使用在都市計畫、都市防災上規劃。

臺北市轄區經評估分析約 26.1% 屬於中、高度液化潛勢區域，另有 14.5% 屬於精度不足區，市府後續亦將配合行政院「安家固園計畫」持續辦理土壤液化潛勢圖資精度再提昇。

土壤液化並非絕症，由臺北市土壤液化潛勢圖公開之經驗可知：透過土壤液化潛勢資訊的公開透明，建立民眾正確觀念，可避免不必要恐慌。政府施政上提出整體配套措施，協助既有建物進行必要的檢查和補強；新建築案件依據建管規定，在開發階段即做好地質調查，針對可能產生的各項災損，設計適合的基礎型式與地盤改良，即可有效避免強震發生時土壤液化發生之可能性。

參考文獻

1. 李咸亨、彭振聲、黃金華、張凱堯 (2016),「細粒土壤液化分析對於土壤液化潛勢圖之影響」, 中華民國力學學會第四十屆全國力學會議。
2. 李崇正 (1999),「台北盆地土壤液化潛能圖之製作研究」, 國家地震工程研究中心。
3. 李崇正、熊大綱 (2001),「台北盆地土壤液化潛能圖之製作研究 (II)」, 國家地震工程研究中心報告, NCREE-01-007。
4. 汪信君 (2016),「巨災風險與社會風險管理—以地震災害與保險機制為例」, 月旦法學雜誌 (No. 258)。
5. 社論,「土壤液化不用過度擔心、建物耐震不才是嚴重隱憂」, 台灣省土木技師公會技師報 (No. 1036), 民國 105 年 10 月。
6. 林美聆、戴志君 (2003),「台北盆地土壤液化區劃研究」, 國立台灣大學土木工程學研究所。
7. 周佳宥 (2016),「臺灣災害防救法之過去、現在與未來—以 2016 年修法後之防災業務類型與災防組織為討論中心」, 月旦法學雜誌 (No.258)。
8. 紀宗吉 (2016),「液化潛能圖製作要點」, 2016 土壤液化評估方法研討會, 國家地震工程研究中心, 民國 105 年 8 月 30 日。
9. 費立沅、紀宗吉、蘇品如、吳文隆、謝文誠、許智翔、楊智堯 (2014),「臺北盆地三維防災地質資料庫建置」, 中華技術 (148)。
10. 經濟部中央地質調查所 (2016),「土壤液化問與答」。
11. 臺北市政府工務局 (2016),「臺北市土壤液化潛勢區分析評估工作報告書」。
12. 龍岡文夫、谷關潤一 (2017),「土壤液化之預測與對策」, 2017 土壤液化潛勢評析國際研討會, 民國 106 年 2 月 13 日。



從全球氣候變遷 — 談新北市減災調適策略

李清安 / 新北市政府消防局 副局長

人類快速擴張的經濟活動，造成異常氣候變遷，使得從全球到地方，人類共同面臨極端降雨、氣溫上升、都市熱島效應、空氣污染等問題。世界銀行更將台灣列為天然災害易受災地區，尤其是水旱災及地震。而新北市轄內人口近 400 萬人，面積 2,053 平方公里，88% 為山坡地，人口分佈不均（約 75% 人口，過度集中於 15% 土地），轄內又有一活動斷層（山腳斷層）發生地震災害，潛勢風險高。面對不利的自然環境及氣候變遷的衝擊，新北市政府積極規劃推動各項防救災調適策略，並結合產、官、學各界及民間組織落實執行，以因應氣候變遷所帶來的嚴峻挑戰。

減災調適策略

因應極端氣候，減災調適策略所涉機關眾多、相關法令及工項繁雜，舉凡河域整治、水土保持、坡地災害防治、防災都更、生態綠化、節能減碳、國土保育規劃、環境敏感區域計畫等，均屬減災調適策略之範疇。本文謹就新北市政府刻正針對氣候變遷衝擊，

致生天然災害方面之減災調適策略，臚列說明於后。

調查繪製災害潛勢圖資及防災避難地圖

新北市政府透過災害防救深耕計畫，配合協力團隊（台灣大學氣候天氣防災中心）已完成各區公所災害類型分析表^[1]（表 1），並針對各類型災害分別製作潛勢圖^[2]（表 2）。

表 1 新北市各區公所災害類型分析表

災害類型 地區	風災	水災	震災	海嘯	旱災	寒害	土石流	生物病原	動植物疫災	火災	爆炸	輻射	確災	空難	海難	陸上交通事故	森林火災	公用氣體與油料管線輸電路災害	毒性化學物質災害	災害潛勢統計			
	○	△	◎	△	◎	○	○	△	△	○	○	△	--	◎	◎	△	--	◎	△	高	中	低	無
八里區	○	△	◎	△	◎	○	○	△	△	○	○	△	--	◎	◎	△	--	◎	△	5	5	7	2
三芝區	○	△	◎	△	△	◎	◎	△	△	△	○	◎	--	△	○	△	--	○	△	4	4	9	2
三重區	○	◎	◎	--	○	○	--	△	△	○	◎	△	--	◎	○	○	--	◎	◎	6	6	3	4
三峽區	○	△	◎	--	◎	◎	◎	△	△	○	○	△	--	△	--	△	◎	○	○	5	5	6	3
土城區	○	△	◎	--	◎	○	○	△	△	○	○	△	--	△	--	○	--	◎	◎	4	6	5	4
中和區	○	○	◎	--	○	○	△	△	△	○	◎	△	--	△	--	○	--	◎	◎	3	7	5	4
五股區	○	△	◎	--	◎	○	◎	△	△	◎	◎	△	--	◎	--	△	--	◎	◎	8	2	5	4
平溪區	○	--	◎	--	△	○	◎	△	△	△	○	△	◎	△	--	○	◎	△	△	4	4	8	3
永和區	○	◎	◎	--	○	○	--	△	△	△	○	△	--	◎	--	○	--	○	△	3	6	5	5
石門區	○	△	◎	△	△	○	△	△	△	△	○	◎	--	△	○	△	--	△	△	2	4	11	2
石碇區	○	△	◎	--	△	◎	◎	△	△	△	○	△	--	△	--	△	◎	△	△	4	2	10	3
汐止區	○	◎	◎	--	△	○	◎	△	△	○	◎	○	--	◎	--	◎	--	◎	◎	8	4	3	4
坪林區	○	--	○	--	△	◎	◎	△	△	△	△	△	--	△	--	△	◎	△	◎	3	2	10	4
板橋區	○	○	◎	--	◎	○	--	△	△	△	◎	△	--	△	○	△	--	◎	○	5	6	4	4
林口區	○	△	◎	△	◎	◎	--	△	△	◎	○	△	--	◎	○	△	--	◎	○	6	4	6	3
金山區	○	△	◎	○	△	◎	◎	△	△	△	○	◎	--	△	○	△	--	△	△	4	4	9	2

表 1 新北市各區公所災害類型分析表 (續)

地區	災害類型	風災	水災	震災	海嘯	旱災	寒害	土石流	生物病原	動植物疫災	火災	爆炸	輻射	磁災	空難	海難	陸上交通事故	森林火災	公用體管輸電線路	氣油與管線	毒化學物質	災害潛勢統計			
																						高	中	低	無
泰山區	○	△	◎	--	◎	○	○	△	△	◎	○	△	--	◎	--	△	--	◎	◎	○	5	5	5	4	
烏來區	○	△	◎	--	△	△	◎	△	△	△	○	△	--	△	--	△	◎	◎	△	△	3	2	11	3	
貢寮區	○	△	◎	△	△	◎	△	△	△	△	○	△	--	△	○	△	◎	◎	△	△	3	4	11	1	
淡水區	○	○	◎	△	△	◎	△	△	△	△	○	○	△	--	△	◎	○	--	○	○	4	8	5	2	
深坑區	○	△	◎	--	△	○	○	△	△	○	○	△	--	△	--	△	--	○	◎	△	1	6	8	4	
新店區	◎	△	◎	--	○	○	◎	△	△	○	○	△	--	△	--	○	◎	◎	◎	○	5	6	5	3	
新莊區	○	◎	◎	--	◎	○	○	△	△	◎	◎	△	--	◎	--	○	--	◎	◎	◎	8	4	3	4	
瑞芳區	○	△	◎	△	△	△	◎	△	△	△	○	○	◎	◎	△	○	○	--	◎	△	4	6	8	1	
萬里區	○	△	◎	○	△	◎	○	△	△	△	○	◎	--	△	○	△	--	○	△	△	3	6	8	2	
樹林區	○	△	◎	--	◎	○	○	△	△	◎	○	△	--	△	--	○	--	◎	◎	◎	5	5	5	4	
雙溪區	○	△	◎	--	△	◎	○	△	△	△	△	△	--	△	--	○	◎	△	△	3	3	10	3		
蘆洲區	○	○	◎	--	◎	○	--	△	△	◎	○	△	--	◎	--	○	--	○	△	4	6	4	5		
鶯歌區	○	△	◎		◎	◎	△	△	△	○	○	△		△		○		○	○	3	6	6	4		

圖示說明：
 ◎：表示地區所具該災害潛勢較高，較可能發生災害，須特別留意。
 ○：表示地區該災害潛勢為中等，應多加注意。
 △：表示地區該災害潛勢較低，惟仍須注意災害發生之可能性。
 --：無。

表 2 新北市各區公所各類型災害潛勢圖統計表

區別	淹水災害	坡地災害	地震災害	毒化學物質災害	旱災	海嘯災害	核子事故災害	避難收容處所	歷史災害斑點圖	液化石油氣相關場所	物資輸送路線圖	弱勢安置機構分布圖	樹木搶災分布圖	廷寮里孤島潛勢圖	災害防救兵棋台	三重區航照	直升機起降及物資空投地圖	常見災害潛勢圖資	淡水區區長分布圖	總計
八里區	4	6	16	3		2	0	5	0		1	1								38
三芝區	3	8	16	4		4	4	5	0		1	1								46
三重區	17	0	18	9		0	0	3	2		1	1	1	1	1					55
三峽區	10	10	16	9		0	0	4	0		1	1								51
土城區	4	5	17	8		0	0	4	0		1	1		1	1					42
中和區	6	4	17	7		0	0	4	0	1	1	1								41
五股區	4	7	18	3		0	0	5	0	1	1	1			1					41
平溪區	0	9	16	0		0	2	3	0		1									31
永和區	10	0	17	3		0	0	3	0		1	1								35
石門區	3	4	16	0		5	5	5	0		1									39
石碇區	2	6	16	0		0	0	3	0		1									28
汐止區	7	8	16	7		0	2	4	0		1	1								46
坪林區	0	7	16	0		0	2	3	0		1				1					30
板橋區	16	0	17	10		0	0	3	0		1	2				1				50
林口區	5	1	16	3		2	0	4	0	1	1	1								34
金山區	6	6	17	2		4	5	6	0		1						1			48
泰山區	7	5	18	8		0	0	5	0		1	1								45
烏來區	0	5	16	0		0	0	3	3		1									28
貢寮區	4	3	16	0		7	2	5	0		1									38
淡水區	5	5	16	15		4	5	5	0		1	2						1		59
深坑區	4	7	16	2		0	0	4	0		1	1								35
新店區	4	17	17	9		0	0	4	1	1	1	1								55
新莊區	17	4	18	9	1	0	0	5	0		1	2								57
瑞芳區	3	14	16	7		5	3	5	0		1	1			1					56
萬里區	2	7	16	2		4	4	5	0		1	1								42
樹林區	10	6	19	6		0	0	5	0	1	1	1			1					50
雙溪區	5	8	16	0		0	2	4	0		1									36
蘆洲區	13	0	18	3		0	0	3	0		1	1	1		1					41
鶯歌區	8	3	16	7		0	0	4	0		1	1								40

災害潛勢圖

常見災害潛勢圖資的種類，包含淹水、土石流、坡地、地震、海嘯、毒化災等，可供災害未來發展可能情境的研判，詳如淹水災害潛勢圖資^[3] (圖 1)、坡地災害潛勢圖資^[3] (圖 2)。

防災避難地圖 (圖 3)

(1) 防災避難地圖的內容包含防災資訊 (如：村 (里)

長等防救災相關人員、單位、收容場所等聯絡方法)、圖示內容 (如：防災避難路線、臨時收容處所地點、災害潛勢區域等) 及圖例等三部分。另於避難地圖之背面，設計有多項簡明、具體、正確的防災教育宣導內容 (如：1991 報平安專線、防災避難包、防火與防災專業常識等)。

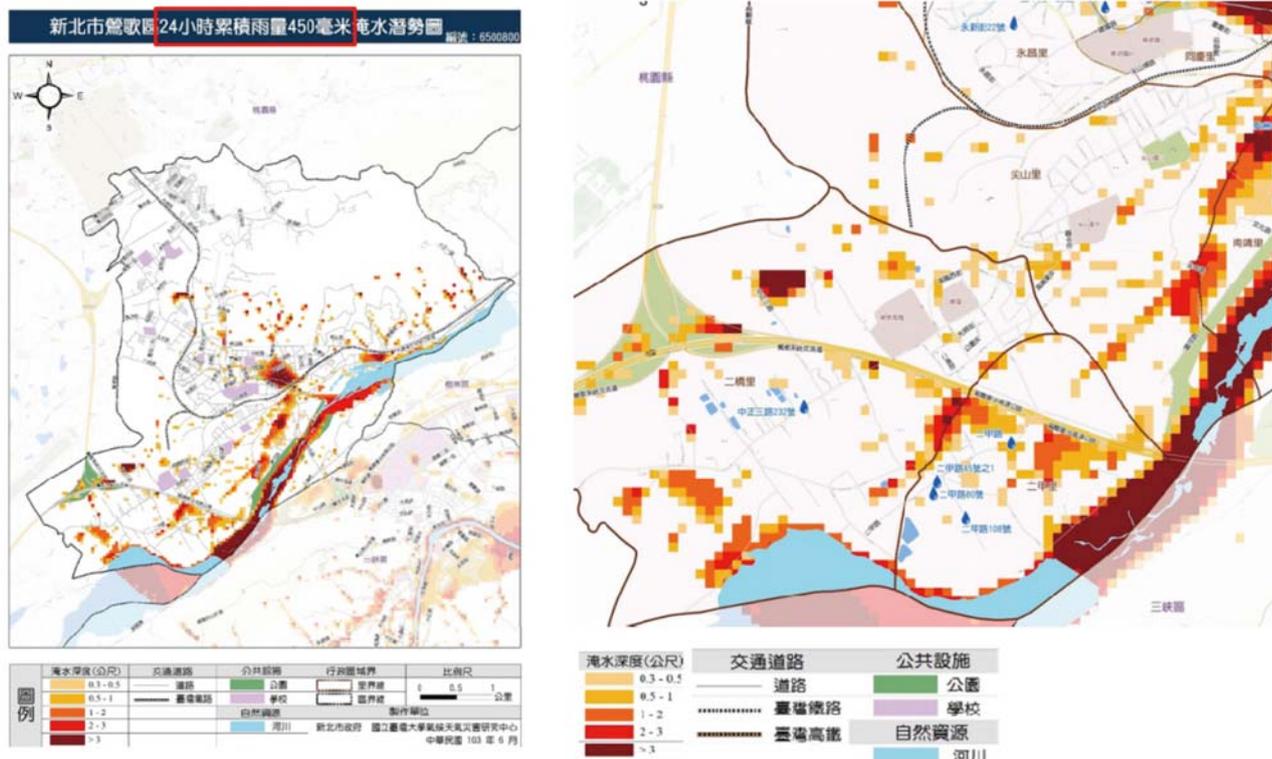


圖 1 淹水潛勢圖例 (新北市鶯歌區)

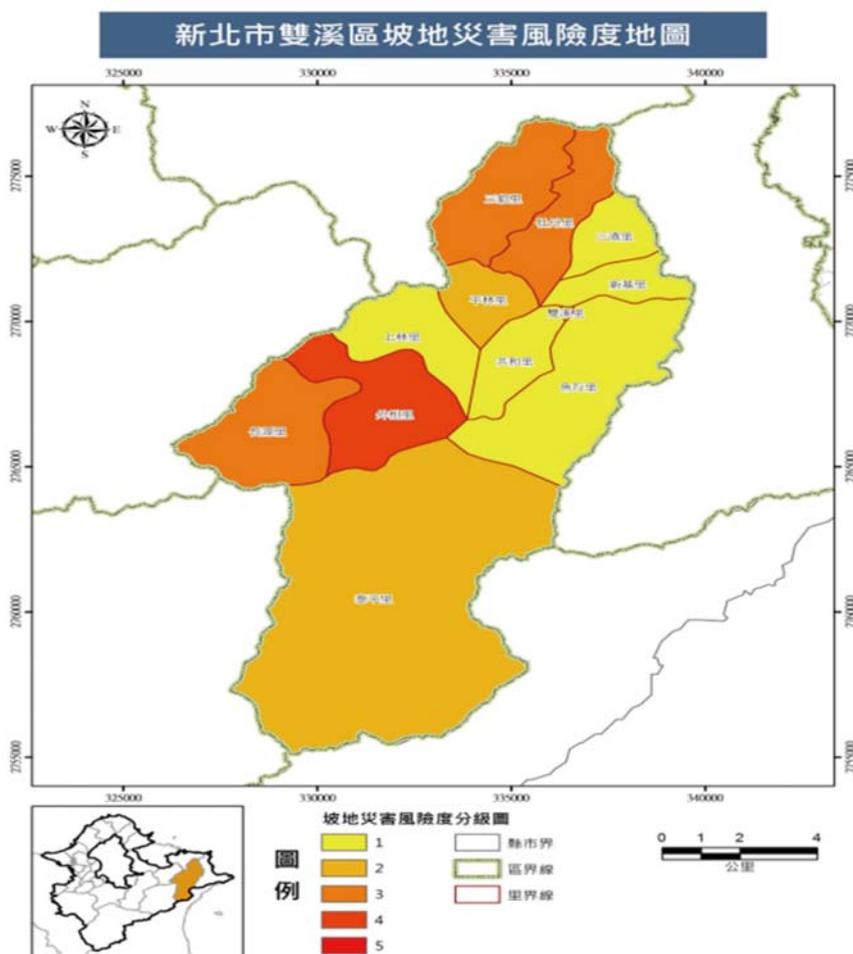


圖 2 坡地災害風險圖例 (新北市雙溪區)



防災資訊：
包含應變中心、里長、消防隊、派出所聯絡方式

避難處所資訊：
包含收容人數、地址、電話等資訊

以QR code
連結新北市
市民防災資訊服務網連結

圖 3-1 防災避難地圖（正面）

加入土石流、颱風及地震三種災害
事前防護、災中應變及小叮嚀三部分
份，提供民眾基本之防災知識，藉
以提升民眾自主防災意識。

1991報平安
專線為提供
民眾報平安
之用，讓119
報案專線能
於災時保持
暢通。

在發生災
難時能有
萬全的準備，
於居安思危中
防患未然，
以實際行動
備妥緊急
避難包！



圖 3-2 防災避難地圖（背面）

(2) 防災避地圖的內容相當簡易，並不複雜，其製作的動機，非以供防災人員使用為目的，而是藉由繪製防災避難地圖的過程，鼓勵居民參與、環境踏勘，以建立危機意識與防救災共識。防災避難地圖製作後，可供推動防災社區及辦理防災教育宣導使用。

新北市共有 29 區、1032 里，104 年共計印製 165 萬份防災避難地圖透過區公所及里辦公室，逐戶發放。另 105 年起，每年定期進行調查、修正，並公佈於防災資訊網。

建構智慧防災監測系統

- (1) 建構現代化的智慧城市是新北市政府當前的施政要務及目標，並分為智慧生活、智慧產業、智慧政府等 3 個面向進行，其中「智慧政府」項內，包含各項災害數位服務、城市空間、防災救援、安全防護等 4 項目標（圖 4）。
- (2) 另刻正規劃建置「全災型智慧化指揮監控平台」，整合河川水位、土石流警戒、CCTV 影像及雨量等資料，以提升河域與區內淹水監測、工務局坡地社區崩塌預警、農業局地滑監測，以及土石流災害預警等功能（圖 5）。

強化各區公所防救災能力

- (1) 我國災害防救組織體系採 3 級制，即中央政府（如：行政院、部會）、直轄市縣（市）政府、鄉

（鎮、市、區），詳如圖 6。依災害防救法及地方制度法規定，地方政府為災害防救工作的執行機關，其中鄉（鎮、市、區）公所為第一線防救災單位，惟因人力、經費等方面的負面影響，鄉（鎮、市、區）防救災專業能力，長期以來多屬弱勢，為提升其防救災專業技能，內政部自 99 年起，即規劃推動災害防救深耕中程計畫，重點工作包含健全防災體系並完善防救災資源、掌握災害潛勢資訊及推動防災教育、強化災害應變能力等。

- (2) 新北市執行 2 期災害防救深耕中程計畫，每期 3 年，共計 6 年，其執行績效詳如圖 7。

提升災害情資研判預警預報準確度

災害情資研判準確度之高低，攸關指揮決策之成敗。為提升天氣風雨預判之準確度，新北市委由天氣風

險公司氣象分析師，平時提供各區天氣狀況，災時進駐災害應變中心研判風雨，並結合台灣大學防災中心建置之災害潛勢圖資，預判災害潛勢區域，以作為指揮官決策輔助之參考。天氣風險公司氣象團隊結合台灣大學氣候天氣災害研究中心協助新北市應變中心災害預警之運作架構圖，詳如圖 8。

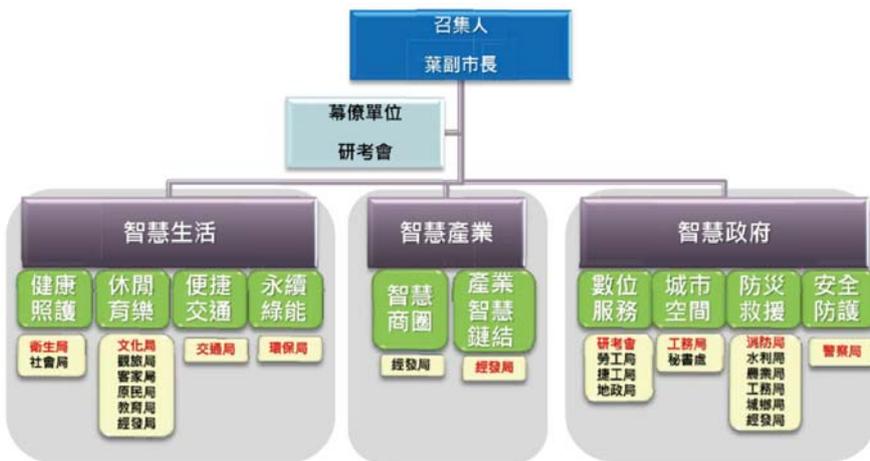


圖 4 新北市智慧城市建構圖

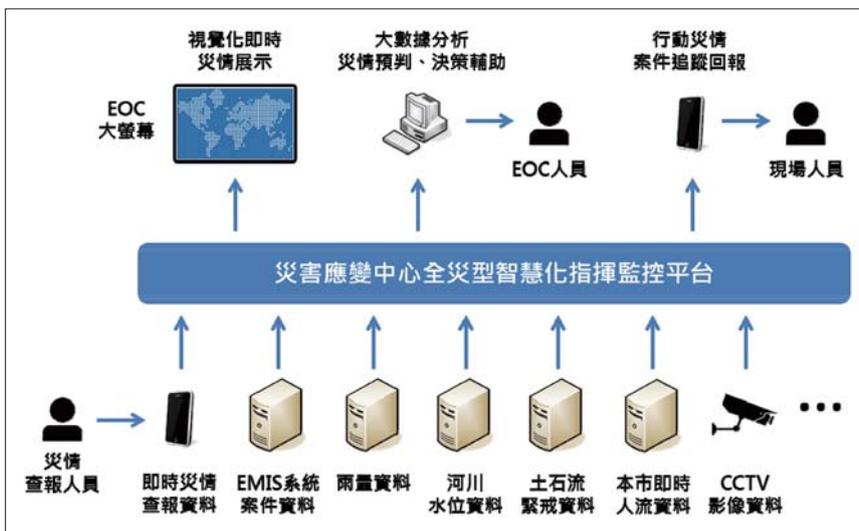


圖 5 新北市災害應變中心全災型智慧化指揮監控平台

建置防救災資料資源庫

- (1) 為整合中央及地方政府救災資源，強化災害應變效率，中央各災害防救業務主管機關，依災害防救法規定應各本權責，針對主管之災害類別，分別建置防救災資料資源庫，以利中央及地方各機關即時之查詢及指揮調度。其中內政部業已針對風災、地震、火災、爆炸，完成資源庫之建置，其主分類分為 6 項，包括人員、救災物資、車船資料、一般災害

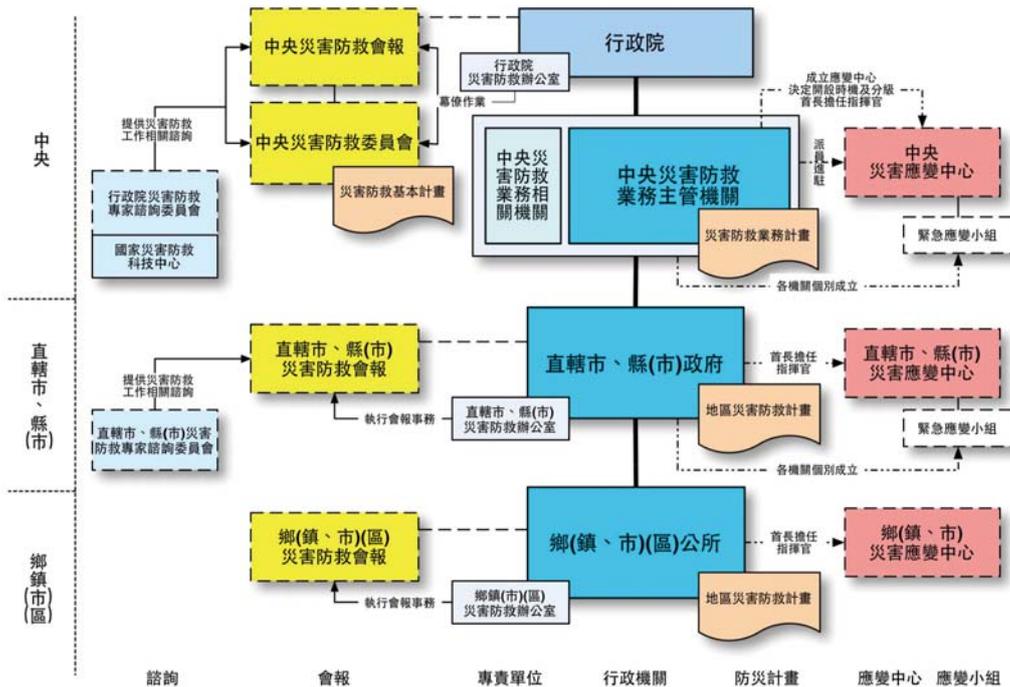


圖 6 我國災害防救組織體系圖^[4]



圖 7 新北市推動災害防救深耕計畫執行績效 (103-105 年度)

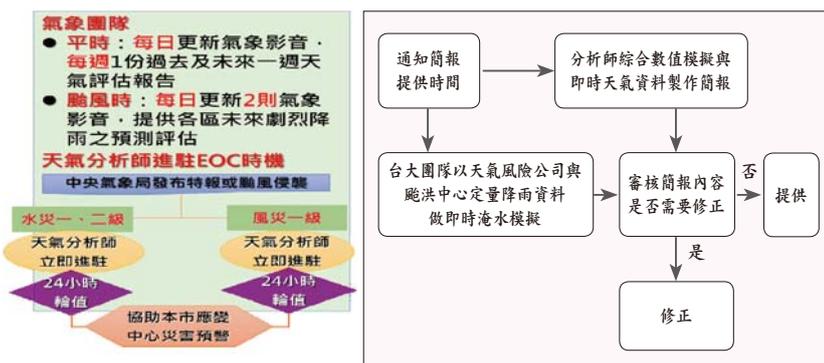


圖 8 新北市應變中心災害情資研判架構圖

搶救裝備器材、化學災害搶救裝備器材、特殊救災機械等，次分類有 34 項，細分類 288 項^[5]。防救災資源庫入口網站圖例，詳如圖 9。

(2) 由於新北市府各區幅員遼闊，資源種類眾多，且人員異動頻繁，資料庫之建置未盡完善，為強化其防救災資料資源庫之建置與維護運作，本府刻正積極督導各區公所詳實填報轄管救災資源（含：區公所本身資源、局處部署資源及開口合約資源），並加強稽催及列管追蹤，以落實防救災資源庫之管理。

整合推動防災社區

(1) 防災社區之推動，可協助民眾瞭解居住環境危險潛勢，加強自主防災技能，然因推動防災社區耗費人力、過程費時，補助經費亦不高，各社區參與意



圖 9 防救災資源庫入口網站圖

願原本不高，復因各機關推動計畫內容標準不一，整合更是不易（圖 10）。

- (2) 為整合本府各局推動社區防災工作，並避免資源重複投入，新北市府自 104 年起，即由災害防救辦公室邀集水利局、工務局、農業局、教育局及警察局，建立整合平台（圖 11），共同推動防災社區。

結合校園與社區

- (1) 推動社區防災必須運用學校資源（如：教職員生人力、臨時收容場所等）。然由於校園學生多係來自鄰近社區，故談校園防災，自無法脫離社區，校園



圖 10 防災社區推動不易原因分析圖^[6]



圖 11 防災社區整合平台架構圖

與社區彼此應相輔相成，即防災社區走入校園，校園防災結合社區，增加觸及對象，並由點、線、面逐步擴展，以臻達全民防災之目標。

- (2) 新北市府自 105 年起，整合推動防災社區時，即要求獲遴選社區內之學校應主動參與，以期將防災教育推及社區，並依據環境、人文分析防災需求，共同辦理聯合培訓及演練，將防災工作從社區延伸至校園。新北市推動防災社區與校園合作模式^[6]，詳如圖 12。

建置及管理防災公園暨戶外避難處所

由於新北市轄內有一活動斷層（山腳斷層），另鑑於地震發生後，往往會造成大規模的建築物倒塌，需要收容安置的災民眾多。基此，新北市於 101-106 年期間，於各區公所轄內完成建置防災公園，以達到區區防災公園之目的。有關新北市各區防災公園之建置期程及規劃，詳如圖 13。

另外對於完成建置之防災公園，新北市府亦訂有平時管理及災時開設作業規定，督導各區公所每年定期辦理防災公園開設演練，以發揮設置防災公園之預期功能。

製作防災手冊，落實全民防災教育

新北市府消防局於 105 年完成編製「防災手冊」，分為 9 篇，其內容包含各種防火、防災、防溺、防 CO、災害搶救與緊急救護等。另配合製作各式宣傳單、海報、宣導短片，透過校園防災週及藉由捷運車箱、電影院、電視牆、網路等，進行校園及民眾防災教育宣導。



圖 12 新北市推動防災社區與校園合作模式

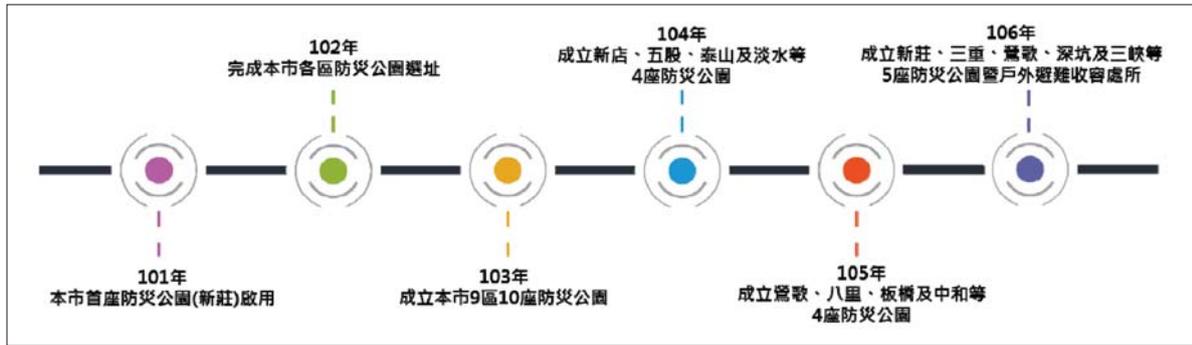


圖 13 新北市各區公所防災公園之建置期程及規劃

結語

全球氣候變遷已是進行式，它的影響是全球性的，其所引發的災害，以及對於社會、經濟等方面的衝擊，更是前所未見，各國未來也都會面臨到不同程度的衝擊危害。至於環境複雜、人口活動密集的新北市，其所面臨的挑戰，更是多樣且多變的。因此，如何因應變遷，做好調適，減緩影響，使得新北市成為一個安居、安全、安心的三安城市，同時也是一個適性、適宜的永續城市，是新北市府團隊共同積極努力的目標。

參考文獻

1. 新北市政府，「105 年新北市府災害防救深耕第 2 期計畫期末成果報告書」，2016.12，pp. 2-27。
2. 新北市政府，「105 年新北市府災害防救深耕第 2 期計畫期末成果報告書」，2016.12，pp. 3-44。
3. 新北市政府，「100 年度建置新北市災害潛勢圖資計畫成果報告」，2012.7，環興科技股份有限公司。
4. 「中央災害防救會報」(105.4.19 更新)。http://www.cdprc.ey.gov.tw/
5. 「風災震災火災爆炸災害防救災資源資料庫管理規定」(103.10.22 修正)。
6. 新北市政府，「深耕鄰里，自主防災」，105 年新北市府消防局市政會議報告，2016.8。

夢想和幸福 零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，
戮力建設出每一項希望的工程。

Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI  **台灣世曦**
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568
http://www.ceci.com.tw E-mail:pr@ceci.com.tw



橋梁生命週期 防災管理系統 建置技術 研發現況與探討

宋裕祺／國立台北科技大學土木工程系 教授、國家地震工程研究中心 組長

陳俊仲／國家地震工程研究中心 副研究員

許家銓／國家地震工程研究中心 助理研究員

周光武／國家地震工程研究中心 副研究員

洪曉慧／國家地震工程研究中心 研究員

張國鎮／國立台灣大學土木工程系 教授

前言

橋梁連結各公路與鐵路等交通運輸網路，確保橋梁結構安全使其長期具備正常服務使用功能，對於社會經濟活動相當重要，尤其在政府透過推動經濟建設的同時，持續提升大眾生活品質更應保障人民生命財產安全，讓各項公共工程維持使用性與服務安全。本文闡述橋梁生命週期防災管理系統建置技術研發現況並探討持續性的研究課題，訂定研發目標為整合橋梁結構生命週期各階段所需技術，以建構有效且完整之橋梁防災安全管理服務平台。依據交通部統計資料，我國橋梁目前約 2 萬餘座，分別由鐵路局、高公局、公路局、觀光局、營建署及各縣市政府負責管理，為整合各機關橋梁資料，並利各層級進行整體性之橋梁管理、預算分配及災害防救等業務，交通部運輸研究所於民國 88 年開發臺灣地區橋梁管理系統 (Taiwan Bridge Management System, 下稱 TBMS)，並於民國 89 年建置完成，開放全國各橋梁管理機關使用。目前 TBMS 係以 DERU 做為檢測與評估的基礎，此方法將橋梁結構劣化的情形，依「嚴重程度 (Degree)」、「範圍 (Extend)」、「對橋梁結構安全性與服務性之影響 (Relevancy)」及「維修急迫性 (Urgency)」，等四個部份加以評估，其優點是作業方式簡單，但由於不同檢測人員之判斷結果可能產生較大差異，必須仰賴更客觀且較具一致性的標準或作業

規範協助^[1]。規劃、設計、施工、維護與拆除為橋梁生命週期五個階段，其中維護營運階段為期最長，尤其對於台灣橋梁而言，因地理位置屬於發生地震、風災與水災等多種天然災害頻繁的地區，橋梁服務期間受到諸多因素影響和威脅，對於橋梁防災的管理更為重要。近幾年，如何強化防災管理已成為橋梁管理單位相當重視的課題之一，目的在延長橋梁使用年限並有效發揮橋梁服務功能，減少橋梁結構受天然災害和老劣化因素影響損壞造成生命財產損失意外。以生命週期之觀點，應用新思維與新技術導入橋梁評估檢測與管理工作，已深受各先進國家的重視，均積極投入相關研究與開發資源，在此趨勢下，鑑於台灣橋梁已逐漸邁入高齡化，對於各橋梁構件結構服務能力隨時間之變化，更應加強研究瞭解與掌握。本研發目的在建置一套符合實務現況使用的橋梁生命週期防災管理系統，市場目標為輔助國內橋梁管理及維護相關單位，使其瞭解橋梁構件劣化趨勢，包括耐久能力、耐震能力與耐洪能力等因素，同時對於構件劣化改善提供有效的因應對策、管理建議與具體執行做法。

由於橋梁存在許多不同的型式和類別，如何有效進行橋梁管理業務持續面臨許多困難和挑戰，藉由 TBMS 內部資料庫儲存橋梁資訊，可協助各橋梁管理機關具有掌握橋梁基本狀況之工具，滿足橋梁管理工作最基本要

求，也具體開啟了台灣橋梁管理業務，但針對不同橋梁管理單位和特殊橋梁型式等，仍需力求客製化以及適用性。此外隨著區域經濟發展交通路網開發，相應於各式天然災害頻率與規模有擴大之趨勢，相關工程研究學理亦與日俱進，新橋和舊橋基於不同興建年代，因此採用的設計規範並不同，對於設計標準亦有不同，加上跨河橋梁水害問題，目前對橋梁長期冲刷現象仍缺乏真正有效具體之因應措施。而在執行防災作業上，必要時必須封閉橋梁通行，以避免用路人受到可能之橋梁災害，但直接影響了交通便利性，如何藉由發展可靠防災管理方法與制度，並進行適當且即時的應變作業處理，已是非常重要的且必須面對解決的議題。橋梁維護管理預算礙於政府財政同樣面臨許多困窘的情況，僅以有限之預算進行橋梁養護維修作業，如何將資源最大化，亦是橋梁安全與養護工作相當大的挑戰。

本研究長期重點為改進橋梁耐震評估與補強技術、研發橋梁新工法與新技術、提昇橋梁耐震技術，增進既有橋梁與新建橋梁之耐震性能與壽命，達到橋梁結構永續發展之目標。本文針對團隊在橋梁生命週期防災管理系統建置研發現況進行說明，包括系統架構和系統各分工模組，同時探討相關應用規劃和技術發展方向，配合整體研發目標之方向，未來將持續針對橋梁結構因應震前準備、震時應變、震後復建之需求，強化耐震減災工法之研發與應用，發展震災模擬與風險評估、監測預警與快速診斷、災害應變與災後復原等技術，且因應複合型災害，從單一災害防治走向多重災害研究。藉由相關技術規劃與研發現況說明，期待有機會將研發技術成果效益擴大，長期將整合橋梁結構生命週期各階段所需技術，建構務實有效之橋梁防災安全管理服務平台，優先輔助國內各橋梁管理養護單位，提昇橋梁防災管理效益。

研發架構^[15]

本研究以建置橋梁生命週期防災管理系統為目標，最主要的特色是融入橋梁全生命週期的管理概念，建立一套具創新的橋梁防災安全管理與評估機制。研發系統暫以 NCREE-BMS 命名，遵循交通部頒之最新橋梁檢測與補強規範內容，提供更完整的橋梁評估項目，以記錄完整的檢測資料為主，減少檢測人員主觀的評分方

式，提高橋梁實際損壞狀況資訊之完整度，讓專家能精準地協助橋管人員進行判斷。除此之外，由於台灣地處多天然災害發生之地區，其中震災與洪災直接造成橋梁的為害甚劇，環境等因素造成橋梁構件老舊劣化的情形，亦是重要的危害因素之一，所以針對耐洪、耐震、劣化老舊等評估方式加以擴充，提供橋梁管理人員更加完整的橋梁評估結果。一般橋梁管理主要以公路橋梁為主，所以資料項目大部份配合公路橋梁之結構型式進行資料管理，其檢測與評估亦是以此類型為主，所以若要將此檢測與評估系統應用在不同應用類型的橋梁或不同結構類型的橋梁時，則常有不適用之情形。為能使橋梁管理系統更具彈性，本研究將建立一個較為彈性擴充的方式，可以針對特殊應用類型或結構類型的橋梁進行擴充，除了建立基本資料之外，其相關的檢測與評估項目亦可以對應擴充，以更符合橋梁管理應用之需求。

目前各橋梁管理單位使用 TBMS 時，仍以橋梁基本資料查詢，以及針對橋梁檢測維修紀錄進行資訊管理與統計分析功能為主，因此相關研究單位均戮力於強化橋梁管理系統對耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之掌握。有鑑於此，本研究規劃整合橋梁結構、管理、資訊等各領域學者與專家，並結合理論和實務經驗，強化與落實橋梁管理系統對橋梁耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之評估技術，因此研提系統規劃做為後續持續應用研究發展之基礎。系統研發分工上可區分針對長期性的檢測維護作業及老劣化資訊紀錄和評估功能，短期性則是針對橋梁工址地震事件和洪水事件進行災害警示功能，本研究透過應用思維，為簡化並修訂橋梁現場檢測項目架構，故對於橋梁檢測作業項目與評估工作架構，對檢測者與評估者之角色進行明確的分工，將檢測與評估進行系統性區隔與邏輯的分工，提高執行上的可行性，並具技術創新性。

系統特色

NCREE-BMS 包含之橋梁檢測資料庫，其目的不僅在於更新與突破現有橋梁管理系統之管理機制，更希望結合資訊技術能讓橋梁管理更為便利與有效，以達到落實橋梁安全管理之目的。考量長期研究與後續應用規劃需要，建置之系統具備以下特色^[2,3]：

1. 系統模組化擴充設計：為避免系統封閉不易擴充之問題，藉由資訊技術應用，提高系統擴充與應用之

靈活度，以達到應用單位對於耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化評估模組可以彈性擴充之目的，並考量橋梁管理系統未來雲端佈署之可能性，提供資訊匯流之程式介面，可以供其他應用系統存取資料，進一步協助使用者進行分析與管理之應用。基於此特色，系統建置結合了地震與洪水災害離災模組，當地震或洪水發生時，可即時於系統提供必要之資訊提供離災警示及先期應變作業評估功能。

2. 行動資訊連結技術整合：行動裝置已普及，研發系統時均持續考量如何應用行動技術於橋梁檢測工作，以達到便利檢測資料建立之目的，現階段已初步完成平板系統行動化表單模式介面，持續配合資訊科技技術開發，未來有機會將進一步結合無人載具或遠距非接觸式橋梁檢測輔助工具等新式行動化硬體設備。
3. 空間資訊擴充技術整合：完整的空間資訊亦是橋梁安全管理重要的一環，包含二維甚至三維之構件模型，均是強化橋梁安全評估的重要資訊，系統已考量相關資訊的管理方式與擴充介面，以利後續擴充應用。
4. 規範檢測項目及劣化樣態資料庫整合：考量橋梁檢測成果應符合交通部頒規，故於研發階段即參照交通部 104 年「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」及 97 年「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」所規定橋梁檢測作業需完成之檢測項目，將各檢測項目、表格參數及相關子表和圖說，建置於研發之系統資料庫，除方便電子化表單建置外，亦簡化橋梁檢測作業人員於現場查閱紙本資料之作業時間，並確保經由 NCREE-BMS 檢測模組完成之檢測報表能完整符合規範要求。

基本架構

NCREE-BMS 依據不同的管理與應用方式，區分為網路層級、專案層級與構件層級。構件層級是其它層級應用的基礎，屬

於橋梁管理系統的基礎功能，包含橋梁構件管理與圖形管理。系統研發階段，經訪談部分第一線橋梁檢測工程師，通常進行現地作業時，檢測人員通常習慣於紙本及平立示意圖說，直接標記橋梁損壞狀況，此記錄與評估方式未來規劃結合行動裝置或具輔助性的硬體工具，藉由構件模型顯示技術，除將目視檢測資料直接建檔之外，亦可以構件模型整合，將更有利於專家對於損壞狀況的判讀。而在系統規劃方面，使用關聯式資料庫一直是實現橋梁構件管理的主要方式，除了橋梁構件化的屬性資料之外，時間序列管理亦是重要的一環，欠缺時間序列管理，就不易反應出構件損壞及維修歷史狀況及計算構件的維護成本。除構件資料模型之資料庫建構外，研發的系統朝向服務導向架構設計，在資料層面提供完整網路服務應用程式介面，建構成 NCREE-BMS 資料匯流的整合概念（參考圖 1 所示）。透過 NCREE-BMS 資料匯流提供之服務程式介面，NCREE-BMS 主系統可與耐震能力評估模組、耐洪能力評估模組、載重能力評估模組、老舊劣化評估模組等應用系統整合，透過此服務整合方式，系統與其他擴充功能系統的設計將更有彈性，可以使用系統擴充的方式建置在一起，也可個別建置，保有個別系統可以獨立維護之彈性，減少日後可能需大幅調整系統架構之成本。和多數橋梁管理系統類似，NCREE-BMS 依功能區分研發架構規劃多個不同模組，包括橋梁基本資料、檢測紀錄、專家系統、離災警示、維護管理、成本效益、系統設定及資料交換等模組，目前部分模組已進入現地作業試辦階段，協助橋梁

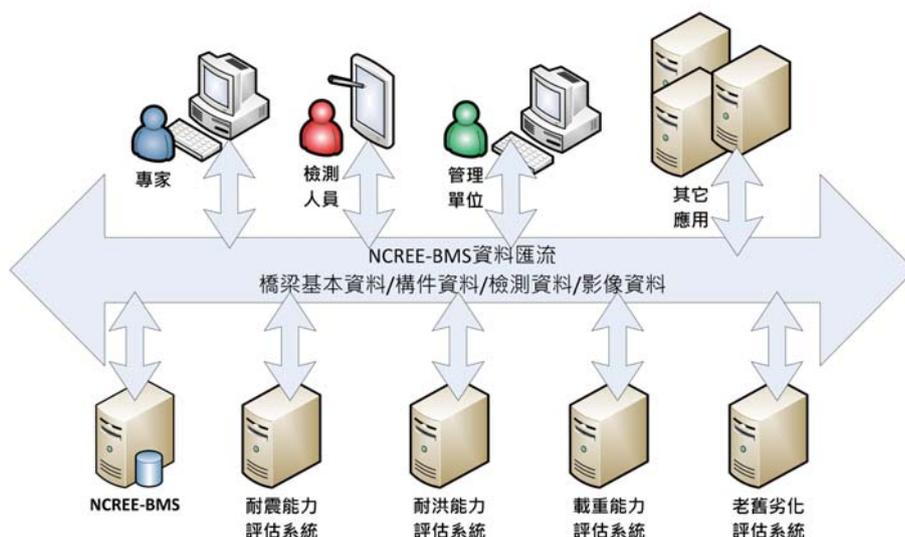


圖 1 NCREE-BMS 資料匯流概念

檢測工程師於現場以高效率模式詳實紀錄檢測成果，並可藉由系統客製化服務，輔助相關橋梁管理單位進行防災管理業務，系統模組研發現況於後節進行說明。

系統模組研發現況

橋梁檢測紀錄模組

一般而言，橋梁檢測人員在現地可透過手動編輯和量測輔助工具，如結構裂縫影像識別模組，詳實標記構件劣化樣態，並拍攝照片以標記檢測之構件，方便後續進行評估與瀏覽。NCREE-BMS 系統研發架構特色之一，即嘗試建立專業之分工作業模式（參考圖 2 示意），由橋梁檢測團隊依循部頒規範及管養單位制定之作業手冊，完成符合評估需求之橋梁檢測紀錄，並將檢測紀錄上傳至後端管理系統資料庫後，再由系統協助完

成檢測成果評估自動化報表，可節省橋梁檢測作業人員在現地進行評估所需之時間，降低現場作業風險，並透過後端標準化之評估資料庫以及專家決策系統，提高檢測成果之客觀性。

檢測模組之主要目的，為輔助橋梁檢測工程師於現場以高效率模式詳實紀錄檢測成果，其檢測相片張數及系統處理工序以通用為原則，力求以短時間及高效可靠的方式完成檢測成果檢視及報表紀錄，使檢測成果得以詳實完整的紀錄，NCREE-BMS 系統之檢測模組資料處理程序流程如圖 3。由專業檢測技術人員，參照橋梁結構構件圖說編號及方位定義，以目視方式於現場進行構件劣化標記，現場需以拍照方式記錄結構劣化樣態，取得分批對應不同構件及位置資訊之劣化樣態與其它紀錄照片後，即上傳至 NCREE-BMS 檢測模組資料庫或暫



圖 2 檢測與評估專業分工作業模式（本研究研提）



圖 3 應用 NCREE-BMS 檢測模組之資料處理程序

存於輔助工具資料儲存空間，接續由專業評估研究人員上線或取得儲存資料，進行各構件劣化樣態評估填列，由於 NCREE-BMS 檢測模組內建資料庫，係以交通部最新頒之公路橋梁結構檢測與補強規範為資料架構，因此也確保填列完成之檢測紀錄，均能完整符合規範精神與其定義之檢測項次描述和分級，完成填列後 NCREE-BMS 可自動化產生檢測報告項次報表，並由各構件檢測紀錄報表，可具體且清楚掌握經目視檢測作業，所紀錄的各構件位置、劣化樣態、程度及備註資訊，對後續檢測成果評估工作有非常大的幫助。

橋梁耐震評估模組

為符合 NCREE-BMS 初期研究應用需求，本研究主要參考以新北市為應用例發展的一套區域型的地震災害損失推估系統 (NTPC Earthquake Disaster Assessment System, NTPC-EDAS)，連結並持續擴充構成橋梁耐震評估模組。同時考量國家地震工程研究中心所發展的台灣地震損失評估系統 (Taiwan Earthquake Loss Estimation System, TELES)，已建立台灣本土化的分析模式及參數值，使得在地震災害的潛勢分析，及評估工程結構物的害狀況機率時，能更精確的得到其分析模式及參數值。目前已經可推估模擬在地震作用下的地表振動強度、土壤液化機率與永久位移值、一般建築物與公路橋梁的損害狀況機率和數量、人員傷亡程度和數值、一般建築物

與公路橋梁的直接經濟損失等。TELES 大致可分為地震災害潛勢分析、工程結構物損害評估、地震引致二次災害評估和社會經濟損失評估等四部分或四個主要模組。每一模組依評估的對象和內容的差異，又可細分為若干個次模組。其中在工程結構物損害評估的模組中，即包含橋梁損害狀況之分析，TELES 在橋梁耐震評估方面是採用橋梁易損性曲線，推估橋梁損壞之機率。TELES 之研究與發展著重在實用為導向，主要目的之一是提供標準且一致的地震災害損失評估方法，提供震災境況模擬、震災早期評估及地震風險評估這三個主要的應用方向，TELES 軟體除以單機作業模式運作之外，亦可以由「台灣地震損失模擬資訊網 (TSSD)」檢索地震模擬及災損推估之成果，或由「地震災情資訊上傳系統 (EDIUS)」瞭解震後各地方災情模擬與災情回報。耐震能力評估資訊連結模組即在整合上述地震災損推估的成果，並以橋梁主要內容，透過資料連結介面，接收由推估系統所推估之橋梁災損結果。

NTPC-EDAS 和 TELES 的災損推估架構並不相同，NTPC-EDAS 採用 Campbell's form 的衰減率公式推估 PGA 值，並以 500 m 為單位，將新北市區分為 8,000 多個網格，逐一進行建築物與橋梁等重要結構物的災損推估，其分析流程可參考圖 4 所示。在橋梁災害損失之推估方面，NTPC-EDAS 亦是採用橋梁易損性曲線之概念，推估橋梁損壞之機率。TELES 與 NTPC-EDAS 雖

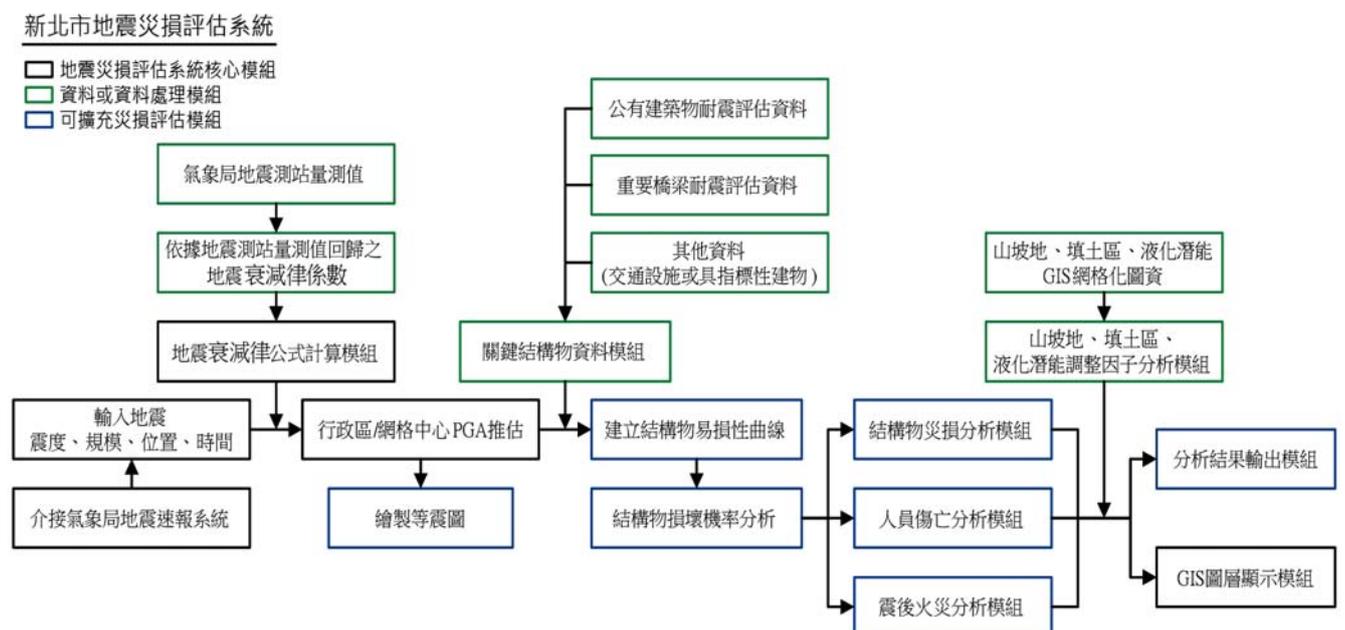


圖 4 NCREE-BMS 應用 NTPC-EDAS 之耐震評估分析流程

然均採用易損性曲線進行橋梁損壞機率之推估，但由於模擬地震之學理並不相同，其推估結果均可以應用於 NCREE-BMS 中，提供橋管人員比較參考。所以在橋梁耐震評估應用方面，NCREE-BMS 將採用開放式架構，設計資料傳遞介面，提供 TELES 或 NTPC-EDAS 之類的地震災損評估系統，透過此資料傳遞介面與 NCREE-BMS 連結，協助分析列管於 NCREE-BMS 中所有橋梁的損壞機率，並透過資訊儀表板的呈現方式，協助橋管人員可以於震前或震後，進行橋梁維護決策之參考。此外，NCREE-BMS 亦將整合中央氣象局的地震速報資料，於震後提供各地區的 PGA 及震度之結果，透過警戒值之設定，提醒橋管人員可以針對較有安全疑慮之地區，加派人力進行震後之橋檢工作。

橋梁耐洪評估模組

台灣夏天颱風發生的機率頻繁，其所帶來的大量豪雨往往造成河川水位暴漲，或是河道沖刷，對橋梁所造成的損壞，有時比地震更為嚴重。台灣颱風洪水研究中心 (Taiwan Typhoon and Flood Research Institute, TTFRI) 致力於颱風與洪水相關的研究，發展出定量降雨預報、水文模擬等等，對於橋梁的安全管理非常重要。應用 TTFRI 已建立台灣集水區降雨量預測，以及重要河流的沖刷評估與水位變化預測等資訊，NCREE-BMS 將擴充資料連結介面，將 NCREE-BMS 系統與洪水水位預報、集水區降雨量預報自動化連結，能定時取得這些預測的水位資訊，並可與橋梁管理系統中的橋梁基本資料與警戒資料連結，當預測水位已達橋梁設定的警戒值或行動值時，除了結合資訊儀表板顯示之外，亦可以支援透過手機簡訊等方式，提醒橋梁管理單位之作業人員作緊急應變之應用。除了結合洪水水位預測之外，若要更進一步瞭解與掌握洪水沖刷造成局部沖刷深度影響，可以 Melville and Coleman 計算方法及 CSU (Colorado State University) 計算方法，去計算當洪水沖刷時，對橋墩所造成的局部沖刷深度影響，進而了解基礎裸露的情況，並且由計算分析結果，判讀橋梁的安全性，適時予以維護。

政府橋梁管理相關單位對於基礎裸露嚴重的橋梁積極地進行橋梁檢測及維修補強的工作，但由於人力及經費等資源均有限，需妥善運用現有的有限資源，以使橋

梁進行維護工作效益達到最高，因此本模組所提供的洪水水位預測資訊除了提供汛期警戒判斷之外，亦可以評估基礎沖刷裸露的程度的損壞程度，以利在進行橋梁耐洪補強優選排序，透過優選排序的評估結果，清楚地了解到橋梁的嚴重損壞程度，便於對基礎裸露嚴重的橋梁先進行維護及修補。目前 TTFRI 每日共提供四次（每六小時發送一次）未來三天橋梁河水位的高程預測及河水水位所造成之沖刷深度。資訊應用的方式是由橋管單位視橋梁之重要性，設定水位高程或是沖刷深度之警戒行動值，並藉由系統定期接收資料的過程中，進行所有橋梁警戒判斷，若達行動值時，可以透過系統郵件或是簡訊進行通知，協助橋管單位即早進行準備，以減少災害發生之機率。

鋼筋混凝土橋梁老劣化評估模組

由於台灣四周環海，屬於亞熱帶海島型氣候，夏季多雨，長年受海風影響，而橋梁為台灣地區用來連接河流兩岸之重要交通工程設施。一般而言，鋼筋混凝土結構物經由適當的規劃、設計、施工及確保混凝土保護層品質，即便處於惡劣環境條件下，鋼筋將能有效地被混凝土保護而免於腐蝕。近幾年來，國內外鋼筋混凝土構造物受到環境因素侵蝕，發生構件劣化甚至破壞之事件頻傳。國外方面，如美國普遍發現橋梁之橋面版劣化問題、歐洲發現沿海之結構物亦有嚴重之鋼筋腐蝕問題；國內方面，如廣為人知的海砂屋及澎湖跨海大橋，由於氯離子侵入混凝土內部引起混凝土開裂及保護層剝離的交互作用，導致鋼筋發生嚴重腐蝕等。事實上，這些構造物大多未達其設計使用年限前即需進行維修或補強，不但浪費社會的資源，也造成民眾使用上的不便。

混凝土劣化現象大致上包含中性化、鹽害、鹼質與粒料反應、凍害等現象，由於台灣地狹人稠，近幾十年工廠林立，隨著垃圾處理之問題衍生，垃圾焚化爐變得隨處可見，因此易發生具侵蝕因子之酸雨；且在部分人口密集區，汽機車排放超量的二氧化碳，更易使混凝土中性化加速及具有侵蝕因子侵入混凝土內部，進而與混凝土內部所提供鋼筋鈍性保護膜隨之減弱，發生鋼筋腐蝕、保護層脹裂等負面影響，進一步降低結構的安全性及使用機能。作者等人於先前之研究以混凝土中性化及鹽害為研究主軸，探討混凝土劣化模式對鋼筋混凝土橋

梁之時變衰退特性。在中性化方面，以既有鋼筋混凝土橋梁之中性化深度實測值建立以網格為基準之混凝土中性化深度預估模型；並且參考蘇進國（2008）及王傳輝（2005）之研究成果，探討中性化過程導致鋼筋混凝土橋梁內部鋼筋腐蝕，建立中性化混凝土鋼筋銹蝕模型，觀察中性化混凝土內部鋼筋銹蝕之時變特性。而在鹽害方面，則依據大氣腐蝕劣化因子年報試驗結果，以非線性回歸方法求得鋼筋混凝土橋梁於不同位置之飛來鹽量預測值；並參酌邱建國研究團隊之研究成果（莊育泰，2012；蕭輔沛等人，2012），建立鹽害對鋼筋混凝土橋梁之鋼筋腐蝕預測模型，觀察鋼筋腐蝕之時變特性。透過鋼筋混凝土橋梁之中性化深度及氯離子含量之驗證，並以結構生命週期為延伸，為鋼筋混凝土橋梁受中性化及鹽害之劣化過程建立其所需之耐震能力維修與補強費用分析。為了瞭解台灣各地環境對混凝土橋梁鋼筋腐蝕之影響，作者等人將劣化橋梁分析模式以網格化台灣地區劣化環境資料為基準，建立台灣鋼筋混凝土橋梁鋼筋腐蝕危害度地圖。橋梁鋼筋腐蝕危害度地圖之建立係以鋼筋混凝土橋梁強度衰減特性為依據，而橋梁強度之衰減主要係起因於鋼筋混凝土有效斷面積減少，本研究依據表 1 之模型參數，在鋼筋重量損失率為 5% 及 35% 的情況下，對台灣地區各網格進行鋼筋混凝土橋梁鋼筋有效斷面積損失率進行分析 [4,5,8,12]。

表 1 分析模型資訊

混凝土抗壓強度 (kgf/cm ²)	鋼筋降伏強度 (kgf/cm ²)	箍筋降伏強度 (kgf/cm ²)	鋼筋 號數	鋼筋 支數
350	4200	2800	#10	46
保護層厚度 (mm)	水灰比	氯離子起始濃度 (kg/m ³)	箍筋 號數	
50	0.55	0.3	#5	

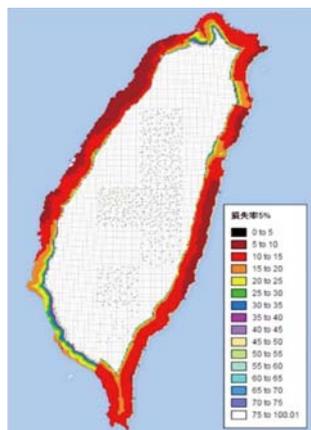


圖 5 鋼筋斷面積損失率 5% (鹽害)

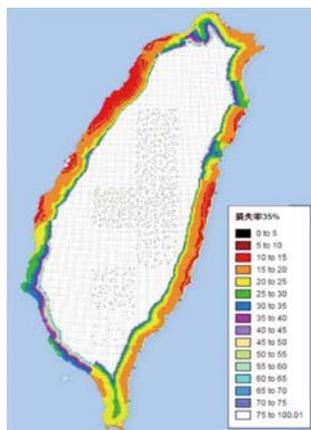


圖 6 鋼筋斷面積損失率 35% (鹽害)

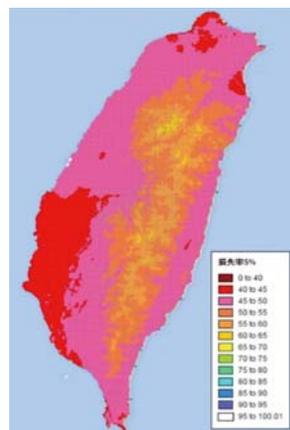


圖 7 鋼筋斷面積損失率 5% (中性化)

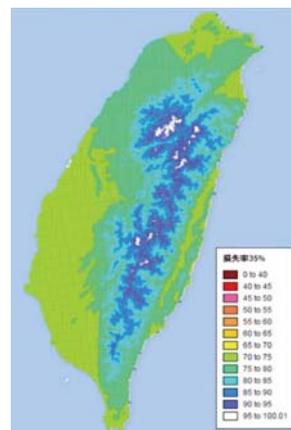


圖 8 鋼筋斷面積損失率 35% (中性化)

由圖 5 至圖 6 觀察出在中部沿海、新竹一帶及花蓮縣受到鹽害影響最為嚴重，次要嚴重地區為台北、基隆及台東，而台南高雄則為較為低，此現象與全臺氯鹽沉積速率有關。中性化災損現象較不嚴重，由圖 7 至圖 8 可觀察出，受到中性化影響較顯著的地區為中南部（台南、高雄）及北部都會區，中南部地區因有較多石化工業區以致空氣中二氧化碳濃度較高，二氧化碳較易入侵混凝土內部；台北都會區則因人口密集，汽機車使用涵蓋率較高，周邊則有桃園煉油廠，在此雙重效應作下，導致這兩區域之中性化現象發生機率較高。透過危害地圖可明確瞭解，依據不同劣化模式的情形，特定地區的危害災損程度較高，為了明確考慮該處之危害損失資訊，將危害地圖進行單一網格詳細的劣化資訊評估，透過保護層厚度、使用年期及鋼筋斷面積損失率等參數，探討不同的設計需求或是評估預測結構劣化之發展 [11]。

應用案例與相關技術探討

為提高研發系統工程實務應用性，本研發持續與相關顧問工程公司和橋梁管理單位密切合作，目前已可針對相關橋梁檢測及生命週期防災管理業務提供客製化之技術服務。其中 NCREE-BMS 檢測紀錄模組，透過系統部分客製化擴充需求，曾實際應用於台 86 線 24 號橋梁橋梁震後特別檢測工作，圖 9 為現地特別檢測作業執行記錄之相片，如前所述由專業檢測人員進行檢測紀錄，相片紀錄相關檢測劣化資訊及位置，並將相關照片將上傳至系統，圖 10 為 NCREE-BMS 檢測紀錄模組系統畫面，評估人員可由系統畫面，直接進行檢測紀錄評估作業，填列之檢測劣化樣態紀錄對應之 DERU 值，係由

系統輔助確認，無須另外查詢紙本文件，並可確保依循最新之部頒規範完成檢測作業，檢測成果可自動化輸出為檢測紀錄報表，作為報告附件。

經由檢測應用案例除驗證實務上可在遵循最新交通部頒橋梁結構檢測與補強規範條件下，以研發之檢測模組完整詳實紀錄檢測成果，並於時效內完成高品質之橋梁檢測工作，同時也顯示 NCREE-BMS 系統之客製化彈性，始能因應當時現地作業得到大量檢測資訊彙整工作時效需求，配合調整系統資料庫部分架構及擴充功能，

以短時間及高效可靠的方式完成特別檢測成果檢視及報表紀錄，圖 11 為檢測模組紀錄資料列表和相關查詢功能，圖 12 則為系統自動化輸出之表單格式，可做為後續研究工作資料應用之重要參考資料。

關於耐震評估模組、耐洪評估模組及老劣化評估模組部分，目前研發系統均以特定區域條件完成初步測試階段，技術上需配合現地橋梁試辦作業，持續蒐集資訊並予以回饋。圖 13 為 NCREE-BMS 耐震評估資訊及演算模式說明，前述提及 NCREE-BMS 具有資料

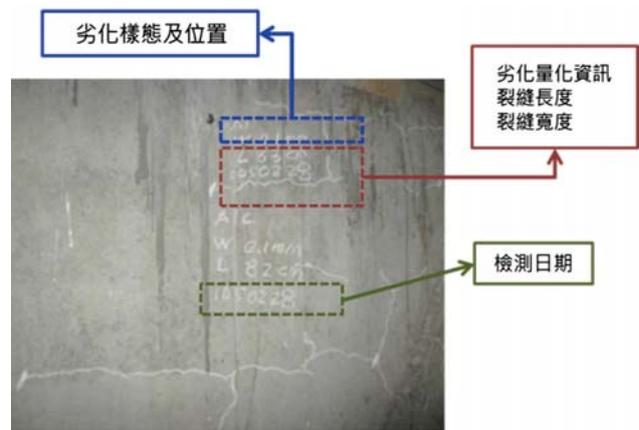


圖 9 應用案例 — 震後特別檢測現地作業及相片紀錄



圖 10 NCREE-BMS 橋梁檢測紀錄模組畫面

#	條件編號	位置	標記	相片	評定	檢測時間	檢測人員
1	0131	0131-01-A	3	2	2		謝中心
2	0131	0131-01-B	3	6	1		謝中心
3	0131	0131-01-C	3	8	4		謝中心
4	0131	0131-01-D	3	2	0		謝中心
5	0131	0131-01-E	3	1	1		謝中心
6	0131	0131-01-F	3	3	0		謝中心
7	0131	0131-01-G	3	3	3		謝中心
8	0131	0131-01-H	3	7	3		謝中心
9	0131	0131-01-I	3	1	1		謝中心
10	0131	0131-01-J	3	3	2		謝中心
11	0131	0131-01-K	3	1	0		謝中心

相片	劣化標態	#	劣化程度	評估值
	混凝土裂縫	D	PC結構物裂縫寬度小於0.1mm，且間隔大於50cm	1
		E	0-10%	1
		F	PC結構物裂縫寬度小於0.1mm，且間隔大於50cm	2
		U		1

圖 11 NCREE-BMS 橋梁檢測紀錄模組資料

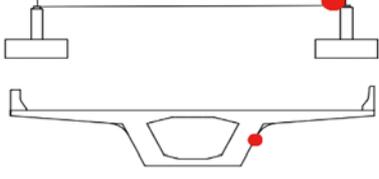
構件	G3S5	檢測日期	105.03.02	
項次	G3S5-5-OWR	IMG_2027#CL112W030.JPG		
				
劣化樣態	檢測結果			值
主要構件(大梁)	D	PC 結構物裂縫寬度大於 0.2mm(含)，且間隔於小 50cm		4
	E	10% ~ 30%		2
	R	PC 結構物裂縫寬度大於 0.2mm(含)，且間隔於小 50cm		4
	U			4
備註	劣化樣態: 裂縫, 裂縫長度: 112cm, 裂縫寬度: 0.3mm			

圖 12 NCREE-BMS 橋梁檢測紀錄模組自動化輸出表單

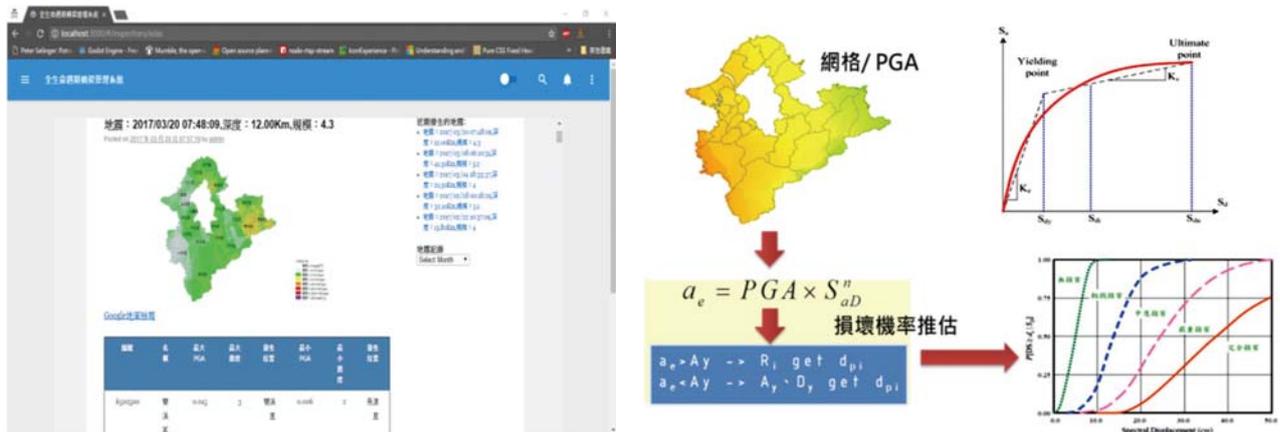


圖 13 NCREE-BMS 耐震評估資訊及演算模式

匯流之設計概念，屬於一種 Web Service 技術，使用 RESTful API 的設計概念，使用者端可以透過此資料匯流向 NCREE-BMS 請求讀取資料，或者向 NCREE-BMS 送入資料，此考量將提供較彈性的整合方式，讓系統可以整合不同的地震災損推估系統，目前系統所連結之地震災害損失推估系統可以取得推估過程中所需要的橋梁基本資料、易損性曲線資料、橋梁耐震評估資料等等，地震災害損失推估系統並依據這些相關的數據進行分析，並利用與取得資料相同的技術，將分析的結果分佈至系統中。為避免地震災害損失推估系統因配合此運作機制而造成程式之修改，地震災害損失推估系統與 NCREE-BMS 之間亦可以透過檔案交換的方式完成橋梁損害評估的分析工作。橋梁損壞機

率的分析時機可以區分為震前與震後，震前主要應用於動員規劃之應用；而震後則是立即協助重點區域搶救之決策。震前的應用，將由橋管機關依據需要，藉由 NCREE-BMS 系統作業，向地震災害損失推估系統提出模擬之請求；震後的應用，則是依據中央氣象局之速報資訊，當接收到此資訊的那一刻後，地震災害損失推估系統立即觸發評估作業需求。

圖 14 為耐洪評估資訊系統畫面，耐洪能力評估資訊連結模組類似於耐震能力評估模組，目前已可藉由 TTFRI 建置和研究之即時雨量、河川水位站及分析特定流域之橋梁冲刷深度資訊，進行資訊連結展示，後續可依管理單位需求擇定適當橋梁進行耐洪評估和離災警示功能。換言之，耐洪能力評估資訊連結模組需

要與外部系統連結整合，但和耐震能力評估資訊連結模組的運作方式不同。耐震能力評估模組所連結的資訊是由外部分析軟體透過資料匯流介面匯入，由中央氣象局的速報系統觸發，經分析後透過 RESTful API 連結 NCREE-BMS 傳回；而耐洪能力評估模組方面，則是由 NCREE-BMS 透過排程方式，定時向 TTFRI 的資料中心取得資料更新。由於其發佈的資料屬於原始資料型式，所以耐洪能力評估資訊連結模組需要透過中介軟體 (Middleware) 進行資料轉換與整理，再透過資料匯流和系統進行連結。

圖 15 為橋梁老化評估資訊模組畫面，老舊劣化評估分析模式已於前述說明，主要採用回歸公式計算方式進行構件劣化的預測推估，後續研發目標將採用預測的結果求得殘餘使用年限，以及性能指標變化的曲線，再由系統從過去適用之維修工法資料庫中，選擇與比較不同維修工法所產生之維護經費，橋管人員即可以參考相關的建議進行橋梁維護之工作。此未來

擴充模組包含回歸公式分析、殘餘使用年限推估、維護工法資料庫、各種工法成本估算等。

此外，為能支援彈性建立橋梁結構資料、檢測資料、評估資料等等，技術上將採用樹狀與階層的方式描述，以表達橋梁結構的組成關係、檢測與評估項目的組成關係，完整描述所需要的資料結構，後續之擴充模組可利用匯入的方式，解析客製化的樹狀與階層資訊，產生資料庫所需要的 Schema、相關的物件類別 (Class) 源代碼、操作介面的程式碼等等，經過編譯後並佈署到系統中，即可以讓系統增加相關的擴充功能，達到多類型橋梁資料建立與檢測模組分析功能 [10]。

結論

本研究針對建構之橋梁防災管理系統技術架構，包括檢測紀錄、耐震評估、耐洪評估以及鋼筋混凝土橋梁老劣化評估等模組進行說明，並由案例說明檢測模組應用概況和成果，並探討後續技術研發規劃，期待持續整

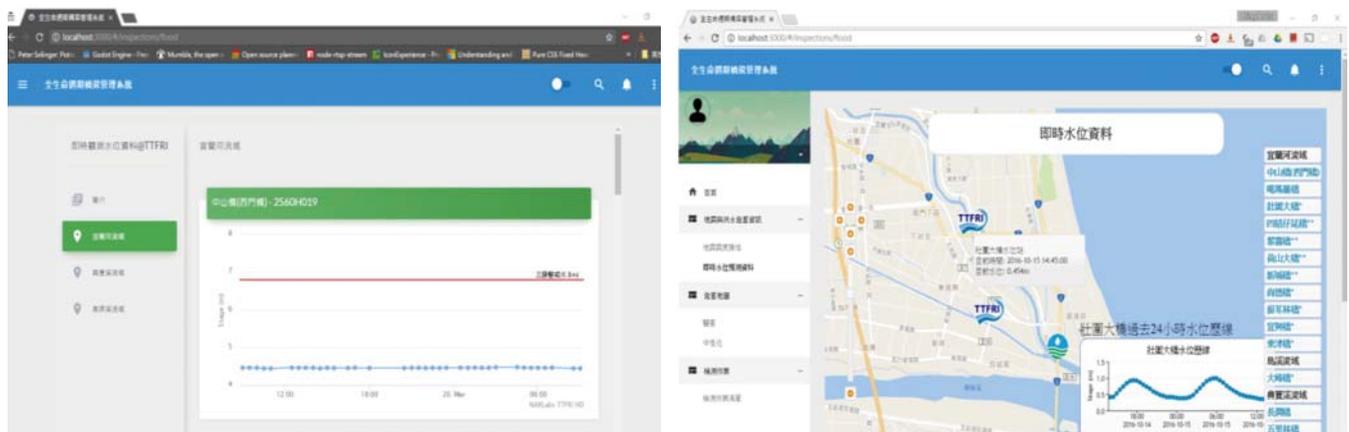


圖 14 NCREE-BMS 耐洪評估資訊系統畫面 (資料來源：TTFRI)

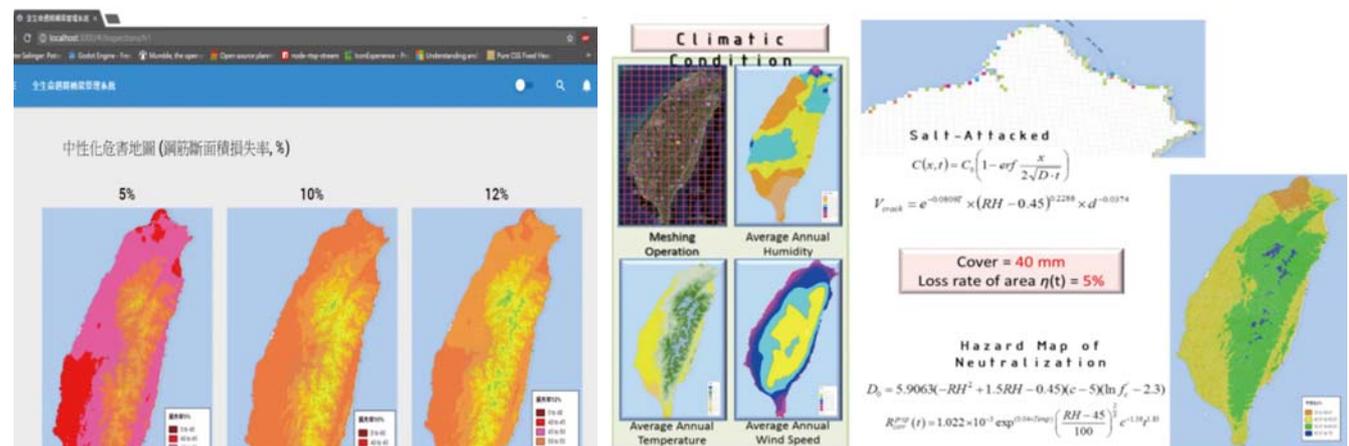


圖 15 NCREE-BMS 老劣化評估資訊及演算模式

合橋梁結構生命週期各階段所需技術，建構有效且完整之橋梁防災安全管理服務平台為目標。橋梁防災管理系統建置部分涉及廣泛的技術領域，屬於實務應用型的服務平台，建置之模組需持續測試開發及應用試辦改善，以劣化評估模組部分為例，期藉由長期橋梁檢測紀錄，進行劣化評估模式之驗證與修正，同時橋梁防災管理系統，亦須納入橋梁監測系統提供之橋梁結構安全資訊，以滿足全方面橋梁防災管理業務之需求。

參考文獻

1. 「臺灣地區橋梁管理系統」，交通部運輸研究所，參考網址：<http://tbms.iot.gov.tw/bms2/>
2. Paul D. Thompson, "A NEW BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM FOR ONTARIO", Brian Kerr, ITX Stanley Ltd., Canada.
3. Reed M. Ellis, Paul D. Thompson, Rene Gagnon, Guy Richard, "Design and Implementation of a New Bridge Management System for the Ministry of Transport of Québec", Stantec Consulting Ltd.
4. Weyers, R. E. "Service life model for concrete structures in chloride laden environments", ACI Materials Journal, 95(4):445-453, 1998.
5. 牛荻濤，「混凝土結構耐久性與壽命預測」，科學出版社，2003。
6. 王傳輝，「台灣地區鋼筋混凝土橋中性化效應之耐久性評估」，碩士學位論文，國立台北科技大學，臺北，臺灣，2005年1月。
7. 趙坤茂，「數位內容新世紀」2006年第三季季刊，台灣大學資訊工程研究所，2006。
8. 龔永健，「受震後新築混凝土現地檢測技術評估與案例探討」，碩士學位論文，中原大學，桃園，臺灣，2007年7月。
9. 蘇進國，「模糊遺傳算法在橋梁耐震性能設計之應用與耐震維修補強生命週期成本最小化之研究」，博士學位論文，國立台北科技大學，臺北，臺灣，2008年6月。
10. 何岳峰、黃濬彥、謝孟勳，「應用 HTML 5 及版本控制技術提昇 Web-based 營建資訊管理系統使用效率之研究」，2010 營建管理研討會，2010。
11. Y.C. Sung and C.K. Su (2011), "Time-dependent seismic fragility curves on optimal retrofitting of neutralised reinforced concrete bridges", Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 7, No. 10, October 2011, 797-805.
12. 莊育泰，「劣化 RC 牆生命週期耐震能力研究」，碩士學位論文，國立臺灣科技大學，臺北，臺灣，2012。
13. 涂豐鈞，「考慮劣化與震損影響之 RC 校舍耐震能力評估研究」，碩士學位論文，國立臺灣科技大學，臺北，臺灣，2012。
14. 蕭輔沛、邱建國、涂豐鈞，「考慮劣化與震損影響之 RC 校舍耐震能評估研究」，國家地震工程研究中心，NCRE-12-018，2012年12月。
15. 張國鎮、宋裕祺、陳俊仲、許家銓、李政寬，「橋梁結構安全與養護管理檢測技術研發與應用」，中華技術，第111期，第42-53頁，2016年7月。



**苗栗縣蓮台山
妙音淨苑
加勁擋土牆工程**

臺中市崩場地水土保持修復工程
安全為主，兼顧景觀生態崩場地修復

臺中市清水區崩場地處理工程
榮獲 2013-2014年度優良農建工程獎
(治山防災類-甲等)

**安全 經濟
生態 減碳**

盟鑫工業股份有限公司
Gold-Joint Industry Co., Ltd.
435 台中市梧棲區(中港加工出口區)
經三路33號
電話: 04-26595926
傳真: 04-26595925
網址: www.gold-joint.com
信箱: sales@goldjoint.com.tw

愛地球·加把勁



應用無人飛行載具於山崩及河道變遷之量測分析 — 以來社溪為例

廖達峻／台北科技大學土木與防災研究所 碩士

張國楨／台北科技大學土木與防災研究所 教授

曾志民／長榮大學土地管理與開發學系 教授

黃敏郎／聚禾工程顧問有限公司 技師

無人飛行載具為近年來新興而熱門的技術，在防災方面擁有許多發展空間及優勢。本研究以來義鄉來社溪流域為例，進行流域內之山崩，以及崩積物下移對河流侵蝕行為的觀察，評估自然災害以及後續環境變異分析。來社溪全長 12 公里，流域面積 69 平方公里，區內山高谷深，每逢颱風豪雨，山區容易發生山崩、土石流等災害，且人員不易進入災區勘查。莫拉克颱風期間造成大量土石崩落，崩積物堆積於坡面及河道，後續漸次的土方下移，似有可能造成下游環境衝擊。來社溪成為土石流潛勢溪流之一，且至今上游仍在持續崩塌中，是變異性較大的區域，而大量的土砂沖淤也造成當地居民生活及財產上的損失。利用無人飛行載具的特性針對人員無法到達的區域進行多期影像的航拍任務，並且將不同時期拍攝的航空影像建置成數值地形模型，透過不同時期模型的比對來模擬河道變遷、土砂堆積量、崩塌量計算、高程變化等追蹤及分析。本研究所使用的影像為七個期數的影像資料，將七期的數值地形模型相互比較後發現來社溪在莫拉克風災後造成河道中游和上游大量的土石崩落，造成河道側向嚴重侵蝕，尤其在中上游地區最為顯著，崩塌後的土砂隨著洪水被沖往中下游形成大量的淤積，使中上游地區平均淤積了約 12 公尺高，而下游地區平均淤積了約 4 公尺高。鬆散的土砂每逢大雨就會被沖刷至下游造成來社溪沿岸居民財產上的損失，因此本研究透過模型的比對將來社溪的河道變遷、崩塌區量體、土砂淤積量、高程變化量等計算，本文再次呈現無人飛行載具於防救災應用之可能性及優勢，並且探討災害的預防與防災的可行性。

緒論

台灣島的形成式由歐亞板塊與菲律賓海板塊相互聚會擠壓所造成，南北向狹長的地形造就東西向河流較為短促，尤其是山高坡陡的山谷地形每逢豪雨就容易造成山崩、土石流、土石滑動等災情，並隨著全球氣候變遷的影響，颱風等天然災害的次數更加頻繁。天然災害的調查工作，因為地形的限制、位於偏遠地區、山區土石崩塌或災後道路中斷等情況導致無法到達現場，以往的調查研究，常常只能透過現地調查，或由傳統的遙測影像來進行。近年來由於無人飛行載具（unmanned aerial vehicle, UAV）或無人飛機系統（unmanned aircraft

system, UAS）的技術蓬勃發展，影像解析度和品質都有大幅的提升，能夠提供大範圍的影像資訊針對相較於人力無法到達的區域。無人飛行載具搭載相機所拍攝的航空像片相較於傳統飛機拍攝的影像還精細，能夠建置精度較高的數值地形模型（Digital Terrain Model, DTM），可以用來比較不同期數的數值地形模型中的地形地貌變遷。此外，針對輸砂量的評估，通常是藉由降雨量、河川流量、懸浮顆粒及流速等數值來估算，但是無法了解較大土石搬運的情況，因此可以透過建置數值地形模型來了解前後期集水區內發生山崩、土石流及河流中沉積物的搬運模式。

本研究透過無人飛行載具的特性針對人員無法到達的區域或是山區因為豪大雨造成道路阻斷無法前往的區域進行航拍任務，將拍攝完的航拍照片透過軟體建置成數值地形模型，並且透過不同期數的航拍資料所建置的數值地形模型相互比對後，針對河道侵蝕、搬運與堆積進行河道變遷分析，最後透過不同期數的數值地形模型來分析環境變異及災害評估。

研究區域

本論文研究區域為屏東縣來義鄉，來義鄉位於屏東縣內東部中段、中央山脈以西，海拔平均在 300 公尺以上，境內山高谷深，地勢起伏甚大，有來社溪、瓦魯斯溪、尖刀尾溪、力力溪及多條野溪流經，氣候屬熱帶季風氣候，居民以台灣原住民排灣族為主。其位置介於萬巒鄉之東、泰武鄉之南、達仁鄉之西、春日鄉之北，來社溪流域面積約為 69.82 平方公里。

高山河谷地形使無人載具的飛行高度需介於 1,500 至 3,000 公尺之間，在執行航拍任務時會因為風速過大與雲霧遮蔽的情況造成航拍上的困難。

研究方法

研究方法與流程

本研究是利用無人飛行載具搭載相機對山谷、河道、人工建築物進行拍攝並將影像建置數值地形模型，主要目的為透過不同期數的模型研究來社溪的河道變遷、山崩土石滑落、河道淤積等。

首先選定拍攝區域，出任務前務必確認天氣狀況，因為本研究拍攝的地方為高山河谷地區，飛行的高度會比以往其他無人飛行載具飛平原地的航高來的高，所以時常會有雲霧遮蔽的情形發生。確認地面監控站與設備狀況都正常後，即可在腹地較大的空曠區域進行無人飛行載具的航拍任務。

使用之無人飛行載具比較

本研究團隊主要使用的 UAV 為 Skywalker X8 (圖 1)，是本研究室購入之一航空模型飛機，並以開源飛行控制系統 APM (ArduPilot Mega 2.6 autopilot) 之軟硬體，再自行組裝為定翼型無人飛行載具。本無人機負載電池後可另搭載重量 700 g 相機，載機實際上單一航次可飛行時間為 90 ~ 120 分鐘，飛行航速約為 10 ~ 15 m/s。



圖 1 Skywalker X8 無人飛行載具

另一台為智飛科技股份有限公司拍攝來社溪流域時所使用的汽油式無人飛行載具 (圖 2)，可以搭載的重量以及飛行時間都較電池式的無人載具來的高，能夠有效解決高空航拍任務遇到強風的困擾。



圖 2 DoDo Pro 無人飛行載具

數值地形模型建置流程

本研究使用 Pix4Dmapper 軟體建置數值地形模型，將不同期數的數值地形模型透過軟體 ArcGIS 進行河道變遷分析計算，模型的產製流程可以分為以下四項步驟：

1. 匯入基本參數。
2. 初始化 (Initial Processing)。
3. 點雲加密 (Point Densification)。
4. 數值地形模型與正射影像 (DSM and Orthomosaic)。

透過加密後的點雲進行內插得出數值地形模型 (圖 3)，並將每張像片經過傾斜校正、高差校正後的影像拼接在一起，產製出完整的正射影像 (圖 4)。

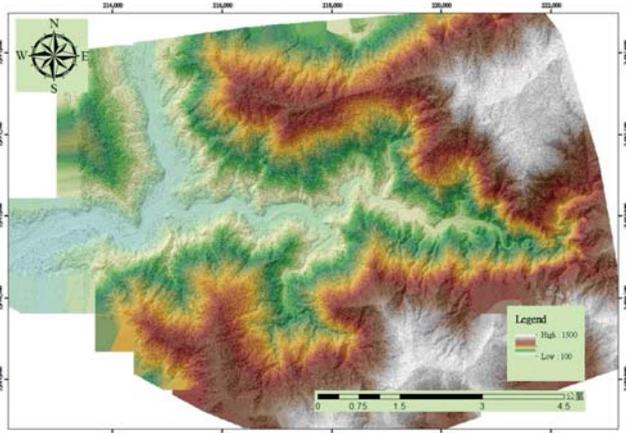


圖 3 Pix4Dmapper 所建置之數值地形模型

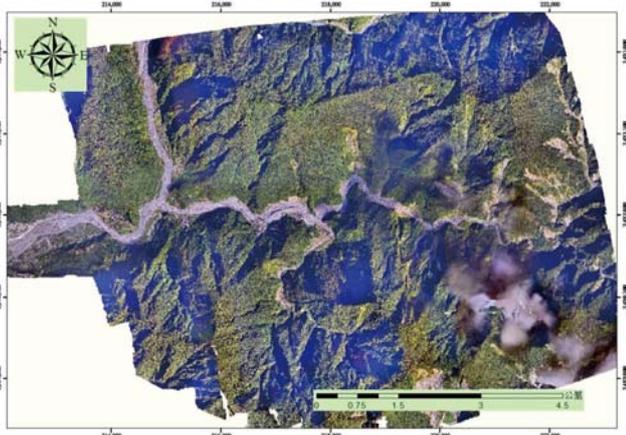


圖 4 Pix4Dmapper 所建置之正射影像

研究成果

數值地形模型建置成果

本研究透過 Pix4Dmapper 建置一共七期的數值地形模型與正射影像，影像來源依序可以分為傳統航空相片、推掃式航空影像 ADS40、LiDAR、UAV 等四種，其中透過 UAV 所建置出的模型與圖像解析度均優於其他三種。透過 2010 年 LiDAR 模型為基準進行平差，讓每個模型的高程基準能夠回歸在相同的情況下才能進行後續量體計算。

表 1 歷年影像資料

日期	2009 04/10	2009 08/28	2010	2013 07/30	2015 01/23	2015 05/21	2015 11/06
來源	Air photo	ADS40	LiDAR	UAV	UAV	UAV	UAV
面積 (Km ²)	80	32	>150	1.5	67.5	22.5	69.8
圖像解 析度	30cm	15cm	--	8cm	15cm	12cm	15cm
模型解 析度	2m	2m	1m	8cm	17cm	15cm	20cm

數值地形模型精度分析

由於來社溪流域經過多起颱風事件後有多處山崩與河道淤積等情形，故選取了不易變動的階地堆積層做為精度評估，評估的位置為義林村大後部落，區域內的高程差幾乎都在容許誤差範圍內，其整體中心大致在 0 的位置，此區域的精度為可接受範圍，其他較大的差異均為不同時期地上的人為植被及建物的改變所引起。高程誤差位置圖與誤差分布圖如下：

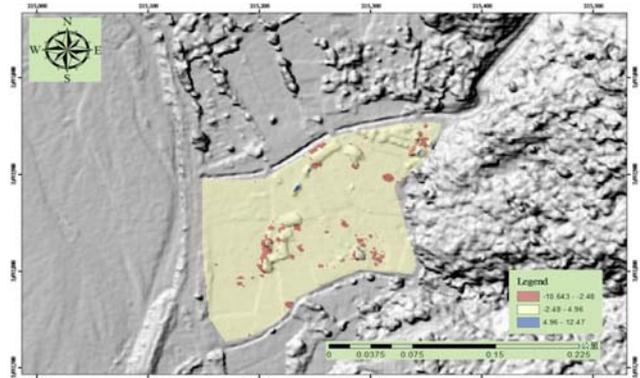


圖 5 LiDAR 與 2015/11/06 DSM 高程誤差值分布位置圖

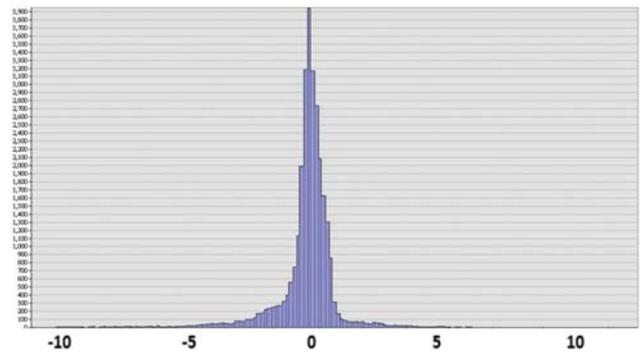


圖 6 點位誤差分布圖

表 2 高程精度評估

(2015/11/06 DSM - LiDAR DSM)

單位：m

較差上限	較差下限	平均垂直誤差	標準差	容許誤差範圍
12.47	-10.64	-0.14	1.24	-2.48 至 4.96

成果討論

河道範圍變化分析

透過七期的數值地形模型相互比對之下，針對單一事件或多起事件所造成的河道變遷情形，主要案例分析為時間最遠的 2009 年 4 月至 2015 年 11 月的前後期河道變遷分析與 2009 年 4 月至 2010 年的莫拉克風災所造成的河道變遷。如圖 7 及圖 8 所示，指示河道於風災前後之侵淤情形，剖面位置指示於圖 7 之紅色線段上。

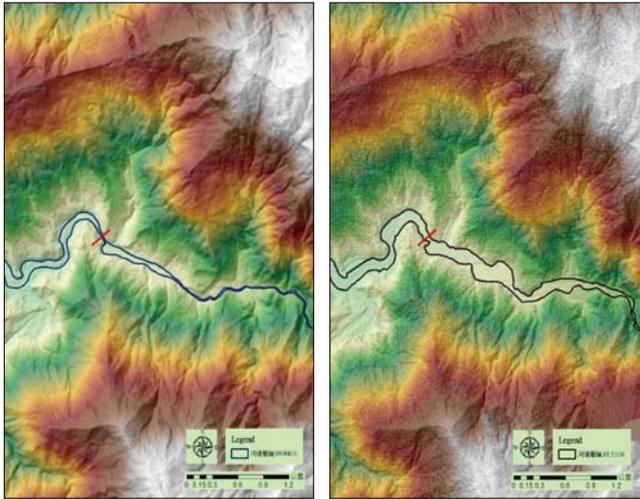


圖 7(a) 上游地區 2009/04/10 DSM 判釋河道之圖繪情形 圖 7(b) 上游地區 2015/11/06 DSM 判釋河道之圖繪情形

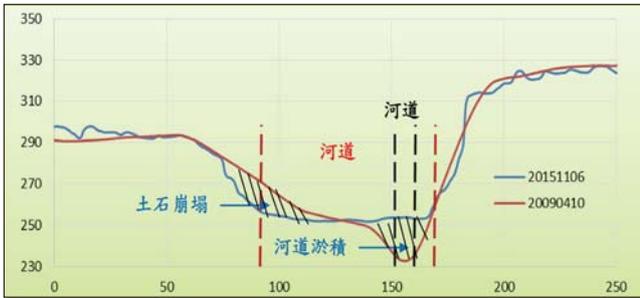


圖 8 上游地區以剖面線判釋之河道變遷及侵淤位置

前後期河道變遷分析

首先將來社溪流域分為六個區段各別分析，透過前後期的數值地形模型比對後可以判釋出河道寬度的變化，再將模型相減所得到的高程變化圖來計算各區段的崩塌量以及河道淤積量，即可得到來社溪流域前後期的河道變遷情形（圖 9）。

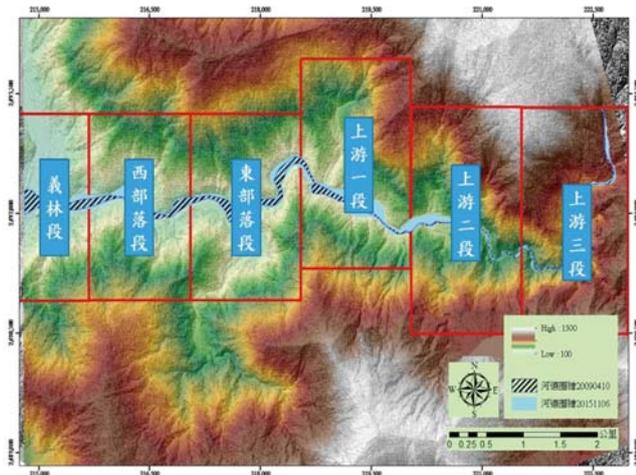


圖 9 來社溪流域各區段命名與範圍

崩塌區量體計算

透過高程變化圖與數值地形模型的比對了解崩塌區的位置並且圈繪計算出崩塌量，以下介紹前後期的崩塌量與莫拉克風災後崩塌量計算成果，並可以從全區總崩塌量判釋出風災所造成的崩塌量占了總崩塌量的 85% 以上。

河道淤積量計算

透過上節的河道範圍變化分析得知河道位置後透過軟體計算將河道高程變化擷取出來並且計算來社溪流域全區的河道淤積量，以下介紹前後期與莫拉克風災後所造成的河道淤積量計算成果，並可以從淤積量比較中得知風災所造成的土砂淤積約有一半以上還堆積於河道上尚未清除。

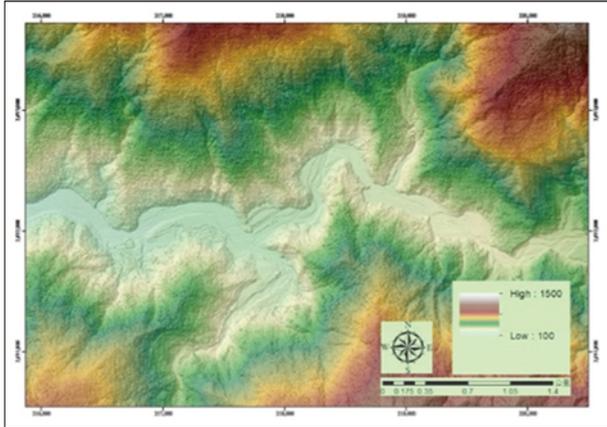
崩塌區	面積 (萬 m ²)	平均高程差 (m)	體積 (萬 m ³)
攻擊坡	12.73	-7.15	-91.01
東部落攻擊坡	14.74	-6.54	-96.39
舊有崩塌地	39.52	-6.38	-252.13
內社溪聯外道路	13.33	-8.28	-110.37
總崩塌量			-549.92

表 3 來社溪於莫拉克風災後各區段崩塌量比較圖

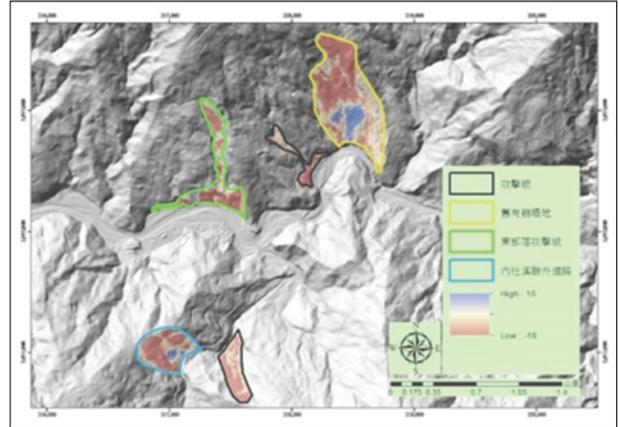
崩塌區	風災後崩塌量 (萬 m ³)	風災後至 2015 年 11 月崩塌量 (萬 m ³)
上游三段	-912.44	-1172.50
上游二段	-900.67	-1007.36
上游一段	-725.08	-846.68
東部落段	-599.27	-549.92
西部落段	-2.11	-22.06
義林段	-23.86	-17.89
總合	-3163.43	-3616.41



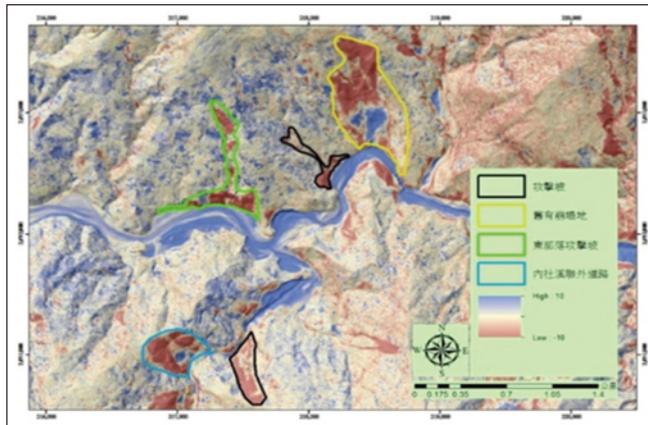
圖 10 來社溪流域高程變化圖 (藍色：堆積／紅色：侵蝕)



2015/11/06 數值地形模型



東部落段崩塌區位置



東部落段崩塌區高程變化圖



圖 11 前後期與風災後崩塌量橫條圖

表 4 來社溪於莫拉克風災後各區段河道淤積圖

區段	風災後河道淤積總量 (萬 m ³)	風災後至 2015 年 11 月河道淤積總量 (萬 m ³)	風災後侵淤深度 (m)	風災後至 2015 年 11 月侵淤深度 (m)
上游三段	-28.04	-50.63	-2.33	-5.44
上游二段	257.19	73.24	13.79	6.55
上游一段	279.63	133.10	11.10	5.47
東部落段	240.19	169.32	8.14	6.91
西部落段	53.81	74.24	2.84	4.02
義林段	28.81	44.32	2.54	3.26
總和	831.59	443.59		

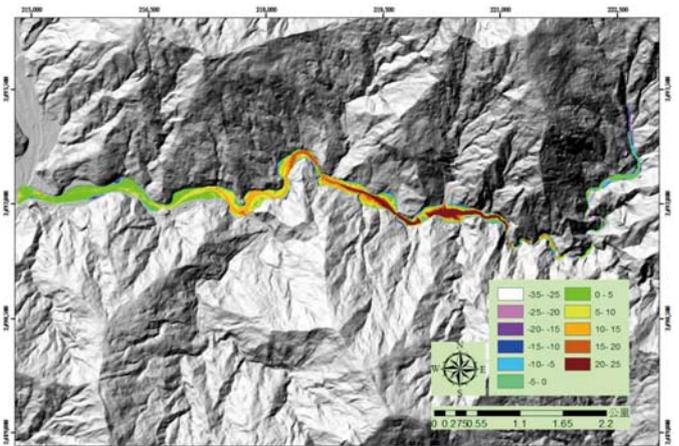


圖 12 來社溪流域河道淤積圖 — 莫拉克風災

莫拉克風災造成來社河流域大量土石淤積於河道上，至 2015 年 11 月仍有一半以上的土砂尚未清除，因此可以透過前後期的河道縱剖面圖判釋出剩餘的土砂淤

積位置，從縱剖面圖得知上游與下游坡度幾乎一樣，而中游地區有明顯的坡度變緩的趨勢，故判定風災後淤積於河道的土砂仍有一半以上堆積於中游地區。

來社溪流域多期影像判釋易致災地區

在圖 13 高程變化圖中黑框處的地方在莫拉克風災發生後在中游地區河道中唯獨這塊為侵蝕作用而非堆積作用，從圖 14 的高程變化圖也是如此，因此判定該處在風災前為天然的土堤壩阻隔了來社溪主河道，不排除為堰塞壩的可能。

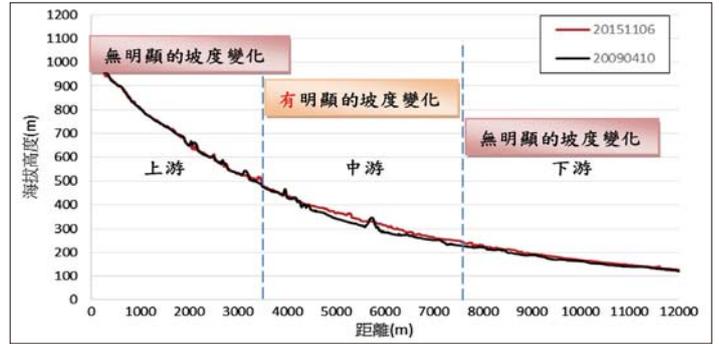


圖 13 來社溪河道全段縱剖面圖

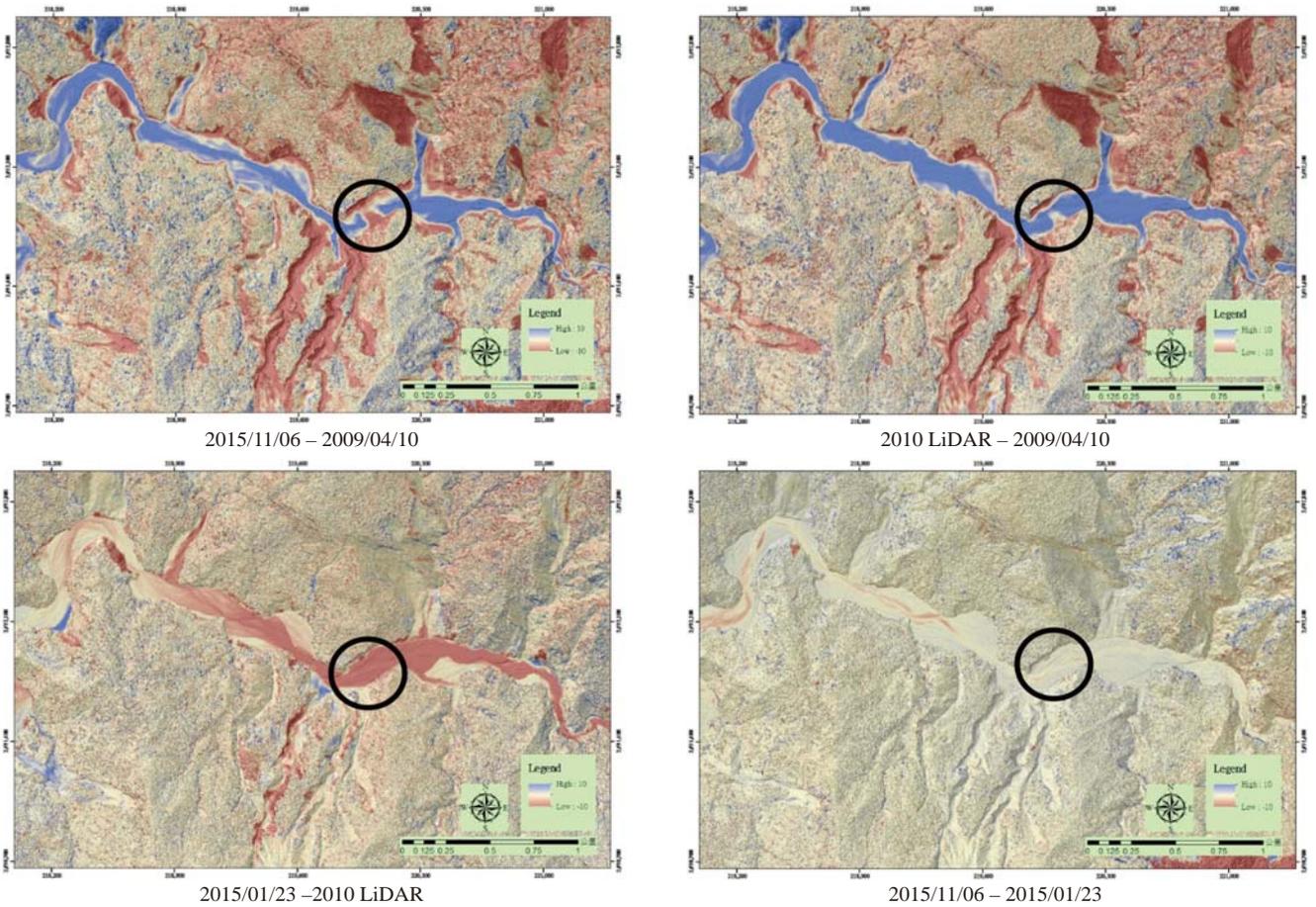


圖 14 來社溪中游地區高程變化圖

根據行政院農業委員會水土保持局針對 98 年莫拉克風災的災害描述中提及：初步推測為上游土石崩塌堵塞河道，形成之堰塞湖潰決後夾帶土砂沖刷至下游，與本研究透過數值地形模型的比對推測出可能為堰塞湖的情形吻合，因此判定透過數值地形模型的比對應用於防災上是可行的。



圖 15 行政院農委會水保局 98 年莫拉克風災最速報

結論與建議

結論

1. 莫拉克風災造成來社溪流域全區大規模土石崩塌及嚴重的河道淤積，依序為上游侵蝕、中下游淤積，而其中又以中游地區淤積程度最為嚴重。
2. 莫拉克風災後造成河道面積從 52.8 萬平方公尺變寬為 115.5 萬平方公尺，約為風災前的兩倍，河道變寬為河道淤積所致。
3. 莫拉克風災後至 2015 年 11 月之間河道約有一半以上因為風災造成的土砂淤積量，尚未清除。
4. 前後期模型比對後得出風災前至 2015 年 11 月來社溪河道總變化情形，上游地區平均侵蝕了 8.5 公尺，中游地區平均淤積了 6 公尺，下游地區平均淤積了 4 公尺。
5. 透過數值地形模型的比對能夠針對變異性較大的區域進行防災監測和判釋易致災地區。

建議

1. 利用數值地形模型進行量體計算時必須將模型的水平校正與高程平差後才能計算，而高程平差的點位應平

均分布於模型上並且數量大於 30 個點以上較佳。

2. 本研究透過 LiDAR 的高程資訊萃取出三維座標作為控制點進行模型建置，如果能添加現地量測的控制點就能將模型精度在提高，增加量體計算上的準確度。
3. 在高山河谷執行航拍任務的時候盡量避免山區雲霧遮蔽的情形，雲霧遮蔽的情況太嚴重會造成模型建置後該區域的地面高程跑到雲上而造成量體計算上的錯誤。

參考資料

1. 陳彥婷、盧杰志、林喬莉、林秉賢、連惠邦，2014，來社溪野溪清疏方案之二維數值模擬分析，中華水土保持學會年會及學術研討會論文摘要集。
2. 黃煜婷，2013，莫拉克風災河道淤塞及變遷 - 以荖濃河流域為例，國立臺灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
3. 蕭國鑫、劉進金、游明芳、陳大科、徐偉城、王晉倫，2006，結合空載 LiDAR 與航測高程資料應用於地形變化偵測，航測及遙測學刊，第十一卷，第三期，第 283-295 頁。
4. 黃美甄，2014，地面控制點對無人飛行載具數值地形模型精度影響之評估，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文。

潤泰營建團隊 跨時代整合服務

潤泰將營建工程中所需的專業公司，包括開發/設計/建築/結構/機電/室內工程/保全管理等，全部設立於體系內，更能發揮垂直分工與水平整合的效益，是建築業少見的全方位工程團隊。





洪災曝險街區之即時動態演算架構

張哲豪／國立臺北科技大學土木工程 副教授
鍾明格／國立臺北科技大學工程科技研究所 博士班
許至璉／國家高速網路與計算中心 副研究員
吳祥禎／國家高速網路與計算中心 副研究員
陳春宏／經濟部水利署水利規劃試驗所 所長
楊松岳／經濟部水利署水利規劃試驗所 正工程司
黃思瑋／安研科技股份有限公司 營運長

淹水潛勢圖的製作，乃是依據降雨情境設計雨量的不同，結合淹水模式計算後得出相對應的淹水範圍。在防災應變任務中比對區域降雨量，提供洪災曝險的可能區域資訊，以掌握整體受災情勢。從民國88年以來淹水潛勢圖已更新至第三代，投入極大的資源與人力時間，為防救災應變工作提供了良好的參考依據。

在水利署的研究下，第三代更新後的淹水模式包含了細緻的空間基礎資訊，加入雨水下水道系統、區域排水、易淹水地區治理規劃已施作完成的成果、防洪設施（滯洪池及抽水站）、越波量、暴潮，且採用40 m解析度的數值地形模型來建立模擬區域，相當具有代表性。若能結合當下即時測預報雨量，則可計算得到更為接近真實的洪災曝險範圍。然而，也因為內含高解析度的空間資訊，整體計算時間過長，無法符合防災應變在時間緊迫下的需求。

本文提出「淹水模擬即時動態演算架構」來克服淹水模擬計算量過大的問題：以第三代更新的淹水模式為基礎，採用氣象局提供的QPESUMS即時降雨資料與預報降水產品，取代設計雨量，並以平行化與作業化的方式，在1小時之內計算未來3小時淹水模擬結果，每日24小時作業化方式，持續不停運作，達到即時洪災曝險街區估算的可能性。

前言

在日益嚴峻之極端氣候與環境條件下，面對颱風災害，為達成精確、迅速且有效之研判決策與防救災資源之最佳化調配，各類監測、運算以及歷史資料之彙綜分析與多元應用實屬不可或缺，各項防災資訊與系統服務正是因應這樣的需求而逐步發展。目前常用曝險指標（exposure index）評估受災的嚴重程度^[1,2]，若從水利防災執行實務上的系統流程來分析，曝險範圍（exposure area）的推估與確認，正是啟動所有應變作為的核心資訊。

隨著水利資訊應用技術的提高，颱風防災任務已經從「通報與作為」的現況，將逐步轉換到「感知與預判」的應用型態。在「通報與作為」的現況下，防災任務主要以匯集全全國水情與災害訊息為主，並歸納轉知各級應變中心；收集、傳遞、展示與分享就成為訊息處理上的主要任務。然而，在跟時間賽跑的水利防災任務中，只能以即時水情監測數據或是收集災害訊息來執行，終究仍是被動反應，確實讓我們思考是否仍有主動作為的可能。

在未來「感知與預判」的應用願景上，可以想見將會以料敵機先與主動防護這兩種避災觀念，來逐漸進入防災體系中，成為水利防災作為的主要依據。例如氣象預報產品的逐漸成長，無論是短時預報產品如 STMAS WRF，與系集產品如 ETQPFs 與 WEPS 等，都在預報時間長度以及可靠度上加強，印證料敵機先的重要性；又如實際應變作為中，地方政府提前佈設移動式抽水機，就可以說明主動防護的實務性。綜合來看，對於「感知與預判」的具體實踐，就是提早預估曝險範圍，進而掌握此空間資訊，主動針對這些區域提早啟動各項應變措施，將是邁向智慧防災的一大步。

淹水潛勢圖

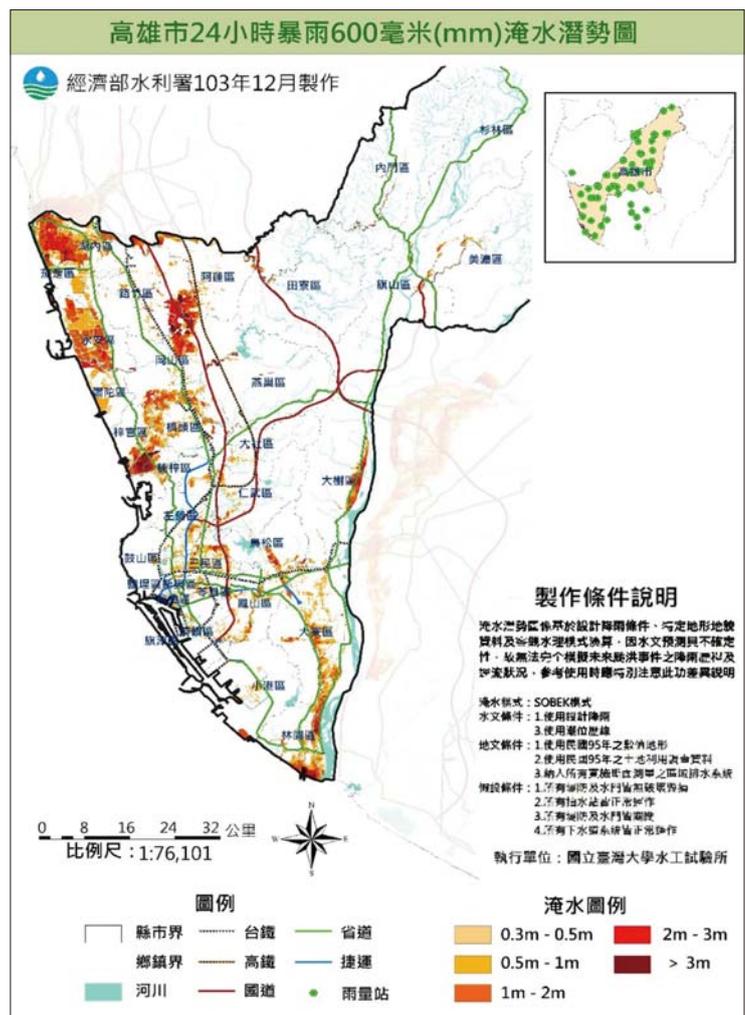
推估颱風災害曝險範圍，淹水潛勢圖是目前最為主要的技術服務之一：以各種可能致災雨量，結合空間資訊與水利計算科技，分析得到對應的淹水範圍，並製作成為靜態圖資。在防災應變過程中，即可針對當下或是預判雨量的大小，選擇適當淹水潛勢圖資，判斷可能淹水範圍，作為各項決策依據。目前實務上，政府單位亦採用淹水潛勢圖的結果，評估可能的災害地點，作為防救災計畫的參考。

淹水潛勢圖的製作，初期是在民國 88 年至 90 年，由行政院國家災害防救科技中心進行，完成全台 22 縣市淹水潛勢圖的分析與製作，供防災機關作為基本防災圖資所用，常稱第一代淹水潛勢圖；後續因各式圖資的資訊化，與淹水模擬程式的進展，水利署由民國 96 年至 98 年進行全國淹水潛勢圖的更新，為第二代淹水潛勢圖；爾後為提升淹水潛勢圖製作的整合性與準確性，水利署水利規劃試驗所於 102 年擬定「淹水潛勢圖製作及測試手冊（草案）」，作為製作淹水潛勢圖的標準作業程序，水利署並依此辦法於 103 年起，進行淹水潛勢圖的第二次更新計畫，即為第三代淹水潛勢圖，其製作成果如圖 1 所示^[3]。

各代淹水潛勢圖的製作內容可整理說明如表 1 所列。在更新歷程中，有幾個重要進展的因子：除了基本資料的完備與資訊化，模式的

進步與電腦計算能力的提升，都強化了淹水潛勢圖的精確性，敘述如下：

1. 模擬情境的增加：淹水潛勢圖對於降雨的模擬，第一代主要採用定量降雨的方式；第二代後則加入重現期降雨的模擬；第三代則增加模擬的情境數量。
2. 地形精度的提升：第一代淹水潛勢圖係依據農林航測所拍攝的相片基本圖，台北縣為 120 m 網格、其他縣市為 200 m 網格；第二代淹水潛勢圖採用內政部於民國 94 年製作之 DEM，為 40 m 網格；第三代淹水潛勢圖則使用內政部於民國 95 年提供之 DEM，為 40 m 網格解析度或更精細之網格。
3. 淹水模擬條件的精進：第二代淹水潛勢圖較第一代，考慮了暴潮與外水溢流的因素；第三代淹水潛勢圖加入了雨水下水道、區域排水、防洪設施等因子，對於模擬的準確度提升有極大的助益。



資料來源：水利署水利規劃試驗所^[3]

圖 1 第三代淹水潛勢圖更新成果圖（高雄市 24 小時暴雨 600 毫米為例）

表 1 國內淹水潛勢圖資製作比較表

	第一代	第二代	最新版本 (第三代)
時間	民國 88~90 年	民國 96~98 年	103 年~
網格精度 (x,y,z)	台北縣：120 m × 120 m 其他縣市：200 m × 200 m	40 m × 40 m × 0.1 m	≤ 40 m × 40 m × 0.1 m
DTM	採農林航測所於民國 70~78 年間測量相片基本圖之資料	採內政部於民國 94 年更新完成之數值高程，無第一代之人工地整情況	採內政部提供最新年份 (民國 95 年) 完成之數值高程
模式選定	全面採用同一種模式產製，無邊界銜接的問題	全國分區採數種模式製作，存在邊界銜接問題	制訂模式檢定驗證標準，去除縣市邊界銜接問題
模擬情境	定量降雨： 150、300、450、600 毫米 / 日	定量降雨： 200、350、450、600 毫米 / 日；450、600、750、900 毫米 / 二日；750、900、1050、1200 毫米 / 三日； 重現期： 1.1、2、5、10、20、25、50、100、200、500 年	定量降雨： 6 小時： 50、100、150、200、250、300、350、400、450、500 毫米 12 小時： 100、150、200、250、300、350、400、450、500、550 毫米 24 小時： 150、200、250、300、350、400、450、500、550、600 毫米 重現期： 2、5、10、25、50、100、200、500 年
淹水模擬	---	加入暴潮、加入外水溢流因素	加入雨水下水道系統、區域排水、易淹水地區治理規劃已施作完成的成果、防洪設施 (滯洪池及抽水站)、越波量、暴潮
色階	顏色鮮明	漸層	漸層

資料來源：水利署水利規劃試驗所^[3]

製作淹水潛勢圖包含了基本三種主要技術在內：氣象水文分析、空間資訊對應、水理模式計算。而這項各屬不同領域專業與管理，如降雨資料來自中央氣象局與水利署；空間資訊則內容包含廣泛，如河川斷面來自水利署，區域排水由縣市政府負責，下水道與地形圖籍則由內政部統籌等；淹水模擬程式來自各研究單位或是軟體科技業者。連結以上全部技術內容來製作淹水潛勢圖，實屬多專業與多領域的整合。特別是各方面技術的與時俱進，資料面與計算面都有長足發展，也說明了淹水潛勢圖並非一成不變，需要隨著資料與技術推進而有所更新。

淹水潛勢圖乃是採用設計雨量，即定量降雨或特定重現期等各式降雨，作為淹水模式的輸入資料，經由運算後，模擬出多少雨量會造成哪些地區的淹水景況。因此第三代淹水潛勢圖當中，考慮了更為多種數量與型式的設計雨量，對於災害防救與應變，就能夠有更為豐富與周全的參考依據。除設計雨量的周全性，精密細緻的數值地形模型與集排水設施都被納入

水文水理計算模式中。所以，第三代淹水潛勢圖的模式運算成果，在空間尺度上，就能夠反映更多淹水範圍的細節：從原本鄉鎮等級的解析度逐漸提高，應用與需求層面也從區域性的防災規劃對應到決策分析。

隨著淹水潛勢圖包含資料解析度提高，多元來源空間資料的一致性，就更挑戰模式編修的作業內容。如圖 2 所示，採用第三代淹水潛勢圖的模擬計算，主要淹水範圍在水道南側，是正確的模擬計算淹水範圍。圖中分別以棕色深淺表示不同地形高度，各種彩色則表示不同淹水深度。與圖 2 比較，圖 3 顯示在相同的淹水模擬計算設定下，淹水範圍則主要分布在水道北側。這樣的差別來自於圖 2 中表示一維河道的藍色水路線，與棕色地形所顯示的水道相符，但在圖 3 中，該藍色水路線則不是與棕色地形所顯示的水道完全相符。這個一二維模式溢淹介接點的整合匹配，在過去單純一維水道或是單純二維漫地流模擬時，並不需要特別考量；但在一二維綜合演算與高解析度地形應用時，就可以看出細節所造成的差距。

不僅如此，圖 4 仍是與圖 2 採用了相同淹水模擬計算的設定，且顯示了藍色水路線與棕色地形所顯示的水道在地理位置上已經相符，但模擬淹水範圍則集中在水道當中與圖面西南側，與圖 2 的計算內容顯然不相同。其原因在於圖 4 中的水道地形維持原來的河槽，一二維模式介接處的溢淹點讓原來已經在一維河道上演算過的水流，仍直接進入地形上的河槽，而不是溢淹到河槽以外的地形上，未能反映真實流況。因此，在進行水理模擬計算時，其實還需要將河槽地形修正到與斷面齊平，才能讓模擬計算時，溢淹水流漫流到河槽外，顯示正確溢淹範圍。

由圖 2 到 圖 4 的比較可知，淹水模擬技術在第三代淹水潛勢圖更新後，在空間資訊尺度上已經有不少提升，地形資料網格精度從 200 m 提升至 40 m，代表淹水模式的模擬結果，可反映更細緻的變化。對於暴露在洪災風險的評估，地形資料網格精度的提升，可從原先的區域尺度，提升到鄉鎮尺度，甚至於村里等級，直接帶來淹水模擬計算的整合需求與挑戰。新型的計算架構中，必須能夠從淹水模擬建模開始，直接考量高解析度空間資訊，才能跨過水利與空間資訊領域的知識門檻。

淹水模擬即時動態演算架構

設計雨量因時間與空間分佈上的條件，終究與當下真實降雨狀態不同；使用設計雨量進行淹水計算時，仍屬於景況模擬，目前第三代淹水潛勢圖的靜態圖資，主要仍適用於區域性淹水範圍的參考表達。然而，此次淹水潛勢圖更新所產出的具體成果，並非只有靜態圖資，還包含了具備相當細緻空間資訊的淹水模式，如圖 2 所示的淹水模擬成果。若能以此模式，加上真實降雨，是否將有機會大幅改善使用設計雨量的不足呢？

在真實降雨部分，目前氣象局已經針對全台提供 1.3 km 網格的 QPESUMS 即時降雨資料，以及多種定量降水預報產品。對照設計雨量而言，即時測預報降雨產品的時間與空間分佈相對趨近於真實狀況。若採用氣象局即時觀測與預報雨量，隨著降雨資料更新，可以持續重新計算淹水模式的話，或可逐時計算出淹水景況，對於實際評估颱風災害的曝險範圍將有相當助益。

然而，由於具備高解析度的空間資訊，第三代淹水潛勢圖的淹水模式計算相當費時，用此模式加上真實降雨來模擬計算淹水範圍，對於災中分秒必爭的緊急應變，確實緩不濟急。針對此淹水模式，本文提出如圖 5 的「淹水模擬即時動態演算架構」，分別考量下列四個條

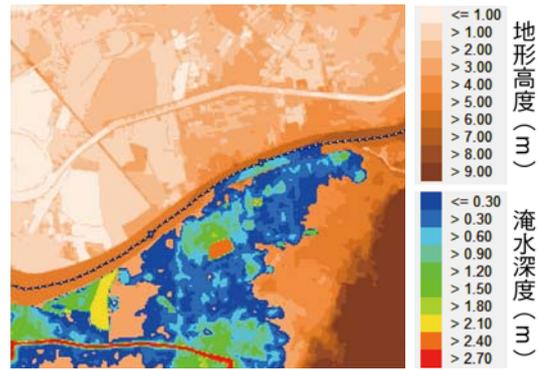


圖 2 正確模擬計算淹水範圍

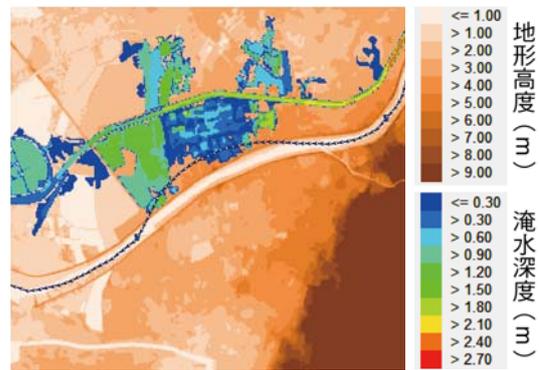


圖 3 水道設定與地形位置不盡相同造成模擬計算淹水範圍不同

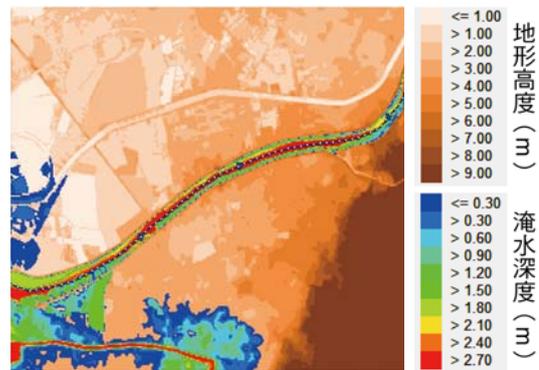


圖 4 水道地形未修整造成模擬計算淹水範圍不同

件來改善淹水範圍模擬計算的精度與時效：

1. DEM 解析度反映淹水模擬的精細程度，要模擬至村里或街廓等級必須使用對應解析度的地形資料；
2. 淹水模式建置的合理性與基礎資料的正確性、完整性，決定計算的速度與模擬的結果；
3. 因應即時作業化淹水模擬的需求，利用模式切割分區與平行運算的方式，達成快速計算淹水模擬的目標；
4. 大量 IoT Flood Sensor 回傳即時淹水資料，即時確認災害地點，驗證與校正淹水模式。

以下各節將分別針對此四個部分加以說明。

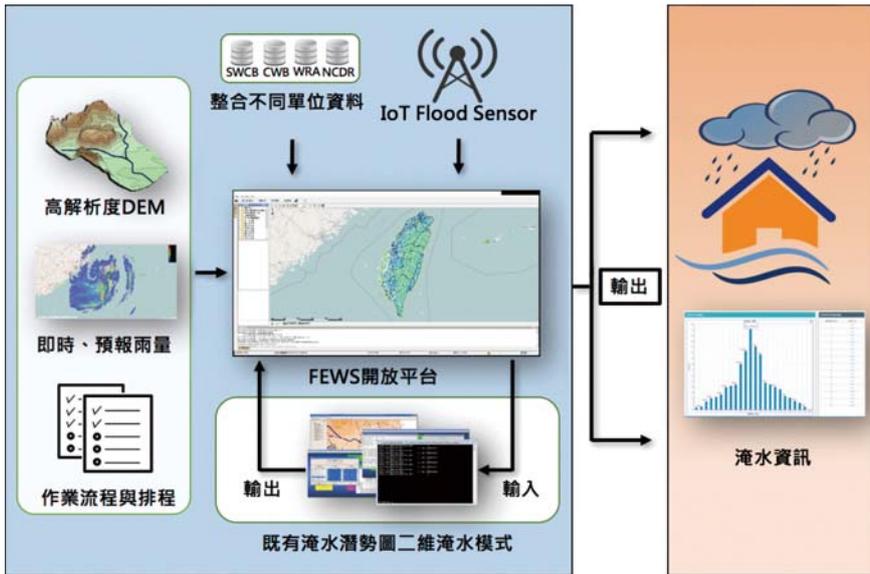


圖 5 淹水模擬即時動態演算架構圖

DEM 對於淹水模擬之影響

目前常用的地形資料為 DEM (Digital Elevation Model) 及 DSM (Digital Surface Model)，是以二維矩陣方式處存高程資料的格式，DEM 記錄地型高程，DSM 則記錄包含地物的高程，而地物包含人工構造物與自然植被等。傳統上製作 DEM 及 DSM 的方法為航空攝影測量，利用人工量測或自動匹配的方法，在立體模型中量出足夠密度的高程點，再用內插方式計算出等間距的網格；近年來地調所則利用空載光達的方式，進行全台 1 m 解析度 DEM 及 DSM 的製作。

無論是採用航空攝影或光達的測量方法，皆會受到地表覆蓋物，如房屋、橋梁、植被數目等影響，不完全能夠測到真實的地表高程，因此為了製作 DEM，必須以自動化或人工的方式去除地表覆蓋物，再利用內插方式得出 DEM。此項去除地表覆蓋物的工作，在資料解析度愈來愈精細的情況下，往往需要耗費大量的人力與時間處理。

而在二維淹水模式上，理論上無法單純使用 DEM 資料或 DSM 資料：為模擬水在地表流動的情況，實際會阻礙水流通的資料必須被保留在地形模型上，如建築物，但在 DEM 中卻沒有建築物的資料；而在跨河橋梁或高架橋梁，因其底部是容許水流通過（橋墩則會阻礙水流），而 DSM 資料中卻無法保留這樣的特性。此外地形模型的解析度也會影響上述資料細節的處理方式及

程度，如建築物在 1 m 解析度時可明顯反映於資料中，但在 40 m 解析度時卻可能是可忽略的。

上述的說明可由下列圖說來加以解釋：圖 6 的航照圖中，可明顯看出道路、橋梁、建築物及植被等，紅線 1~4 號標示處為高架橋梁路段，這些構造物在 DEM 的製作過程中將會被移除。圖 7 為 1 m 解析度 DEM 的結果，可明顯看出 1~4 號屬於高架橋梁的資料被移除，但與其所連接道路，若是屬於土堤段，則是認定將被保留於 DEM 中。

圖 8 則為 1 m 解析度 DSM，高架橋梁與建築物等都被保留，不過可明顯看出由於保留了高架橋梁，造成內插後變成地形的一部份，在圖 8 中明顯位於水道上，若依此設定在淹水模式中，就會阻礙水的流通。圖 9 為 10 m 解析度與圖 10 是 20 m 解析度的 DSM，可看出當解析度降低時，DEM 或是 DSM 地表資料的差異影響不再顯著，在不同尺度探討下或許可以忽略，如建築物在 20 m 解析度下幾乎消失。



圖 6 航照圖與高架橋梁路段位置

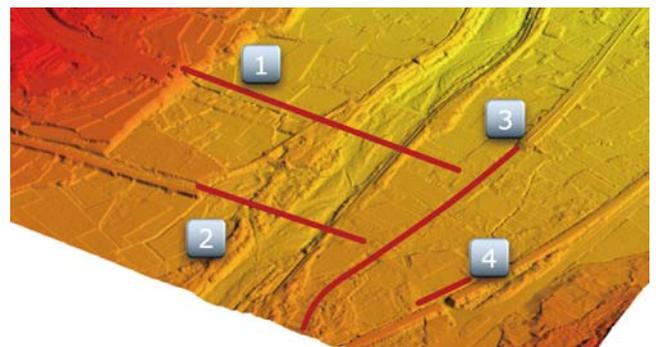


圖 7 1 m 解析度 DEM

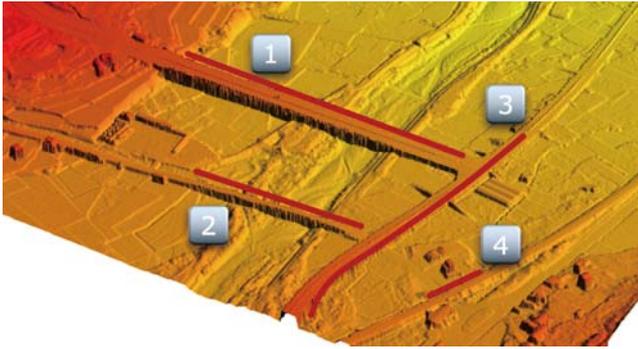


圖 8 1 m 解析度 DSM

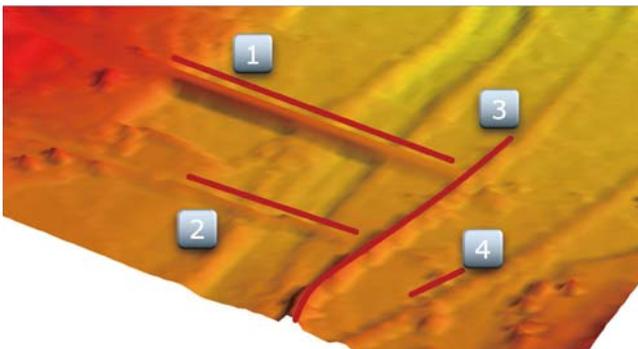


圖 9 10 m 解析度 DSM (保留高架橋梁與房屋)

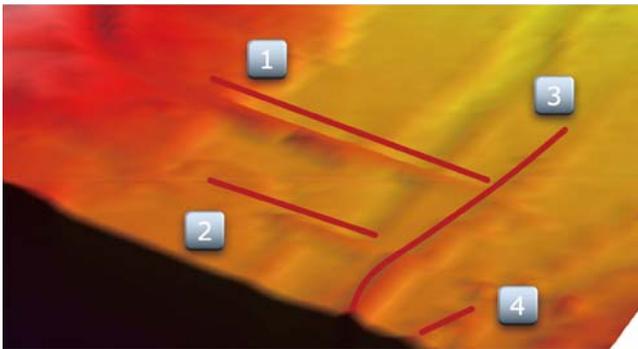


圖 10 20 m 解析度 DSM

此節說明，二維淹水模式所採用的基本地形資料，決定了模擬結果的精細程度，將會影響判讀的結果。如想知道鄉鎮的淹水景況，可能以 40 m 解析度的資料即可；但若要得知村里，甚或是街道的淹水景況，則至少需使用 20 m 以上解析度的地形資料。綜合而論，淹水模式雖可考量各種物理狀態，但資料的精細程度決定了模擬的細節，但愈精細的資料，對獲取技術與資料處理的能力也愈有挑戰性。

淹水模式精進

圖 11 說明影響二維淹水模式之主要因素，包括模式功能完整性、模式演算穩定性、模型建置的合理性、基

礎資料完整性、基礎資料正確性及邊界條件準確性等幾項因素。水利規劃試驗所推動「高效能二維淹水模擬應用於整合平台」計畫^[4,5]，與「二維淹水模式地文資料補充及模式更新研究計畫」^[6]中，就提到根據各個因素的改善，提出淹水模式的三個發展階段：潛勢圖版，高效能版，以及精進版。

模式功能完整性與演算穩定性屬於數值模式的先天條件，決定了模式的適用性。以目前的淹水潛勢圖製作而言，採用 SOBEK 模式，除了包括水工結構物建置功能，並涵蓋了一維河道水理模組 (1DFLOW-Rural)、二維淹水模組 (Overland Flow-2D)、下水道模組 (1DFLOW-Urban)，以及水工結構物即時控制模組 (RTC) 等，就功能的完整性而言，可滿足建置仿真模型之需求。就演算穩定性來說，SOBEK 模式可處理複雜的流場問題，從實務應用的經驗來看，無論是現場地形的空間變化、邊界條件的時序列變化，抑或是水工結構物的操作等，SOBEK 模式都具有良好的穩定性來確保預報資料的產出，適合用於預報作業。

模型建置的合理性方面，簡單來說就是使用者是否正確的使用模式所提供的各項功能，以符合模式本身特定的物理條件限制與使用規則，如此才能獲得最適化的模型，一方面能避免模擬結果出現重大謬誤，另一方面能發揮模式原有的演算能力，達到提升計算效能之目的。

基礎資料的完整性與正確性方面，直接影響數值建置模型描述現場實際情況的完整性與正確性。顯而易見的，當模型與現場實際情況有很大的差異時，模擬結果當然也會與實際情況不同，這就降低了模式反映實際情況的可靠度，影響後續所採取的應變作為。在基礎資料的完整性與正確性仍不足的情況下，可透過模式檢定與驗證等步驟，來提升模擬的可靠度，但長遠來說仍應該從強化基礎資料掌握度的方向來精進。此外，當基礎資料存在重大的不合理時，例如下水道高程高於地表高程、河道縱向坡度存在不合理的逆坡或高程變化不連續，及水工結構物不合理的操作等，都可能大大的降低模式計算的效能。

再者，有關邊界條件的準確性方面，屬於其它領域的研究範疇，例如降雨的觀測與預報屬於氣象領域，而河口潮位的觀測與預報又屬於海洋領域的範疇。就淹水模擬來說，其實就是反映降雨及河口潮位造成的淹水現象，因此實務上需要整合這兩個領域的成果應用。當引用的降雨或潮位資料與實際情況有差異時，對於模式來

說等於是模擬了與現況不同的情境，所獲得的模擬結果就可能與實際情況有所不同。

將上述影響模式表現的各項主要因素，對應水利署水利規劃試驗所，近幾年所推動的二維淹水模擬相關計畫，可以大致將模式精進的過程分成三個階段：

階段一：

第三代淹水潛勢圖計畫所建置的 SOBEK 淹水模式，該階段主要考量模式功能的完整性與演算穩定性，透過大量的資料蒐集、彙整與模型建置工作，完成潛勢圖版淹水模式。

階段二：

高效能淹水模擬計畫所建置的 SOBEK 淹水模式，該階段以潛勢圖版淹水模式為基礎，主要透過模式調校來增強模式設定的合理性，同時進行資料檢核與修正，以達到提升計算效能之目的，完成高效能版淹水模式。

階段三：

地文資料調查與更新計畫所建置的 SOBEK 淹水模式，該階段以高效能版淹水模式為基礎，透過現地測量與調查來強化基礎資料的完整性與正確性，可大幅度改善模擬結果的可靠度，同時提升計算效能，完成精進版淹水模式。隨著環境的變化，基礎資料的更新與維護將是動態的且持續的工作，因此精進版模式也將會不斷的

調整與改善，再配合雨量及潮位資料的持續精進，將可以使模式的可靠度不斷的提升。

隨著電腦運算速度不斷提升，加上穩定排程作業能力，以高效能為目標，利用快速的計算架構，將即時淹水模擬應用於水情資訊整合平台，已是可以實現的技術。但二維淹水模擬若要在計算正確性上獲得更進一步的提昇，基礎資料的提供是非常重要的關鍵，包括各項異質性資料高程銜接的合理性，因此除了水工結構物的資料需要盡可能周全外，地文資料的細緻度，將是影響淹水模擬結果正確性最為關鍵的因素。

即時作業化計算

當淹水模式配合大範圍高精度數值地形資料，雖能大幅提升模式成果精確度，但會同時提高本身所需運算資源及增加計算時間，使其在防汛應變時期有著無法達到預報時效性之風險。研究中藉由水利署 FEWS_Taiwan 平台分散式運算之平行機制，如圖 12 所示，分散進行淹水模擬的工作。

FEWS_Taiwan 整體控制由 MC (Master Control) 主控伺服器來統一傳訊，可將整個縣市之淹水模式拆成多個小範圍專案，以小範圍專案對應之模擬流程，分配給不同 FSS (Forecast Shell Server) 運算單元。在符合水文

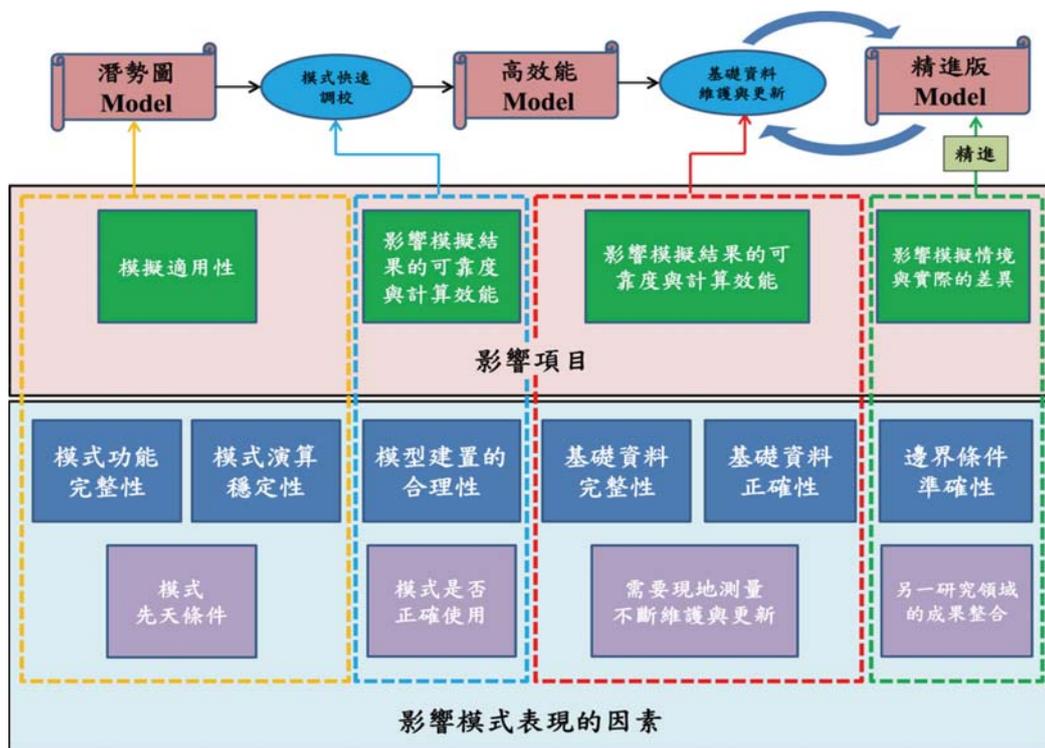


圖 11 影響二維淹水模式之主要因素

水理法則情況下，可定義每個小範圍專案，再結合多重格網架構，如圖 13 所示，即可將每個小範圍計算，控制在時間要求之內。將模式淹水成果進行後處理整併組合，進而呈現整個縣市多條流域於汛期時模式所預報可能淹水範圍。因此，原本大範圍高精度數值地形資料所需要的大量淹水範圍模擬計算時間，可因而降低，但卻仍能保有其高精度地形資料，與其模式成果精確度。

考慮全台二維即時淹水預報情況下，將需要在 FEWS_Taiwan 平台上，配置大量數目的 FSS 運算元件，如圖 12 所示，建立其淹水模擬的平行運算架構。因此，

採用虛擬機器 (Virtual Machine) 群的雲端機制，在颱風期間才配置大量的運算資源，平常時間則保持必要的基礎系統運算，是較有效率的系統管理方法。建構 FEWS_Taiwan 即時作業版本，採用高效能軟硬體，提供多核心處理及穩定之硬體架構，同時利用虛擬機器建構需求項目平台 FSS 運算元件，當整個系統 FSS 數目不足時，藉由虛擬機器需求項目可快速建置增加 FSS 數目，無須尋找可用之硬體設備來建置 FSS 運算元件。同時在 FEWS_Taiwan 所有部分皆使用虛擬機器需求項目建置之情況下，在後續平台會更容易維護、更新擴充。

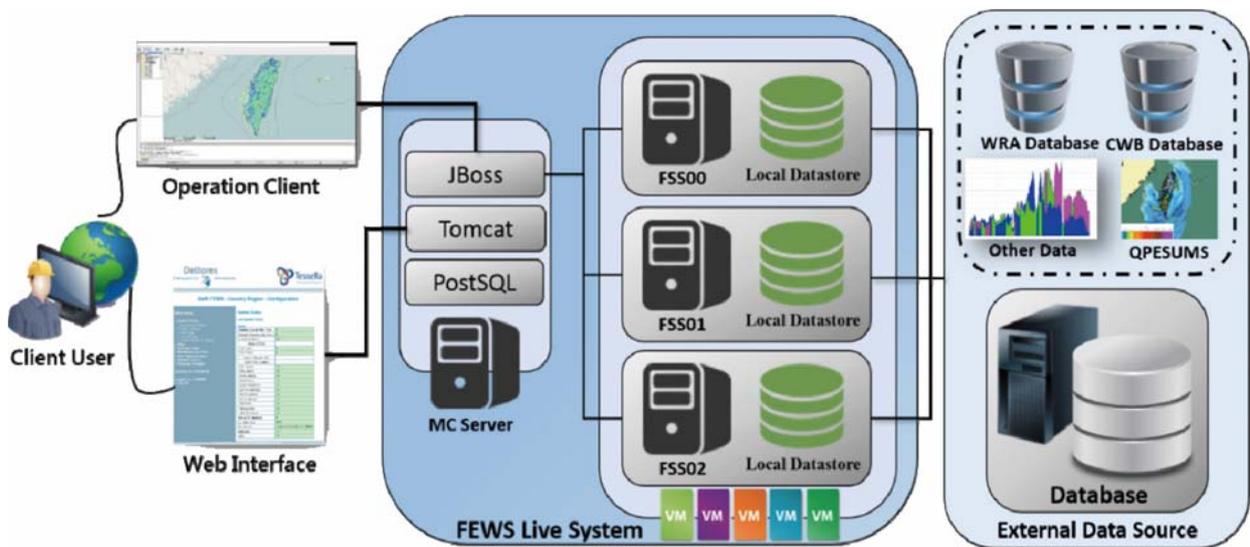


圖 12 FEWS_Taiwan Live System 平行運作架構圖

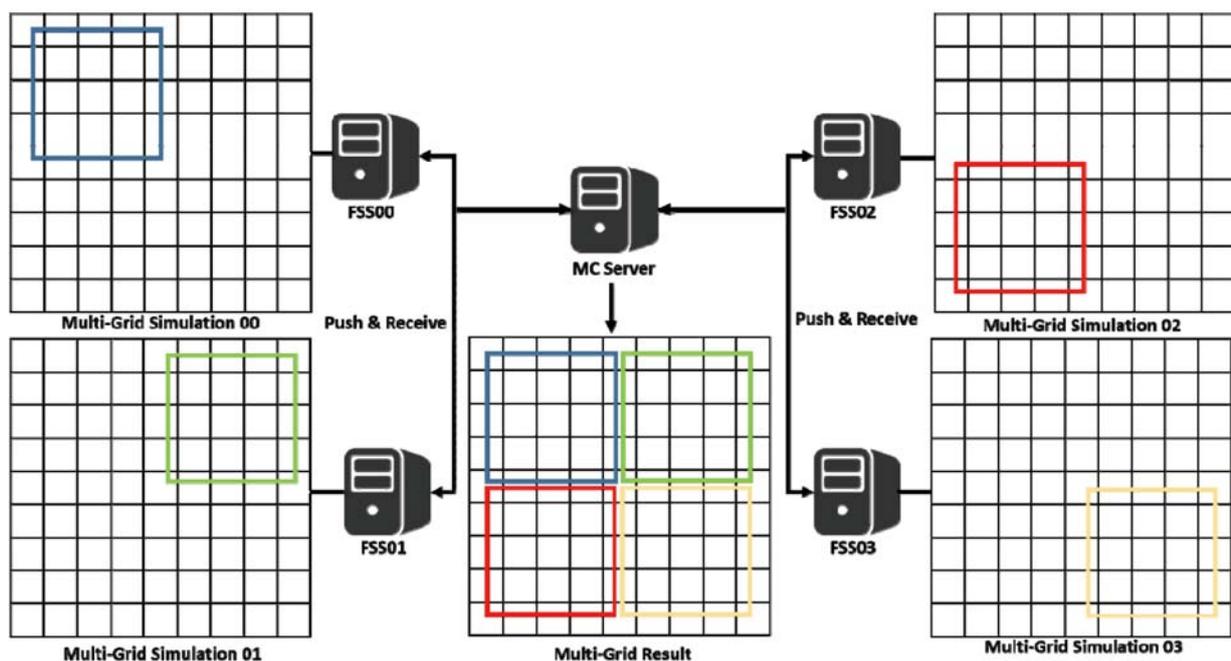


圖 13 二維淹水模式於 FEWS_Taiwan 平行運作概念圖

IoT 淹水水位計

雖然淹水模式與基本資料持續在發展與更新，但在各種環境、資料、模式所存在的不確定性之下，淹水範圍的界定仍然有一定的困難。且由於應用尺度上的需求，實務上需要村里等級甚至於街廓等級才能滿足。因此，加強對於淹水的觀測與計算，來提高必要的準確度與可靠度，都是必要的措施。

在觀測方面，包含數據，文字，影音方式，都有可能記錄片段時刻的淹水位置與深度，這些訊息將在颱風期間持續供應，數量與頻率可能遠遠超過河川水位站的規格。考慮到在物聯網技術下，多種感測器也可能提供低耗能且價格低廉的淹水水位計，更將增加感測記錄的傳輸與派送量。此外即時淹水水位資料，在颱風期間有高頻率及大資料量，對照平常時期卻幾乎沒有任何淹水水位記錄產生，以及颱風期間資訊系統與外部使用者的超大淹水水位資料需求，因此資訊系統必須能滿足即時數據的派送，減少資料庫負擔；同時建立混合式資料庫的處理能力，保有一維二維不同數據管理機制；更在軟硬體上以雲端技術實作，包含 SaaS、PaaS、IaaS 各部份，確保系統可因應颱風期間大量需求因而彈性擴增的可能性。

要能夠模擬計算淹水範圍，並且獲得驗證，還需要結合許多觀測數據來輔助，例如區域排水等級的水情監測網，以及淹水水位監測等。研究團隊已經具有智慧整合感測系統的開發經驗，已研發出整合型傳輸液位計，將充電、紀錄、傳輸、感測整合為單一設備，並可快速安裝於電桿、燈桿，以每 30 秒的週期，傳輸即時水位至雲端系統。這項結合感測、紀錄、傳輸三者一體的智慧整合感測系統 CPS，並可搭配 LPWAN 通訊、能量回收、低功耗晶片的物聯網技術，以及淹水潛勢圖搜圖演算法，推估出即時淹水範圍。若利用所收集累積之淹水歷史資料，還可進行淹水模擬計算之驗證。此系統已於台南安南區試行安裝 16 處^[7]，如圖 14，於 105 年度 0611 豪雨以及 9 月梅姬颱風兩事件，模擬計算的淹水深度變化，都能夠與淹水動態觀測歷程相當，並且在 1 小時內產出即時二維淹水範圍圖。

結論

在第三代淹水潛勢圖的架構下，不只是靜態淹水圖資可資應用，本文提出「淹水模擬即時動態演算架構」，整合氣象局提供的即時與預報降雨資料，搭配既有淹水潛勢圖的淹水模式與 IoT 淹水水位計，在每 1 小

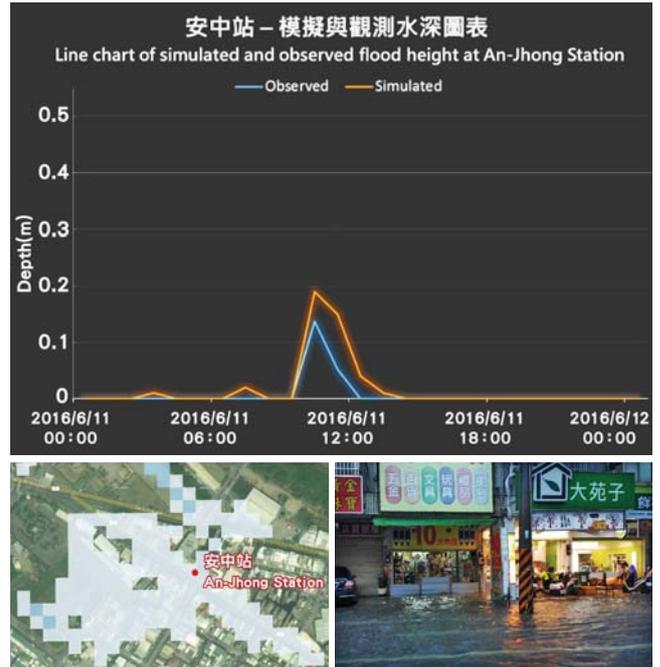


圖 14 105 年 0611 豪雨臺南安中站淹水觀測與模擬計算之比較

時都可計算完成的狀況下，即時評估洪災曝險街區。在此架構下，應用了既有淹水潛勢圖的淹水模式結果，並導入氣象局提供的降雨資料，讓其作用不再僅限於模擬降雨情境的評估，可使已投入的資源效益最大化。同時已經考量未來 IoT 技術的可能發展，實作淹水水位計獲取大量即時的淹水水位觀測歷程，確實可作為淹水模擬的驗證依據。此架構的整合工作亦橫跨防災、水利、空間資訊、大氣與資通訊，利用各項技術與成果，評估洪災曝險街區。印證在科技飛快發展的時代，快速統合各式資料與資源，將是未來防災工作的重要課題。

參考文獻

- Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.), "Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation", A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2012).
- De Moel, H., Aerts, J.C.J.H., Koomen, E., "Development of flood exposure in the Netherlands during the 20th and 21st century", *Global Environmental Change*, 21 (2), pp. 620-627 (2011).
- http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=1BC4B6AA25CB4164
- 經濟部水利署利規劃試驗所，「高效能二維淹水模擬應用於整合平台 (1/2)」，國家高速網路與計算中心，民國 104 年。
- 經濟部水利署利規劃試驗所，「高效能二維淹水模擬應用於整合平台 (2/2)」，國家高速網路與計算中心，民國 105 年。
- 經濟部水利署利規劃試驗所，「二維淹水模式地文資料補充及模式更新研究計畫」，國立臺北科技大學，民國 105 年。
- 新竹科學園區管理局，「主動式無線叢集感測器與平台用於都會防洪協同感知預警」，MG+4C 垂直整合推動專案計畫成果報告，民國 105 年。



Autodesk 工程設計軟體集 (Architecture, Engineering & Construction Collection) 可助您設計出更優異且更具永續性的建築。讓您具備交付優異設計的能力。

設計更出色的建築

取得所有正確的工具

整個軟體集提供的設計技術涵蓋概念設計到營造 (包括 BIM 和 CAD 在內)，可以支援建築生命週期的所有階段。

連接您的工作流程

專為滿足建築專案所有投稿人需求而打造的可互通設計工具，可支援團隊協同作業並受益於最佳的資料連續性。

將您的專案儲存在資料中心

利用可讓您比以往更加深入瞭解設計專案的最新創新軟體和雲端技術，引領未來的建築風潮。

工程建設軟體集 (建築) 包含：Revit、AutoCAD、AutoCAD Civil 3D，以及其他隨附的軟體。

請前往 www.autodesk.com.tw 查看工程建設軟體集 (建築) 中所包含產品的完整清單。最先列出的是主導產品，所有其他產品則列於主導產品之後。



高階主管

促成更好的成果

讓您的投資獲得更多回報

透過軟體集來購買多個 Autodesk 軟體解決方案，可為您大幅節省成本。

在現在和未來，全力支持您的業務

隨時透過存取多款最基本的可用於您產業的 Autodesk 軟體，提前因應不斷變化的業務需求，同時持續且穩定地取得最新版本和產品增強功能以改善工作流程。

更有效地管理營運成本

透過將技術軟體集標準化，使其具有可滿足您大多數客戶需求的彈性，降低營運成本 (IT 和採購支出)。

IT 主管

更智慧的軟體管理

簡化軟體管理

透過將 Autodesk 產品與服務軟體集標準化，簡化部署和軟體管理。

簡化採購流程

透過選用包含您的使用者現在和未來所需之一切技術的軟體集，消除額外的文書工作和不必要的採購週期。

最佳化 IT 支出

透過軟體集來購買多個 Autodesk 軟體解決方案，可為您大幅節省成本，不但能讓您的使用者存取更多技術，還能降低 IT 成本。



台港重大橋梁工程建設與耐震補強研討會報導

主辦單位：中國土木水利工程學會、國立臺灣大學土木工程學系
協辦單位：臺大土木及地質香港校友會、國立臺灣大學土木系校友聯誼會
臺大土木文教基金會、中華民國結構工程學會

106年3月16日舉辦的「台港重大橋梁工程建設與耐震補強研討會」報名踴躍，不到十個工作天200個名額就告額滿，秘書處首次啟動了報名候補機制，希望能讓更多會員有機會參與。研討會當天座無虛席，圓滿順利，講者演說精彩、聽者意猶未竟。演講的簡報及現場照片已放在學會網站 (<http://www.ciche.org.tw> 最新消息／實況報導／1060316)，歡迎上網瀏覽，在此略述研討會精要，以饗讀者。



精彩演講

港珠澳大橋香港段施工與挑戰



陳文執行董事
香港寶嘉建築有限公司



第一場演講由港珠澳大橋香港段的陳文總工程師擔任，介紹「港珠澳大橋香港段施工與挑戰」。陳文先生是香港寶嘉建築有限公司執行董事，整個香港段工程的總工程師。演講首先介紹此工程的設計挑戰：包括耐久性、耐震設計（香港第一個考慮耐震的工程、引用 Eurocode 8 規範）、環境保育、以及因為近機場航道的特殊高程限制等。而施工過程中則面臨了現場混凝土澆灌、預鑄混凝土製作及運送、海上打樁、樁帽施作、橋柱、預鑄節塊安放、因應現場採用各種不同施工方法等難題。自2012年5月開工，施工團隊克服了種種困難，最後一塊橋體將於2017年3月底安裝完成。至此只能依賴船舶在茫茫大海上施工的艱困順利落幕，爾後的工程由陸路運輸施作則將容易得多了。

國 1 五楊高架橋梁設計與施工挑戰



曾榮川協理
台灣世曦工程顧問股份有限公司



第二場是由世曦工程顧問曾榮川協理演講「國 1 五楊高架橋梁設計與施工挑戰」。中山高北段因容量不足雍塞嚴重，因此有以拓寬中山高二側為計畫的五楊高架橋梁工程。這個計畫在設計之初就面臨：計畫工期要縮短兩年、中山高必須維持通行、以及施工空間受限的種種需求與限制，是工程極大的挑戰。此外，為了避開土砂災害地質敏感區，規劃泰山跨越橋、林口跨越橋、以及雙層橋鋼梁等的設計。施工方法因地制宜，分別採懸臂工法、旋轉工法、以及架設梁工法。這些複雜的設計與施工都是世界罕見，台灣獨創。本工程獲得2015國際道路協會的「全球道路成就獎」殊榮，實至名歸，是國人的驕傲。

台灣高速公路橋梁耐震補強計畫



彭康瑜總工程師
林同棧工程顧問股份有限公司



第三場演講由 TYLin 彭康瑜總工程師演講「台灣高速公路橋梁耐震補強計畫」。不同於新建工程的雄偉矗立，橋梁補強工程是漫長、隱性却肩負維繫台灣環島生命線的重大工作。TYLin 與國震中心合作，自九二一震後全盤檢核高速公路橋梁，一一分析研判並參考國外經驗後，制定出高速公路橋梁耐震補強計畫。計畫目標有四：降低災損、建構台灣維生線、重大經濟園區永續發展、並達到現代化的防災目標。整個計畫共分三期，第一期工作補強第一、二號國道公路橋梁，自 1999 年開始，分別於 2009、2011 年完成。第二期工作為北台灣國道三號之橋梁補強，於 2016 年完成。第三期工作將在未來十年，於國道三號及後續的四、五、六、八、十號國道的橋梁加強耐震設計與補強，第三期工作預定 2025 年完成。彭總工在演講最後，語重心長地以「我們正在與時間賽跑」作為總結。

淡江大橋設計及 BIM 技術介紹



鄭書恆資深協理
中興工程顧問股份有限公司



第四場演講是中興工程的鄭書恆資深協理談「淡江大橋設計及 BIM 技術介紹」。淡江大橋由中興工程顧問、德商理安工程顧問及札哈·哈迪德建築事務所聯合設計，特殊的造型與意象，於國際競圖中脫穎而出。設計考量採：融合自然、反映當地特色、降低環境生態影響、選擇最佳造型、以及運用最先進技術，這亦是未來工程的設計方向與趨勢。整個設計在決定橋塔造型費時最久，甚至用長達一年時間觀察淡水落日角度以決定橋塔位置。這也是目前世界最長單塔不對稱鋼斜張橋。其結構系統、耐震設計、風洞試驗、耐久性、細部設計、施工規劃以及 BIM 的應用，由鄭資協一一道來，讓大家對淡江大橋有更多的期待。

註記：港珠澳大橋香港段總長 9.4 km，工程經費折合新台幣約 490 億元，平均造價每公里 52 億元。國 1 五楊高架橋梁全線長 40.603 km，平均造價每公里 10.55 億元。

互動熱烈



感謝及交流





不斷追尋技術的
頂端



尊重專業 Esteem Professionalism
保證品質 Ensure Quality
提昇效率 Enhance Efficiency
確保工安 Emphasize Safety
服務客戶 Embrace Clients

台北市大安區忠孝東路四段219號7樓
7th Floor, 219, Section 4, Chung-Hua East Road, Taipei, Taiwan, R.O.C.
Tel: +886-2-2721-7447 FAX: +886-2-2724-9148
E-mail: pan@msb.com.tw
www.panasia.com

土木技師 - 國之棟樑

逢山開路，遇水架橋
高樓擎天，資源再造



中華民國土木技師公會
全國聯合會
理事長 施義芳

會址：10565台北市松山區東興路26號9樓
電話：02-2748-1699 傳真：02-2748-1038
網址：<http://www.cupcea.org.tw>
E-mail：cupcea@tpcea.org.tw



茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登地位	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

44.3 44.4 44.5 44.6 45.1 45.2 共 次
(6月) (8月) (10月) (12月) (2月) (4月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)
商號

負責人：

地址：

廣告聯絡人：

電話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: mandy@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款帳號	0	0	0	3	0	6	7	8	金額 新台幣 (小寫)	仟	佰	拾	萬	萬	仟	佰	拾	元
------	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

報名費
 繳納 _____ 研討會
報名費 _____ 元

繳納會費
 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本)
 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版)
請留 email: _____
 初級會員年費 300元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期
 新台幣 1,800元
自第 _____ 卷第 _____ 期起，_____ 年期雙月刊 _____ 份

訂閱中國土木工程學刊，一年四期
 國內·會員 新台幣 800元
 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元
 國外·個人 美金 40元
 國外·機關團體 美金 100元
自第 _____ 卷第 _____ 期起 _____ 年期學刊 _____ 份

收款戶名 社團法人中國土木工程學會

寄款人 主管： _____

姓名 _____

地址 -

電話 _____

經辦局收款戳

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓名		款別 注：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費， <u>入會費一人僅需繳交一次</u>	報名費 <input type="checkbox"/> 繳納_____研討會 報名費_____元
會員證號碼			繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本) <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版) 請留 email: _____
身分證號碼			<input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元
卡別 <input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
信用卡卡號			訂閱中國土木水利工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
信用卡簽名欄最後三碼			白天聯絡電話
信用卡有效期限 (月/年)			通信地址
信用卡簽名			繳費金額

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據

注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

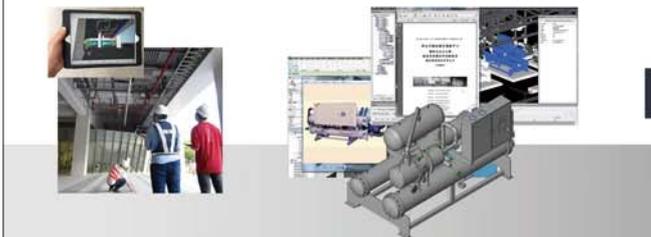
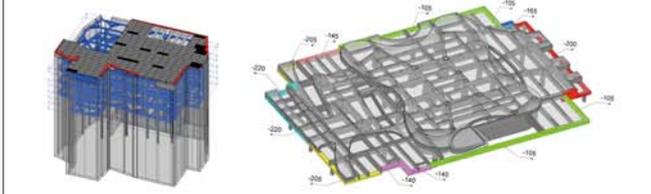
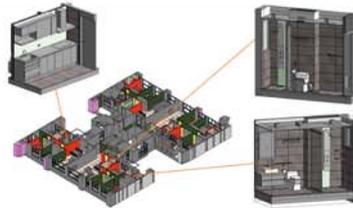
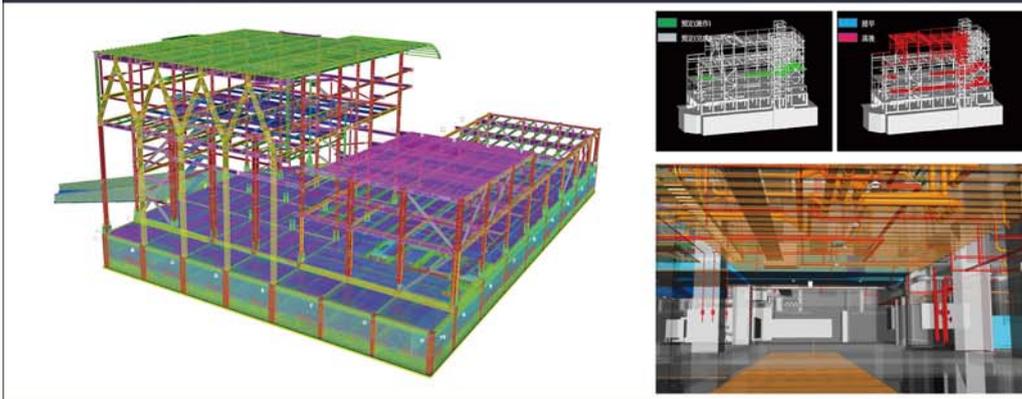
交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)

KEDGE CONSTRUCTION

BIM

Building
Information
Modeling



- 基本設計執行
都市設計量體檢討
綠能分析檢討
建照E-Checking
- 細部設計執行
機電合理化配置
建築結構機電整合
可量化數量計算
設計圖紙化
- 施工管理執行
干涉碰撞檢討
介面協調整合
4D 工進模擬
材質彩現擬真
鋼構鋼筋建置
IPAD輔助竣工驗收
元件資料輸入
COBIE資訊處理



根基營造

誠信 品質 服務 創新 永續

BIM (Building Information Modeling)

營建新視野、新技術

成就圓滿 使命必達

台中市洲際棒球場多功能運動中心
薄殼巨蛋結構工程



麗明營造股份有限公司
LEE MING CONSTRUCTION CO., LTD.

| 台中市西屯區府會園道169號4樓

| TEL : (04)22559888

