

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

August
2024

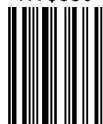


中國土木水利工程學會 113 年會大會 113 年 11 月 15 日（星期五）～ 與您相約在桃園市政府 ～

ISSN 0253-3804



NT\$350



Volume 51, No. 4

社團法人
中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

工程技術及發展

BIM 及 PMIS-BIM

數據數位化交換

地震工程技術

專 輯

年會預告

113 年年會
桃園市政府舉行



年會官網資訊



桃

社團法人中國土木水利工程學會

113 年年會系列活動：工程參訪、年會大會 暨 土木水利工程論壇

智培國建 慧桃滿園



報名連結

(10月20日截止)

聯合主辦：桃園市政府、社團法人中國土木水利工程學會

協辦：亞新工程顧問股份有限公司、國立中央大學土木工程學系、中原大學土木工程學系

113 年 11 月 14 日 (四) 工程參訪 集合地點：【臺北火車站】

時 間	工 程 參 訪 行 程	
8:00-10:00	石門水庫水文化館 參觀 (含車程)	7:45-8:00 臺北火車站 集合
10:00-11:30	阿 姆 坪 防 淤 隧 道 解說及導覽 (含車程)	11:50-13:00 午餐
11:30-15:40	桃園捷運G07工地 參訪 (含車程)	15:40-17:00 返回 臺北火車站

113 年 11 月 15 日 (五) 年會大會 暨 土木水利工程論壇 地點：【桃園市政府】

時 間	年 會 大 會 議 程	
	專車接駁：(1) 桃園火車站、(2) 桃園高鐵站 → 桃園市政府 (專車時間表 詳見報名表或官網)	
8:50-9:30	相見歡 (註冊、報到與領取資料)	
9:30-11:40	113 年年會大會 ◎ 開幕式：主席致詞、介紹貴賓及貴賓致詞 ◎ 專題演講：桃園市政府 張善政市長 ◎ 頒發榮譽：「工程獎章」、「榮譽會員」、「會士證書」 「中技社土木水利學術獎」、「曾元一工程特殊貢獻獎」 ◎ 頒發榮譽：「論文獎」、「獎學金」、「AI 應用獎」 ◎ 年會籌備報告、113 年會務報告 ◎ 唱大禹歌、禮成	
11:40-13:00	午 餐	
13:00-14:30	論壇一 桃園市捷運工程 現在及未來	論壇二 2024 學生 BIM 競賽 優勝發表
	【地點：桃園市政府 B2 大禮堂】	【地點：桃園市政府後棟 綜合會議廳 201 室】
14:30-15:00	茶 敘	茶 敘
15:00-16:30	論壇三 你 AI 了沒？ 人工智慧與工程產業轉型	論壇四 2024 土木水利盃英語簡報競賽 優勝發表
	【地點：桃園市政府 B2 大禮堂】	【地點：桃園市政府後棟 綜合會議廳 201 室】
17:00-18:00	歡迎雞尾酒會 【地點：鉅宴婚宴會館 鉅金廳】桃園市桃園區德華街 128 號	
18:00-20:30	學生 BIM 競賽、英語簡報競賽頒獎典禮 及 大會晚宴 【地點：鉅宴婚宴會館 皇家廳】桃園市桃園區德華街 128 號 專車接駁：餐廳 → (1) 桃園火車站、(2) 桃園高鐵站	



中國土木水利工程學會
113 年會大會 113 年 11 月 15 日 (星期五)
~ 與您相約在桃園市政府 ~

土木水利

社團法人中國土木水利工程學會會刊



發行人：高宗正

出版人：社團法人中國土木水利工程學會

主任委員：周頌安 (中興工程顧問股份有限公司總工程師、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

定價：每本新台幣 350 元、每年六期共新台幣 1,800 元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥 00030678 號 社團法人中國土木水利工程學會

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

社團法人中國土木水利工程學會第二十六屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：高宗正

常務理事：朱惕之 余信遠 廖學瑞 賴建信

理事：王宇睿 王昭烈 林子剛 林祐正 林聰利 胡宜德 高銘堂

張荻薇 莊均緯 許泰文 陳仲賢 曾榮川 黃一平 楊正君

楊偉甫 歐善惠 謝尚賢 謝震輝

常務監事：宋裕祺

監事：王藝峰 吳文隆 呂良正 沈景鵬 邱琳濱 賴建宏

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

- 中國土木水利工程學刊
- 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

中國土木水利工程學會任務

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。

中國土木水利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

「地震工程技術」專輯 (客座主編：徐文信教授兼系主任)

專輯序言：地震工程技術	徐文信	3
由歷史震災案例探討液化引致地盤側潰之地表變位特性	柯永彥	4
0403 地震花蓮港區勘災紀實 盧之偉/Shinichiro Mori/林郁峰/黃柏宇/Minh-Tam Doan/溫修程/徐文信/蔡嘉榮/Nozomu Yoshida		12
0403 震後二次坡地災害評估 王國隆/陳昭維/高振誠/呂家豪/邱昶瀚/汪俊彥/陳彥澄/劉宇凡/郭育廷/何文晟/鄭凱文/詹家賓		24
0403 花蓮地震之花蓮受震建物勘察	林克強/徐文信	32
建築附屬非結構構件與設備之花蓮地震災情勘查 柴駿甫/黃百誼/林凡茹/陳威中/徐瑋鴻/柯敏琪		47
從維生線系統震害省思其耐震減災課題	劉季宇	54

工程技術及發展

BIM 自動化及 PMIS-BIM 模組於土地開發工程細部設計之應用 楊憲彥/蔡雪華/吳建誠/朱家勁/許睿勳/楊宗融		61
公共工程實驗室數據數位化交換以淡江大橋工程為例 呂斌豪/林芳輝/郭瑋明/陳廣揮/曾枸諺/郭燕菁		68

學會資訊看板

113 年年會大會暨工程論壇 — 11月15日(星期五)與您相約在桃園市政府	封面
113 年年會大會暨工程論壇 — 總議程表	封面裡
113 年年會大會暨工程論壇 — 報名表	封底
CECAR10 2025.10.21-24 韓國濟州島舉辦 — 摘要徵求中(2024.12.31 截止)	封底裡

廣告特搜

亞新工程顧問股份有限公司 — 服務品質 ASSET	77
義力營造股份有限公司 — 義呈實諾 力呈卓越	77
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	78
根基營造問股份有限公司 — 構築永續城市	79
臺北市政府捷運工程局 — 帶動都市再生與發展 迎接經濟共榮圈	80



地震工程技術

專輯序言

專輯客座主編 徐文信／國立屏東科技大學土木工程系 教授兼系主任

台灣位於菲律賓海板塊和歐亞大陸板塊交會處，因板塊的碰撞可能產生地震，造成居民與地震共存的特殊生活型態。兩大板塊碰撞前緣的斷層作用則造成西部的地震，而兩大板塊直接碰撞則造成東部的地震。前者可以用 1999 年 9 月 21 日發生的集集大地震作為代表，後者則以今年 4 月 3 日，發生於花蓮縣的地震作為代表。

集集大地震係因車籠埔斷層錯動引致芮氏規模 7.3 的強震，這場地震造成 2,000 餘人罹難，經濟損失達新台幣 3,000 多億元。0403 大地震則是隔了 25 年後，台灣再次發生芮氏規模 7 以上（7.2）的強震，是集集大地震後台灣規模最大的地震。這 25 年間，政府與民眾開始正視自然災害的威脅，包括於 2000 年制定 9 月 21 日為「國家防災日」，同年並修訂了建築物耐震設計規範，以更嚴格的標準提升耐震設計要求；同時為強化地震震度在救災和應變上的實用性，中央氣象局（現改制為交通部中央氣象署）於 2020 年 1 月 1 日起實施新制地震震度；此外，政府利用細胞廣播技術，也於 0403 當天發布 2 則國家級警報。0403 大地震雖因發生的位置、時間造成的災害小於集集大地震，但對於主要災區花蓮縣仍造成了不小的影響，包括未來復原重建的預算以及恢復觀光消費的帶動，都需要時間與經費的挹注。

0403 大地震發生過後，全台土木領域相關專家陸續前往災區進行現場探勘與了解。土木水利雙月刊第 51 卷特刊也針對 0403 花蓮地震勘災進行了技術報告、災害防治策略與第一線工程人員報導提出分析。然而地震造成的影響與面相實屬廣闊，因此本期中國土木水利雙月刊「地震工程技術專輯」特邀請學界及研究機構中學有專精的先進，就地震的影響進行專輯論文的撰寫。包括地震引致土壤液化的現象，透過歷史震災中土壤液化導致濱水地區地盤測潰的記錄，利用現場地表變位觀測結果探討其空間分

佈以及影響範圍（由歷史震災案例探討液化引致地盤測潰之地表變位特性）；這次 0403 大地震同時造成花蓮港區內設施破壞，其損害的類型與土壤液化的形式相似，港區的液化潛能評估和未來的損害控制是值得關切的重點（0403 地震花蓮港區勘災紀實）。另外此次地震衍生的坡地災害，也可能對後續颱風豪雨來臨時造成二次災害；透過現生崩塌地位置以及流向演算法估算後續可能發生二次災害的位置，有助於防災的規劃與佈設參考（0403 震後二次坡地災害評估）。

此外，此次地震雖造成花蓮縣災情慘重，經過實地探訪及初步的資料匯整，有助於研析這次災害與不同年代耐震設計規範（及建築技術規則）差異的因果關係；但可以確認多年來規範的修訂工作，有其意義且已發揮成效，新造建築已鮮有損壞情形，也期望未來在施工品質上可以更加嚴謹要求（0403 花蓮地震之花蓮受震建物勘察）。地震發生後，建物的安全可由耐震設計規範把關，但附屬非結構構件，如女兒牆、冷卻水塔、電梯、空調設備等，和維生線系統，如自來水或公用天然氣管網受震之影響，是地震過後能否確保災民生活迅速回復正常的重要關鍵。例如醫院與大學建築內部非結構物是否加設耐震措施（建築附屬非結構構件與設備之花蓮地震災情勘察），以及維生線系統以管網方式建置及運作（從維生線系統震害省思其耐震減災課題），都是這次 0403 花蓮大地震後提供產官學研各單位思索，未來透過規範的修定、技術的提升、和民眾對於災害來臨時後的自我保護意識，對生命財產做出更多的保障，也縮短災害復原和正常運作需要的時間與經費。

最後特別感謝參與「地震工程技術專輯」的專家學者，在工作繁忙之餘仍撥冗撰稿，並透過珍貴的圖像和深入淺出的方式撰寫論文，使得本期雙月刊得以順利完成出刊，也讓更多土木工程從業人員掌握此次 0403 大地震的相關資訊。

通訊作者，wsshyyu@mail.npust.edu.tw



由 歷史震災案例 探討 液化 引致 地盤側潰 之 地表變位 特性

柯永彥* / 國立成功大學土木工程學系大地工程組 副教授

本文選用數個代表性歷史震災中因土壤液化引致之濱水地區地盤側潰案例，利用現場地表變位觀測結果，探討側潰所造成地表變位之空間分佈特性，包括變位量隨距離衰減之趨勢及側潰變位的影響範圍。所探討案例包括 1995 年阪神地震神戶港區之沉箱碼頭側潰災情，1999 年集集地震於貓羅溪岸與台中霧峰一帶之河岸側潰，以及 2010 年紐西蘭 Darfield 地震（2010～2011 年基督城地震序列之主震）於 Kaiapoi 地區之河岸側潰。此外，將以常用之對數衰減與指數衰減模型，以及本文作者所提出之常態分佈和對數常態分佈互補累積分佈函數，對地表變位之衰減特性進行迴歸分析並，評估各模式之適用性，相關成果將可做為地工震災防治之參考。

關鍵詞：土壤液化、側潰、地表變位、空間分佈特性、迴歸分析

研究背景與目的

砂質土壤因受震液化失去強度後所導致之近地表土層水平向運動，一般稱作側潰或側向擴展（lateral spreading），其除造成地盤水平向變位之外，也伴隨地表開裂。側潰可依發生條件概分為兩類，一類發生於傾斜地盤，坡度通常在 5% 以內，若坡度更大則常歸類為流動破壞（flow failure）；另一類則是朝向海岸、河岸或地形落差處等地盤自由面（free face）移動^[1]。前者係受重力驅動而向下坡方向運動，後者則因自由面外無側向束制所致，且因後者可能發生於人口密集之平原區，故較常見且影響較大。

側潰與沉陷同為土壤液化時常見之地盤變位型態，雖側潰發生範圍常不若沉陷廣泛，但其危害有過

之而無不及，除地表開裂之外，其推擠作用可能使地下結構如基礎位移甚至破壞，如 1964 年新潟地震之側潰造成多棟建築之基樁撓曲或剪力破壞甚至斷裂，甫完工數個月之昭和大橋則因基樁側向變形而倒塌^[2]。側潰亦可能損壞濱水構造物如河堤與碼頭等，如 1995 年阪神地震造成神戶港之人工島發生大範圍液化災情，液化側潰合併慣性力作用使重力式沉箱碼頭向海側外移達 5 米，外傾達 4 度^[3]，另有棧橋式碼頭因受側潰引致地盤變位作用而外移約 1.3～1.7 m，並因此使樁帽開裂及鋼管樁局部挫屈^[4]。在台灣，1999 年發生了近百年來規模最大、災情最嚴重之集集地震，除造成台中港 1～4A 號碼頭因側潰導致沉箱岸壁外移及背填地表嚴重陷落外，也發生了河岸側潰的案例，包括南投貓羅溪沿岸側向變位達 1 m，台中霧峰乾溪流域甚至因此造成建物滑移與傾斜^[5]。

* 通訊作者，yyko@ncku.edu.tw

進入 21 世紀以來，迄今最具代表性的液化災害，包括 2010 ~ 2011 年紐西蘭基督城（Christchurch）地震序列，當中以 2010 年 9 月之主震 2011 年 2 月之餘震災情較嚴重，均於 Avon 河下游區域嚴重液化與側潰，沿岸地區地表多處開裂，鄰近道路鋪面、地下管線與大量住宅受損，橋梁基礎亦因此位移^[6]。此外，2011 年東日本大震災（ $M_w = 9.1$ ）除海嘯與福島核電廠等重大災害外，因震動延時長達數分鐘，距震央近 400 公里之東京灣沿岸地區仍發生大規模土壤液化；其中，建立於新生地上之浦安市有 85% 的地區發生液化現象^[7]，且海岸線多處發生側潰，造成地表位移達數米伴隨嚴重開裂，如圖 1 所示。

台灣位於西環太平洋地震帶，地震為無可避免之天然災害；台灣之人口與經濟活動多集中於西半部之沖積平原區，常屬於地下水位偏高且質地疏鬆之砂性土層，故地震時之土壤液化為吾人所必須正視之威脅；加上台灣四面環海，又有許多河流，故有許多具液化潛能之濱水砂質地盤，液化引致之地盤側潰將可能損傷座落其上之碼頭、橋梁及臨岸建築。為了防治液化側潰之危害，首要工作在於了解側潰所造成地盤變位之特性，如此方能掌握其變位量與影響範圍。因此，本文特收集前述之 1995 年阪神地震、1999 年集集地震、及 2010 年紐西蘭 Darfield 地震（即 2010 ~ 2011 年基督城地震序列之主震）之災後地表變位觀測資料，觀察其空間分佈特性，包含變位量隨觀測點至自由面距離衰減之趨勢，以及側潰變位的影響範圍，並嘗試以不同之變位衰減模式描述之，以了解各模式之適用性，相關成果將可供濱水液化高潛勢區之側潰防治與基礎耐震設計參考。



圖 1 2011 年東日本大震災浦安市海濱公園側潰（柯永彥攝）

歷史震災中之液化側潰引致地盤變位案例

發生於 1964 年 6 月 16 日，地震矩規模（ M_w ）為 7.6 之新瀉地震常被認為是開啟後世土壤液化研究之關鍵，其對液化災情有詳盡之調查與記錄，因而在學術上與工程上具有重要參考價值。新瀉地震中之液化側潰造成大規模之地盤變位與地表開裂，觀察到之最大位移達 10 m，並進一步使許多座落於地盤上之結構破壞^[2]。其中，在昭和大橋倒塌災害所發生之信濃川沿岸地區，Hamada *et al.*^[8] 由震前震後空拍圖之比較，對側潰引致之地盤變位進行詳細的測量。其結果顯示，在距離河岸約 100 m 處之鐵道，仍有約 1 m 之地表變位，至河岸處位移則大幅增加至 7 m。值得注意的是，此處雖然地表與液化層頂部均屬平緩，但因河岸自由面之存在，且液化層達地表下 10 m，加上液化層下方地層略向河岸傾斜，故造成可觀之地盤變位。

1995 年 1 月 17 日之阪神地震（ $M_w = 6.9$ ）在神戶造成許多液化側潰災情，尤其是神戶港區由填海造陸形成之人工島，如港島（Port Island）與六甲島（Rokko Island）等，並導致許多沉箱碼頭岸壁之傾斜或高達 3 ~ 4 m 之外移^[9]。針對前述區域，Ishihara *et al.*^[9] 對地表裂縫寬度進行測量並予以累計，便可估算出地表變位分佈曲線，藉此掌握其沿水平向變化之趨勢，如圖 2 所示，此方法日後也被其他學者廣泛應用；根據相關成果，其指出變位量由海岸向後線 30 m 之範圍內呈現明顯之衰減，但地表變形範圍（即側潰影響範圍）則可延伸達 150 m 左右；此外，地表變形範圍大致上有隨海岸外移量增加之情況。

1999 年 9 月 21 日集集地震中（芮氏規模 $M_L = 7.3$ ， $M_w = 7.6$ ），液化側潰主要發生在中台灣屬粉土質砂

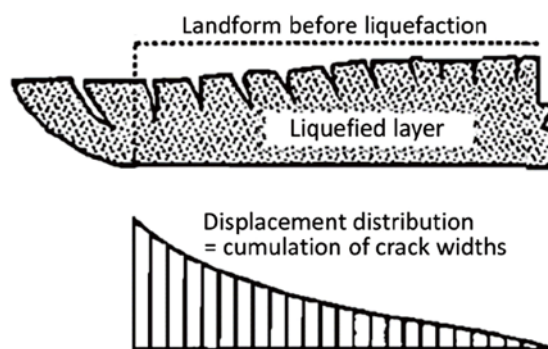


圖 2 根據裂縫寬度估算側潰引致地表變位示意圖
（改繪自 Ishihara *et al.*^[9]）

層之河濱地區，如前文提到之南投貓羅溪、台中霧峰乾溪流域等。其中，李德河與古志生^[10]在貓羅溪沿岸利用震測錐貫入試驗（seismic cone penetration test, SCPT）發現地表下 0.7 ~ 4 m 範圍之粉土質砂層錐尖阻抗與剪力波速均偏低，且粒徑分佈與噴砂土樣接近，推測其屬液化土層，其下方至深度約 9 m 則主要為夾礫砂層與礫石層^[11]，但仍因側潰而使地表產生可觀變位量，顯示側潰之驅動僅需數米深度範圍之土層發生液化。此外，根據林成川^[12]之調查，於霧峰乾溪支流鴿屋坑溪之溪岸，地盤因側潰所引致之水平位移約 0.5 ~ 3 m，側潰影響範圍約 20 ~ 70 m；其也發現側潰範圍內之房屋傾斜方向常與地盤側移方向相反，此與土坡發生弧形滑動破壞時之情況相似。

2010 年 9 月到 2011 年 12 月間，紐西蘭基督城周邊地區接連遭六起強震襲擊，其中以 2010 年 9 月 4 日發生於基督城以西 Canterbury 平原者規模最大（ $M_w = 7.1$ ），並因此誘發後續一系列地震；然而，發生於 2011 年 2 月 22 日 $M_w = 6.2$ 者，因震源較靠近基督城，引起最劇烈之強地動，最大地表加速度（PGA）超過 0.5 g，也因此造成最嚴重之災害，市區許多建築倒塌，共造成 185 人死亡。由於基督城地區上部地層為年輕且地下水位淺之沖積土層，故 2010 年 9 月與 2011 年 2 月之地震均造成大規模土壤液化災情，部分地區甚至在此二次地震中有重複液化之情況。其中，Avon 河畔與 Kaiapoi 河流域發生嚴重側潰現象，河岸變位量達 2 m 以上，側潰影響範圍約 100 ~ 200 m^[13]。值得注意的是，當中可觀察到不同之地盤側潰破壞型態，包括地表變位係由許多平均分佈之小裂縫累積而成之均佈型破壞（distributed failure），以及地盤被數個寬裂縫分隔為數個塊體並向水際線移動，使地表變位量集中發生於寬裂縫處之塊體型破壞（block-type failure）^[14]，分別如圖 3(a) 與圖 3(b) 所示。

值得注意的是，前文所述歷史案例顯示側潰大多發生於河岸或海岸附近，因此自由面側潰屬較常見且工程上較關注之情況，本文後續亦將以自由面側潰為主要探討標的。

液化側潰引致地表變位隨距離衰減之模式

Bartlett and Youd^[1] 分析 1964 年新潟地震信濃川附

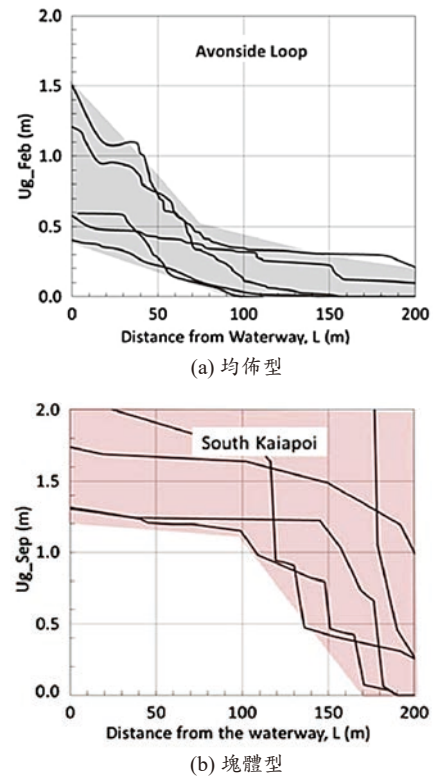


圖 3 地盤側潰變位型態^[14]

近側潰引致地盤變位資料，歸納出影響自由面側潰所造成地表水平向位移最主要之場址因素，為觀測點至自由面（即水際線）之距離，兩者間略呈對數衰減關係，如圖 4 所示；但可注意到圖中所示迴歸式之 R^2 值僅 0.317，相關性並不高，這可能是因為圖 4 之資料來自離散分佈之測點，並非沿特定測線所量測之結果。但此模式後續納入其他代表性歷史地震之側潰變位資料，並進行多元線性迴歸分析（multi-linear regression, MLR）識別出其他重要影響因子^[15,16]，相關成果被認為是最具參考價值之側潰變位估算模式^[17]。

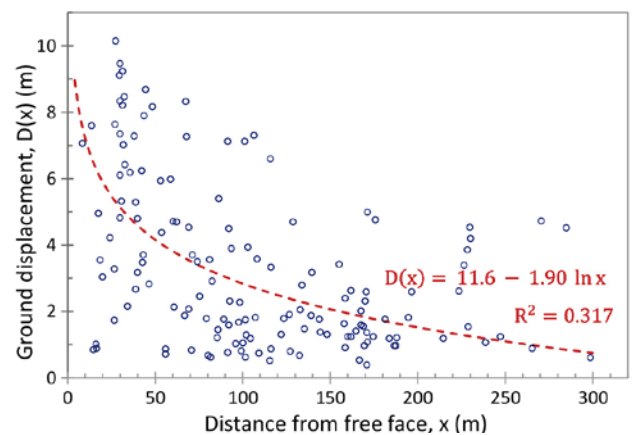


圖 4 1964 年新潟地震信濃川附近側潰引致地盤變位隨距離衰減之關係（根據 Bartlett and Youd^[1] 繪製）

本文中，則利用下式來描述側潰引致地表變位：

$$\frac{D(x)}{D_0} = a \ln \left(\frac{x}{L} \right) + b \quad (1)$$

其中， x 為觀測點至自由面之距離， $D(x)$ 為觀測點之水平向地表位移， D_0 為自由面地表位移， L 為側潰影響範圍之長度（自水際線起算），式中分別將對、 $D(x)$ 對 D_0 正規化； a 、 b 為迴歸分析之待定係數。

Tokimatsu and Asaka^[18] 根據 1995 年阪神地震之神戶港側潰引致地表變位調查資料，包括 Ishihara *et al.*^[9] 之研究成果，歸納出 $D(x)$ 與 x 有以下指數衰減關係：

$$\frac{D(x)}{D_0} = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{x}{L}} \quad (2)$$

其由實測資料歸納出 $L = (25 \sim 100) D_0$ ，並建議以 $L = 50 D_0$ 為代表；此外，其建議指數項中之常數 $c = 5$ 。本文中應用式 (2) 時， L 值將依實際側潰變位之影響範圍決定， c 值則以迴歸分析求取之。

須注意的是，歸納出式 (1) 與式 (2) 所依據之資料分別來自河岸附近與港區之側潰變位調查，較適用於自由面側潰之情況。此外，地表位移與觀測點至自由面距離之間，不論是呈對數衰減或指數衰減關係，均顯示越接近自由面處之地盤變位對所累積地表絕對位移之貢獻越大，此特性與前文提到的均佈型側潰變位型態（圖 3(a)）較相似，預期能有較佳之詮釋。然而，對塊體型側潰變位型態（圖 3(b)），對數或指數等單調衰減關係可能較難精準描述之；若考慮變形曲線特性，相較於均佈型變位型態屬凹向上（單曲率）曲線，塊體型變位型態更類似於雙曲率甚至多曲率曲線，針對此類情況，本文作者（Ko and Rahayu.J,^[19]）建議可採具雙曲率特性之常態分佈（normal distribution）累積分佈曲線（cumulative distribution function, CDF）：

$$\Phi \left(\frac{z - \mu}{\sigma} \right) = \int_{-\infty}^z f(z) dz \quad (3)$$

其中， $f(z)$ 為隨機變數之常態分佈機率密度函數（probability density function, PDF），常用來描述許多自然過程之機率分佈；其函數曲線呈對稱鐘形，故累積分佈曲線呈雙曲率特性。當 z 之均值為 μ 、標準差為 σ 時， $f(z)$ 可表為：

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z - \mu}{\sigma} \right)^2}; \quad -\infty < z < \infty \quad (4)$$

考慮到側潰引致地表變位通常於自由面最大，並隨與自由面的距離遞減，故可採常態分佈之互補累積分佈曲線（complementary cumulative distribution function, CCDF）描述之，如式 (5) 所示：

$$\frac{D(x)}{D_0} = 1 - \Phi \left(\frac{\hat{x} - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \right) \quad (5)$$

其中， $\hat{x} = x/L$ ， $\hat{\mu}$ 與 $\hat{\sigma}$ 分別為 $\hat{x}$ 之均值與標準差。

基於類似的概念，亦可採用同樣具雙曲率特性之對數常態分佈（log-normal distribution）CCDF 來描述自由面側潰地表變位，如式 (6) 所示：

$$\frac{D(x)}{D_0} = 1 - \Phi \left(\frac{\ln \hat{x} - \hat{\mu}^*}{\hat{\sigma}^*} \right) \quad (6)$$

其中， $\hat{\mu}^* = \exp(\hat{\mu})$ ， $\hat{\sigma}^* = \exp(\hat{\sigma})$ 。

歷史側潰案例之地表變位特性

本節於 1995 年阪神地震、1999 年集集地震、及 2010 年紐西蘭 Darfield 地震各擇一處側潰案例，根據前人之現地調查成果，觀察與探討其地表變位特性。

1995 年阪神地震神戶港港島側潰案例

在此採用 Ishihara *et al.*^[9] 於神戶港最大人工島—港島之現地調查成果，觀察其地表變位特性，其測線位置詳如圖 5，各測線之地表變位與觀測點至自由面距離之關係如圖 6 所示。由圖可知，地表變位均隨距離衰減，並大多於鄰近水際線處衰減最明顯，原因可能是神戶港區碼頭岸壁大部分屬沉箱型式，其於地震時將承受可觀之地震慣性力，並在其背側地盤液化側潰之共同作用下，沉箱幾乎均產生明顯之向海側變位^[20]。

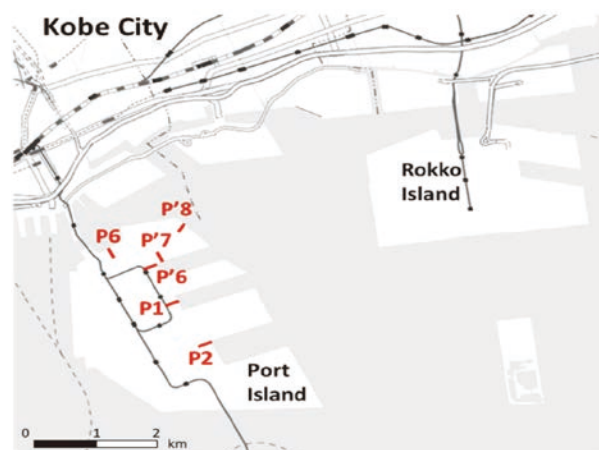


圖 5 1995 年阪神地震神戶港之港島側潰引致地表變位調查測線位置（根據 Ishihara *et al.*^[9] 重繪）

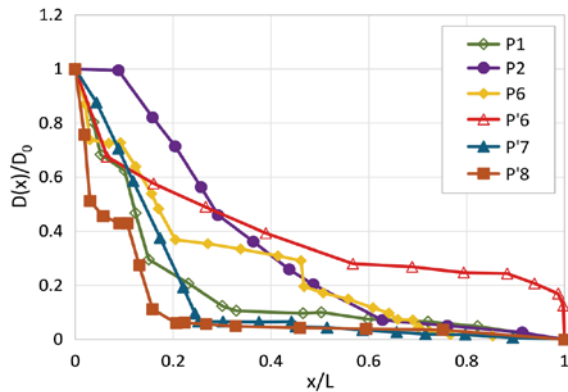


圖 6 1995 年阪神地震神戶港之港島側潰引致地表變位隨距離衰減關係 (資料取自 Ishihara *et al.* [9])

1999 年集集地震台中霧峰側潰案例

在此採用林成川 [12] 於台中霧峰乾溪支流鴿鳥坑溪之溪岸地表裂縫寬度調查成果，測線位置見圖 7，並進一步利用 Ishihara *et al.* [9] 之方法求取各測線地表變位分佈，如圖 8 所示，可知其距離衰減之趨勢不如神戶港案例明顯。值得注意的是，此案例中屬溪岸側潰，雖然當中部分具護岸設施，其於地震中所受之慣性效應並不如重力式擋土構造 (如沉箱岸壁) 明顯，故自由面之變位主要來自於側潰土體之推擠，此可能即為造成前述趨勢之原因。

2010 年紐西蘭 Darfield 地震 Kaiapoi 地區側潰案例

在 2010 年 Darfield 地震中，基督城北方之 Kaiapoi 河流域遭受嚴重側潰災情，於災後曾利用 Ishihara *et al.* [9] 建議方法對地表變位進行詳細的調查 [14,21]，本文中將呈現於 South Kaiapoi 之 Courtenay 溪 (為 Kaiapoi 河支流) 溪岸與 Courtenay 湖岸之成果，其測線位置見圖 9，各測線地表變位隨距離衰減之關係如



圖 7 1999 年集集地震台中霧峰鴿鳥坑溪之溪岸側潰引致地表裂縫寬度調查測線位置 (根據林成川 [12] 繪製)

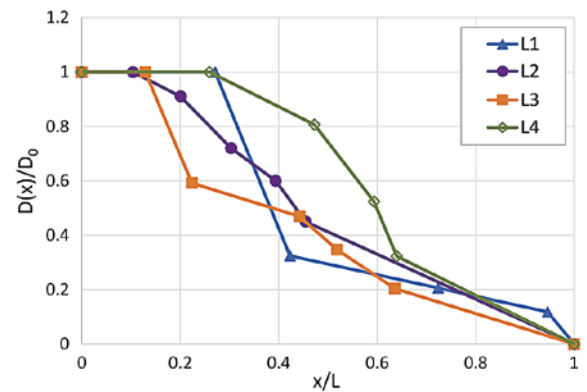


圖 8 1999 年集集地震台中霧峰鴿鳥坑溪之溪岸側潰引致地表變位隨距離衰減關係 (根據林成川 [12] 估算)

圖 10。結果顯示，各測線變位分佈，均類似於前述之塊體型破壞，並因此使變位分佈呈現出雙曲率甚至多曲率之特性，此現象這可能與 South Kaiapoi 之測線下方存在 Waimakariri 河之舊河道有關 [21]。

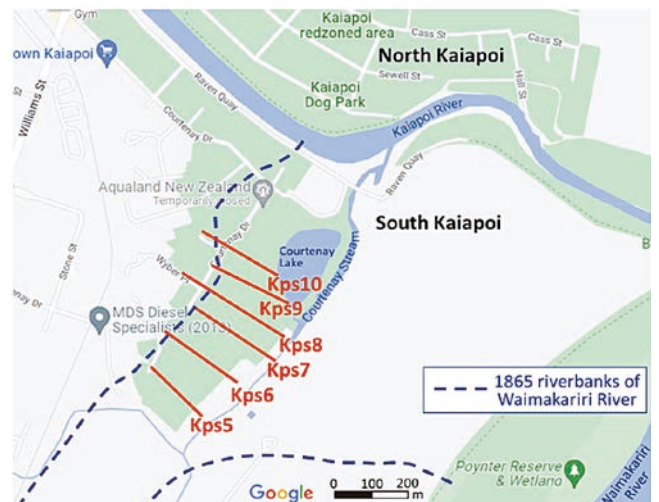


圖 9 2010 年 Darfield 地震 South Kaiapoi 地區側潰引致地表變位調查測線位置 (根據 Robinson [14] 重繪)

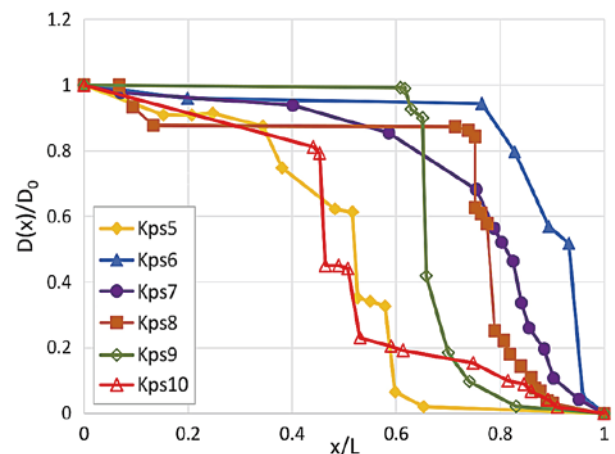


圖 10 2010 年 Darfield 地震 South Kaiapoi 地區側潰引致地表變位隨距離衰減關係 (資料取自 Robinson [14])

地表變位隨距離衰減模式於歷史側潰案例之應用

本節將前文所介紹之地表變位隨距離衰減模式，應用於上一節所述案例之地表變位資料進行迴歸分析，以檢視各模式之適用性。須注意的是，由於對數函數之特性在以對數衰減關係進行迴歸時，自由面變位並未納入。

1995 年阪神地震神戶港港島側潰案例

本案例之側潰變位型態較類似均佈型（圖 2(a)），故在此僅採用對數衰減關係（式(1)，圖例中表為 Log decay）與指數衰減關係（式(2)，圖例中表為 Exp decay）來進行迴歸分析。首先，選取圖 6 中 P1 測線之變位資料為例，其迴歸結果如圖 11 所示，若迴歸之擬合程度以 R^2 值為指標來評估，則以對數衰減之迴歸結果略優於指數衰減，但兩者 R^2 值均大於 0.9，顯示對數與指數衰減在此案例中均能合理詮釋地表變位趨勢。

接著，對圖 6 中其他曲線亦以式(1)與式(2)進行迴歸分析，所得之係數及 R^2 值詳列於表 1。結果顯示，對數衰減關係之擬合程度則較為平均，各測線 R^2 值均大於 0.8；指數衰減關係之 R^2 值除了在 P'8 測線約為 0.74 外，其他測線亦大於 0.8；整體而言，兩者擬合程度相當，均相當適用在神戶港港島側潰案例。由於指數衰減關係是由 Tokimatsu and Asaka^[18] 歸納神戶港地表變位資料後所建議，可預期其有良好結果；但對數衰減關係亦呈現同等效果，則印證了 Bartlett and Youd 一系列研究之廣泛應用性。

1999 年集集地震台中霧峰側潰案例

本案例之側潰變位隨距離衰減之趨勢不如神戶港港島案例明顯，且圖 8 中部分關係曲線略有雙曲率特性（如圖 8 中之 L4 測線），故在此除了對數與指數衰

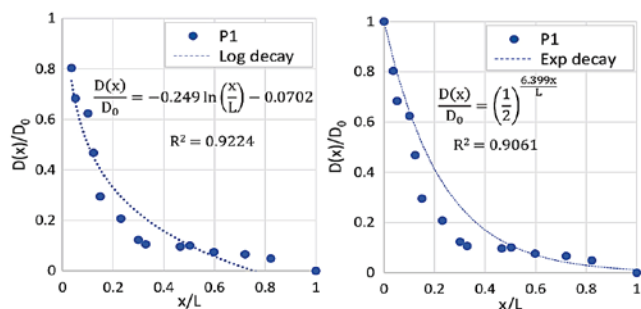


圖 11 1995 年阪神地震神戶港之港島側潰引致地表變位隨距離衰減關係—P1 測線之迴歸分析結果

表 1 1995 年阪神地震神戶港之港島側潰引致地表變位隨距離衰減關係—各測線迴歸分析所得係數彙整

測線	對數衰減關係 - 式(1)			指數衰減關係 - 式(2)	
	a	b	R^2	c	R^2
P1	-0.2489	-0.0702	0.9224	6.399	0.9061
P2	-0.4493	-0.0662	0.9778	5.278	0.8390
P6	-0.2480	0.0105	0.9410	5.989	0.9658
P'6	-0.2113	0.162	0.8990	2.706	0.8543
P'7	-0.2866	-0.1327	0.8378	8.566	0.9488
P'8	-0.1915	-0.1103	0.8553	9.445	0.7391

減模式外，亦採用常態分佈 CCDF（式(5)，圖例中表為 Normal CCDF）與對數常態分佈 CCDF（式(6)，圖例中表為 Log-nor CCDF）進行迴歸分析。在此以 L4 測線資料為例，其迴歸結果如圖 12 所示，以常態分佈 CCDF 之擬合程度最佳， R^2 值高達 0.97，而對數衰減關係與對數常態分佈 CCDF 亦有不錯表現， R^2 值均在 0.9 附近，僅指數衰減關係之 R^2 值較低。

所有測線迴歸分析所得係數及 R^2 值詳列於表 2，整體而言，對數衰減關係在各測線可穩定獲得高 R^2 值（均大於 0.85），相較其他簡化公式有較佳表現；然而，因對數衰減關係迴歸時未納入自由面變位，由圖 12 可知此應為擬合程度較佳之部分原因。指數衰減關係之 R^2 值則介於 0.70 ~ 0.96，亦有不錯表現。常態分佈與對數常態分佈 CCDF 則是對變位型態略有雙曲率特性之 L2 與 L4 測線有較佳擬合效果，尤其前者 R^2 值均大於 0.9。

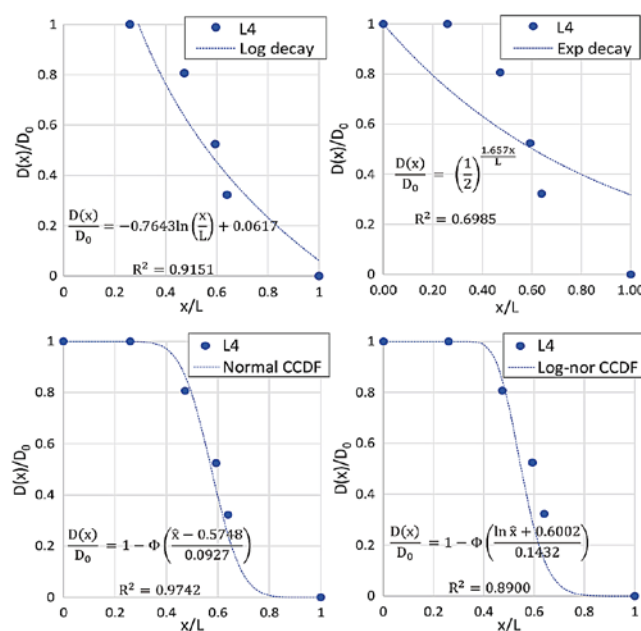


圖 12 1999 年集集地震台中霧峰側潰引致地表變位隨距離衰減關係—L4 測線之迴歸分析結果

表 2 1999 年集集地震台中霧峰鴛鴦坑溪之溪岸側潰引致地表變位隨距離衰減關係—各測線迴歸分析所得係數彙整

測線	對數衰減關係-式(1)			指數衰減關係-式(2)		
	a	b	R^2	c	R^2	
L1	-0.6511	-0.0017	0.8627	3.142	0.7813	
L2	-0.4540	0.1004	0.9311	1.950	0.9610	
L3	-0.4570	0.0189	0.9630	3.102	0.9046	
L4	-0.7643	0.0617	0.9151	1.657	0.6985	
測線	常態分佈 CCDF-式(5)			對數常態分佈 CCDF-式(6)		
	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	R^2	$\hat{\mu}^*$	$\hat{\sigma}^*$	R^2
L1	0.5974	0.0962	0.5596	-0.5806	0.1456	0.5340
L2	0.4455	0.0972	0.9219	-1.046	0.2445	0.7720
L3	0.4719	0.0960	0.7550	-0.9515	0.2255	0.6572
L4	0.5748	0.0927	0.9742	-0.6002	0.1432	0.8900

2010 年紐西蘭 Darfield 地震 Kaiapoi 地區側潰案例

本案例之側潰變位型態多呈現雙曲率特性（圖 10），可歸類為塊體型（圖 2(b)），可能不易被對數與指數衰減關係適切描述，故在此兼採對數與指數衰減以及常態分佈與對數常態分佈 CCDF 進行迴歸分析。以圖 10 之 Kps5 測線資料為例，圖 13 為其迴歸結果，一如預期，對數與指數衰減之 R^2 值均較神戶港島案例為小，顯示兩者詮釋塊體型破壞之效能較差，但對數衰減關係還是優於指數衰減關係；而常態分佈與對數常態分佈 CCDF 則較前兩者具有較佳之擬合度，顯示以雙曲率曲線描述塊體型破壞確為一可行之方向。

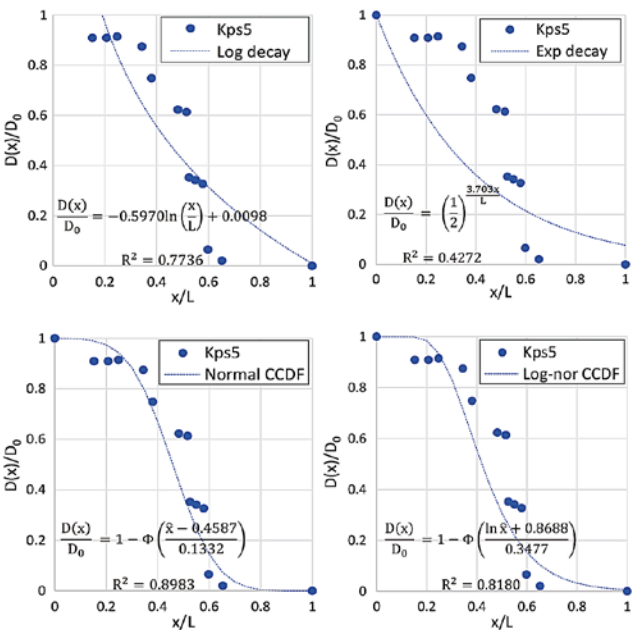


圖 13 2010 年 Darfield 地震 South Kaiapoi 地區側潰引致地表變位隨距離衰減關係—Kps5 測線之迴歸分析結果

表 3 彙整了所有測線迴歸分析所得係數及 R^2 值，可以看出常態分佈與對數常態分佈 CCDF 大致上對此類塊體型破壞之變形分佈有較佳之擬合效能，在部分測線可達近 0.9，又以前者表現較為平均；對數衰減之 R^2 值介於 0.34~0.79，對部分測線詮釋不佳；指數衰減則表現最差，於大部分測線之 R^2 值小於 0.5，最高者也僅有 0.55。

表 3 2010 年 Darfield 地震 South Kaiapoi 地區側潰引致地表變位隨距離衰減關係—各測線迴歸分析所得係數彙整

測 線	對數衰減關係-式(1)			指數衰減關係-式(2)		
	a	b	R^2	c	R^2	
Kps5	-0.5970	0.0098	0.7736	3.703	0.4272	
Kps6	-0.4018	0.4166	0.3419	1.556	0.3762	
Kps7	-0.3307	0.3136	0.4892	2.185	0.5357	
Kps8	-0.3026	0.2743	0.4436	2.822	0.3843	
Kps9	-2.2462	-0.2794	0.6924	2.632	0.0406	
Kps10	-0.7999	-0.0742	0.7919	4.083	0.5499	
測 線	常態分佈 CCDF-式(5)			對數常態分佈 CCDF-式(6)		
	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	R^2	$\hat{\mu}^*$	$\hat{\sigma}^*$	R^2
Kps5	0.4587	0.1332	0.8983	-0.8688	0.3477	0.8176
Kps6	0.8351	0.5182	0.7229	-0.2455	0.2996	0.5838
Kps7	0.7270	0.2073	0.8920	-0.4577	0.5018	0.7269
Kps8	0.6733	0.1436	0.5733	-0.5659	0.3991	0.4458
Kps9	0.6945	0.0404	0.8705	-0.3701	0.0578	0.8649
Kps10	0.5195	0.1870	0.8666	-0.6709	0.2922	0.8881

結論

透過綜整代表性液化側潰歷史案例之災後現地調查資料，歸納自由面側潰引致地表變位之空間分佈特性，由所得結果可得到以下結論：

- 1. 當側潰引致地表變位隨觀測點至自由面距離有顯著衰減時，其變位分佈將近似於指數衰減關係；
- 2. 針對具有雙曲率甚至多曲率特性塊體型變位型態，以常態分佈與對數常態分佈 CCDF 可獲得良好擬合結果；
- 3. 對數衰減關係大致適用於各類型側潰變位型態之描述，惟須注意其並無法納入自由面位移之影響。

誌謝

本研究承蒙科技部（現改制為國家科學及技術委員會）專題研究計畫惠予補助，計畫編號：MOST 110-2221-E-006 -048 -MY3，特此申謝。

參考文獻

1. Bartlett, S.F. and Youd, T.L. (1992). Empirical Analysis of Horizontal Ground Displacement Generated by Liquefaction-Induced Lateral Spreads, Technical Report NCEER-92-0021.
2. Hamada, M. (1992). "Large ground deformations and their effects on lifelines: 1964 Niigata earthquake." in: Hamada, M. and O'Rourke, T.D. (eds), Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes, Vol. 1, Japanese Case Studies, Technical Report NCEER-92-0001, Chapter 3.
3. Iai, S. (1998). "Rigid and flexible retaining walls during kobe earthquake." 4th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, MO.
4. PIANC (World Association for Waterborne Transport Infrastructure) (2001). Seismic Design Guidelines for Port Structures, A.A. Balkema Publishers, Lisse, Netherlands.
5. 黃俊鴻、楊志文、譚志豪、陳正興 (2000), 「集集地震土壤液化之調查與分析」, 地工技術, 第 77 期, 第 51-64 頁。
6. 陳正興、陳家漢 (2014), 「地震引致的土壤液化與側潰現象」, 科學發展, 第 498 期, 第 12-17 頁。
7. Yasuda, S., Harada, K., Ishikawa, K., and Kanemaru, Y. (2012). "Characteristics of liquefaction in Tokyo Bay area by the 2011 Great East Japan Earthquake." *Soils and Foundations*, **52**(5), 793-810.
8. Hamada, M., Towhata, I., Yasuda, S., and Isoyama, R. (1987). "Study on permanent ground displacement induced by seismic liquefaction." *Computers and Geotechnics*, **4**(4), 197-220.
9. Ishihara, K., Yoshida, K., and Kato, M. (1997). "Characteristics of lateral spreading in liquefied deposits during the 1995 Hanshin-Awaji Earthquake." *Journal of Earthquake Engineering*, **1**(1), 23-55.
10. 李德河、古志生 (2001), 「液化區 CPT 資料之探討」, 土木水利工程學刊, 第 13 卷, 第 4 期, 第 779-791 頁。
11. Chu, D.B., Stewart, J.P., Youd, T.L., and Chu, B.L. (2006). "Liquefaction-induced lateral spreading in near-fault regions during the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **132**(12), 1549-1565.
12. 林成川 (2002), 921 集集大地震霧峰地區土壤側潰, 國立中興大學土木工程學系碩士論文。
13. Cubrinovski, M. and Robinson, K. (2016). "Lateral spreading: Evidence and interpretation from the 2010-2011 Christchurch earthquakes." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **91**, 187-201.
14. Robinson, K. (2016). Liquefaction-Induced Lateral Spreading in the 2010-2011 Canterbury Earthquakes, PhD Dissertation, University of Canterbury.
15. Bartlett, S.F. and Youd, T.L. (1995). "Empirical prediction of liquefaction-induced lateral spread." *Journal of Geotechnical Engineering*, **121**(4), 316-329.
16. Youd, T.L., Hansen, C.M., and Bartlett, S.F. (2002). "Revised multilinear regression equations for prediction of lateral spread displacement." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **128**(12), 1007-1017.
17. 翁作新、陳正興、黃俊鴻 (2004), 「國內土壤受震液化問題之檢討」, 地工技術, 第 100 期, 第 63-78 頁。
18. Tokimatsu, K. and Asaka, Y. (1998). "Effects of liquefaction-induced ground displacements on pile performance in the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake." *Soil and Foundations*, **38**, special issue, 163-177.
19. Ko, Y.Y. and Rahayu, J., T.K. (2022). "Distribution characteristics of surface displacement due to lateral spreading of liquefied ground." *Journal of GeoEngineering*, **17**(4), 175-187.
20. Iai, S., Sugano, T., Morita, T., and Ichii, K. (1997). "Seismic performance of quay walls -Kobe Earthquake-." Proceedings of Earthquake Criteria Workshop, Yokohama, Japan, 1-29.
21. Cubrinovski, M., Robinson, K., Taylor, M., Hughes, M., and Orense, R. (2012). "Lateral spreading and its impacts in urban areas in the 2010-2011 Christchurch earthquakes." *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **55**(3), 255-269. 

土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木水利工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1 ~ 2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。



0403地震 花蓮港區勘災紀實

盧之偉*／國立臺灣科技大學營建工程系 教授

Shinichiro Mori／愛媛大學工學部工學科社會基盤工學 講座教授

林郁峰／國立臺灣科技大學營建工程系 博士班研究生

黃柏宇／國立臺灣科技大學營建工程系 碩士班研究生

Minh-Tam Doan／國立臺灣科技大學營建工程系 博士班研究生

溫修程／國立臺灣科技大學營建工程系 博士後研究員

徐文信／國立屏東科技大學土木工程系 教授兼系主任

蔡嘉榮／國立屏東科技大學土木工程系 助理教授

Nozomu Yoshida／關東學院大學工學綜合研究所 研究員

花蓮港區在 2018 年遭遇 0206 花蓮地震 (M_L 6.2) 以及 2024 年遭遇 0403 花蓮地震 (M_L 7.2)，此兩場地震皆造成港區內設施損壞；於 0403 花蓮地震發生後，臺灣科技大學研究團隊即偕同日本愛媛大學和國內屏東科技大學等單位，於 04 月 13 日前往花蓮港區執行勘災，並且諮詢關東學院大學地震災害學者相關意見。於花蓮港區內，地震引致之破壞包含道路差異沉陷、碼頭後線後線回填層震陷以及設施橋樑損壞等；碼頭後線回填層多以砂礫石填築，其滲透性和 SPT-N 值通常較高，一般認為其土壤液化潛勢低，然而已有學者 (Harder and Seed^[1], Yegian *et al.*^[2]) 提供相關案例回顧，發現部分砂礫石發生液化現象；Hatanaka *et al.*^[3] 則整理日本砂礫石之現地試驗與室內試驗之資訊，說明砂礫石之重模試體其抗液化強度會降低，以此推論 1995 年阪神地震於六甲島 (Rokko Island) 與港島 (Port island) 皆發生大規模土壤液化現象的原因，係皆以砂礫石回填造陸所產生人工新生地為由。鄰近花蓮港區的土壤液化潛勢皆顯示為低潛勢區，其區域地質屬於花蓮層，並分布於港區內及港區西方之窪地，整體以礫石、化石砂等組成，但由前述國外案例了解即使含礫石之礫質砂土與粉土質砂亦可能會發生液化，且國內亦有相關案例可循，如 921 地震之霧峰及南投地區、0206 花蓮地震等；本研究團隊於花蓮港區進行地土壤液化災害相關勘查，並取回土壤液化噴出物進行篩分析試驗，並且對比 2018 年 0206 年花蓮地震之採集土樣，以下將說明此次花蓮港區背景資料以及勘災紀實成果。

花蓮港區區域地質條件與 0403 地震概述 鄰近花蓮港區之區域地質

本次地震發生區域位於海岸山脈東側花蓮縣壽豐鄉之海陸交接處，震央位置依照臺灣地質構造區分類為海岸山脈地質區之外，其西側則屬於海岸山脈地質區，其組成以火成岩及沉積岩為主，其地貌地形、岩層等地質構造多以北 10 度至 20 度東走向，同時該區域地質構造

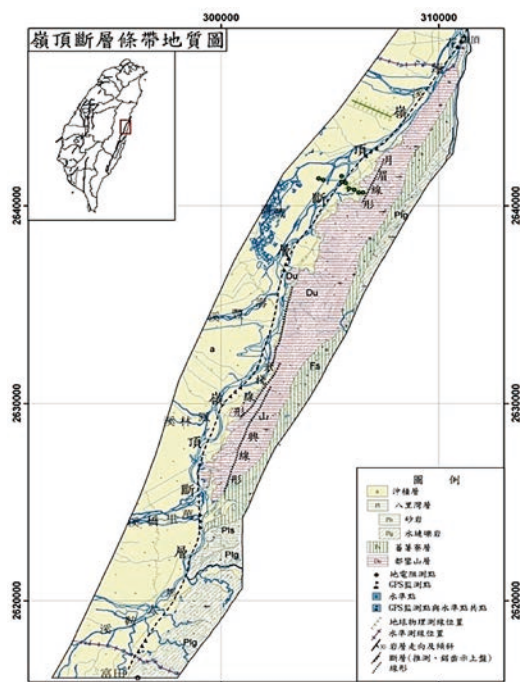
十分複雜^[4]；而花蓮港區正位於此複雜交界面附近的花東縱谷，夾雜於隱沒帶與碰撞帶之轉換處，並鄰近米崙斷層、縱谷斷層系統（包含嶺頂斷層、瑞穗斷層和池上斷層）等，附近經常發生地震，距離花蓮港區最近之活動斷層則為米崙斷層，屬於左移斷層兼具逆移分量，大約呈現南北走向，自花蓮縣七星潭向南延伸至花蓮市美崙山西南側，總長度約為 8 km，屬於第一類活動斷層^[5]；經濟部依據過往調查資料於 2016 年公告為活動地層地質敏感區：F0011 米崙斷層，並於 2020 年進行活動地層地質

* 通訊作者，cwlu@mail.ntust.edu.tw

敏感區變更：F1011 米崙斷層^[6]，如圖 1 所示。位於米崙斷層南方的嶺頂斷層，亦為左移斷層兼具逆移分量，斷層線約呈北北東走向，自花蓮溪出海口的嶺頂夾岬向南延伸至光復鄉東富村，總長度約為 30 km，屬於第二類活動斷層^[5]，經濟部於 2019 年公告為活動地層地質敏感區：F0020 嶺頂斷層^[7]。



(a) 米崙斷層



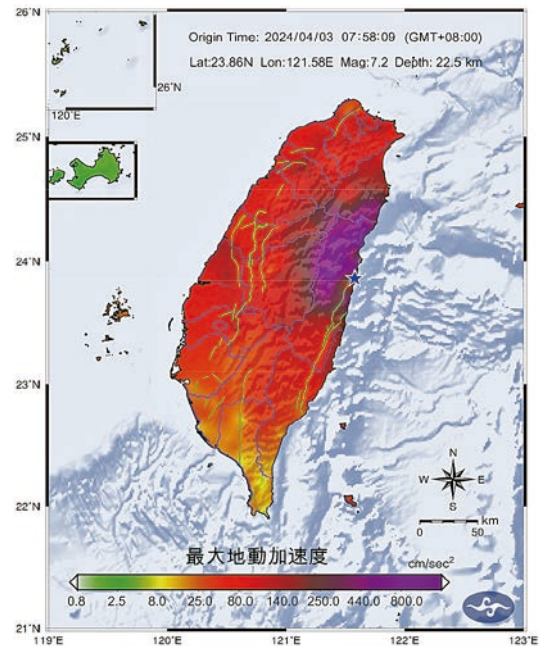
(b) 嶺頂斷層

圖 1 斷層條帶地質圖

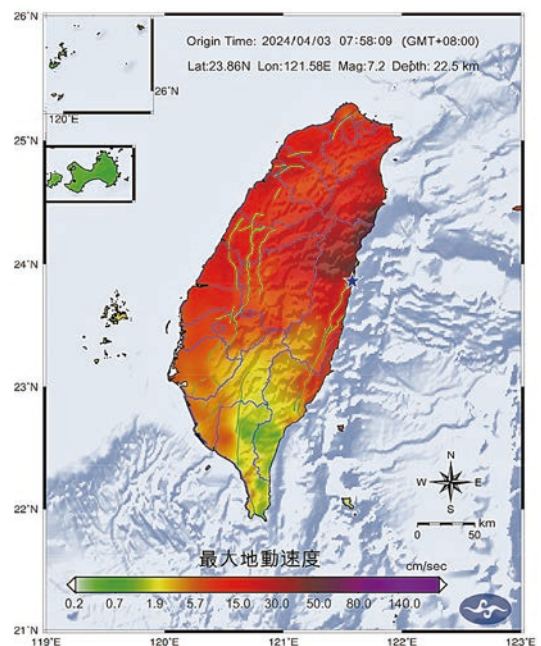
(資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心)

花蓮 0403 地震概述

依據交通部中央氣象署發布的編號 019 地震測報，0403 花蓮地震發生於民國 113 年 04 月 03 日，當地時間上午 07 時 58 分 09 秒，震央位置位於台灣花蓮縣壽豐鄉海陸交界處，芮氏規模 7.2，震源深度為 22.5 km（相關深度與位置已於民國 113 年 07 月 16 日中央氣象署發布更新），地震測報資訊如圖 2 所示；並在花蓮和平地區觀測到最大震度 6 強的地震，依據中央氣象署資料，和平（EHP）測站之震度為 6 強，其垂直向、南北



(a) 最大地動加速度圖



(b) 最大地動速度圖

圖 2 2024 年編號 019 地震測報 (資料來源:中央氣象署)

向、東西向以及之最大地表加速度分別為 224.48 gal、363.72 gal 以及 352.76 gal，如圖 3(a) 所示；由於震央於海陸交界處，故鄰國日本與菲律賓皆發出海嘯警報，最終於宜蘭縣烏石潮位站測得海嘯高度 0.82 m；另於當日 08 時 11 分 26 秒，位於上述地震北方發生芮氏規模 6.5 的地震，地震深度為 13.4 公里（編號 021 地震測報），最大震度以花蓮市（HWA）測站測得 5 弱，如圖 3(b) 所示；而之後持續發生一系列餘震，自 4 月 3 日至 4 月 10 日期間，發生有感的餘震事件超過 800 餘起，包含：顯著有感地震有 172 餘起（編號 19 至 190），小區域有感地震有 670 餘起，其中規模大於 6 的餘震有 2 起，且隨著時間推演，餘震規模與數量逐漸遞減，規模和地震深度統計如圖 4 所示。

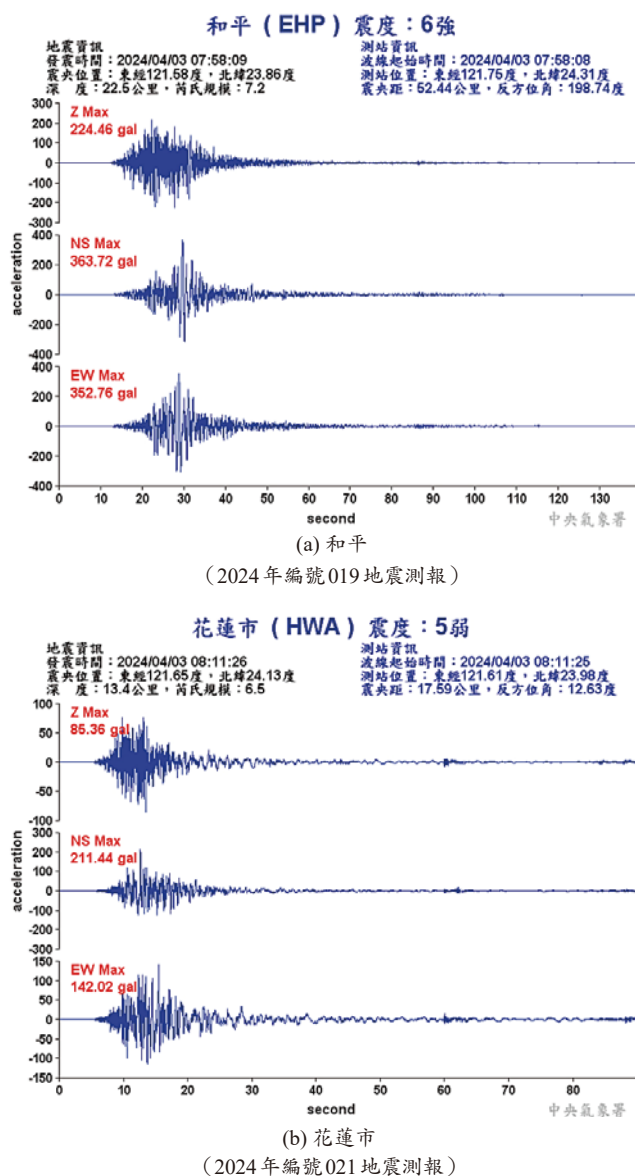


圖 3 強地動震波圖（資料來源：中央氣象署）

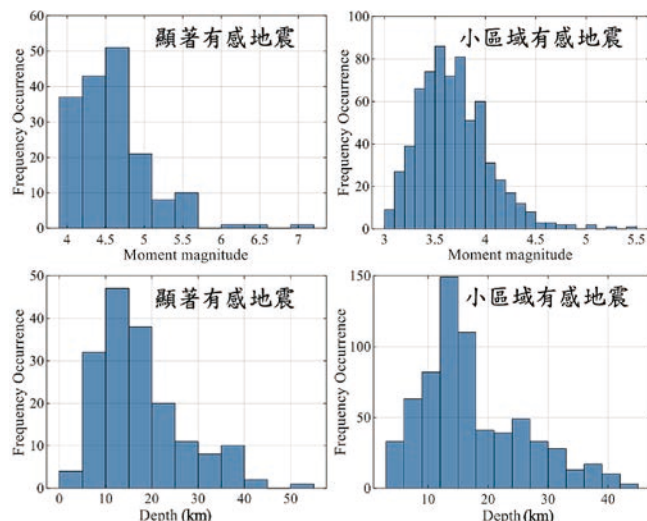
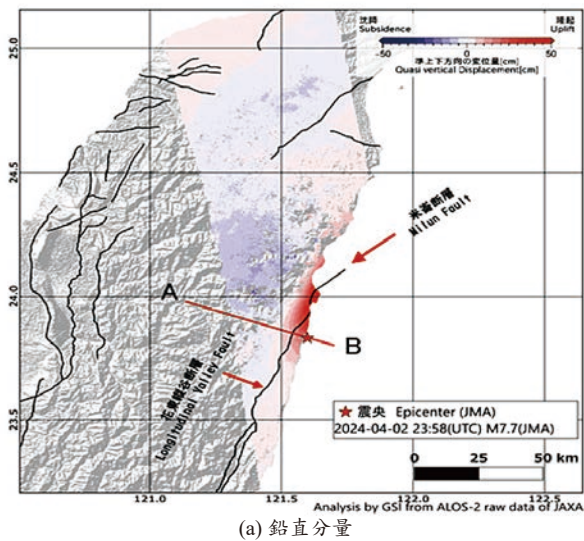


圖 4 顯著有感地震與小區域有感地震之統計資訊
(2024年04月03日至04月10日期間)

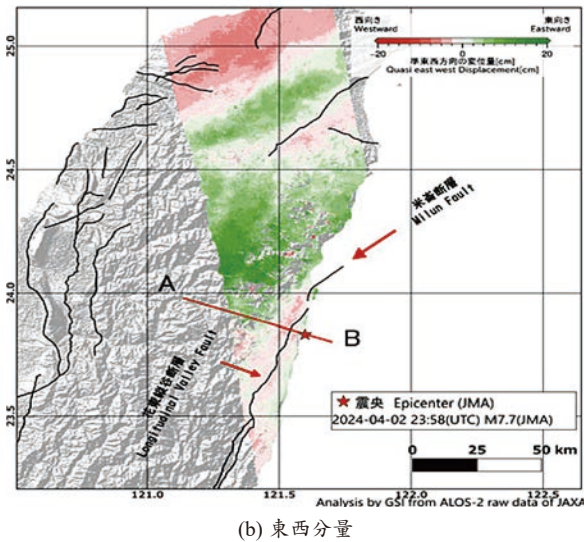
地表變形

運用地震前衛星所拍攝之干涉合成孔徑雷達影像（Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR）當作參考影像，並以地震後影響作為主影像，進行干涉演算以計算地震前後影像之相位差，其方法稱為方法稱為合成孔徑雷達差分干涉技術（Differential Interferometric SAR, DInSAR），常用於判釋地震引致地表變形。運用日本地球觀測衛星 ALOS-2 上的合成孔徑雷達（PALSAR-2），進行雷達影像解算地表變形，由於該雷達屬於 L 波段，波長較長可穿透樹冠抵達地表面，故回波訊號品質較佳；由於衛星行進方向略與南北方向偏離，其雷達波照射方向亦與東西方向偏離，日本國土交通省國土地理院定義此干涉演算可稱為 2.5D 分析（2.5-D analysis）；如圖 5 所示，解算結果顯示視衛星方向（Line of sight, LoS）變動量約為 0.5 m，圖 6 則顯示其 A-B 斷面資訊，從米崙斷層到花東縱谷斷層系統當中的嶺頂斷層北部皆有顯著的地表變形。

地質調查及礦業管理中心於花蓮地區已設置 4 個 GNSS 連續追蹤站，用以獲取同震地表變形資訊，結果顯示最大水平位移為西寶（SPAO）測站，往東南方向位移 0.24 m；最大垂直位移量為花蓮縣花蓮市華東測站（U037 測站），垂直抬升量達 0.59 m，並且由精密水準測量結果，沿龍澗至嶺頂測線向東具有顯著抬升現象；綜合內政部國土測繪中心發布花蓮地震衛星導航系統地表位移成果資料顯示：相對於金門測站（KMNM）為基準，最大垂直抬升量達 0.45 m^[4]；綜上所述，現地勘查、GNSS 測量和干涉演算皆呈現類似結果。



(a) 鉛直分量



(b) 東西分量

圖 5 干涉演算 2.5D 分析成果
(資料來源：日本國土交通省國土地理院)

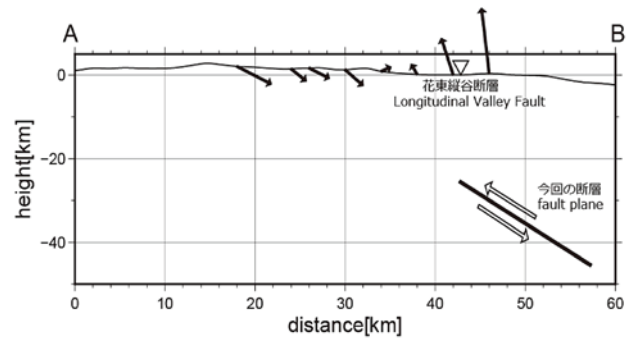


圖 6 參考美國地質調查所 CMT 解於 A-B 斷面之 2.5D 分析成果 (資料來源：日本國土交通省國土地理院)

花蓮港區概述

花蓮港港區以及碼頭組成介紹

花蓮港區位於花蓮市區東北方並且建於美崙溪出口，東面太平洋，西側則緊臨美崙山，整體港區屬於人工開鑿，並且設有東西兩個防波堤，航道開口位於西南側，港區內則區分為內港區（1 至 16 號碼頭）與外港區（17 至 25 號碼頭），船隻可沿東防波堤，自外港往北經航道進入內港區；內港區高程略高於外港區，係因外港區陸地由砂礫石填築，港口水深約為 17 至 20 公尺，可提供 3 至 10 萬噸級船隻進出靠泊；內港區碼頭建造形式包含鋼板樁錨定式及消波方塊式，位於外港區的其中 19 號至 25 號碼頭，結構皆屬於消波沉箱式^[8]，如表 1 所示，花蓮港區碼頭分佈平面圖如圖 7 所示；細部深水碼頭設計斷面圖資訊，如圖 8 至圖 10 所示，由設計斷面圖了解，法線與後線間屬於

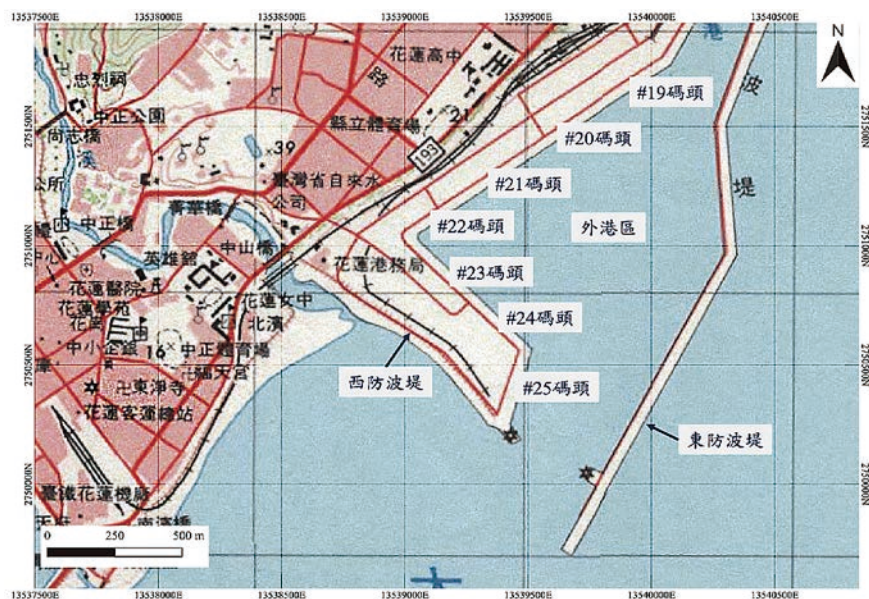


圖 7 花蓮港區碼頭分佈平面圖

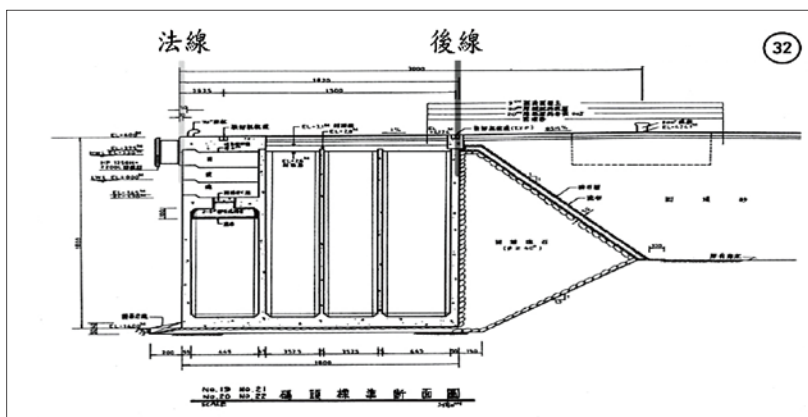


圖 8 花蓮港 19 至 22 號碼頭設計斷面圖 [8]

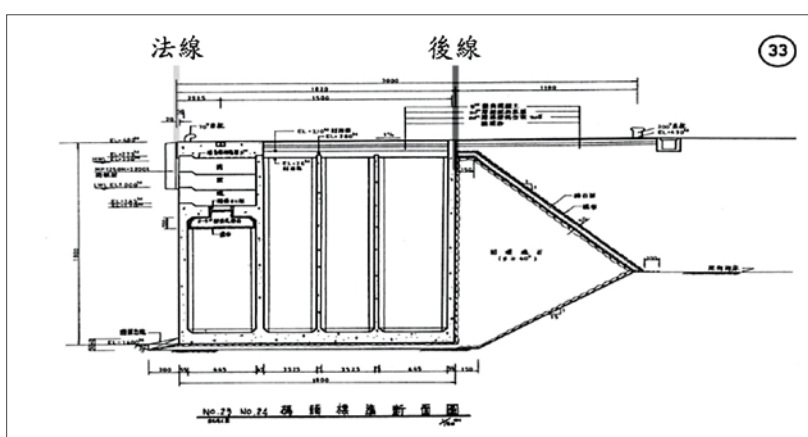


圖 9 花蓮港 23 至 24 號碼頭設計斷面圖 [8]

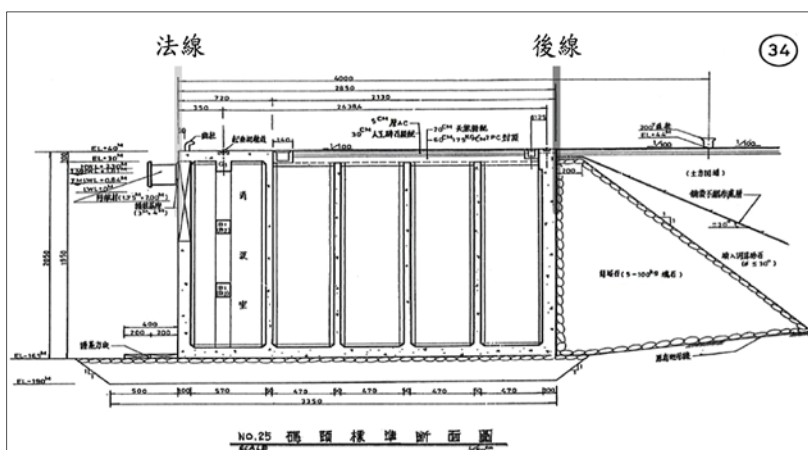


圖 10 花蓮港 25 號碼頭設計斷面圖 [8]

表 1 花蓮港區之外港區深水碼頭設計資訊

深水碼頭名稱	碼頭長度 (m)	設計水深 (m)	碼頭型式
19 號碼頭	310	14.0	消波沉箱式
20 號碼頭	302	14.0	消波沉箱式
21 號碼頭	200	14.0	消波沉箱式
22 號碼頭	200	14.0	消波沉箱式
23 號碼頭	272	14.0	消波沉箱式
24 號碼頭	271	14.0	消波沉箱式
25 號碼頭	332	16.5	消波沉箱式

碼頭沉箱區，沉箱結構寬度為 18.2 m 為一個單位，沉箱區前緣包含消波室構造，其中 19 號至 24 號與 25 號碼頭設計稍顯不同；於沉箱之外區域，即後線之後依序為碼頭通道和營運場地，屬於碼頭新生地，主要以花蓮地區河床砂礫填築而成，細粒料、砂與礫石大約佔比分別為 3.6%、55.2%、41.2%，其最大粒徑可達 0.1 m [9]。

花蓮港區土壤剖面與土壤液化潛勢說明

花蓮港區已經歷多期擴建以及地質調查鑽探，根據謝明志等人^[8]之標準貫入試驗鑽探資料，收集如表 2 所示；HL1201 以及 HL1202 位於港區陸地，於 20 m 不等深度即遇岩盤，其中 HL1202 位於美崙溪出海口北邊，為鄰近花蓮港務分公司大樓之鑽孔，根據收集資料顯示於該處地表以下約 6.5 m 處有厚度約為 2 m 之 SM 土層，其餘皆屬於 SPT-N 大於 87 之粉質砂礫石及中小卵石層；自「花蓮縣政府 109 年度土壤液化調查與風險評估計畫委託技術服務」資料了解，該計劃於碼頭新生地處新增一個鑽孔 HLS052，其地下水深度約

為 2.7 m，資料顯示於該處地表以下約 5.5 m 處有厚度約為 0.5 m 之 SM 土層；由「花蓮港務局 25 號碼頭規劃地質鑽探工程」了解，於 25 號碼頭有系列之地質鑽探資訊，於 25 號碼頭南側 HL1501，於地表以下約 1 m 及 4 m 處有 SM 土層，其餘地層大抵以 SP-SM 土層為主，地表以下 8 m 即為中小卵石層；另根據「花蓮港整體規劃及未來發展計畫」報告書了解基盤岩層自陸地向海逐漸加深，厚度變化為 5 ~ 20 m，基礎震波之探測結果顯示縱波波速約等於 1,650 ~ 2,350 m/s^[10]；花蓮港區鑽探孔位分布圖如圖 11 所示，並參閱鑽探報告資訊，以繪出花蓮港區土壤剖面，如圖 12 所示。

表 2 花蓮港區鑽探孔位列表

孔號	計畫名稱	年份	TWD97		深度 (m)	資料來源
			X	Y		
HL1201	花蓮港擴建工程地質鑽探	1987/05	312860	2653578	18.3	謝明志等人 ^[8]
HL1202		1987/06	312325	2653185	30.0	
HL1501	花蓮港務局 25 號碼頭規劃地質鑽探工程	1999/10	312884	2652578	10.0	
HL1502		1999/10	312905	2652617	10.0	
HL1503		1999/10	312925	2652656	10.0	
HL1504		1999/10	312946	2652695	10.0	
HL1505		1999/10	312967	2652733	10.0	
HL1506		1999/10	312987	2652772	10.0	
HL1601		1999/10	313008	2652811	10.0	
HLS052	花蓮縣政府 109 年度土壤液化調查與風險評估計畫委託技術服務	2022/04	313532	2652704	30.2	經濟部地質調查及礦業管理中心工程地質探勘資料庫



圖 11 花蓮港區鑽探孔位分布圖

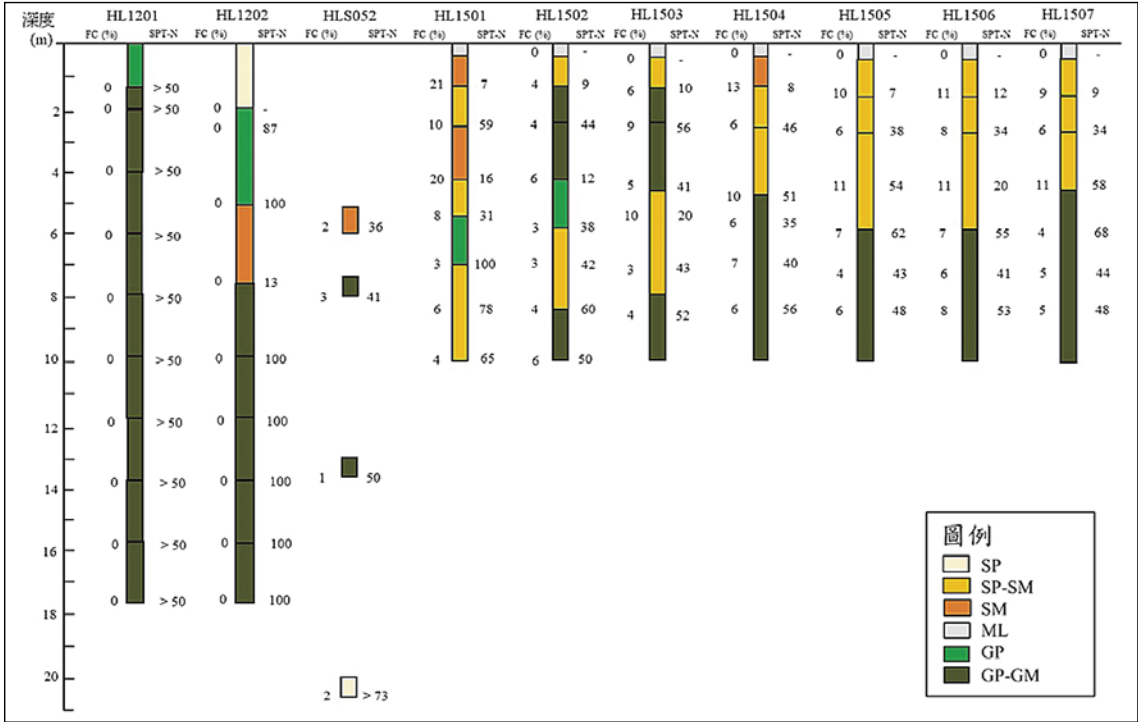


圖 12 花蓮港區土壤剖面
(改繪自謝明志等人^[8]以及工程地質探勘資料庫)

花蓮港區於 0403 地震之損壞

於 0403 地震中，花蓮港區內的破壞包含道路差異沉陷、沉箱結構與後線回填層交界開裂、設施橋樑損壞等，根據本次勘災點位，詳如列表 3 所示，並且根據本次勘災記錄以及花蓮港務分公司提供之資料，比較 2018 年 0206 地震和 2024 年 0403 地震，兩次地震間各碼頭區差異沉陷；港區內勘災點位分佈則如圖 13 所示，花蓮港區大抵位於土壤液化低潛勢區，僅有位於港區西邊之美崙溪沿岸和出海口部分，位於土壤液化中潛勢區。

港區內碼頭設施之破壞

19 至 22 號碼頭

19 至 22 號碼頭屬於消波沉箱式碼頭，其前緣具有消坡室構造；由於 19 號碼頭為木料及雜貨碼頭，20 至 21 號碼頭為砂石碼頭，因此於營運用場地設有裝船機以及輸送帶等機具。此次地震發生時，碼頭發生局部位移錯位，且沿碼頭背填部位，即碼頭通道部分之鋪面有裂損，如圖 14 所示；營運用場地上之裝船機則有損壞和軌道錯位情事發生，係因裝船機軌道一端設置於碼頭沉箱區，另一端則設置於背填區。造成碼頭背

表 3 花蓮港區勘災點位

點位編號	鄰近設施	災害描述	差異沉陷記錄 (2024 年 0403 地震)	差異沉陷記錄 (2018 年 0206 地震)
L1	19 至 22 號碼頭	裝船機略有傾斜	0.2 ~ 0.4 m	~ 0.1 m
L2	19 至 22 號碼頭	輸送帶旁鋪面下陷		
L3	23 與 24 號碼頭	碼頭差異沉陷	0.5 ~ 0.8 m	0.2 ~ 0.4 m
L4	24 號碼頭	後線後方鋪面沉陷		
L5	24 號碼頭	地下水箱上浮		
L6	西防波堤道路	鋪面下陷	-	-
L7	25 號碼頭	鋪面開裂	~ 0.7 m	0.5 ~ 0.6 m
L8	25 號碼頭	法線目視偏移		
L9	25 號碼頭	填土鋪面開裂		
S1	25 號碼頭	液化土壤噴砂		

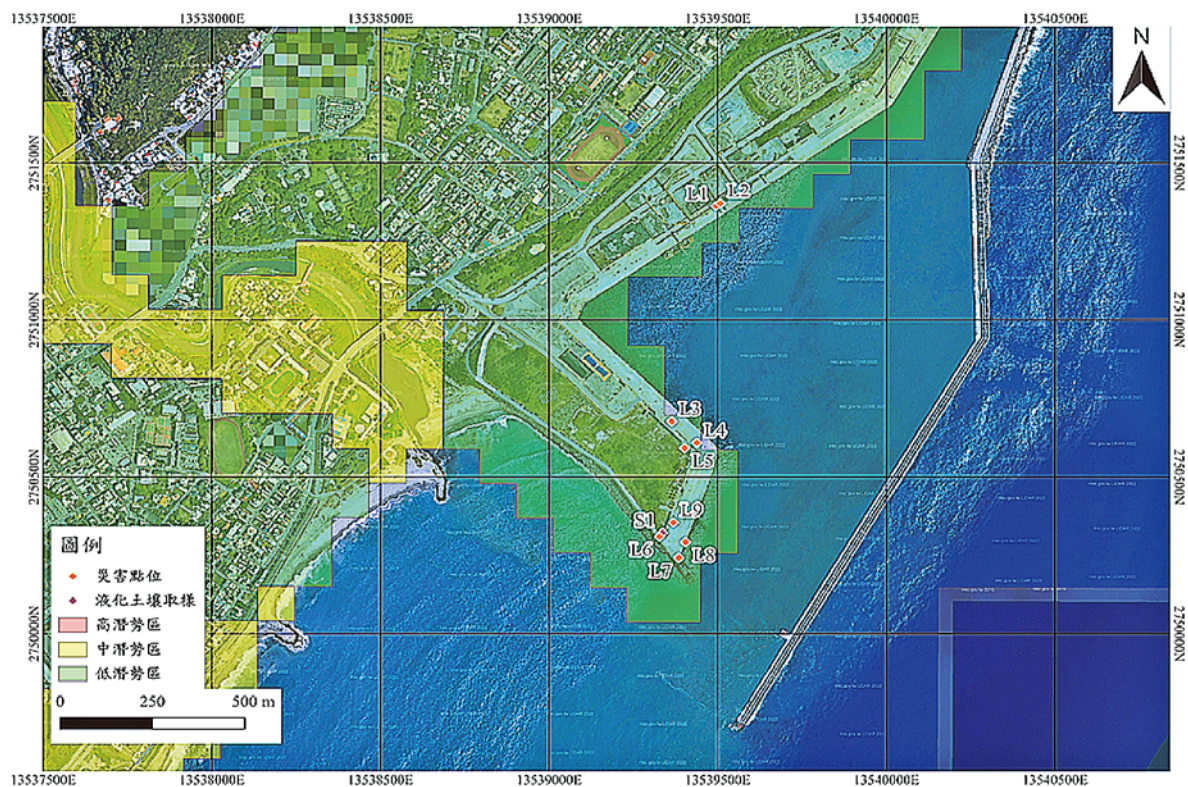


圖 13 花蓮港區勘災點位分佈



(a) 裝船機略有傾斜 (點位 L1)



(a) 輸送帶旁鋪面下陷約 0.2 m (點位 L2)

圖 14 19 至 22 號碼頭災損情形

填部位差異沉陷之原因，初步判斷為回填材料在地震力作用下震陷，可能原因為海水之漲退潮，使其回填材料浸潤於水中，受震後進而產生土壤液化現象。

23 與 24 號碼頭

23 與 24 號碼頭為消波沉箱式碼頭，本次地震造成碼頭後線背填區約 30 m 範圍內，整體下陷約 0.50 至 0.80 m，並且造成沉箱結構與後線回填層交界開裂；位於碼頭通道處開裂，並有噴出回填層之砂礫，包含細粒

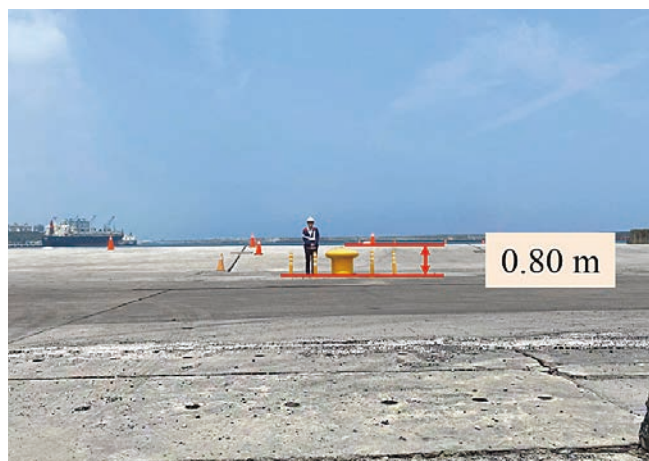
料土壤以及部分顆粒較大砂礫；碼頭通道及營運用場地有大規模沉陷與局部高差，差異沉陷達到 0.80 m，如圖 15 所示；於 24 號碼頭後方則有地下水箱上浮，其上浮量值約為 0.17 m，現場調查如圖 16 所示，於圖 16(a) 當中右側地面管線已明顯地錯位。

西防波堤道路與 25 號碼頭

整體西防波堤道路屬於沉箱道路，位於花蓮港區西側外緣，原為柔性鋪面，而部分路段進行修整時，改為



(a) 碼頭差異沉陷 (點位 L3)



(b) 後線後方鋪面沉陷約 0.8 m (點位 L4)

圖 15 23 至 24 號碼頭災損情形



(a) 地下水箱尺寸



(b) 上浮量量測 (點位 L5)

圖 16 24 號碼頭後方地下水箱上浮

剛性鋪面，於 0206 花蓮地震僅發生路面局部下陷，係因柔性鋪面則因基礎土壤液化而淘空；此次地震事件則紀錄到災害包含：道路剛性面板隆起、柔性鋪面下陷、排水溝損壞、沿道路側有液化噴砂，其受損長度約 250

餘公尺；西防波堤道路與 25 號碼頭沉箱結構交接處則有約 0.2 m 之開裂，如圖 17 所示。25 號碼頭法線目視局部偏移，另 25 號碼頭後線之後碼頭通道和營運場地皆有大範圍填土鋪面開裂和沉陷，如圖 18 所示。



(a) 西防波堤道路鋪面下陷 (點位 L6)



(b) 開裂約 0.2 m (點位 L7)

圖 17 西防波堤道路與 25 號碼頭交接處災損情形



(a) 法線目視局部偏移 (點位 L8)



(b) 後線後方填土鋪面開裂 (點位 L9)

圖 18 25 號碼頭災損情形

小結

鄰近日本的港口亦常受地震之影響，亦有類似相關災害發生；為了研究港口碼頭以及相關附屬結構之抗震能力，由日本港灣機場技術研究所^[11]針對歷史地震事件引致港口損壞調查、改善研究以及修復數據記錄，如表 4 所示；其中碼頭損壞案例多為重力式和板樁式，但即使碼頭存在局部損壞，其性能於震後若仍符合靠泊需求，大多不認為是重大問題，如港灣機場技術研究所報告指出於 1993 年釧路近海地震中受損的釧路港，其差異沉陷可達 0.3 m，但不視為損壞，係因車輛與起重仍可勉強作業，而本文提及之差異沉陷及地表開裂等，亦不會完全癱瘓港口之使用；因此於地震引致破壞之修復工作，可區分為兩個層面思考：

(1) 營運面：進行快速修復以保持港口之營運；(2) 設計面：參酌國內外之案例，針對鄰近碼頭之地盤的通盤檢討與改良；避免當港區遭遇強度更大之地震，使其完全癱瘓和失去功能性。

液化土壤噴砂

本次地震事件之花蓮港區液化土壤噴砂採樣點位，如圖 13 所示，該點位於 25 號碼頭後線之回填區域，鄰近該點亦有多處土壤噴砂；如圖 19 所示為噴砂孔之外觀，於採樣過程中，首先輕撥欲採樣位置之表面，將揚塵砂土撥離後，開始向下挖掘直至採樣剖面直至明顯辨別，旨在避免土樣被揚塵細粒料及原位置地地表土壤所污染，以期室內篩分析試驗能夠更加準確；比較在 0206 地震和 0403 地震事件下，綜合比較於 23 號碼頭、24 號以及 25 號碼頭之液化土壤噴砂粒徑分佈差異，如表 5 和圖 20 所示；成果顯示 24 號以及 25 號碼頭液化土壤噴砂，其組成以砂性土壤為主，與 23 號碼頭噴出土壤組成不盡相同，同時於此三個碼頭現場噴砂土樣之粒徑分佈皆落在日本港灣技術標準所定義之潛在液化土壤粒徑之範圍內，表示該區域具有土壤液化潛勢；由鄰近鑽孔 HL1501 資訊得知，接近地表約 1 m 及 4 m 處皆含有 SM 土層，然而伴隨高孔隙水

表 4 日本港灣機場技術研究所災害案例報告編製清單

報告名稱	地震事件	發生年月
港灣技研資料 No. 325	宮城縣近海地震	1978.06.12
港灣技研資料 No. 511	日本海中部地震	1983.05.26
港灣技研資料 No. 766	釧路沖地震	1993.01.15
港灣技研資料 No. 791	北海道南西近海地震	1993.07.12
港灣技研資料 No. 856	北海道東方近海地震	1994.10.04
港灣技研資料 No. 813	兵庫縣南部地震	1995.01.17
港灣技研資料 No. 857	兵庫縣南部地震	1995.01.17
港灣機場技術研究所資料 No. 1015	鳥取縣西部地震	2000.10.06
港灣機場技術研究所資料 No. 1291	東北地方太平洋近海地震	2011.03.11

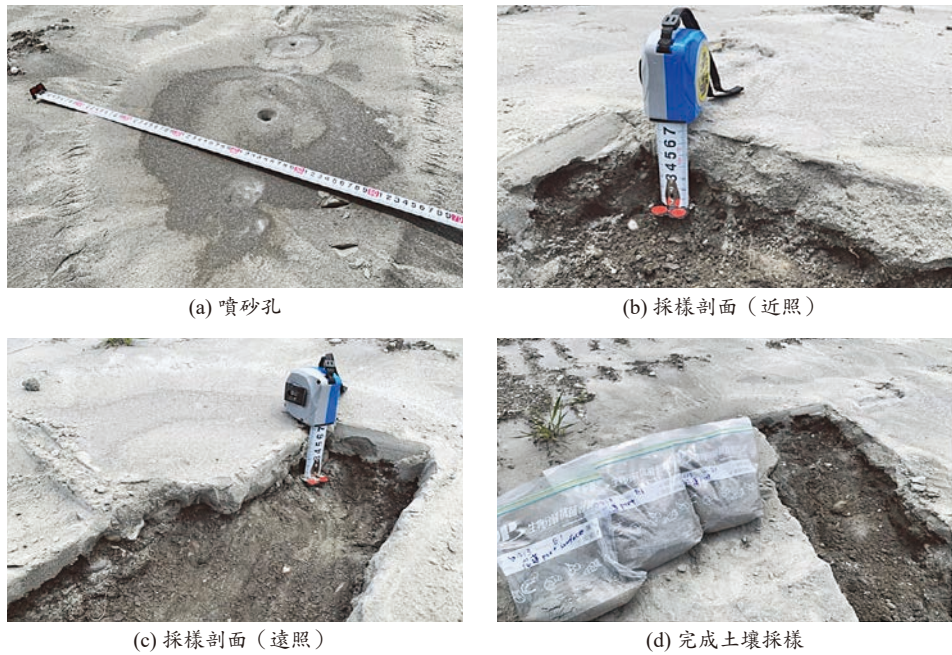


圖 19 25 號碼頭後方液化土壤噴砂（點位 S1）

壓力噴出之土壤，通過其上部未液化土層時，可能將順勢帶出非液化土層之土壤，於鄰近噴砂孔之地面即有發現疑似 ML 土層之沉泥。

表 5 液化噴砂土樣物理性質之比較

位置	礫石含量 (%)	砂含量 (%)	粉土及黏土含量 (%)	D_{50} (mm)	資料來源
#23 碼頭	1.2%	46.8%	52%	0.073	國家地震工程研究中心 ^[12]
#24 碼頭-A	6.7%	89.4%	3.9%	0.650	
#24 碼頭-B	0.0%	84.6%	15.4%	0.180	
#25 碼頭	0.0%	71.5%	28.5%	0.118	本研究

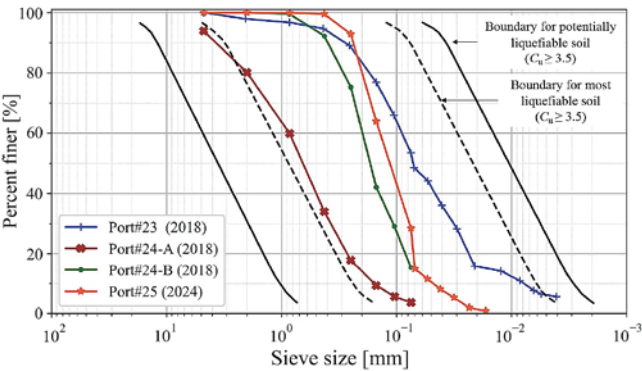


圖 20 噴砂粒徑分佈比較圖
（參考日本港灣技術標準典型液化噴砂土樣粒徑分佈曲線）

與過往地震歷史比較

花蓮地區近年已發生多次具災害性之地震事件，如表 6 所示，收集相關地震事件以供比較，包含近期台灣重大地震事件以及自 1900 年以來最強烈的花蓮地區之地震。2018 年 0206 花蓮地震，發生於花蓮近海之 M_L 6.2 地震，震央在花蓮東北方立霧溪口之海上，震源深度 6.3 km，約呈北東走向、向西北傾斜 60 度的海域發震構造所誘發，此地震重創花蓮市區，並且造成 17 人罹難、291 人受傷、5 棟大樓倒塌及多棟房舍受損，於米崙斷層與嶺頂斷層沿線產生地表破裂與土壤液化噴沙現象等^[13]，在氣象署氣象署花蓮市測站測得垂直向 PGA 為 212.17 gal，此地震事件於花蓮港區之 19 至 25 號碼頭之背填區皆造成程度不一之土壤液化和地表震陷；2024 年 0403 花蓮地震則為發生於花蓮海陸交界之 M_L 7.2 地震，花蓮市測站測得垂直向 PGA 為 208.53 gal，亦對於花蓮港區造成災害發生，亦以 25 號碼頭損壞最為嚴重；由圖 21 可知此兩個地震事件測得 PGA 相當，然而持續時間於 0206 花蓮地震約為 10 餘秒，另

表 6 0403 花蓮地震與過往台灣歷史地震災害之比較

地震事件	2024 年 0403 花蓮地震	2018 年 0206 花蓮地震	2016 年 0206 美濃地震	1999 年 0921 集集地震	1920 年 0605 花蓮地震
地震規模	M_L 7.2 / M_w 7.4	M_L 6.2 / M_w 6.4	M_L 6.4 / M_w 6.4	M_L 7.3 / M_w 7.7	M_L 8.3 / M_w 8.7
震源深度	22.5 km	6.3 km	23 km	33 km	20 km
死亡人數	18	17	117	2,415	6

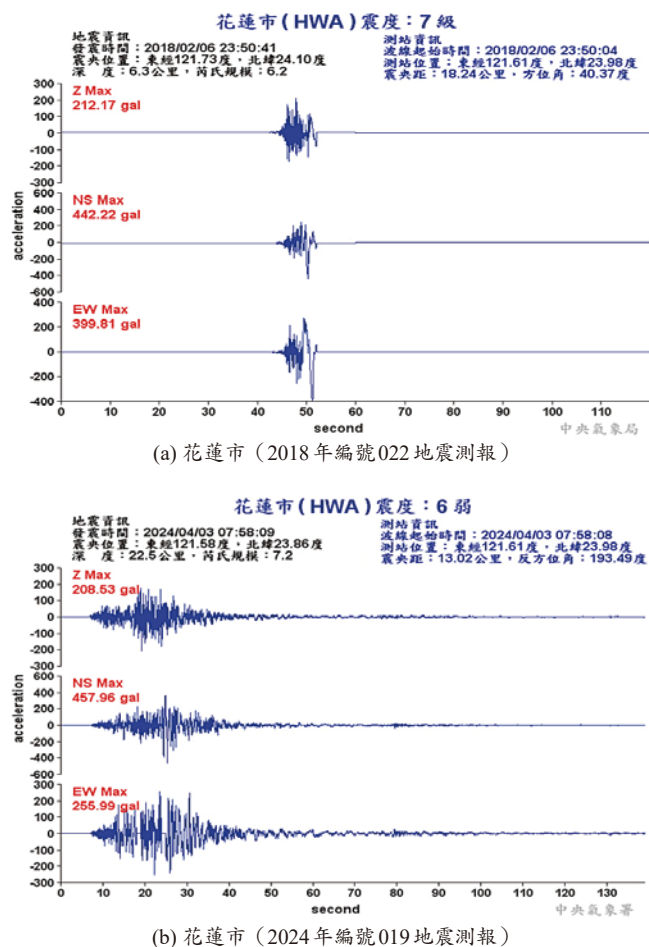


圖 21 比較 2018 年 0206 與 2024 年 0403 花蓮地震
(資料來源：中央氣象署)

0403 花蓮地震則持續 40 餘秒，故造成整體港區受損程度增加，參閱表 3 比較其差異沉陷影響程度。

結論

綜合本團隊 0403 花蓮地震之災害紀實與資料比較，有以下結論與建議，期許可以提供各界參考：

1. 花蓮港區自 0403 花蓮地震之後，整體抬升約 0.5 m，碼頭區因震陷而損壞，最大差異沉陷約有 0.8 m，對比 2018 年 0206 花蓮地震，兩場地震的 PGA 強度相近，受地震延時長短之影響，此次相對長延時之地震事件肇生較大的災害影響；並且由花蓮港區受震災害歷史點位的收集，其發生土壤液化的區域與災害形式相似。
2. 花蓮港區的損壞包含：碼頭道路差異沉陷、鋪面開裂、碼頭位移以及裝船機損壞等災害，皆與地震引致土壤液化的發生有密切關聯；因此，對於重要港口，建議在碼頭後線砂礫石回填區域施工時，應確實進行滾壓夯實或進行相關地盤改良，

以避免在強震來臨時造成嚴重的沉陷，影響碼頭的運作功能從而導致經濟損失。

3. 針對港區遭受地震影響時，其針對港區損害控制與災害監測的順序為海嘯、掉落物危害、道路通阻以及碼頭震陷等；若能有效率地進行損害控制，將可減少港口營運中斷之可能性。
4. 本次港區土壤液化之現象與 0403 花蓮地震具有明確之關聯性，尤指港區西防波堤道路與 25 號碼頭觀察之現象；針對砂礫石層液化課題，亦須透過進一步土壤動態試驗及數值模擬等方法，持續探討針對此情境之液化潛能評估，以及工程建設上常使用標準貫入試驗之適用性亦須予以留意；綜觀台灣已有礫質砂土液化之案例，唯尚有其它地區，例如：其他國際商港、海埔新生地及屏東平原等地，若所在地層屬於礫質砂土之分佈，亦須探討受震後之土壤液化潛能。

參考文獻

1. Harder, L.F. and Seed, H.B. (1986). "Determination of penetration resistance for coarse-grained soils using the Becker hammer drill." Berkeley, CA, USA: College of Engineering, University of California.
2. Yegian, M.K., Ghahraman, V.G., and Harutiunyan, R.N. (1994). "Liquefaction and embankment failure case histories, 1988 Armenia earthquake." *Journal of geotechnical engineering*, **120**(3), 581-596.
3. Hatanaka, M., Uchida, A., and Suzuki, Y. (1997). "Correlation between undrained cyclic shear strength and shear wave velocity for gravelly soils." *Soils and foundations*, **37**(4), 85-92.
4. 梁勝雄、陳盈璇、范力仁、謝有忠、林錫宏、黃志遠、鄭智仁、邵均霆、劉彥求、林啟文 (2024), 「20240403 花蓮地震地質調查報告」, 經濟部地質調查及礦業管理中心。
5. 林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村 (2009), 「臺灣東部與南部的活動斷層」, 經濟部中央地質調查所特刊第 23 號。
6. 經濟部 (2020), 「活動斷層地質敏感區劃定計畫書-F1011 米崙斷層」。
7. 經濟部 (2019), 「活動斷層地質敏感區劃定計畫書-F0020 嶺頂斷層」。
8. 謝明志、林雅雯、陳正興、黃富國、徐松圻、邱俊翔、鄭魁香、葉錦勳、簡文郁、柯永彥、許尚逸、楊鶴雄、張毓文 (2009), 「臺灣地區地震潛勢及臺灣構造耐震能力評估之研究 (2/4)」, 交通部運輸研究所。
9. 王國隆、柯明淳、林聖琪、柯永彥、林承翰、周昕成、郭觀豪、林于超、陳俊樺、楊哲銘、吳重君、詹家賓、林俊廷 (2024), 「2024 年 0403 花蓮地震地工災害初步調查報告」, 地工技術, 180。
10. 花蓮港務局 (1996), 「花蓮港整體規劃及未來發展計畫」。
11. 日本港灣機場技術研究所 (2006), 「No. 1145 技術報告」。
12. 國家地震工程研究中心 (2018), 「2018 年 2 月 6 日花蓮地震勘災報告」。
13. 盧詩丁、陳建良、陳致言、劉彥求、陳柏村、許晉璋、莊釗鳴、鄭智仁、陳思婷、黃志遠、呂貞怡 (2018), 「20180206 花蓮地震地質調查報告」, 經濟部中央地質調查所。



0403 震後二次坡地災害評估

王國隆*／國立暨南國際大學土木工程學系 教授
陳昭維／青山工程顧問股份有限公司 總經理
高振誠／青山工程顧問股份有限公司 副總經理
呂家豪／青山工程顧問股份有限公司 經理
邱昶瀚／青山工程顧問股份有限公司 副理
汪俊彥／青山工程顧問股份有限公司 副理
陳彥澄／青山工程顧問股份有限公司 組長
劉宇凡／內政部國家公園署 組長
郭育廷／內政部國家公園署 組長技正
何文晟／內政部國家公園署太魯閣國家公園管理處 科長
鄭凱文／內政部國家公園署太魯閣國家公園管理處 技正
詹家賓／安誼工程顧問公司 土木技師

本文探討 0403 地震後可能衍生地坡地災害，0403 地震後，農村發展及水土保持署持續數化了兩個月後，崩塌地的總數為 1,948 處，總面積達 1,522 公頃，大部位崩塌位置距離震央超過 10 公里。這些全面性破壞的崩塌形成土方，可能在下次地震或颱風豪雨來臨時造成二次災害。本文嘗試使用現生崩塌地位置，利用流向演算法計算可能遭遇衝擊的位置，蘇花公路和平至崇德間，大部分位置均可能遭受到後續的落石或土石流二次災害。大清水溪上游大量的土石尚未輸送至下游，未來可能造成更多的土方往下移動。石公溪上游大量土石運移至下游時，因河道蜿蜒堆積，造成高位河改道，現有匯德隧道東口下方的涵洞，僅能提供水流通過，一旦土石堆積將會造成阻塞。台 8 線太魯閣國家公園路段，因地形因素也有不同的落石發生機率，可利用分析結果研擬落石能量消減或明隧道阻絕。

0403 地震坡地災害

依據農村水保署發表於 Big GIS 之 5 月 31 日圈繪結果，合計圈繪 1948 處崩塌地，及總面積約為 1,522 公頃；此一圈繪結果利用 0403 地震後的各期可用光學衛星、航照等影像圈繪所得，圈繪結果如圖 1 所示。圖中計算之 PGA 採計太魯閣地震站資料，PGA 訊號與震央距離關連性較小，此外由圖中可知，崩塌地

位置主要位於震央北北西方向，與地震波傳遞相關性高。然光學判釋結果僅能顯示全面性破壞位置，亦即光學上肉眼可辨識點位，如崩塌地產生變形但未導致全面性破壞，則可能為未來產生坡地破壞之隱憂，此一潛在可能破壞位置，加上已經全面破壞點位，將導致未來發生二次邊坡破壞乃至於土石流之可能性。

在圈繪的崩塌區位上，蘇花公路及鐵路臨海路段、台 8 線太魯閣國家公園路段有多處崩塌，後續二次災害討論位置將以這兩處來進行探討。

* 通訊作者，klwang@ncnu.edu.tw

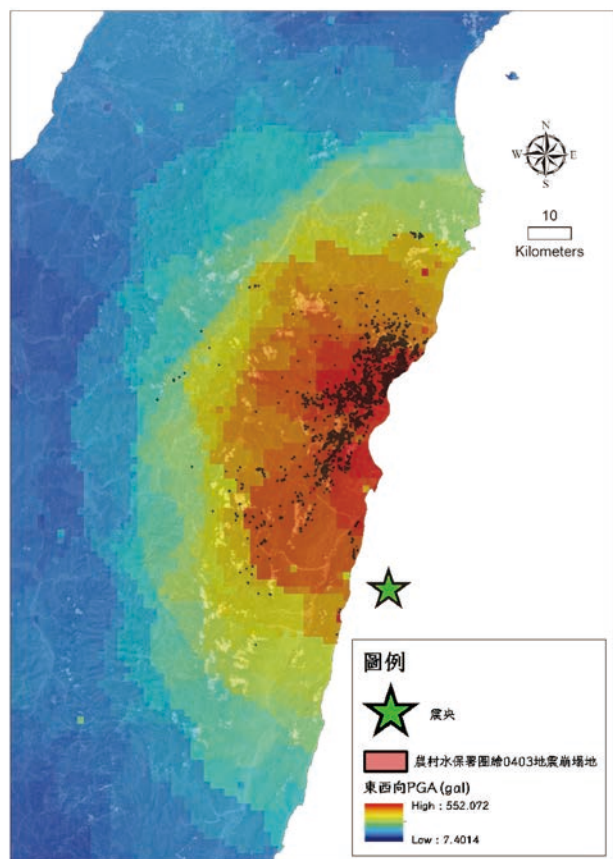


圖 1 0403 地震崩塌地與東西向 PGA

和平至崇德坡地災害

先將和平至崇德之地震破壞位置圈繪如圖 2 所示，由圖中可知大部分之崩塌地圈繪位於大清水溪至崇德間，然此一結果可能存在鬆動或產生裂隙而尚未全面破壞位置。此一潛在位置利用差分干涉合成孔徑雷達方法 (DInSAR) 計算變位來獲得，將此一地區地震前 (2023 年 1 月) 至地震後 (2023 年 7 月) 之合成孔徑雷達資訊利用短基線法 (SBAS) 進行分析，所得之垂直高程變化速度如圖 3 所示，圖中資訊結合上升軌與下降軌衛星訊號，分析所得結果以年高程變化速度表示，由圖中可以獲得訊息如下，其一在崩塌地圈繪以外仍有高程變化劇烈情形，顯示可能存在更多潛在快要崩滑的崩塌地，其二，大清水溪河道存在淤高情形，如上游持續輸送崩塌土方，未來可能面對更多的淤積情形。

和平至崇德間之二次災害模擬與調查

為能有效利用農村水保署圈繪之崩塌地，將崩塌



圖 2 和平至崇德間圈繪之地震邊坡破壞位置

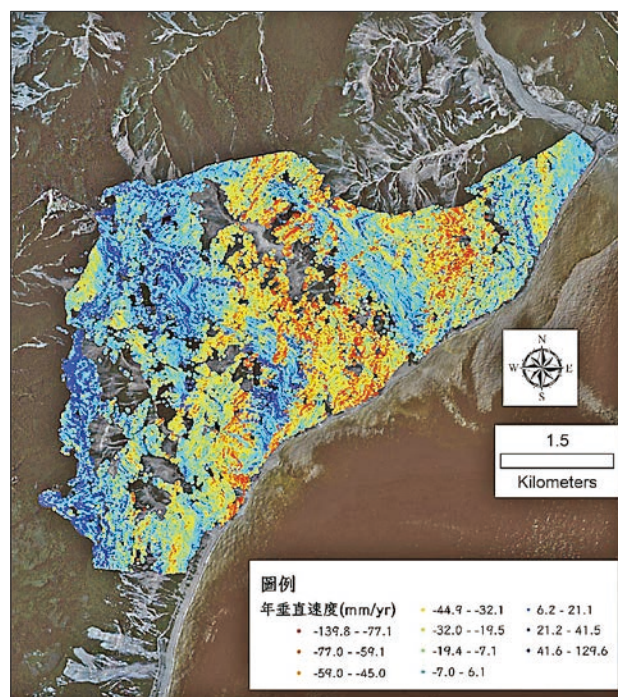
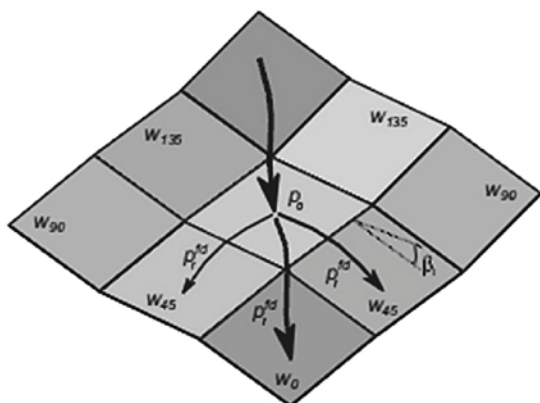


圖 3 和平至崇德間之 DInSAR 分析成果

地位置設定為土石方材料來源，使用流向演算法進行影響範圍分析。

以流向演算法去計算崩塌或土石流的流動範圍、並根據摩擦理論評估跳動距離。並且加入持久性函數針對在重現行為慣性，並根據流量方向加權相對於前一個方向的方向變化^[1]，如圖 4 所示。

圖 4 流向演算法結合持久性公式示意圖^[2]

然而有幾種流向演算法在軟體中，但不是所有都與土石流模型有關 D8^[3,4] 算法提供了收斂但是不切實際的直線流動，散佈太有限^[5-8]。但是，它可以有效快速評估參數與最遠距離的相關性。故在本研究中分析時將使用 D8 流向演算法做為設定值；相同的也有許多摩擦力計算方式在軟體中可供選擇，本研究中採用了有最小陰影角概念的摩擦角理論做為能量消損的設定值，而此處摩擦角與岩土力學中的材料摩擦角不同，如圖 5 所示。

流向演算法之分析結果如圖 6 所示，圖 6 所得結果使用一旦通過時的速度表示，由圖中可知從和平至崇德段不管鐵路或公路均可能遭受已圈繪的崩塌撞擊，區別只在於撞擊速度差別，如已使用隧道通過則無須考慮可能的落石或土石流災害。

各處目前均已進行災後防護設計，部分或可使用落石攔阻設施或土砂攔阻設施降低災害，本文僅就大清水溪及石公溪兩處提出提醒。

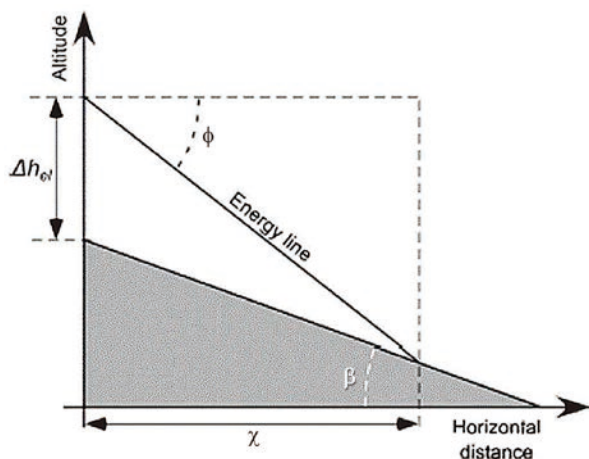
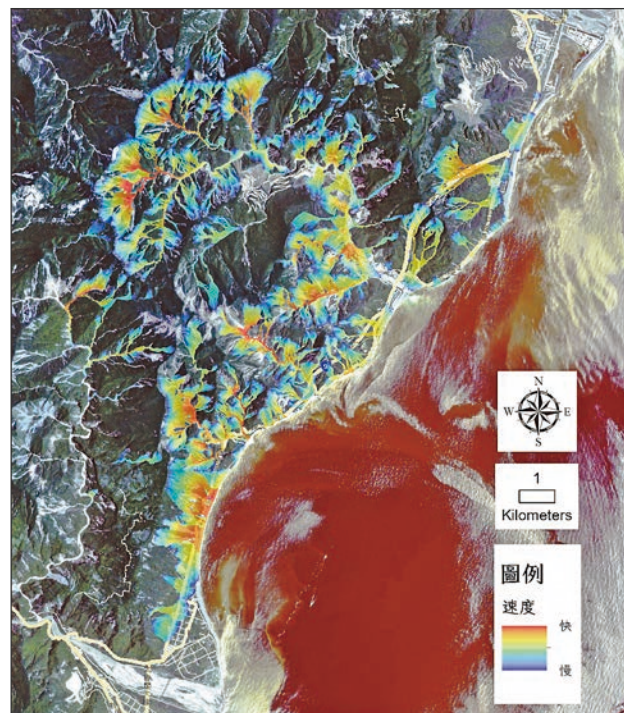
圖 5 坡度(β)，流出距離(χ)及摩擦角度 the friction angle (ϕ)之關係^[2]

圖 6 使用流向演算法計算之坡地二次災害落石及土石流通過速度(底圖為 2024 年 8 月 2 日 Sentinel-2 衛星影像)

大清水溪

首先就大清水溪位置將 2024 年 4 月 29 日及 2024 年 8 月 2 日 Sentinel-2 衛星影像分別繪製如圖 7 及圖 8 所示，4 月 29 日為地震後 3 週，可看出裸露地位置，這些位置未必為本次 0403 地震影響，亦可能是過去崩塌後植生未能復育所致。然 2024 年 8 月 2 日之衛星影像出現更多之裸露地，表示有相當多的數量原先地震時並未全面性破壞失去植生，在 2024 年 7 月凱米颱風後產生更多的崩塌地。另外，觀察大清水溪主河道，原因狹窄的中上游區域出現明顯的流動與堆積情形，以及在坡面上新增的土砂均可能為未來往下游輸送產生土石流的來源，尤其下游鐵路橋發生土石流衝上鐵軌導致列車撞擊土石情形未來仍有極高可能性。

石公溪

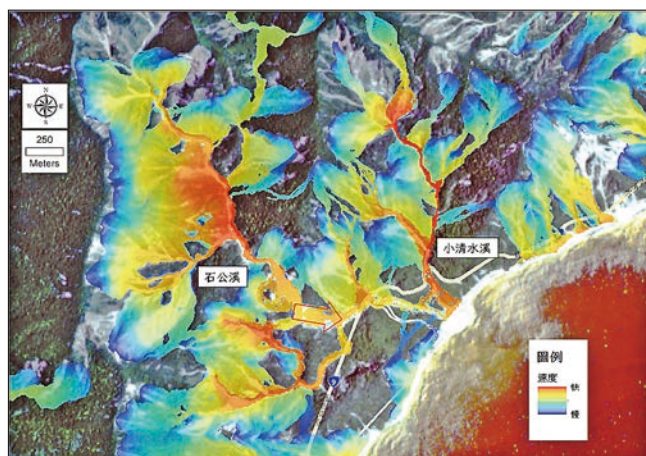
另一需要關注的位置為石公溪位置，亦即匯德隧道東口附近，將前述流向演算法成果繪製如圖 9 所示，需注意情形有二，其一為小清水溪土石流除往主流流出之外，亦可能有旁支流往鐵路軌道。其二則為石公溪產生高位河改道情形，原先在上游的土石不斷往下游輸送的情況下，讓本應該往主流逐漸輸送的土石，在匯德隧道東口西側上方大量越稜往下流，此一



圖 7 大清水溪 2024/4/29 衛星影像 (Sentinel-2)



圖 8 大清水溪 2024/8/2 衛星影像 (Sentinel-2)

圖 9 匯德隧道東口流向演算法計算成果
(底圖為 2024 年 8 月 2 日 Sentinel-2 衛星影像)

土方量如僅只考慮道路兩側土石將會遠遠低估。此分析結果已於凱米颱風期間驗證，圖 10 為 2024 年 8 月 1 日無人機空拍正射影像套疊成果，圖中圈繪位置為 0403 地震崩塌地，如僅考慮道路邊之崩塌位置，所造成之土方有限，然如圖中所示，大量來自石公溪上游



圖 10 匯德隧道東西無人機空拍 (2024/08/01；空拍照片安誼工程顧問詹家賓技師提供)

土石流，在匯德隧道東口西側遭遇阻礙後，變大量越過稜線往匯德隧道東口流去，然此一情形，並非將下游土石移除就可解決，上游仍存在大量土石等待下一次發生土石流往下游輸送，再次發生機率甚高。

太魯閣遊客中心至天祥間二次災害

先將太魯閣遊客中心至天祥間地震邊坡破壞位置圈繪如圖 11 所示，由圖中可知大部分之崩塌地並非位於台 8 線兩側，而是位於立霧溪各支流上游，然此一結果可能存在鬆動或產生裂隙而尚未全面破壞位置。此一潛在位置利用差分干涉合成孔徑雷達方法 (DInSAR) 計算變位來獲得，將此一地區地震前 (2023 年 1 月) 至地震後 (2023 年 7 月) 之合成孔徑雷達資訊利用短基線法 (SBAS) 進行分析，所得之垂直高程變化速度如圖 12 所示，圖中資訊結合上升軌與下降軌衛星訊



圖 11 太魯閣遊客中心至天祥間圈繪之地震邊坡破壞位置

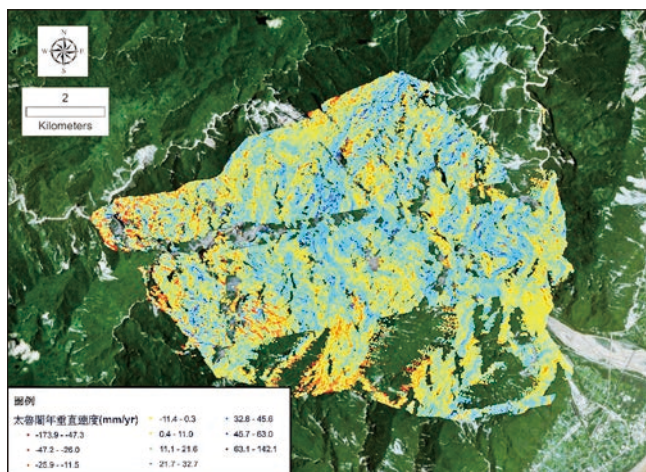


圖 12 太魯閣遊客中心至天祥間之 DInSAR 分析成果

號，分析所得結果以年高程變化速度表示，部分位置位於圖幅交界處本文未能即時處理，故部分位置未能解出與地形無關。由圖中可以獲得訊息如下，在崩塌地圈繪以外仍有高程變化劇烈情形，顯示可能存在更多潛在快要崩滑的崩塌地。

使用流向演算法

同樣為能有效利用農村水保署圈繪之崩塌地，將崩塌地位置設定為土石方材料來源，使用流向演算法進行影響範圍分析。分析所得之結果如圖 13 所示，由圖中可知台 8 線沿線大多可能遭遇落石及土石流通過，其差別為通過時速度，未來可利用此一分析結果就設計條件為明隧道或落石攔阻設計之初步探討。將其中白沙二橋至燕子口路段結果繪製如圖 14 所示，可看出沿線落石及土石流通過時可能的速度，然此一分

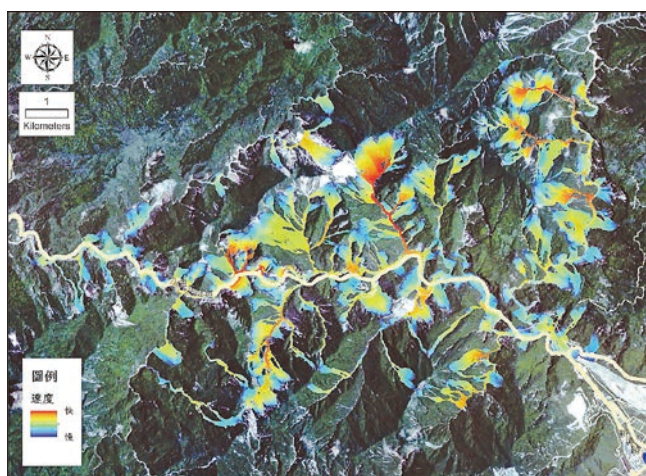


圖 13 太魯閣遊客中心至天祥使用農村水保署圈繪 0403 崩塌地進行分析之落石及土石流運動速度（底圖為 2024 年 8 月 2 日 Sentinel-2 衛星影像）

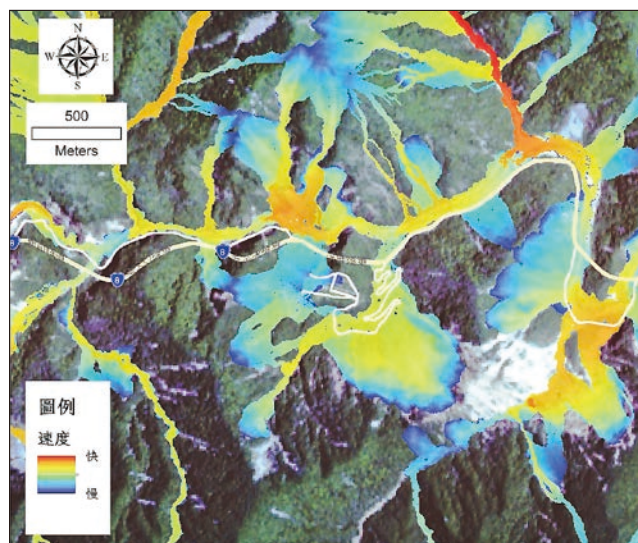


圖 14 白沙二橋至燕子口使用農村水保署圈繪 0403 崩塌地進行分析之落石及土石流運動速度（底圖為 2024 年 8 月 2 日 Sentinel-2 衛星影像）

析為基於大範圍下之落石及土石流二次災害分析，假設之石塊大小最大為 1 立方公尺，特定地點如圖中之山月村需要更進一步詳細各種不同尺寸探討，本文後面將會探討山月村附近之調查成果。

使用地形學模式

由於仍有多處未圈繪區可能產生落石，故本文中嘗試使用地形能量法來進行模擬，在不考慮落石位置的情形，尋找落石通過的機率。

Evan and Hungr^[9] 將落石發生區與落石曾經最遠落點連線，定義出最小陰影角 β 視為落石影響最遠之極限範圍，如圖 15 所示。並結合 Hungr and Evans^[10] 發展出隨機碰撞模型 (ROCKFALL) 預測落石的滾動行為；類似的方式被 USGS^[11,12] 對 Yosemite Valley, California 落石風險評估，利用 β 角的概念劃設出 Yosemite Valley 落石紅黃警戒線剖面圖，如圖 16 所示。

使用此一方法概念分析太魯閣遊客中心至天祥台 8 線沿線兩側 500 公尺可能落石位置，將落石通過機率繪製如圖 17 所示，由圖中可知在未給予落石發生起始點的情況下，分析出可能每一點落石通過的次數，台 8 線沿線幾乎均可能發生落石，差別僅在於落石通過機率高低，而其中燕子口至慈母橋路段天然條件下落石通過機率最高，將其結果繪製如圖 18 所示。此一方法在未指定落石源頭，僅就地形上計算落石通過機率，如需設計時仍需就設計路段再進一步分析落石通過時之能量。

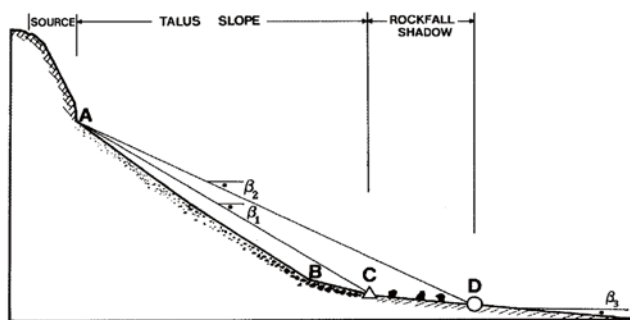
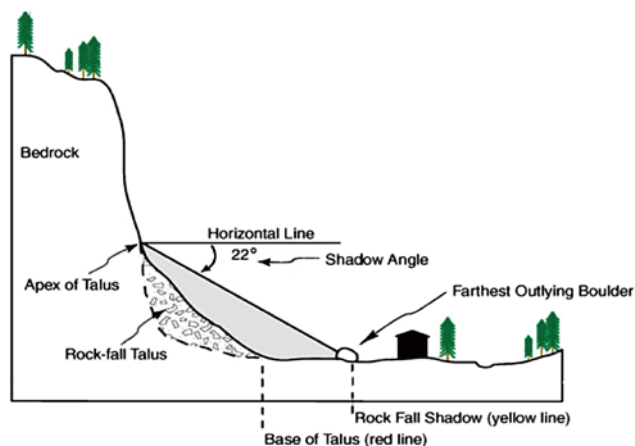
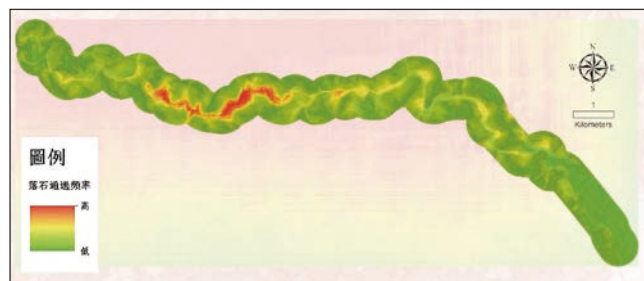
圖 15 落石路徑剖面圖^[9]圖 16 Yosemite Valley 落石紅黃警戒線剖面圖^[11,12]

圖 17 太魯閣遊客中心至天祥台 8 線沿線兩側 500 公尺地形學模式計算落石通過機率

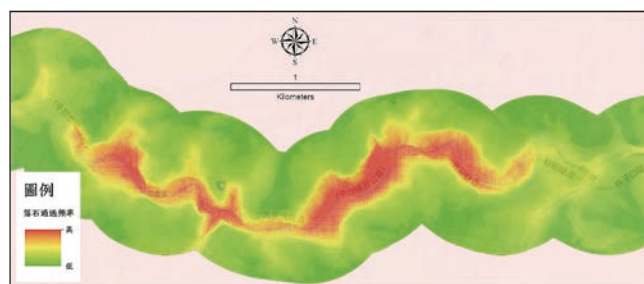


圖 18 燕子口至慈母橋台 8 線路段地形學模式計算落石通過機率

太魯閣山月村（布洛灣竹林步道）評估

布洛灣竹林步道位於山月村，環繞山月村而行。由現勘結果顯示，竹林步道崩塌災害來源主要來自西南側邊坡產生山崩及落石源，並進一步運動至竹林步

道周圍造成步道損壞，落石尺寸較大者甚至滾動至山月村內，影響山月村安全。其中一棟木屋於 0403 地震中，即因受落石撞擊而破壞。

由現場調查結果發現，布洛灣竹林步道及山月村周圍除 0403 地震引致之新生落石外，亦可見既有舊落石散布，故整體而言布洛灣臺地應位於落石重複發生區位。綜合災前 LiDAR DEM 資料及災後衛星影像等資料判釋及現地調查結果，初步將布洛灣臺地山月村範圍內之落石來源分為 A、B、C、D，並因位於落石路徑，推測於落石滾動磨蝕過程而形成長條型裸露坡面。其中，路徑 A、B、D 於 0403 地震已有落石侵入竹林步道、山月村及周圍設施，影響其安全性。推測崩塌機制可能為邊坡發生岩石崩坍，冠部材料崩落後磨蝕坡面，於坡面形成長條形之裸露「傷痕」（裸露坡面）。

圖 19 為利用空拍照片全景說明路徑 A 至 D 之空間位置分布關係，由比對災前 LiDAR DEM 及災後 UAS 空拍、衛星影像，可知以路徑 A 崩塌冠部高程約 810 m 最高，以路徑 D 崩塌趾部高程約 389 m 最低。其中，以路徑 C、D 之崩塌源已接近坡頂山稜線上。由現地調查結果，可知路徑 A、B、D 於本次 0403 地震中已影響至竹林步道及山月村周圍。

其中，以路徑 D 最接近布洛灣山月村，也是 0403 地震中災損中最嚴重區域，為最需關注區域。

路徑 A、B 於 0403 地震中可見巨大落石滾落至竹林步道附近，其中路徑 A 落石造成蓄水設施受損，落石 B 落石滾動至木屋前，造成步道受損。由於崩塌裸露坡面形成，未來在強降雨沖刷或入滲影響下，或地震等環境事件中皆可能再次產生崩塌而引致災害或規模擴大（可能為不同崩塌機制），需持續注意。另於山月村入口處及廣場內，亦可見巨大既有落石分布，隱含布洛灣臺地應為落石重複發生區，而過去落石最遠滾動距離可能至此。

路徑 C 於 0403 地震中暫未見明顯災損，然於竹林步道附近可見規模大小不等之既有落石散布，顯示此路徑亦可能為落石重複發生區，且由衛星影像亦可觀察到上游處已崩塌裸露坡面，未來在強降雨沖刷或入滲影響下，或地震等環境事件中皆可能再次產生崩塌而引致災害或規模擴大（可能為不同崩塌機制），需持續注意。



圖 19 布洛灣－竹林步道現地調查結果

綜合現階段調查結果，初步研判竹林步道崩塌災害以落石為主。依據前述方法，因竹林步道（山月村）位於上臺地地形、地質條件相同，原則皆屬第2類，惟依據調查 0403 地震後新生落石及既有落石位置分布與現場致災程度有所差異，將竹林步道區分為2個部分，說明如下：

竹林步道西南側 (0k + 086 ~ 0k + 300)

本步道段為 0403 地震事件落石主要影響位置，於布洛灣臺地後方高陡邊坡落差約 240 ~ 430 m 處產生落石，研判包括 A、B、C、D 等 4 落石來源，其中，路徑 A、B、D 於 0403 地震已有落石侵入竹林步道、山月村及周圍設施，影響其安全性。以路徑 D 落石直接砸損下方木屋，災害最為嚴重，對於遊憩經營之衝擊也最大。

檢視落石源頭處，可見岩體出露受節理切割而較為破碎。此等岩體後續在外在營力作用下，如強降雨及地震等，可能再次造成破碎岩體擾動，進而分離產生落石進而影響下方布洛灣臺地竹林步道、山月村及相關設施安全。

竹林步道西南側 (0k + 086 ~ 0k + 300) 為 0403

地震災害直接影響位置，由於現場人員尚可進出，但後續仍可能有落石災害風險，故將此段評估為【第2類】。後續須透過相關作為，降低落石危害，配合處置後以開放通行，後續對策研擬如下：

1. 工程處置：目前大致可以分為 4 個主要落石來源，且落石源可見破碎岩體，後續再崩塌時易沿此溝谷再產生落石災害。因步道周圍 0403 地震新生落石直徑約 4 ~ 8 m，且高差達 240 ~ 430 m，落石能量甚大，非一般防護柵可完全處理；此外，未來落石彈跳後，位置甚難有效掌握，亦即可能發生其他落石路徑，故就緊急搶修之先期調查角度，建議可直接進入中、長期工程處置，於落石可能影響範圍設置防落石土堤約 220 m，並針對 3 條產生災害之主要落石滾動路線上 (A、B、D)，再強化防護或消能設施，如設置多道土堤或防護網等。詳細之工程配置，包括防落石土堤高度及範圍，應配合後續詳細調查評估包括落石軌跡分析決定之。
2. 非工程處置：
 - (1) 短期建議採不開放遊憩管制。

- (2) 利用遙測技術，持續巡檢，滾動檢討。
- (3) 山月村利用可行性評估，配合詳細落石分析，評估落石可能最遠路徑及最大能量，評估後續使用方式。
- (4) 設置落石預警系統，供疏散避難參考。

竹林步道東北側 (0k + 300 ~ 0k + 086)

本次 0403 地震事件未直接受落石災害影響，然現場調查發現可見數處既有舊巨大落石殘跡，初步研判為未來若再度產生落石的可能影響範圍之一，因目前尚可通行，故將此段評估為【第 2 類】。後續對策研擬如下：

1. 工程處置：原則配合竹林步道西南側 (0k + 086 ~ 0k + 300) 處置。
2. 非工程處置：同竹林步道西南側 (0k + 086 ~ 0k + 300) 處置。

結論與建議

0403 地震造成之邊坡災害集中於蘇花公路沿線及台 8 線太魯閣國家公園路段，農村水土保持署於震後持續數化崩塌地，然因雲覆無法即時獲得全貌，整體崩塌位置圈繪於 2024 年 5 月 31 日結束，本文引用之崩塌位置即為最終 5 月 31 日之版本。

光學影像圈繪之位置僅能顯示出已經發生全面性破壞造成地形地貌改變位置，對於產生變形或裂縫但未全面性破壞位置則無法顯現，可利用 DInSAR 方法補充部分未來可能發生破壞區位。

利用已圈繪崩塌位置，進行大面積落石及土石流分析結果顯示，蘇花公路沿線和平至崇德段幾乎都可能遭遇後續落石及土石流，亦即震後二次災害機率極高，其中大清水溪及石公溪均需注意上游仍有大量土石尚未輸送至中下游，宜提前做好防災準備。

經由流向演算法及地形學法均能顯示出大範圍可能致災位置，包含通過機率及通過時之速度，此一結果可提供後續初步規劃佈設參考。

參考文獻

1. Gamma, P. (2000). "dfwalk-Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung." Geographisches Institut der Universität Bern (in German).
2. Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B., and Zimmermann, M. (2013). "Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale." Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, pp. 869-885.
3. O'Callaghan, J.F. and Mark, D.M. (1984). "The extraction of drainage networks from digital elevation data, Comput." Vision Graph, 28, pp. 328-344.
4. Jenson, S. and Domingue, J. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54, 1593-1600.
5. Desmet, P.J.J. and Govers, G. (1996). "Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies." Int. J. Geogr. Inf. Syst., 10, pp. 311-331.
6. Endreny, T.A. and Wood, E.F. (2003). "Maximizing spatial congruence of observed and DEM-delineated overland flow networks." Int. J. Geogr. Inf. Sci., 17, pp. 699-713.
7. Erskine, R., Green, T., Ramirez, J., and MacDonald, L. (2006). "Comparison of grid-based algorithms for computing upslope contributing area." Water Resour. Res., 42.
8. Tarboton, D.G. (1997). "A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models." Water Resour. Res., 33, pp. 309-319.
9. Evans, S.G. and Hungr, O. (1993). "The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes." Canadian Geotechnical Journal, V. 30, pp. 620-636.
10. Hungr, O. and Evans S.G. (1989). "Engineering aspects of rockfall hazards in Canada." Geological survey of Canada. <https://doi.org/10.4095/130673>
11. Wiecek, G.F., Morrissey, M.M., Iovine, G., and Godt, J. (1998). "Rock-fall Hazards in the Yosemite Valley." USGS.
12. Wiecek, G.F., Morrissey, M.M., Iovine, G., and Godt, J. (1999). "Rock-fall Potential in the Yosemite Valley." USGS. 

社團法人中國土木水利工程學會

會址：10055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

網址：<http://www.ciche.org.tw>

e-mail: service@ciche.org.tw

電話：(02) 2392-6325

傳真：(02) 2396-4260



歡迎加入學會



下載入會申請書



0403 花蓮地震之 花蓮 受震建物 勘察

林克強*／國家地震工程研究中心 研究員、國立台灣科技大學營建工程系 合聘教授

徐文信／國立屏東科技大學土木工程系 教授兼系主任

台灣時間 2024 年 4 月 3 日上午 7 點 58 分，位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊海交界之台灣花蓮發生芮氏規模 $M_L = 7.2$ 之強烈地震，震央位於花蓮縣壽豐鄉之陸地，為台灣自 1999 年發生芮氏規模 $M_L = 7.3$ 之 921 集集地震以來 25 年間所發生的最大地震，對台灣東部與北部造成不同程度的人員傷亡與經濟損失，以東部的花蓮受損最為嚴重。本次地震不幸造成 18 人喪生，3 人失蹤，但僅 1 人因建築物損壞而喪失生命。經統計至 4 月底，共發生 6 次規模 6 以上之可能致災等級餘震。本文共介紹 18 案建築於 0403 主震與 0423 規模 6.3 餘震侵襲後之受損情形。研判並歸納建築物受損原因後發現，結構系統不佳而造成一樓明顯軟弱或三角窗建築顯著扭轉效應，與混凝土澆置、鋼筋耐震細節、主筋搭接位置、缺少梁柱接頭圍束鋼筋等之施工品質不良導致耐震能力不足，為造成建築物耐震性能不如預期之重要因素。同時初步觀察花蓮區域整體建築之耐震性能顯示，尚無充分證據證明此次地震事件之建築物傾倒是與設計地震力不足有關。最後建議地方政府，對於因地震造成結構受損之建築物，應確實依結構補強之程序進行並管制，此可避免無結構安全確保的非工程補強，以維護在下次地震事件發生時之公共安全。

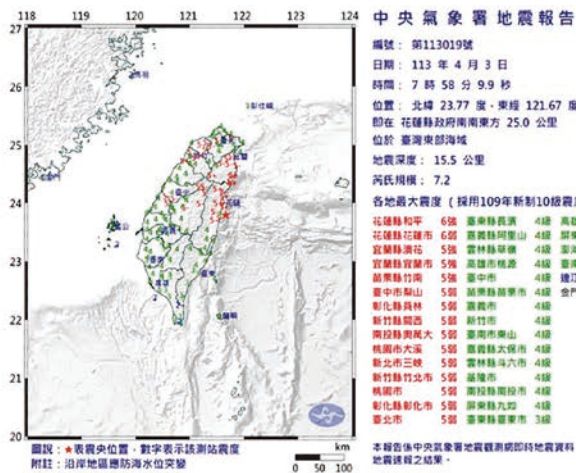
關鍵詞：芮氏規模、震度、鋼筋混凝土建築物、三角窗建築、軟弱層

前言

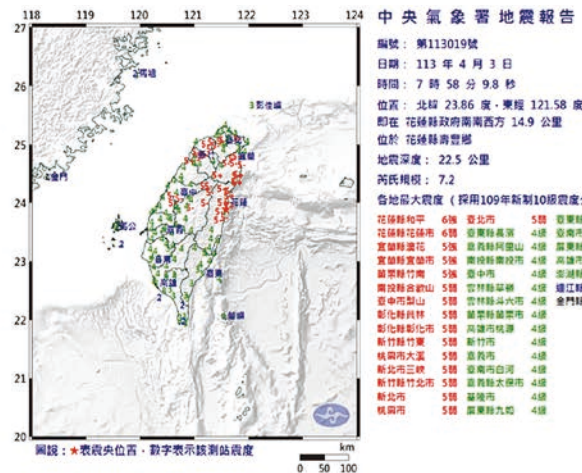
台灣於 2024 年（民國 113 年）4 月 3 日上午 7 點 58 分，在菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊海交界之花蓮，發生芮氏規模 M_L （Central Weather Administration, CWA（台灣中央氣象署））7.2，震矩規模 M_w （US Geological Survey, USGS（美國地質調查局））7.4 之強烈地震，中央氣象署的地震編號為 113019 號，於地震發生後公布的震央位於花蓮縣政府南南東方 25 公里的花蓮東部海域，座標為北緯 23.77 度，東經 121.67 度，震源深度 15.5 公里，如圖 1(a) 所示，而後修正為花蓮縣政府南南西方 14.9 公里之花蓮縣壽豐鄉陸地，座標

為北緯 23.86 度，東經 121.58 度，震源深度 22.5 公里，如圖 1(b) 所示。本次地震中央氣象署公布所量測的最大震度為 6 強，於花蓮縣和平鄉，其次為花蓮市與太魯閣的 6 弱，網站所公布的垂直向、南北向與東西向地震加速度震波圖分別如圖 2(a)、圖 2(b) 與圖 2(c) 所示。前述之震度是依據交通部中央氣象署公布於民國 112 年 10 月 16 日修正之「交通部中央氣象署有感地震發布作業要點」^[1] 的震度分級，當地震之地表加速度（peak ground acceleration, PGA）小於 80 gal（ cm/sec^2 ）（即 4 級）時，依 PGA 分級（如表 1(a) 所示）；當地震之地表加速度大於 80 gal 時，依 PGV（peak ground velocity）分級（如表 1(b) 所示）。本次地震量測所得之最大 PGA 是在太魯閣測站南北向量測所得的

* 通訊作者，kclinnecree@narlabs.org.tw

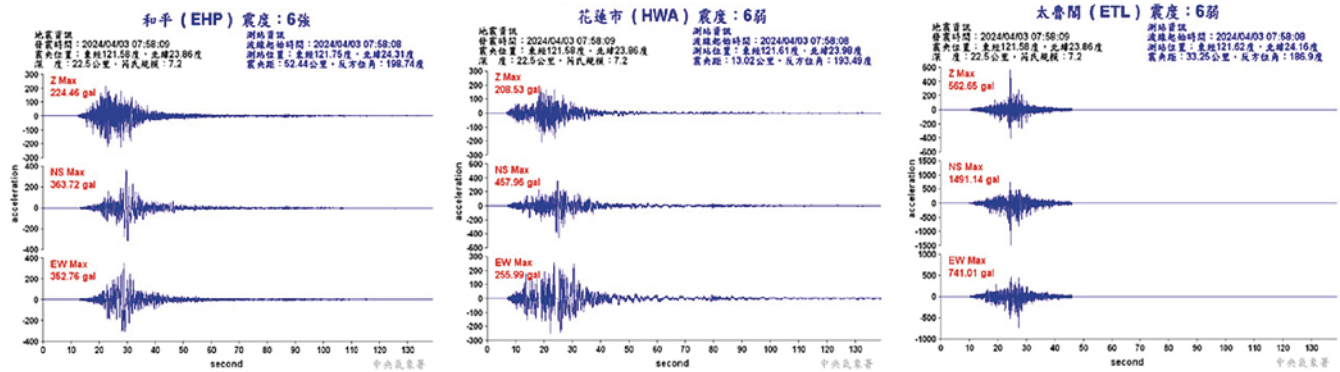


(a) 修正前



(b) 修正後

圖 1 20240403 花蓮地震，0403 主震之中央氣象署地震報告單（含修正前與修正後）



(a) 和平測站

(b) 花蓮市測站

(c) 太魯閣測站

圖 2 中央氣象署所公布 20240403 花蓮地震之花蓮縣 (a) 和平鄉、(b) 花蓮市與 (c) 太魯閣測站的震度及垂直、南北與東西向的地震加速度震波圖

表 1 交通部中央氣象署 112 年版地震震度分級表^[1]

(a) 震度 4 級以下之分級標準（依地表加速度 PGA 分級）

震度階級	0 級	1 級	2 級	3 級	4 級	5 弱	5 級	6 弱	6 級	7 級
PGA (cm/sec ²)	< 0.8	0.8 ~ 2.5	2.5 ~ 8.0	8.0 ~ 25	25 ~ 80	80 ~ 140	140 ~ 250	250 ~ 440	440 ~ 800	> 800

(b) 震度 5 級以上之分級標準（依地表速度 PGV 分級）

震度階級	0 級	1 級	2 級	3 級	4 級	5 弱	5 級	6 弱	6 級	7 級
PGV (cm/sec)	< 0.2	0.2 ~ 0.7	0.7 ~ 1.9	1.9 ~ 5.7	5.7 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 80	80 ~ 140	> 140

1,491 gal（詳圖 2(c)），其震度被評為「6 弱」，此可能因地震加速度歷時積分後所得的 PGV 介於 50 ~ 80 cm/sec，且依 112 年新公布的分級標準評定而得，但中央氣象署並未公布各測震的 PGV 值。20240403 花蓮地震截至 4 月 25 日止，共發生 1,255 次餘震，其中規模大於 5 之餘震為 65 次。統計至 4 月底共發生 6 次

規模 6 以上之可能致災等級餘震，在 4 月 23 日凌晨 2:23 發生之芮氏規模 6.3 的餘震事件（地震報告單詳圖 3）中，造成花蓮市多棟原已受損建築物傾倒。此次 20240403 花蓮地震事件為台灣自 1999 年 921 集集大地震（芮氏規模 7.3）後 25 年間發生的最大地震。

整體而言，20240403 花蓮地震僅對台灣北、東部

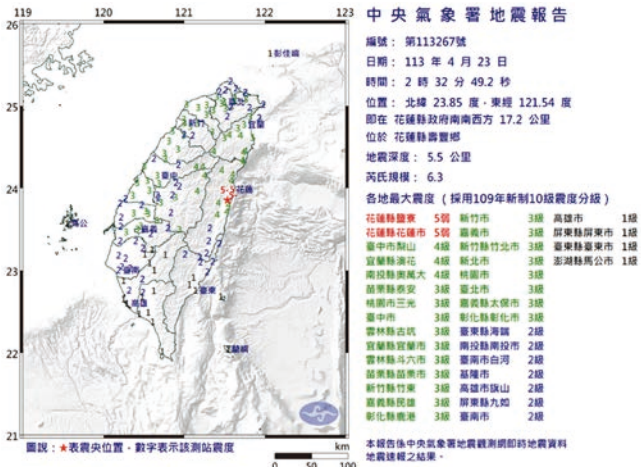


圖 3 20240423 花蓮地震，0423 餘震之中央氣象署地震報告單

造成不同程度的影響，西部新竹以下與東部台東以下地區影響較為有限。本次地震造成較大規模的災損主要集中在花蓮縣，雖然在台北市、新北市與桃園市部分地區也發生災害，但災情較為輕微。根據「2024 年花蓮地震」維基百科^[2]記載，共造成 18 名人員喪生，3 人失蹤，對經濟的損失尚待估計。在建築物的損壞調查中，發現此次地震對花蓮市與鄰近區域建築物造

成嚴重的損害，但慶幸的是，在倒塌與損壞的建築物中，未釀成重大的人員傷亡，僅一名任教於花蓮高農的康姓教師於倒塌的天王星建築中不幸罹難。

本文主要介紹作者對花蓮地區受 0403 花蓮地震影響之建築物的勘察情形，並提供可能影響因素的研判。本文將勘察建築物分為兩類：

- 1. A 類為 9 層以下建築物，如表 2 所示；
- 2. B 類為 10 層以上建築物，如表 3 所示；

以下所介紹之 A 類 9 層以下受損之建築物中，判斷多為 1983 年以前興建之低矮建築物，依此年代推測，應採用 1983 年前版本之建築技術規則^[3]設計，當時屬於建築結構設計技術與工具較不成熟，耐震設計規範較不嚴謹的年代。另 B 類 10 層以上受損之建築物中，依據調查，完工年代均為 2000 年以前，設計時應引用 2005 年版前之建築物耐震設計規範（即 1997 年之版本）^[4]，其中 2005 年版建築物耐震設計規範是因應 1999 年 921 地震發生後所修正地震力設計規範。以下依此分類分別介紹這些建築物的受震損壞情形，並分析可能的破壞因素。

表 2 A 類 9 層以下建築物基本資料

編號	住址或建築物辨識名稱	地上樓層數	建物損害評判結果
A1	花蓮縣花蓮市菁華街 2 號 (花蓮女中綜合大樓)	4F	
A2	花蓮縣花蓮市北濱街 16 號 (幸福時刻早午餐)	4F	倒塌
A3	花蓮縣花蓮市北濱街 2 號	6F	
A4	花蓮縣花蓮市北濱街 6 之 1 號 (花一郎)	5F	
A5	花蓮縣花蓮市中山路 201 號 (銅管紅茶)	4F	
A6	花蓮縣花蓮市軒轅路 18 號 (Louisa Coffee, 原華王大飯店)	4F	0423 後轉為
A7	花蓮縣花蓮市博愛街 52 號	6F	
A8	花蓮縣花蓮市中山路 475 號	4F	
A9	花蓮縣花蓮市中山路 479、481 號	4F	0423 後轉為
A10	花蓮縣花蓮市花崗街 56 號 (國軍英雄館)	6F	
A11	花蓮縣吉安鄉中華路 2 段 11 之 1 號 台雄商業大樓 (一樓吉安麥當勞)	7F	

表 3 B 類 10 層以上建築物基本資料

編號	建築物住址（辨識名稱）	棟數與地上樓層數	完工年	建物災損評判結果
B1	花蓮縣花蓮市軒轅路 2 號 （天王星）	10F	1986	倒塌
B2	花蓮縣花蓮市公正街 37、39 號 （華爾街大樓）	八樓以上兩棟 12F	1994	
B3	花蓮縣花蓮市明禮路 5 號 （統帥大樓）	10F	1997	 0423 後倒塌
B4	花蓮縣花蓮市中和街 209 號 （馥邑京華）	三棟 10, 12, 15F	2000	
B5	花蓮縣吉安鄉中山路一段 222 號 （山海關大樓）	二樓以上兩棟 15F	1995	
B6	花蓮縣花蓮市德安六街 63-70 號 （蓮花大樓）	17F	1995	
B7	花蓮縣花蓮市長安街 26、27 號 （和勝江山）	兩棟 16F	1997	

建築物受震損壞情形

本文主要記述 20240403 花蓮地震事件中，作者於花蓮地區所勘察建築物的受損情形，包括 0403 芮氏規模 7.2 主震與 0423 規模 6.3 餘震後之破壞情形。其中 A 類 11 案，其位置與分佈如圖 4 所示；B 類 7 案，各案位置分佈圖詳圖 5。各棟建築物之受震受損情形分別敘述於下列兩節，並列出縣政府依據「災害後危險建築物緊急評估辦法」^[5] 委託專業評判單位之判定結果。

A 類：9 層以下建築物受損情形

A1. 花蓮女中綜合大樓

過去十餘年，教育部針對所屬高中及國中小校舍建築進行耐震評估與補強，對於耐震有疑慮的校舍進行嚴謹且詳細的評估，確認耐震能力不足時進行補強。在本次地震事件中，僅花蓮女中一棟四層樓未經補強的「綜合大樓」校舍在一樓發生嚴重的破壞外，全台灣校舍均未發生明顯結構破壞事件。此次花蓮女

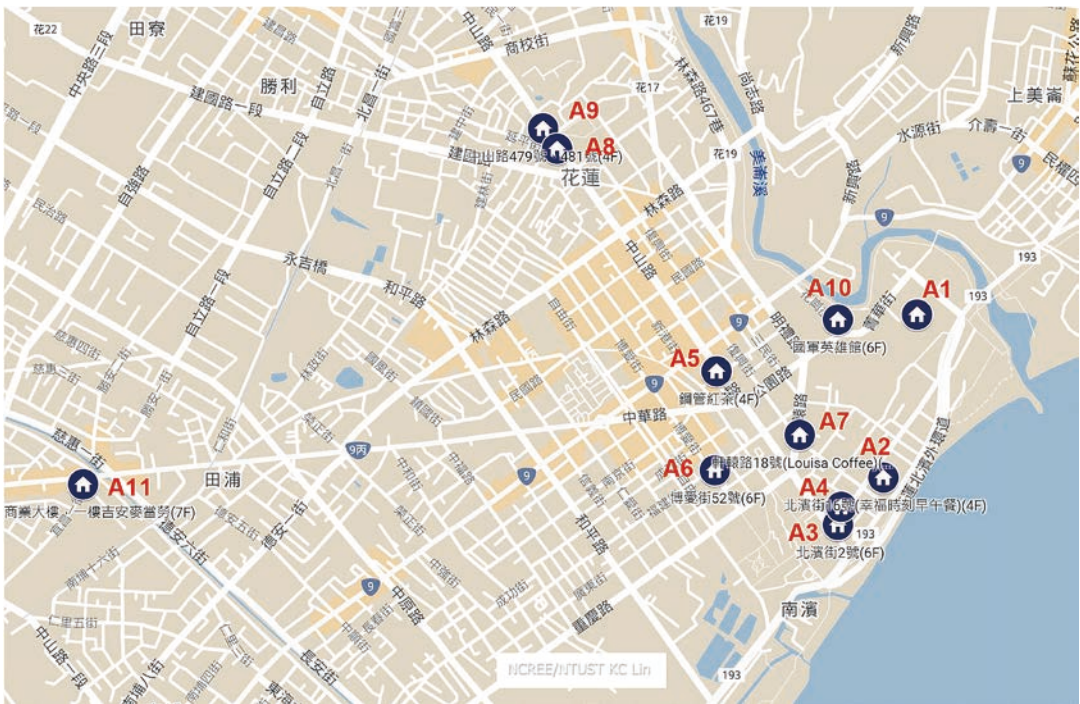


圖 4 於 20040403 花蓮地震中，本文介紹之 9 層以下受損建築物位置與分佈圖



圖 5 於 20040403 花蓮地震中，本文介紹之 10 層以上受損建築物位置與分佈圖

中「綜合大樓」之受震破壞集中於一樓，二樓以上之梁、柱與牆構件均未發現明顯受損現象，建築物未發生傾倒。在一樓的破壞中，主要集中於窗台短柱發生嚴重受剪破壞，混凝土爆裂，鋼筋挫屈，廊外柱僅於上、下端發生些微混凝土開裂現象。建築物地震後之正面與背面受損情形詳圖 6(a) 與圖 6(b) 所示，經縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。慶幸的是，本棟為專科教室，地震發生時尚未達上課時間，僅少數教職員於教室中，未造成任何人員傷亡。



(a) 正面一樓受損情形



(b) 背面受損情形

圖 6 花蓮市菁華街 2 號（花蓮女中綜合大樓）地震發生後情形

A2. 花蓮縣花蓮市北濱街 16 號（幸福時刻早午餐店）

此棟建築為四層 RC 造建築，在此次地震事件之主震發生當天造成兩棟建物倒塌之其中一棟。圖 7(a) 為當天建築物傾倒照片（摘自中央通訊社網路新聞照片^[6]），作者於 4 月 14 日前往勘察時，該建築物已拆除完成情形，詳圖 7(b)。



(a) 建築物地震發生後傾倒情形^[6]



(b) 20140414 已拆除完成情形

圖 7 花蓮市北濱街 16 號（幸福時刻早午餐）地震發生後及拆除情形

A3. 花蓮縣花蓮市北濱街 2 號

本棟建築為地上六層 RC 造建築，位於北濱街與康樂街交叉路口，為俗稱的「三角窗建築」，騎樓外柱構件挑高兩樓層。在 0403 地震事件中，建築物的損壞明顯集中於底層之挑高樓層，從外觀觀察，挑高層以上之樓層並未發現明顯損壞情形，如圖 8(a) 所示。圖 8(b) 中發現在一樓挑高部分有疑似未經專業技師耐震設計之「非工程補強」的鋼支撐構件。據悉，本棟建築物已於 20180206 花蓮地震中受損並被貼單，並經此「非工程補強」解除列管。本棟建築物經縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。



(a) 建築物地震發生後受損情形



(b) 建築物騎樓挑高柱與前次地震（20180206 花蓮地震）損傷後之非工程補強

圖 8 花蓮市北濱街 2 號（三角窗建築）地震發生後受損情形

A4. 花蓮縣花蓮市北濱街 6 之 1 號（花一郎）

本棟建築為地上六層 RC 造建築，位於北濱街與海濱街 33 巷口的「三角窗建築」，騎樓外柱構件挑高兩樓層，如圖 9(a) 之 google 地圖照片所示。由圖 9(b) 中發現，騎樓外挑高柱之上端有混凝土爆裂之現象發生，本建築物結構已受損，經縣政府委託之專業評判單位判定為紅單，同時發生結構不穩定之趨勢，故採用鋼支撐進行臨時穩定支撐，並也進行拆除中。



(a) 建築物地震發生前情形

(b) 建築物地震發生後受損情形
(拍攝於 20240413)

圖 9 花蓮市北濱街 6-1 號（花一郎）（三角窗建築）地震發生前後情形

A5. 花蓮縣花蓮市中山路 201 號（鋼管紅茶）

本棟建築為地上四層 RC 造建築，位於中山路與公正街交叉口，為「三角窗建築」。如圖 10(a) 為地震發生後側面受損情形；從外觀觀察，主要受損均集中在一樓，二樓以上之樓層並未發現明顯損壞情形。由圖 10(b) 中發現，騎樓柱構件下端發生混凝土爆裂，鋼筋外露情形，本建築物結構已受損，並於受損之柱構件側邊採用 H 型鋼作為臨時支撐。本棟建築經縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。



(a) 建築物後側向視角



(b) 騎樓柱底混凝土爆裂，鋼筋外露情形

圖 10 花蓮市中山路 201 號（鋼管紅茶）（三角窗建築）地震發生後情形

A6. 花蓮縣花蓮市軒轅路 18 號 (Louisa Coffee, 原華王大飯店)

本棟建築為地上四層 RC 造建築，位於軒轅路與五權街交叉口，為「三角窗建築」。本棟建築在 0403 花蓮地震主震後，僅於一樓牆體發生較明顯的受損，縣政府委託之專業評判單位判定為黃單，如圖 11(a) 為地震發生後正面整體情形（攝於 20240413），從外觀觀察，主要受損集中於一樓騎樓內側磚造牆體，二至四樓並未發現明顯損壞情形。圖 11(b) 顯示，本棟建築在歷經 4 月 23 日規模 6.3 的餘震作用後，騎樓柱受損嚴重，有傾倒之虞，以 H 型鋼作為臨時支撐，並判定為紅單（攝於 20240510）。



(a) 建築物於 0403 花蓮地震主震發生後正面視角情形



(b) 建築物於 0423 規模 6.3 餘震發生後改評判為紅單

圖 11 花蓮市軒轅路 18 號 (Louisa Coffee, 原華王大飯店) 三角窗 4F 建築

A7. 花蓮縣花蓮市博愛街 52 號

本棟建築為地上六層 RC 造建築，位於博愛街與福建街交叉路口，為俗稱的「三角窗建築」，騎樓外柱構件挑高兩樓層。圖 12(a) 為 google 地圖街景照片。在 0403 地震事件中，本建築物的損壞明顯集中於底層之

挑高樓層，就外觀觀察，挑高層以上之樓層並未發現明顯損壞情形，如圖 12(b) 所示。該建築物於主震作用後受損嚴重，有傾倒之虞，故以 H 型鋼作為臨時支撐，防止建築倒塌的發生。本棟建築物經縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。圖 12(b) 中也發現，在一樓挑高部分有疑似未經專業技師耐震設計之「非工程補強」的鋼支撐構件，與編號 A3 建築的補強方式類似，經該棟建築鄰居告知，該棟建曾於 20180206 花蓮地震中受損並被貼單，並經此「非工程補強」解除列管。



(a) 建築物地震發生前情形



(b) 建築物地震發生後採 H 型鋼臨時支撐

圖 12 花蓮市博愛街 52 號三角窗 6F 建築地震發生前後情形

A8. 花蓮縣花蓮市中山路 475 號

本棟建築為地上四層 RC 造三戶相連之街屋建築，於主震發生後在一樓臨街外柱上端發生嚴重受損，從外觀觀察，二至四樓並未發現明顯損壞情形，縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。圖 13(a) 為 0423 規模 6.3 之餘震發生後正面整體受損情形，主要之損壞發生於 C1、C2 與 C4 柱之上端混凝土爆裂，鋼筋挫屈、外露情形，發現柱箍筋間距有明顯不足情形，如圖 13(a) 所示。二至四樓並未發現明顯損壞情形。圖 13(b) 為 0423 規模 6.3 之餘震發生後背面整體受損情形，主要造成 C11 與 C12 柱側邊牆體發生錯位。圖 13(b) 中顯示，角柱 C14 於一樓柱上端梁柱接頭混凝土發生爆裂、鋼筋外露且附近牆體受剪破壞情形，並發現其梁柱接頭區未配置箍筋。



(a) 建築物地震發生後正面受損情形及 C2 之近照



(b) 建築物地震發生後正面受損情形及 C14 之近照

圖 13 花蓮市中山路 475 號地震後受損情形

A9. 花蓮縣花蓮市中山路 479、481 號

本棟建築為地上四層 RC 造兩戶相連之街屋建築，圖 14(a) 為 google 地圖街景照片。於 0403 主震發生後受損輕微，從外觀觀察，二至四樓並未發現明顯損壞情形，縣政府委託之專業評判單位判定為黃單。圖 14(b) 為 0423 規模 6.3 餘震發生後，兩戶一樓共用柱上端發生混凝土爆裂，鋼筋外露，亦發現埋設於柱內之 PVC 管，由此照片也發現柱箍筋間距有明顯過大之現象。



(a) 建築物地震發生前情形



(b) 0423 規模 6.3 餘震後被評定為紅單

圖 14 花蓮市中山路 475 號地震發生前後情形

A10. 花蓮縣花蓮市花崗街 56 號（國軍英雄館）

本棟建築為地上六層地下 1 層之 RC 造建築，一樓正面與一圓弧形雨遮相接，如圖 15(a) 所示。勘察時國軍英雄館之工作人員告知，該圓弧形雨遮是由鋼筋混凝土建造，該工作人員宣稱也參與該工程。地震發生後主要破壞發生於地下一樓至二樓間，三樓以上損壞較為輕微。縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。研判發生此破壞的原因發現，RC 圓弧形雨遮斜向錨定於地表下之基礎，可提供剛硬的側向勁度，且具有較高的強度，而建築物本體抗彎構架的側相勁度較小，此兩者勁度的差異造成建築物與圓弧形雨遮相接處與其附近發生變形並不一致，在勁度較弱的建築物上發生破壞，破壞集中在圓弧形 RC 雨遮左、右兩側之建築物正面構架的一、二樓界面附近，而側向勁度與強度較大的圓弧形雨遮並未發生明顯損壞，此為建築物發生嚴重破壞的主要因素，建築物正面左、右兩側破壞分別詳圖 15(a) 與圖 15(b) 所示。圖 15(c) 為建築物正構架之左側一樓室內受震破壞情形，照片中發現柱之上端混凝土爆裂與鋼筋外露，及 RC 與磚造牆體受剪破壞。建築物正面構架右側一樓室內為通往地下室與二、三樓之大型螺旋樓梯空間，樓梯版僅與柱相接，未與牆體相接。圖 15(d) 為建築物後方室外樓梯之結構牆邊柱受震後混凝土爆裂，主筋外露，但並未發現箍筋。觀察此處之上下層之混凝土顏色不同，應為上、下樓層混凝土澆注界面，研判該無配置箍筋處為梁柱接頭區。

A11. 花蓮縣吉安鄉中華路 2 段 11 之 1 號（台雄商業大樓，一樓吉安麥當勞）

本棟建築為地上七層 RC 造建築物，位於中華路二段與宜昌一街交叉路口之獨棟建築，建築物一、二樓靠近中華路之正面柱構件挑高兩樓層高，後側柱無挑高且具有牆體。地震發生前建築物未破壞情形如圖 16(a) 所示（取自 google 地圖照片）。地震發生後，建築物正面左右兩側挑高兩樓之柱構件與鄰近牆體發生損壞，於右側圓形樓梯間處破壞較為嚴重，由縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。圖 16(b) 顯示，地震發生後，建築物正面右側一樓樓梯間側邊柱（C1）與牆底部混凝土爆裂及二樓梁發生開裂，C1 柱與側邊牆體破壞特寫照片詳圖 16(c)，建築物正面左側一樓挑高柱柱底混凝土開裂情形詳圖 16(d)。此破壞研判與建築物底層樓勁度不均勻而造成扭轉有關。



圖 15 花蓮縣花蓮市花崗街 56 號（國軍英雄館）地震發生後情形

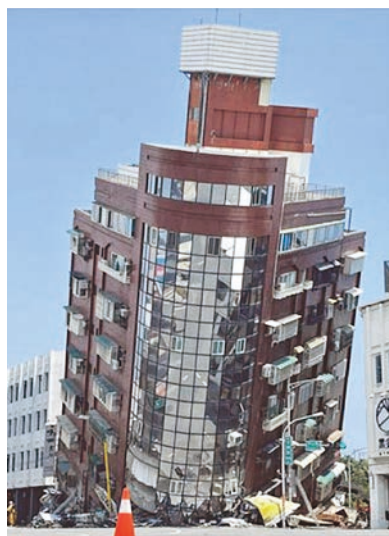


圖 16 吉安鄉中華路二段 11 號之 1 台雄商業大樓地震發生前後一樓破壞情形

B 類：10 層以上建築物受損情形

B1. 花蓮縣花蓮市軒轅路 2 號（天王星）

本棟建築為地上十層 RC 造住商混合建築，位於軒轅路、花崗街、中山路與重慶路四叉路口。本棟建築於 0403 上午 7:58 分發生芮氏規模 7.2 主震後隨即傾倒，如圖 17(a)（摘自聯合新聞網照片^[7]）。圖 17(b) 為建築物傾倒後拆除過程中照片（攝於 20240413），圖 17(c) 為建築物傾倒後建築物右後側二樓梁柱接頭混凝土爆裂，鋼筋外露，此照片顯示此梁柱接頭未配置橫向箍筋。本棟建築物正面與部分兩側面因開門需求牆體較少，後側牆體較多，導致正面圓弧出挑樓板之兩側柱構件承受較大之軸向應力，且造成建築物之前後側向勁度明顯差異引致受震扭轉，研判此為本棟建築物耐震能力不足的可能原因，另外，鋼筋配置不符合耐震設計規定亦造成建築物弱化耐震能力的因素。



(a) 建築物地震發生後傾倒情形



(b) 建築物傾倒後正面拆除情形



(c) 建築物地震發生後正視右後側三樓一梁柱接頭混凝土爆裂鋼筋外露情形

圖 17 花蓮市軒轅路 2 號（天王星）地震發生後情形

B2. 花蓮縣花蓮市公正街 37、39 號（華爾街大樓）

本棟建築為地上十二層 RC 造住商混合建築，一、二樓為公共與商業用途空間，三樓為開放式平台空間，並往垂直正面之短向方向退縮，於八樓以上分為兩棟建築，1994 年完工。本建築位於公正街、三民街、中正路與中山路所圍之街廓內，建築物正面臨三民街。地震發生後該建築物明顯的破壞發生於四樓以下，並有集中於正面中央靠右側之現象。圖 18(a) 為正面四樓右側外牆受剪破壞情形，圖 18(b) 為背面三、四樓右側 RC 外牆受剪開裂與樓梯間處磚造外牆倒塌破壞情形。圖 18(c) 為三樓樓梯間外側走道之左、右兩側 RC 牆嚴重破壞情形。圖 18(d) 為建築物後側一至三樓樓梯間之 RC 樓梯板及磚造外牆與管道間牆破壞情形，其中磚造外牆往室外倒塌，檢視此樓梯間外牆發現，此牆體厚度為 $1/2B$ ，高度為樓層高度，高厚比有明顯過大之情形。此破壞情形經縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。



(a) 四樓正面右側外牆混凝土開裂情形



(b) 背面 RC 外牆開裂與磚造外牆倒塌



(c) 三樓樓梯間 RC 牆體混凝土破裂



(d) 後側一至三之樓梯間破壞情形

圖 18 花蓮市公正街 37、39 號（華爾街大樓）地震發生後破壞情形

B3. 花蓮縣花蓮市明禮路 5 號（統帥大樓）

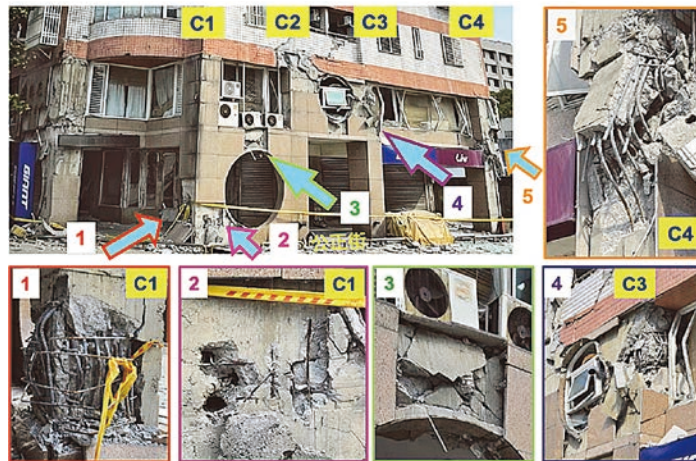
本棟建築為地上十層 RC 造單棟住商混合建築，一、二樓為商業用途，三樓以上為住宅用途，位於明禮路與公正街路口，1997 年完工使用。該建築物於 0403 主震作用後，建築物外觀發生嚴重程度不同的破壞，圖 19(a) 顯示明禮路與公正街路口視角之正面破壞情形，從照片中顯示，建築物鄰近公正街之構架發生嚴重破壞。圖 19(b) 為臨明禮路上構架靠近公正街之柱構件於一、二樓發生表面裝飾石材剝落、混凝土爆裂、鋼筋外露等情形，該柱之梁柱接頭未發現配置箍筋，且柱主筋疑似於樓板上搭筋。本棟建築之主要破壞發生於沿公正街構架之一至三樓，其他各面的破壞主要發生在一樓，包括於明禮路巷內之一樓磚造外牆受剪破壞，以及公正街巷內一樓磚造與 RC 牆體受剪破壞。該建築物之破壞狀況經縣政府委託之專業評判單位判定為紅單。另檢視受損最嚴重鄰近公正街之構架發現，有 5 個破壞細節值得進一步說明，如圖 19(c) 所示，其中，受震損壞之構架是由四根柱構件組成，構架破壞的原因主要是照片中 C1 與 C4 柱破壞所導致。照片中之細節 1 與細節 2 是描述柱構件 C1 於一樓柱底受壓破壞照片，分別從明禮路與

公正街的視角拍攝。由細節 2 中發現該柱靠公正街有孔洞現象，懷疑是 C1 柱於澆置混凝土時靠近公正街側有蜂窩所產生，而靠近騎樓側之混凝土澆置較為紮實，此導致 C1 柱在地震引致之軸力作用時主要靠走廊側的部分柱構件混凝土承載，當此部份承載能力不足時，造成該處混凝土爆裂，鋼筋發生受壓挫屈；另由細節 2 之柱面混凝土未發現受壓開裂情形，且柱鋼筋亦無相向外爆開挫屈情形，推測此處之混凝土垂直壓碎位移引致之鋼筋挫屈是向柱內彎曲。照片中之細節 5 為柱構件 C4 於二樓底部受壓破壞情形，此細節照片顯示，該柱之二樓梁柱接頭無配置箍筋，同時二樓柱主筋於二樓板底開始搭接續接，因此柱構件於二樓底部與梁柱接頭無法提供充分的圍束，而造成搭接主筋外推而破壞。另外照片中之細節 3 為柱 C1 與 C2 於二樓垂直差異變位引致的短梁剪力破壞；照片中之細節 4 為二樓 C3 柱承载力不足的破壞，估計 C3 與 C4 柱於二樓的破壞時機大致相同；另外柱 C3 與 C4 於二樓垂直承载力不足的破壞，導致 C2 與 C3 間之梁構件在三樓產生垂直相對變位，進而引致該梁發生剪力破壞，也導致 C2 柱在三樓之梁柱接頭受剪破壞，該棟建築物在餘震作用下傾斜加劇，有傾倒



(a) 0403 主震發生後之破壞情形

(b) 0403 主震發生後一、二樓之破壞情形



(c) 0403 主震發生後公正街側構架各破壞細部



(d) 0423 餘震作用後當日一、二樓塌陷情形



(e) 0423 餘震作用倒塌後拆除情形

圖 19 花蓮市明禮路 5 號（統帥大樓）主、餘震發生後破壞情形

之虞。隨後在 4 月 23 日凌晨之芮氏規模 6.3 的餘震作用下發生局部一、二樓塌陷，如圖 19(d)（摘自中央通訊社網路照片^[8]）所示。圖 19(e) 為本棟建築坍塌後拆除過程。

B4. 花蓮縣花蓮市中和街 209 號（馥邑京華）

本社區建築共包含三棟 RC 造純住宅建築，其中 A 與 C 棟為十層，平面約呈方形；B 棟平面為矩形，包含十二與十五層，完工於 2000 年。此社區建築入口位於花蓮市中和街，鄰近中華路。所有建築物採用相同

之結構系統，一樓為挑高之開放空間，有中間夾層設計，除服務核心具有牆體外，部分外側有牆體設計。二樓以上為純住宅用途，內、外具有牆體設計，故相較於挑高設計的一樓，勁度相對較大，較為剛硬。因此，建築物於一樓有明顯較柔軟且發生扭轉現象。地震發生後，建築物損壞情形如圖 20(a) 所示，觀察建築物外觀，A 與 C 兩棟建築受損較為嚴重，其中又以 A 棟破壞較為顯著。另相較於 A 與 C 兩棟，B 棟受損相對較為輕微。經訪查得知，二樓以上室內有部分受損，但本次勘察僅局限於一樓公共空間的破壞。圖



(a) 建築物地震發生後各棟損壞情形

(b) 建築物地震發生後 A 棟一樓梯間之柱混凝土爆裂、鋼筋外露情形
圖 20 花蓮市中和街 209 號（靄邑京華）0403 地震發生前後情形

20(b) 為 A 棟一樓梯間內柱體混凝土爆裂，鋼筋外露與牆體破裂情形。於 0403 主震發生後，經縣政府委託之專業評判單位判定該社區所有建築為紅單。經結構技師複評後，建議 A 棟拆除（更生新聞網^[9]）。

B5. 花蓮縣吉安鄉中山路一段 222 號（山海關大樓）

本建築物為單棟 RC 造十六層之住商混合建築，一樓作為商業用途，二樓以梯間為中心左、右兩側呈非矩形對稱配置之住宅用途，並於梯間中央設置二樓以上伸縮縫，二至十六樓外觀尺寸規模相同，完工於 1995 年。本建築位於吉安鄉中山路一段與仁里五街路口，兩路夾角呈小於 90 之銳角。建築物梯間入口正面位於兩路口之背面，即路口為本建築物之背面。建築物一側臨中山路一段，另側臨仁里五街。圖 21(a) 為該建築物於 0403 花蓮地震發生後，梯間入口正面外觀破壞情形，照片中顯示，梯間兩側低樓層 RC 外牆發生嚴重受剪破裂情形，隨者樓層越高破壞情形較為緩和，目視顯示，左右兩側之外牆明顯開裂達八樓。建築物入口背面，約從一樓至三樓發生較顯著的 RC 外牆受剪破壞，如圖 21(b) 所示，其中二樓牆體有往室外滑移之現象。由梯間入口正面與背面建築物破壞情形顯示，中央伸縮縫處之外觀均未發現建築物發生碰撞之受損情形。圖 21(c) 顯示建築物臨近中山一路與仁理五街側 RC 外牆受剪破裂情形，明顯外牆開裂達九樓。圖 21(d) 為二、三樓梯間內部伸縮縫處受損比較，照片中顯示，二樓梯間伸縮縫界面發生輕微磁磚剝落，天花板裝修受損，而三樓梯



(a) 地震發生後梯間入口正面兩側牆體開裂情形



(b) 地震發生後背面內側牆體開裂



(c) 地震發生後兩側 RC 外牆混凝土開裂



(d) 2、3 樓梯間伸縮縫處碰撞與牆體粉層剝落

圖 21 吉安鄉中山路一段 222 號（山海關大樓）0403 地震發生後損壞情形

間伸縮縫界面並未發現碰撞受損。儘管從層外觀觀察，並未發現主要梁、柱構件的破壞，但於低樓層 RC 外牆發現嚴重的破壞，於 0403 主震發生後，經縣政府委託之專業評判單位判定該建築物為紅單。

B6. 花蓮縣花蓮市德安六街 63-70 號（蓮花大樓）

本建築物為單棟 RC 造十七層純住宅建築，建築平面呈「口」字型，完工於 1995 年。建築物位於德安六街，正面隔德安六街面對吉安溪。圖 22(a) 為該建築物於 0403 花蓮地震發生後，建築物口形內側正面 RC 外牆與陽台女兒牆混凝土開裂情形，從外觀檢視發現，從一至十五樓均可明顯觀察到此受損裂縫。從圖 22(b) 中顯示，於 20240403 花蓮地震發生後，建築物口形內側正面左前角落在高樓層處混凝土發生明顯開裂情形，比對 0403 地震發生前之 google 地圖街景照片發現，該處之混凝土開裂於本次地震發生前已存在，研判

是過去地震造成且尚未修復。特別於二樓有一「右上左下」之單向斜向裂縫，研判此與下方約 3.5 m 的懸臂梁懸挑太長有關。圖 22(c) 為建築物右側 RC 外牆受剪開裂情形，從此照片發現，外觀可觀察之混凝土開裂左側至十一樓，右側至十五樓。雖然本棟建築之外牆損壞明顯，但外觀並未發現梁、柱構件受損情形。於 0403 主震發生後，經縣政府委託之專業評判單位判定該建築物為黃單。

B7. 花蓮縣花蓮市長安街 26、27 號（和勝江山）

本社區為兩棟對稱 RC 造十六層純住宅建築，完工於 1997 年。建築物位於長安街，正面隔長安街面對吉安溪。根據社區管理員敘述，0403 主震發生後外觀並未發現明顯受損情形，但兩棟梯間受損程度並不相同，左棟服務核一樓梯間外飾石材掉落，粉刷層剝離嚴重，梯間短梁發生明顯混凝土開裂，並往上延伸數



(a) 內側正面牆體開裂情形



(b) 高樓層於地震發生前、後混凝土開裂比較



(c) 建築物地震發生後右側 RC 牆體開裂情形

圖 22 花蓮市德安六街 63-70 號（蓮花大樓）地震發生前後情形

樓；右棟梯間僅發生微小裂縫。經縣政府委託之專業評判單位判定左棟為黃單，右棟並未貼單。由於右棟並未貼單，因此可接受「台積電慈善基金會」之「台積公司針對花蓮地震之災後協助計畫」的協助進行非結構性的修繕，而左棟因被判定有結構損壞之黃單，而被排除在該計畫之外。於 0423 規模 6.3 之餘震後，左棟建築物之梯間受損加劇，右棟梯間受損仍屬輕微，圖 23(a) 為兩棟建築物一樓梯間於 0423 餘震後受損情形。檢視左棟梯間發現除一樓受損嚴重外，其短梁混凝土明顯受剪裂縫延伸至六樓，如圖 23(b) 所示，照片中也顯示，二樓梯間三處短梁居發生嚴重破壞情形，七樓短梁鄰跨之 RC 牆於門開孔上方發生顯著的剪力裂縫。另觀察右棟梯間破壞情形發現，與左棟相較，其受損明顯輕微，僅於二與三樓之短梁發生較明顯裂縫。此餘震發生後，經縣政府委託之專業評判單位判定兩棟建築物均為黃單。此兩棟對稱之建築物在此次地震中，似乎表現出的耐震性能有所差異，此兩棟設計結果不同的可能性較低，研判此與兩棟實際施工條件不同所導致的可能性較大。



(a) 0423 餘震發生後一樓電梯間左棟受損嚴重，右棟損壞輕微，均被評判為黃單



(b) 0423 餘震發生後左棟一樓電梯間，三至六樓梯間之情況

圖 23 花蓮市長安街 26、27 號（和勝江山大樓）0423 餘震發生後損壞情形

結論與建議

2024 年 4 月 3 日花蓮發生芮氏規模 7.2 地震，為 1999 年 9 月 21 日發生規模 7.3 之 921 集集地震以來最大的地震，截至 4 月底共發生 6 次規模 6 以上的地震，對花蓮地區之建築物造成嚴重的損壞。幸運的是，這些建築物的損壞並未釀成大規模的人員傷亡，僅導致一人喪命。初步觀察建築物的傾倒，尚無足夠證據證明與設計地震力不足有關。另研判建築物的破壞，大致可歸因不良的結構系統與不佳的施工品質，分別敘述如下。

1. 結構系統不良：傳統騎樓式之三角窗建築，因正面作為商業用途，降低牆量之設計，或採用挑高柱構件的設計，背面往往考慮隱私，而採用較多牆量的設計。此種結構易導致顯著的扭轉效應，使得軟、弱的三角窗騎樓易發生破壞，此亦與 921 地震時發生之典型三角窗軟弱層建築的破壞模式相同。
2. 外牆設計不當：包括不適當的 RC 外牆鋼筋配置細節、高厚比過大的磚造外牆設計。
3. 施工品質不佳：包括混凝土澆置、搗實、上下層介面清潔、鋼筋耐震細節、主筋搭接位置、梁柱接頭圍束等。

本文最後必須強調，台灣位處環太平洋地震帶，建築物之結構設計，應使建築物具有充分韌性，且建築物應確實如質施工，以避免建築物在地震作用下倒塌，此有賴設計與施工者共同努力，然這也建立在可確實執行的規範條文上。另外，地方政府對於因地震造成結構受損之建築物，應確實依結構補強之程序進行並管制，於完成符合結構安全之補強後方能解除列管，此可避免無結構安全確保的非工程補強，以維護在下次地震事件發生時之公共安全。

參考文獻

1. 交通部中央氣象署（2023），「交通部中央氣象署有感地震發布作業要點」，民國 112 年 10 月 16 日修正，台北市，台灣。
2. 維基百科（2024），「2024 年花蓮地震」，[https://zh.wikipedia.org/zh-tw/2024 年花蓮地震](https://zh.wikipedia.org/zh-tw/2024年花蓮地震)。
3. 內政部營建署（1983），「建築技術規則」，民國七十二年修正，台北市，台灣。
4. 內政部營建署（1997），「建築物耐震設計規範與解說」，民國八十六年修正，台北市，台灣。
5. 內政部營建署（2009），「災害後危險建築物緊急評估辦法」，民國九十八年訂定，台北市，台灣。
6. 中央通訊社，<https://today.line.me/tw/v2/article/PGpeOE8>
7. 聯合新聞網，<https://udn.com/news/story/6656/7875657>
8. 中央通訊社，<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202404230012.aspx>
9. 更生新聞網，<https://www.ksnews.com.tw/20240503-3/>



建築附屬非結構構件與設備 之花蓮地震災情勘查

柴駿甫*／國立臺灣大學機械工程學系 合聘教授、國立臺灣科技大學營建工程系 合聘教授、
財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 副主任兼組長

黃百誼／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

林凡茹／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 研究員

陳威中／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

徐瑋鴻／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

柯敏琪／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

自九二一集集地震之後，國家地震工程研究中心（以下簡稱國震中心）長期蒐集附屬於重要建築之非結構構件與重要機電系統設備相關震損，以期供後續非結構耐震性能提升之相關研究參考。今年（民國 113 年）0403 花蓮地震發生後，國震中心偕同日本防災科學技術研究所（NIED）、名古屋大學、東京大學、國內成功大學、高雄科技大學等單位（表 1），於 4 月 13 日至 14 日至花蓮縣花蓮市與壽豐鄉勘查共三家醫院、一家大學等之建築內部非結構物。表 2 即為勘查建築之基本資料，以及建築位址對應之地震地表加速度峰值（peak ground acceleration, PGA）、推估之各建築屋頂層的受震樓板加速度峰值（peak floor acceleration at roof level, PFAR）。由表 2 可知，雖依據建築物耐震設計規範及解說^[1]推估之建築加速度反應可能較為保守，但亦反映出位於花蓮縣之附屬於建築內部非結構物，於本次地震當中可能遭遇到相當大的樓板加速度，倘若非結構物恰與建築共振，則將承受更為劇烈的慣性力。

以下依據非結構類別，介紹勘查建築之非結構災損，依序為建築裝修物（明架天花板、非結構牆、女兒牆）、機電設備（冷卻水塔、電梯、供水桶槽、空調設備）以及建築內容物（櫥櫃）。

重要建築之非結構震損

明架天花板

天花板系統在中小地震即為常見之非結構震損類別，本次地震勘查亦觀察到許多明架天花板（以下簡稱天花板）之震損案例。天花板系統極易受到震損，主要係因市售常見天花板骨架強度不足，且普遍缺乏適當之耐震施工方式所引致。圖 1 為花蓮縣 DL 建築內天花板震損情況，圖中無論是天花板主架或副架均觀

察到明顯變形，導致天花板大範圍崩落。此外，該所大學校區內多間教室亦發生嚴重天花板破壞，甚至有燈具及吊扇墜落之狀況，如圖 2 所示。

此次地震中天花板破壞原因可分為以下三類：

1. 天花板骨架強度不足：

勘災現場發現許多天花板骨架發生嚴重變形，尤其是天花板副架因目前國內施工習慣並沒有特別要求，以致各案場中副架耐震品質差異很大，此次地震中天花板有大規模崩塌者其副架高度皆為 28 mm，如圖 3 所示。

* 通訊作者，chai@ncree.narl.org.tw

表 1 勘查團隊之成員

姓名	單位職稱	姓名	單位職稱
柴駿甫	國震中心副主任	鍾育霖	國立成功大學副教授
姚昭智	國震中心副主任	蕭雅聿	國立成功大學碩士生
林凡茹	國震中心研究員	Jun Fujiwara	Senior Researcher, NIED
徐瑋鴻	國震中心助理研究員	Ryota Nishi	Contract Researcher, NIED
黃百諠	國震中心助理研究員	Takuya Nagae	Associate Professor, Nagoya University
陳威中	國震中心助理研究員	Kazuki Takaya	Ph. D student, Nagoya University
柯敏琪	國震中心專案助理研究員	Tatsuya Asai	Associate Professor, University of Tokyo
郭耕杖	國立高雄科技大學助理教授		

表 2 勘查之非結構物所在建築資訊

勘查對象	建築代號	所在縣市	建築構造	地上樓層數	地下樓層數	PGA * (gal)	PFA _r ** (gal)
A 醫院	A1	花蓮縣花蓮市	RC	4	1	417	1251
	A2		RC	6	1	417	1251
	A3		RC	7	0	417	1251
B 醫院	B1	花蓮縣花蓮市	SC	10	1	395	1185
	B2		SRC	10	1	395	1185
C 醫院	C1	花蓮縣壽豐鄉	RC	3	1	366	1098
D 大學	DL	花蓮縣壽豐鄉	SRC	6	1	320	960
	D1		RC	4	0	315	945
	D2		RC	4	0	320	960
	D3		SC	4	0	338	1014

* PGA 推估值取自國家地震工程研究中心臺灣地震動分布評估系統 (Taiwan ShakeMap Assessment System)，
<https://seaport.ncree.org/smap/>
** 依據建築物耐震設計規範及解說第四章，推估屋頂層樓板加速度峰值 PFA_r 為 3 倍 PGA。



圖 1 DL 圖書館內五樓、六樓天花板大範圍崩落



圖 2 D2 大樓三樓教室內天花板燈具及吊扇墜落

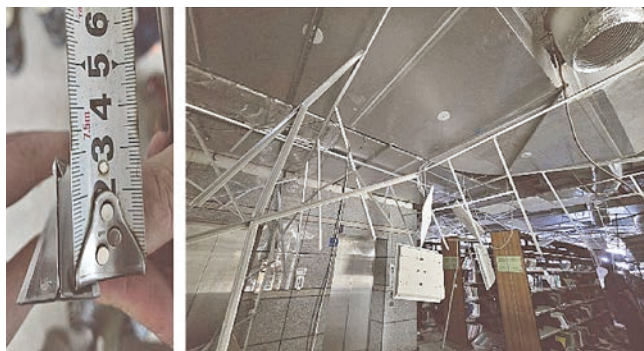


圖 3 天花板骨架強度不足導致天花板大範圍崩落

2. 缺乏適當之施工方式及耐震措施：

勘災現場發現大多數天花板骨架與收邊材並未固定，且骨架末端鄰近收邊處 20 cm 內未設有垂直懸吊線，致使骨架在受震過程中因水平晃動脫離收邊材之支撐而下墜，造成收邊處局部破壞如圖 4 所示。

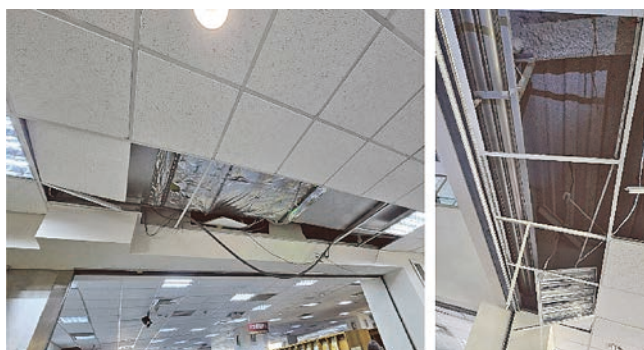


圖 4 DL 圖書館天花板收邊處 20 cm 內未設有垂直懸吊線導致天花板掉落

3. 天花板與其他非結構物之互制作用：

天花板之懸吊構件因無法固定至建築結構體，故因陋就簡將其直接固定於空調箱底部，地震中由於空調箱搖晃劇烈導致天花板懸吊構件遭破壞，圖 5 紅色虛線所示，造成天花板崩塌。



圖 5 A2 大樓 4 樓天花板與其他非結構物之互制作用導致天花板崩塌

非結構牆

非結構牆依其構造形式可分為濕式工法及乾式工法兩類，濕式包含磚造隔間牆，乾式則為金屬骨料搭配石膏板等之輕隔間牆。此次地震勘查中，非結構牆災損包含一般磚造隔間牆、輕質混凝土隔間牆與防風牆三案。圖 6 為磚造隔間牆破壞案例，花蓮市 A 醫院之 A2 建築四、五樓病房，其西北-東南走向之隔間牆有多處剪力破壞情形發生，裂縫由病房門框角落延伸至管道維修門角落，且穿透至另一側，造成磁磚或砂漿等飾面開裂、剝落。



圖 6 病房磚牆兩面剪力破壞

圖 7 為室內輕質混凝土隔間牆破壞案例，花蓮市 B 醫院之 B1 建築六樓與八樓，其儀器室旁為備用空間，內有大型風管通過，兩空間以內含保麗龍粒料之輕質混凝土隔間牆為界。本次地震觀察到，於本次地震中隔間牆整體向西北側面外傾斜，同時造成相鄰之輕鋼架天花板與風管等週邊非結構物破壞。



圖 7 輕質混凝土隔間牆傾倒，圖中正進行拆除

圖 8 為立於戶外的防風牆破壞案例，位於壽豐鄉之 D 大學之 D2 校舍頂樓四周被斜屋頂環繞，其斜屋頂背面設置之防風牆亦由內含保麗龍粒料之輕質混凝土牆構成，西北及東南側之防風牆於此次地震中向面外倒塌。



圖 8 輕質混凝土防風牆倒塌

女兒牆

建築物女兒牆位於屋頂層外緣，為屬屋頂裝飾物，並非建築結構的一部分，但女兒牆若因震損掉落，極易傷及建築室外經過的行人。本次地震勘查當中，壽豐鄉 C 醫院屋頂突出物（屋突）內佈設電梯設備與水槽等設施，頂部以相對之開口山牆作為裝飾，兩者以 RC 橫梁連結。此次地震中，東北側屋突山牆與橫梁之接合部混凝土碎裂、鋼筋脫出，使橫梁掉落至屋突頂部（如圖 9 所示），所幸並未傷及醫護人員或病患。

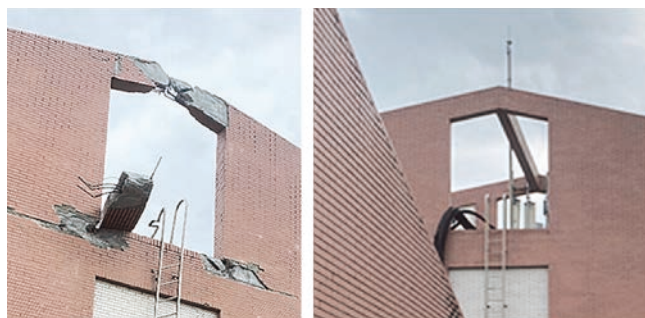


圖 9 東北側屋突山牆頂部之橫梁掉落（左圖），西南側則無損（右圖）

冷卻水塔

大型建築空調系統需設置冷卻水塔以供應空調所需之冷卻水，然而冷卻水塔因設置於強震下晃動最為劇烈之屋頂層，且冷卻水塔底部需設置用於隔絕機械振動之座墊，倘若座墊未考量耐震，冷卻水塔極易於地震當中受損，進而使建築空調機能停擺。此次地震勘查中，花蓮市 A、B 兩家醫院大樓頂樓皆有玻璃纖維（FRP）製冷卻水塔相關災損。A 醫院之 A3 宿舍頂樓冷卻水塔之 PVC 網入風口導風裝置受損，如圖 10 所示，與原產品比對可知該冷卻水塔之導風裝置於震中損毀；圖 11 顯示 B 醫院 B1 大樓頂樓冷卻水塔基座破壞、歪斜，經細部觀察可知基座支撐腳錨定破壞。



圖 10 A3 宿舍屋頂層之冷卻水塔之入風口導風裝置受損



(a) FRP 冷卻水塔基座破壞歪斜

(b) 基座支撐腳錨定破壞

圖 11 B1 大樓屋頂層冷卻水塔基座支撐腳錨定破壞導致水塔歪斜

電梯系統

本次地震發生之後，台北、新北、花蓮均傳出大量電梯故障事件，由於電梯為屬跨樓層佈設之機電系統，其導軌因錨定於建築不同高程故於地震當中隨建築變形，因此平衡錘或車廂極易於強震中與導軌分離；而在強震當中，平衡錘中之配重塊若未良好固定則容易掉落；此外，若其系統機房位於建築頂層，其機房設備物（控制盤、捲揚機等）需特別留意進行錨定耐震設計。本次非結構震損勘查當中，花蓮縣壽豐鄉 C 醫院原有之四座電梯，有三座無法於震後立即使用，其中一座為因位於屋頂層電梯機房中之捲揚機位移且纜繩脫離（圖 12 左），另兩座則因平衡錘中之部分配重塊掉落而損及下方車廂（圖 12 右）。兩座破壞之電梯平衡錘於地震當中位於不同高程，圖 12 右中之車廂位於地下一樓，電梯平衡錘靠近頂層處，而另一座電梯之車廂與平衡錘則分別位於一樓與三樓處。



圖 12 電梯捲揚機位移（左圖）；另一座電梯平衡錘配重塊掉落（右圖）

供水系統

除了上述提及之空調系統冷卻水塔外，建築供水系統及消防系統之供水水塔或水箱基於空間使用與機能考量，設置於建築物頂部之屋頂層或地下層。從歷次強震經驗發現，大量市售不鏽鋼水塔及其支座於地震當中破壞，其原因包括常設置於建築晃動最為劇烈之屋頂層，且不鏽鋼水塔本身極易受損外，其支撐基座亦容易受到水塔整體慣性力及動水壓力作用而扭曲變形。如圖 13 所示，國內醫院因應大量洗腎醫療機能需求，故需另外設置 RO 供水系統，圖 13 即為花蓮市 A 醫院位於 A1 大樓頂樓受損之金屬製水塔與支座，震後經院方緊急調度與搶修後，恢復洗腎等醫療機能。



(a) 水塔桶身變形



(b) 支撐基座扭曲變

圖 13 水塔桶身及支撐基座變形

另一個供水儲槽震損案例則發生於花蓮市 B 醫院 B2 大樓地下一樓，一座 FRP 組合式水箱於地震中損毀。如圖 14 所示，該水箱由 FRP 板材及鋼製構架組合而成，其尺寸約為 3 公尺 × 3 公尺 × 2 公尺，平時儲水量約為 80%。受損水箱之鋼構架包括連續性水平鋼構件與分段續接垂直鋼構件，因垂直鋼構件續接處缺少上部兩根螺桿對鎖，且儲槽本體及內部儲水晃動衝擊水箱壁，導致其垂直鋼構件續接處損壞及 FRP 板材撕裂，導致儲水流出。



(a) 板材撕裂

(b) 垂直鋼構材續接處損壞

圖 14 FRP 組合式水箱破損、儲水流失

花蓮縣壽豐鄉 C 醫院大樓地下一樓之 RO 淨水系統當中，桶槽本體並無受損，但兩個儲水桶之間的連接管線於地震中斷裂。如圖 15 所示，其一儲水桶基座支撐腳錨定於 PU 地板，另一儲水桶支撐腳並無束制，推測震時無束制儲水桶因儲水震盪而產生搖擺運動，進而拉扯連接管線造成破壞。



(a) 已修復之 RO 儲水桶連接管線



(b) 無束制儲水桶支撐腳

圖 15 RO 淨水設備管線斷裂

空調系統之懸吊式設備物

本次地震勘災共調查花蓮縣市 A、B、C 三間醫院，三者均發現有空調系統懸吊式設備物震損情形。花蓮市 A 醫院位於 A2 大樓四樓走廊之預冷空調箱，為透過彈簧式避振器錨定於上方樓板，其疑因受震過程中位移振動量過大，導致與其相接之冰水管斷裂，如圖 16（左）所示；五樓走廊之預冷空調箱同樣由於位移振動量過大，不僅造成與其相接之冰水管破壞，甚至因撞擊相鄰之消防撒水頭而導致消防撒水頭完全斷裂，如圖 16（右）所示。因應醫療機能需求，醫院空調系統常為 24 小時不間斷狀態，再加上消防系統管線需常時保持 6 ~ 8 kgf/cm² 的水壓，因此本次地震後 A2 大樓五樓走廊空調箱管線與消防管線破壞處大量洩水。



圖 16 A2 大樓四樓預冷空調箱冰水管斷裂（左），以及五樓預冷空調箱撞擊消防灑水頭（右）

花蓮市 B 醫院之 B1 建築，在介於屋頂層與十樓之間的貓道層當中，發生大量空調系統懸吊式設備物之震損破壞，包括空調箱之冰水管斷裂脫落、通風機之懸吊桿斷裂，以及通風機周邊風管破壞。如圖 17 所示，B1 建築之空調箱與通風機均透過彈簧式避振器懸吊於上方樓板，可能於強震下產生過大水平向位移量。此外，該通風機四處錨定垂直桿長度不同，兩處錨定於樑下之垂直桿較短而於強震下水平運動當中產生短柱效應，進而導致桿件剪斷。

壽豐鄉 C 醫院所觀察到空調懸吊式設備物破壞，則是以小型送風機為主。該類小型送風機位於室內天花板上方空間當中，若因懸吊機制破壞而掉落，極可能傷及室內使用者。由於地震中小型送風機位移振動量過大，不僅造成與其相接之水管斷裂，而小型送風機之懸吊桿因過短而遭受剪力破壞，如圖 18 紅色虛線標註處所示。



圖 17 空調箱之冰水管斷裂脫落（左），通風機之懸吊桿斷裂（中），通風機周邊風管破壞（右）

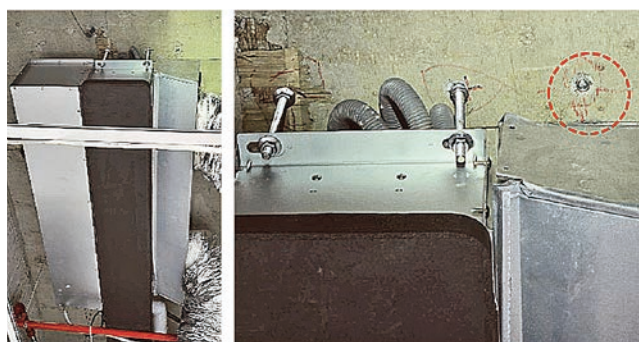


圖 18 小型送風機懸吊桿遭剪斷

儲櫃

花蓮縣 D 大學圖書館 DL 建築主體為六樓 SRC 結構，因應校園建築造型而另連結 52 米高之塔樓。DL 各樓層皆有不同類型書架，大多為六層鐵製書架，單跨書架尺寸約長 90 公分、寬 60 公分、高 230 公分，每排書架跨數視儲放空間大小有所不同。因應館藏調整故需不時移動書架，故無法將書架腳座或頂部與樓板固定或加固，因此書架在本次地震當中產生移動、擺動，甚至於五樓發生大規模傾倒，最終導致大量落書，甚至是書架因傾倒而損壞。本次地震中館內藏書受震掉落約九成，其中以二至五樓較為嚴重，如圖 19 所示。

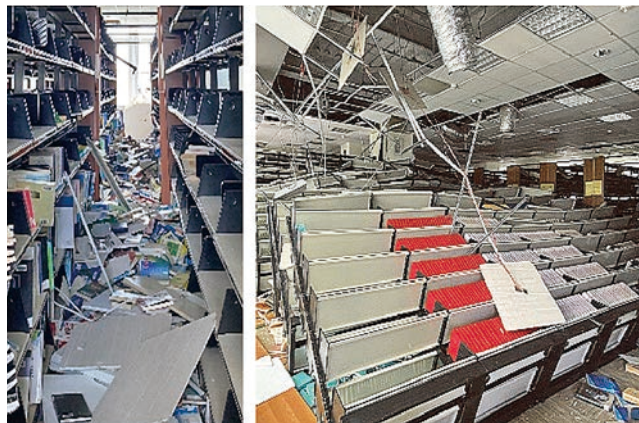


圖 19 DL 大樓書籍掉落與書架傾倒情形

DL 大樓的二樓收藏大量視聽影集 CD，CD 架數量約 11 組，CD 架單元尺寸長 90 公分、寬 50 公分、高 210 公分，CD 架腳座亦未與樓地板、混凝土樓板固定，因此亦發生大規模傾倒、CD 與承載架散落一地。又 CD 架的骨架因傾倒、相互重壓之下，使其產生變形，導致震後復原已無法一如往常站立於樓地板上，如圖 20 所示。

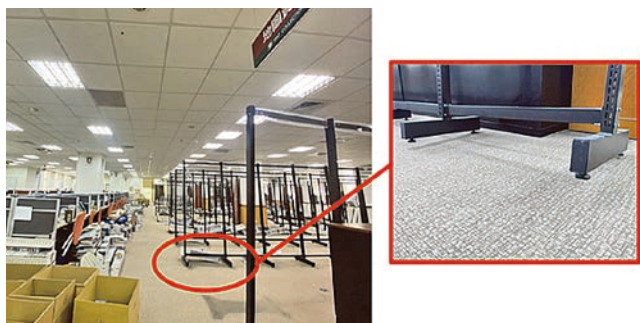


圖 20 CD 架傾倒變形，復原後無法正常站立

書架與 CD 架雖未與樓板固定，但各樓層鐵製書架與 CD 架皆在其框架頂部安裝二至五支不等之橫向連桿串聯構架，以增加橫向耐震能力，連桿形式包括圓管、方管、角鋼等。在本次震損調查中亦發現，多數裝有連桿之書架皆未完全傾倒，不過仍造成嚴重災損。其中連桿震損較多者為桿件與連結件變形，尤其以 CD 架連桿之連結件開孔處發生撕裂最為嚴重，如圖 21 所示。

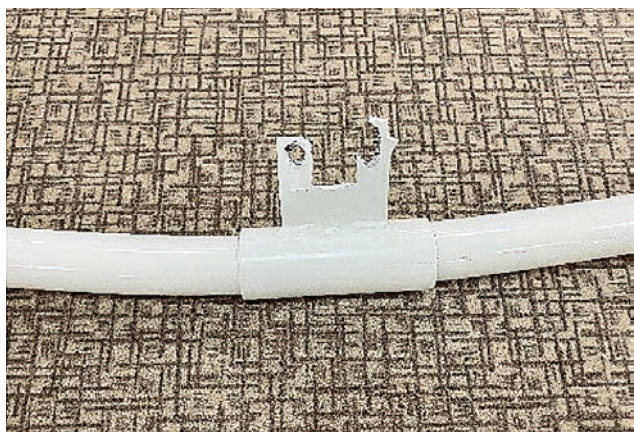


圖 21 連桿變形且連結件螺絲鎖固開孔撕裂

結語

為確保社會復原韌性，醫院、政府機關等重要建築在強震之後，必須於短期之內恢復運作，以達救災功能。民國 88 年九二一集集地震之後，建築物耐震

設計規範、鋼筋混凝土等構造設計規範均有長足的改善，公有建築亦基於耐震補強方案修正案^[2]的要求，進行大規模耐震評估補強作業。由近期地震重要建築震損經驗可知，絕大多數重要建築於強震之結構能發揮良好的耐震性能，然而室內附屬的非結構構件（如天花板系統等）與機電設備（如電梯、供水、供電、空調系統等）震損致使建築無法於震後立即修復而維持機能。雖然在耐震補強方案修正案當中，對於用途係數 I 為 1.5 之建築物提出應檢討其供水、供電及消防設備系統固定處之耐震能力，以及應考慮墜落物對建築使用機能之影響，但由於台灣之建築室內附屬非結構構件與機電設備設計、施工與安裝並無強制規定須有耐震考量，致使非結構構件與機電設備在強震下極易受損。

在 2024 年 0403 花蓮地震當中，國震中心勘查花蓮縣市三家醫院與一家大學之建築內部非結構耐震性能表現，由勘查結果可知，勘查對象即如同國內常見之建築非結構物一般，其安裝與佈設為基於機能考量，並無加設耐震措施。本次地震於花蓮縣市多組測站反應譜超過 2500 年回歸期地震平台段譜加速度要求，再加上建築物本身受震反應，對於未考量耐震措施之建築內部非結構構件與設備，是一場極為嚴苛的受震考驗。而非結構構件與機電系統的破壞，在醫院與大學緊急修復與調度下雖可勉為維持部分運作，但仍需時間完全復原其震前機能。因此，考量重要建築機能與生命安全性，建議醫院等重要建築單位應考量重要空間之內部非結構構件與潛在墜落物的固定，並進行供水、供電與消防等重要機電系統設備之耐震設計、施工與安裝，確保震後建築機能於緊急修復後可正常運作。

參考文獻

1. 內政部國土署，建築物耐震設計規範及解說，113 年 3 月，<https://www.nlma.gov.tw/最新消息/法規公告/30-建管組/10471-建築物耐震設計規範及解說.html>
2. 內政部國土署，建築物實施耐震能力評估及補強方案（公有建築物），行政院 106 年 12 月 28 日院臺建字第 1060040728 號函原則同意，<https://www.nlma.gov.tw/最新消息/業務新訊/39-建管組/18043-建築物實施耐震能力評估及補強方案（公有建築物）.html>



從維生線系統震害省思 其耐震減災課題

劉季宇* / 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心震災模擬組 研究員

本文旨就 1999 年九二一地震、2016 年高雄美濃地震、2018 年花蓮地震、2024 年花蓮外海地震，針對四次致災性地震中，自來水及電力管線設施的主要震害，以及其對供水、供電系統的影響進行觀察，從而省思維生線系統（Lifeline systems）的耐震減災課題，提出以下耐震改善建議：(1) 早年興建之維生線系統，或受限於先天條件，或缺乏避災考量，或當時耐震設計知識不足致使耐震性能較有疑慮，應根據新的活動斷層圖與液化潛勢圖，以及新版耐震設計規範，分階段完成地震風險評估及耐震補強；(2) 重要管線與設施應具有可運作之備援體系，惟應特別留意備援成立之條件，若無法避免損害，則須確保可快速修復；(3) 許多設備錨定或管路附掛的方式容有耐震疑慮，事業單位應進行盤點並著手改善，屬簡單可行且有立即助益；(4) 自來水或公用天然氣管網的小區劃分，小區邊界配置適當閘栓，可以有效隔離故障，是管網損害控制的有效作法。

前言

我國位處環太平洋地震帶，發生強震的機率極高。陸上遍佈數十條活動斷層，許多平原、盆地及灣岸地區為容易發生土壤液化的沖積、回填區域，地震防減災工作責無旁貸。維生線系統（Lifeline systems）泛指自來水、電力、天然氣、下水道、通輸等系統，是民眾社會賴以生活維持的基礎建設，其特色是由許多管線、設施所構成，呈廣域空間分布與複雜運作型態，所承受的地震風險相對較高，局部損害即可能導致大範圍甚至完全的系統失效。在過去二十多年間，我國經歷四次主要的致災性地震，維生線系統均曾受損，本文以其中的自來水、電力系統為重點，觀察並省思歷年地震的震害經驗，從而就維生線系統的耐震減災課題提供觀察及建議。

* 通訊作者，karl@narlabs.org.tw

九二一地震之震害

九二一地震發生於 1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分，地震芮氏規模 7.3，震央位置北緯 23.85 度、東經 120.82 度，也就是南投縣集集鎮境內，震源深度 8 公里，為台灣光復以來陸上規模最大、傷亡最慘烈的地震事件。這次地震引致台灣自來水公司（以下簡稱台水公司）供水系統嚴重損害，大台中地區 70 萬用戶面臨無水可用之困窘。

台中的水源取自大甲溪流域石岡壩與大安溪流域鯉魚潭水庫，分別經原水管道送至豐原淨水場與鯉魚潭淨水場，震前兩個淨水場合計供水約 110 萬 CMD（立方公尺/日）。根據葉純松「九二一地震大台中地區供水危機處理」一文，主要震害包括石岡壩（水源設施）與豐原第一淨水場（淨水設施）嚴重毀損、石岡壩南幹渠引水隧道（導水設施）因地層錯動扭曲破裂而無法運作，參考圖 1。由於導水幹渠損害，震後初期無法由石

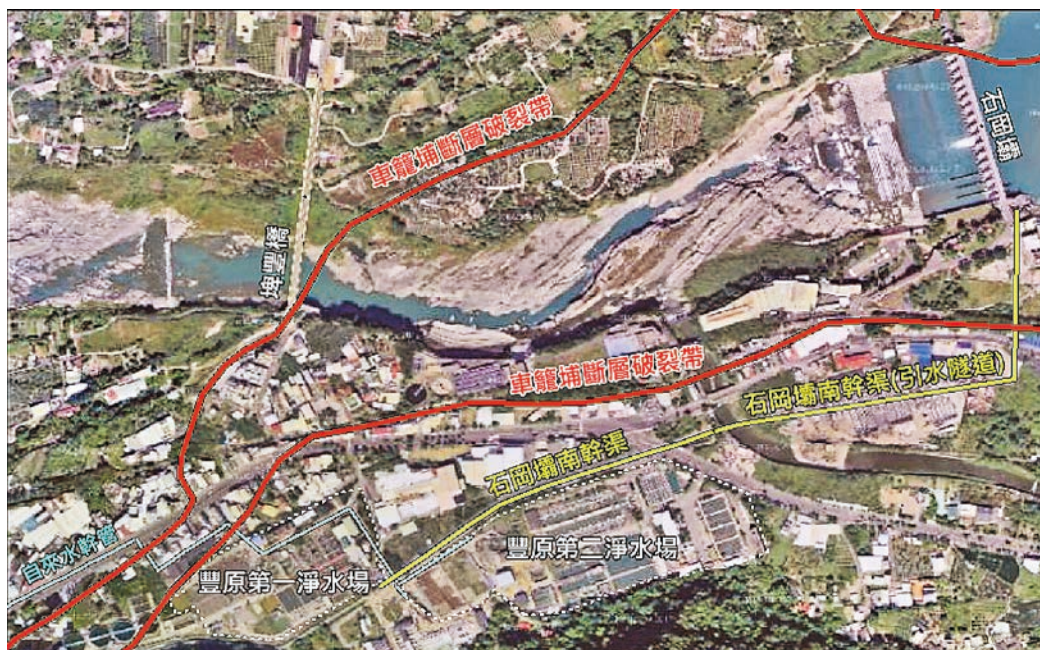


圖 1 九二一地震車籠埔斷層破裂帶北段附近重要供水設施分布情形

岡壩供水，須由鯉魚潭水庫（淨水場）出水，俟八寶圳緊急臨時引水完成後，豐原淨水場才得以恢復部分出水。其次，豐原第一淨水場因緊鄰斷層破裂帶，幾近全毀，包括 15,000、17,000 噸兩座清水池、各期膠羽池及沉澱池、口徑 2,000 mm 出水鋼管等，參考圖 2。豐原第二淨水場也嚴重損害，僅可勉強出水。

大台中地區用水，高度集中於石岡壩與鯉魚潭水庫提供原水，亦高度仰賴豐原淨水場與鯉魚潭淨水場

這兩處大型淨水場出水，如圖 3 所示，此為先天條件使然，無法改變。這次地震中，車籠埔斷層錯動導致石岡壩南幹渠、豐原淨水場的破壞，有如常人斷去一只手臂。幸好鯉魚潭水庫與淨水場，以及相關的原水與清水幹管，即使距離車籠埔斷層不遠，但因位於斷層的下盤，地震動劇烈程度相對較小，而且沒有土層破壞，所以皆無損壞，可勉強維持大台中地區正常供水的一半，這是不幸中的大幸，否則後果不堪設想。

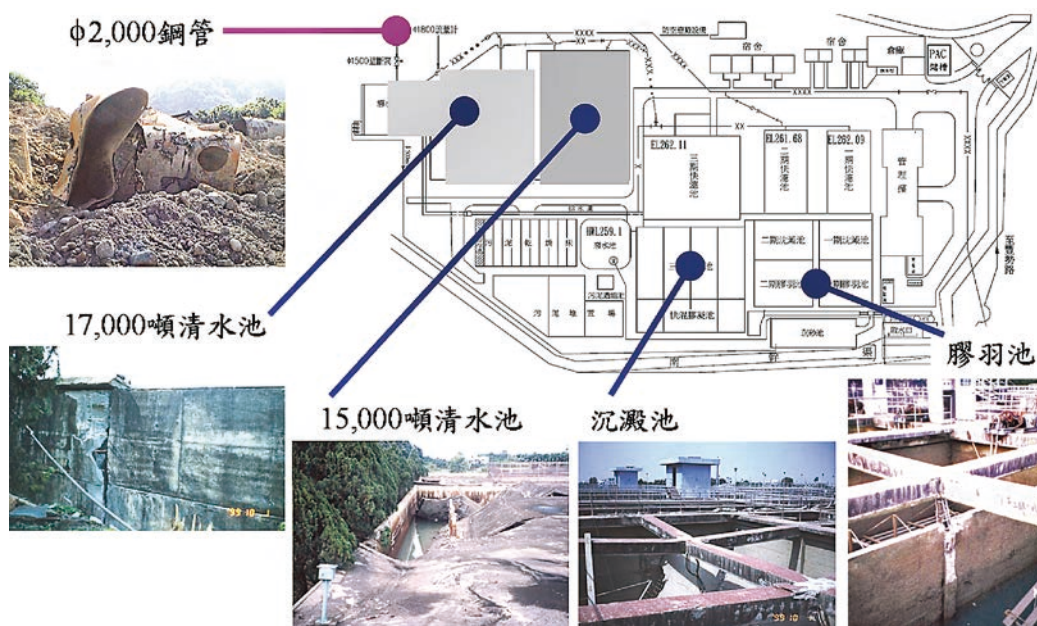


圖 2 九二一地震豐原第一淨水場震害(台水公司提供)



圖3 大台中地區雙水源之上游管線設施與鄰近斷層分布情形

九二一地震對電力系統亦造成嚴重衝擊，地震當下電力瞬間中斷，造成嘉義以北地區全黑（Blackout）的局面，斷電總用戶數達六百八十萬戶，以用戶來算是史上最嚴重的停電災情。停電肇因於中部多處發電廠、開關場、變電所、輸配電塔線，同時發生嚴重毀損、倒塌或傾斜。根據台灣電力公司「九二一大地震電力系統事故報告」，震後一段時間，須將全島電力系統分隔為北、中、南三個系統單獨運轉，其中彰化以北的大部分地區，因電力設備受創嚴重及發電量不足，供電斷斷續續。

當時電力系統連接各發電廠與變電所的 345 KV 超高壓輸電迴路，有 28 條受損，許多是位於人員機具難以進入的山區。另外，有 17 座變電所受損，包含 6 座超高壓變電所、8 座一次變電所、3 座一次配電變電所，天輪超高壓變電所受損嚴重無法修復，中寮超高壓開閉所受創慘重。震害原因，除了劇烈的地震動外，中寮超高壓開閉所以及許多超高壓輸電線路（鐵塔），都不幸或無可避免地佈建在車籠埔斷層的斷層帶上，因斷層錯動而受創，情況與自來水系統類似。

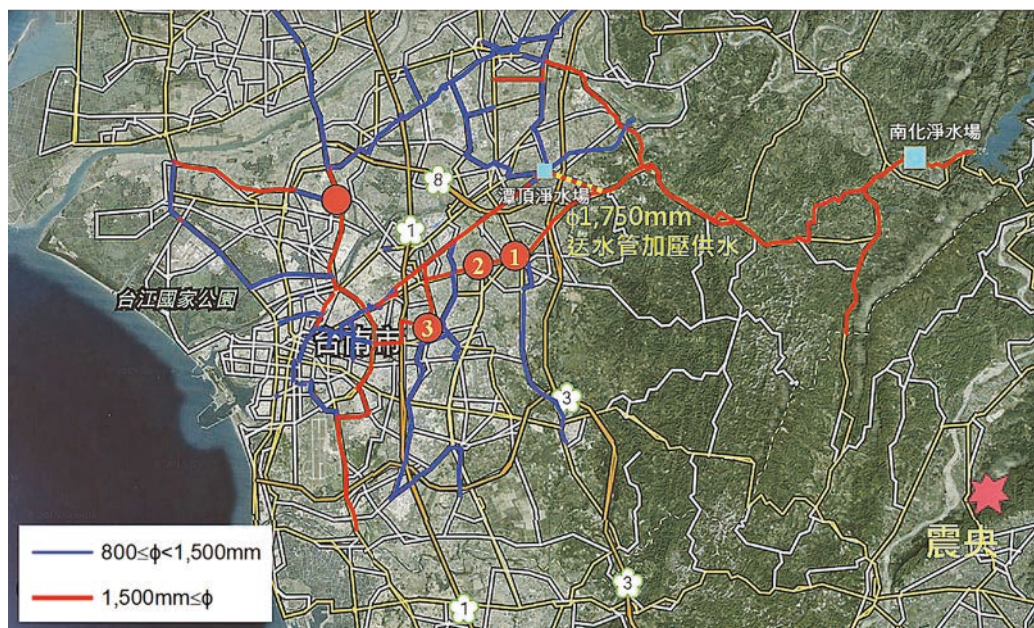
台灣本島電力系統當時依賴「南電北送」，即北部用電量較高，必須由南部的發電廠補足用電缺口，主要由通過中寮開閉所的兩條超高壓輸電迴路往北輸電，其受創造成電力系統南北解聯，電力失衡，北部電力系統崩潰。地震發生後，當時李登輝總統依憲法頒布緊急命令，將台電公司興建中的第三迴路超高壓輸電工程，納入災後搶救重建工程的適用範圍，中北段工程因此亦得以儘速完成，對於提升南電北送可靠度的幫助很大。

高雄美濃地震之震害

2016 年 2 月 6 日凌晨 3 時 57 分，高雄市美濃區發生芮氏規模 6.6 地震，震央位置北緯 22.92 度、東經 120.54 度，震源深度 14.6 公里。本次地震對台南市供水造成嚴重損害，以管線震害為主，災損總數高達 2,031 件。台南市自來水系統若以曾文溪為分界，溪南的供水區域規模較大，由南化、潭頂、山上、鏡面等四座淨水場供水，最大的是南化淨水場（設計出水量 80 萬 CMD），其次潭頂淨水場（19.5 萬 CMD），山上、鏡面淨水場規模均甚小。由於南化淨水場下游的口徑 2,000 mm 送水管路（南化送水管），在本次地震中發生三處損壞，參考圖 4 的數字標註，導致供水困難，加以修繕工作因故有所延遲，又正逢農曆春節，台水公司因此頗受壓力，必須全力動員搶修。

南化送水管這三處損壞的情形為：(1) 新化區忠孝路 2,000 mm 送水管：此段管路沿台 20 線穿越新化市區，採用 1,205 公尺的 WSP 推進管，埋深 8 公尺，兩處發生圓周斷裂漏水。由於埋深關係，須進行深開挖，並於數百公尺的狹隘管道內搬運物料及進行焊接，施工困難。(2) 永康區開運橋西側管路，獨立水管橋鋼管下地接預力混凝土管之特殊接頭發生脫接漏水，可快速修復。(3) 永康區永大路二段維冠金龍大樓前，百餘公尺的預力混凝土管遭大樓倒塌撞擊而碎裂受損，如圖 5 所示。

南化送水管的震害，導致台南地區供水發生危機，台水公司乃以南化淨水場下游，往新市區方向（潭頂淨水場）的 1,750 mm 送水管路作為備援，參考圖 4，提高水壓，增加該管路對台南市區的供水量。新化區忠孝路 WSP 推進管損壞，須進行深開挖，並於數



百公尺的狹隘管道內進行修漏，永康區永大路二段的管路修繕，則因人命搜救而推延。這兩處災損，為搶修工作的最大瓶頸，遲至 2 月 24 日方得同時修復，恢復全面供水，這已經是震後第 18 天的事情了。

由於南化 2,000 mm 送水管震害且延遲修復，導致台南地區長期供水困難，突顯在自來水系統中，送水管過度集中所帶來的風險，設置備援管線以提升系統贅餘度實有其必要性。這次地震往新市區方向（潭頂淨水場）的 1,750 mm 支線幸未受損，提高水壓後可以勉強增加供水。再者，重要的維生線設施管線倘若無

法避免損壞，則可否快速修復就變得十分重要，這次地震後台水公司已另覓時機，將新化區忠孝路 WSP 推進管，汰換為埋深 1.2 m 的一般管線，以確保未來一旦損壞時容易修復。

2018 年花蓮地震之震害

2018 年 2 月 6 日晚間 23 時 50 分，花蓮發生強震，震央位於北緯 24.10 度、東經 121.73 度，位於近海，地震規模芮氏 6.2，震源深度 6.3 公里。本次地震造成 17 人罹難、291 人受傷。由於米崙斷層與嶺頂斷

層在地震中均發生錯動，故而可以確認震源的破裂機制由外海延伸至陸地，導致兩個斷層帶上有明顯的近斷層效應，包含斷層跡線上的土層錯動破壞。

自來水系統損害集中於花蓮縣花蓮市，由花蓮供水系統供水，以管線震害為主，致花蓮市區及美崙、新城地區停水戶數高達 4 萬戶，破管件數高達 1,147 處，支援修漏廠商 34 組人力投入復水工作。花蓮供水系統的供水範圍包含花蓮市、吉安鄉、新城鄉、壽豐鄉及秀林鄉等。

本次地震大口徑管線的三處災損，皆位於米崙斷層寬 300 m 的斷層帶內，如圖 6 所示，說明如下：(1) 花蓮市新興路近尚志路路口的 500 mm 鋼管，乃尚志配水池出水、供應美崙、新城地區用水之重要管路，鋼管受斷層錯動影響發生嚴重的扭曲及挫屈。(2) 尚志橋附掛兩條 600 mm 鋼管，乃負責向東送水至美崙溪左岸地區之重要幹管，斷層跡線正好通過尚志橋西側，為地下管線上橋位置。尚志橋在地震中發生輕微損害，主要為兩端橋台處的擠壓及伸縮縫破壞；兩條附掛管線則接頭鬆脫漏水共三處，部分如圖 7 所示，致使美崙、新城地區震後斷水。(3) 明禮路上 400 mm 鋼管，管體發生均勻

的環狀挫屈。由於附近的管路布置包含 90 度的彎角，以力學而言近似於局部錨定，一旦斷層錯動作用為管軸方向的軸力加載時，便會發生如此之破壞模式。

本次地震中斷層錯動導致管線的損壞，突顯斷層帶範圍內的主要管線，事先應有良好耐震設計、選用耐震管材，或作其他的設防對策。其次，藉由固定方式改善，以及伸縮可撓接頭容許變形能力提升，附掛管線之損壞應可有效避免。

2024 年花蓮外海地震之震害

2024 年 4 月 3 日上午 7 時 58 分，花蓮近海發生芮氏規模 7.2 強烈地震，震央位於北緯 23.77 度、東經 121.67 度，震源深度 15.5 公里。本次地震造成 18 人罹難、1,155 人受傷、3 人失蹤。本次地震為九二一地震以來規模最大地震，餘震數量較多且持續相當長時間，然而或因震源機制不同以及破裂機制並未延伸至陸地，因此災害程度雖亦嚴重，但與九二一地震相比又小了許多。

本次地震的自來水系統損害，亦集中於花蓮供水系統，亦以管線震害為主，口徑最大者為花蓮市中正橋兩端



圖 6 2018 年花蓮地震米崙斷層帶上供水管線震害分布情形 (照片由台水公司提供)

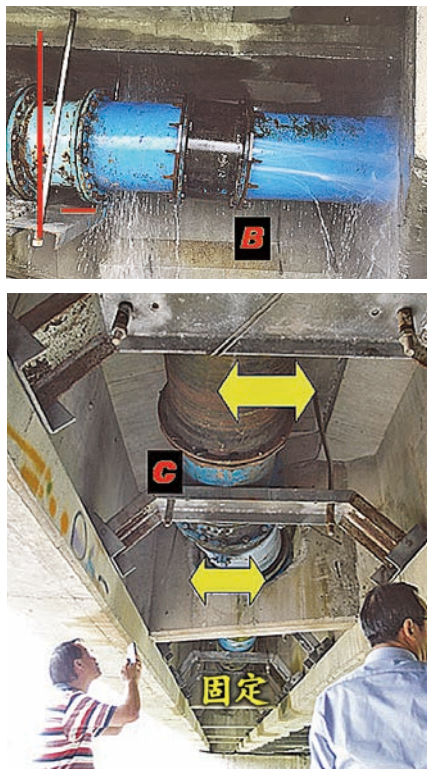


圖 7 2018 年花蓮地震尚志橋兩側附掛自來水管線之震害
(台水公司提供)

的 600 mm 過橋管漏水，原因為接頭脫接，如圖 8 所示。本次地震的停水戶數 10,248 戶，破管件數 253 處，支援修漏廠商 15 組人力投入復水工作，四天完成全面復水。

若將 2018、2024 年兩次花蓮地震中的花蓮供水系統震害進行比較，可整理如表 1 所列，可知本次地震雖然地震規模高出甚多，但自來水破管件數及停水戶數均顯著減少，並且在檢漏與修漏人力都較少的情況下，恢復供水時間卻反而更快。究其原因，實乃台水公司過去六年的管網體質及監控管理方面的實質提升，在本次地震中發揮了耐震減災與快速復原的成效。

在管網體質方面，首先是台水公司長期持續進行的管線汰換計畫，將老舊預力混凝土管及 PVC 管，有系



圖 8 2024 年花蓮外海地震中正橋兩端之過橋管脫接發生漏水
(台水公司提供)

表 1 花蓮供水系統近年震災分析 (台水公司提供)

芮氏規模	2018 年 2 月 6 日 花蓮 M6.2 地震	2024 年 4 月 3 日 花蓮近海 M7.2 地震
震度 (花蓮)	7 (註:氣象署舊制震度)	6 強
停水戶數	40,000	10,248
恢復供水 (天)	8	4
破管件數	1,147	253
檢漏人力 (人)	80	23
修漏人力 (組)	34	15

統地更新為耐震性能較佳的 K 型接頭延性鑄鐵管，甚至試辦日本耐震延性鑄鐵管的導入，目前花蓮供水系統的管種耐震比例已達 73%，致使供水韌性大幅提升。其次，台水公司近年推動降低漏水率計畫，進行配水管網的小區 (DMA, District metering area 之縮寫) 的劃分，從而實現分區計量與故障隔離的技術目標，目前花蓮縣各供水系統均已廣設小區，總數達 147 個、覆蓋率逾 90%。至於監控管理方面，台水公司自行開發大數據智慧水網分析 (Water Advanced Data Analysis, 簡稱 WADA) 系統，配合小區的供水管理，可以即時監控整個供水系統的水壓與流量，平時作為降漏分析的前端工具，強震後更可以掌握異常狀況，研判災損並遂行處置。圖 9 所示，即本次地震當天花蓮供水系統在 07:30 (震前)、08:00 與 09:00 三個時段的水壓監控情形 (燈號：紅 → 無水、橘 → 水壓低於常態達 3 個標準差、藍 → 正常、紫 → 高於常態達 3 個標準差、黑 → 斷訊)，整個系統的水壓狀況可以一目瞭然。

結語

整合以上四次地震的震害經驗，吾人可以歸納出維生線系統耐震減災的幾點重要課題：

1. 我國維生線系統自民國六十年以降，配合經濟高速成長而大量建設，然而受限於先天條件，例如淨水場必須選址於條件較佳的水源附近，或是發電廠比鄰進口燃煤的港區，加以早年缺乏地震地質敏感區域的認識與掌握，大型設施或重要管線，無法作到完善的避災考量，耐震設計知識和實務亦有所不足，與今日不可同日而語。如今，活動斷層圖與液化潛勢圖已經齊備，耐震設計規

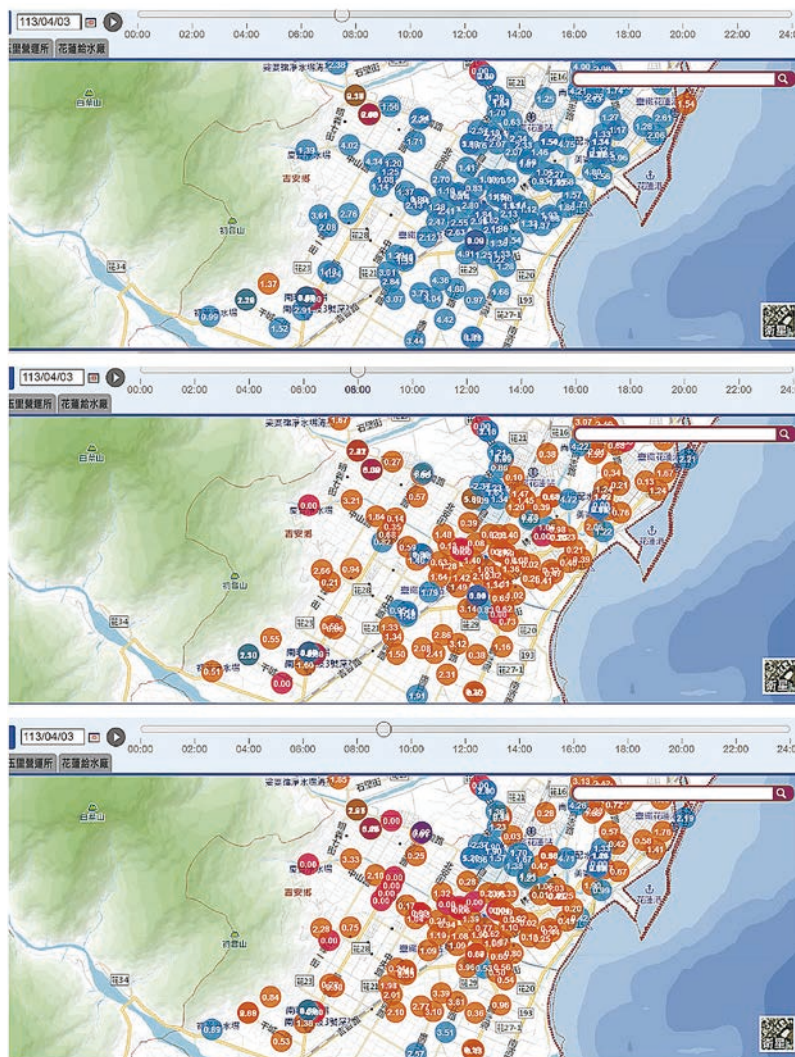


圖 9 2024 年花蓮外海地震前後花蓮供水系統水壓監控變化情形（台水公司提供）

範亦有長足進步，經由地震災害暴險分析與老舊管線設施盤點，應可辨識其中耐震安全較有疑慮者，列為改善標的，分階段進行耐震評估及補強。

2. 重要管線設施應具有可運作之備援體系，以提昇維生線系統的可靠度。以備援管線而言，在可能地震條件下，應不與主要管線同時損壞（例如通過同一條活動斷層），並且具有足夠的服務效能（例如達主要管線供水或供電能力的 50%）。倘若無法避免損壞，則退而求其次，應確保可以快速修復，不論維修可行性、可及性、所需備品與機具、修復策略等都須予檢視。
3. 許多設備錨定或管路附掛的方式，容有耐震疑慮（如尚志橋的兩條附掛管線），一旦損害對於維生線系統運作影響極大。然而，這些錨定或附掛的耐震改善並不困難，所需經費亦不多，值得事業

單位進行盤點並予以改善，對於提升維生線系統的耐災能力，屬簡單可行且有立即助益。

4. 維生線系統在都會區常以管網方式建置及運作，例如自來水或公用天然氣。日本自 1964 年新潟地震後，汲取教訓，致力將這些管網進行小區劃分，小區邊界配置適當閥栓，損壞一旦發生可以有效隔離故障，限束影響不使擴大，而且容易逐區遂行修復，已被證明是管網損害控制（Damage control）的有效作法，此點在這次 2024 年花蓮外海地震中亦充分得到驗證。

誌謝

台灣自來水公司提供歷年自來水系統地震災損資料與解說，本文因得以完成，謹此致謝。本文中包含台灣自來水公司提供之照片及圖片，版權歸其所有。



BIM 自動化 及 PMIS-BIM 模組 於 土地開發工程 細部設計之應用

楊憲彥／中興工程顧問股份有限公司園區及路航工程部 計畫副理

蔡雪華／中興工程顧問股份有限公司南部工程中心 工程師

吳建誠*／中興工程顧問股份有限公司南部工程中心 工程師

朱家勁／中興工程顧問股份有限公司園區及路航工程部 工程師

許睿叡／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 工程師

楊宗融／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 工程師

隨著科技發展的日新月異及營建環境的快速變化，且在政府全面推動數位轉型的情況下，營建產業的數位轉型已成為不可逆的趨勢，在臺灣，建築資訊模型（BIM）已引進至少十餘年，目前已達一定之普及率，且在建築與橋梁等各方面應用已非常普遍，但在土地開發工程上之大規模應用仍較為少見，受限於大範圍的情形下需建置大量的模型，相當考驗橫向整合、BIM 技術、研發、專業及設備之能力，因 Autodesk Revit 仍為目前業界普遍使用之 BIM 模型建置軟體，為配合公共工程介面之整合性，遂投入人力進行 REVIT 自動化 API 開發，本公司大部份採各專業設計部門自行設計及建置 BIM，再透過自行開發之 PMIS-BIM 模組進行線上整合與碰撞議題列管，來解決碰撞相關議題，提升設計品質，本公司投入大量工程師自行管理及建置 BIM，以及採用數位化管理至今，已有數年並應用於多案之經驗，並取得多項 112 年第三屆數位轉型鼎革獎，本公司面對現今全球數位化的浪潮，將一如既往持續迎向各種變化所帶來的挑戰。

關鍵詞：建築資訊模型（BIM）、計畫管理資訊系統（PMIS）、管線自動化、Revit、Civil 3D、土地開發、數位轉型、專利

背景及緣由

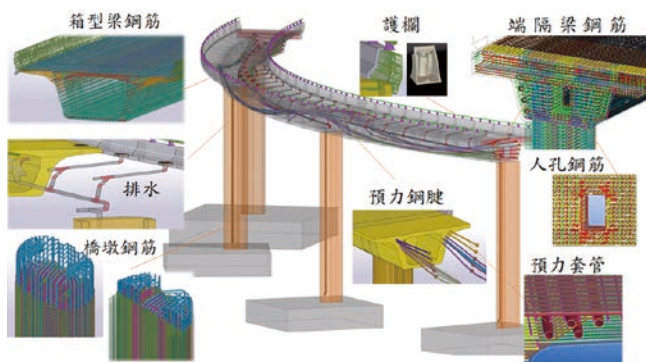
土地開發工程與 BIM

台灣的經濟與工業發展息息相關，而工業區開發無疑是促進工業發展的推手。在 1970 年中興工程顧問社成立時即設置「社區發展部」以配合工業局工業區開發業務的推動，提供相關的技術顧問服務工作。四十年來（1970～2009），中興集團參與的工業區及一般

土地開發的規劃設計案，總計 120 案，101 處，廣達 53,862 公頃^[1]，在產業堪稱國內工程技術領域中參與「土地開發」工作成果最卓著的顧問機構。

此外，BIM 在臺灣的發展也有相當長的一段時間，應用也越來越廣泛，目前普遍業界都有一定程度之接受度，公共工程也從推廣逐步轉變至契約要求，早期大多都是以建築物、車站、橋梁等的應用較為常見，下圖 1 為本公司國道 4 號豐勢交流道匝道細部設計階段所建置 BIM 模型。

* 通訊作者，ccw6908@mail.sinotech.com.tw

圖 1 豐勢交流道匝道高架橋細設 BIM 模型^[2]

本公司除了在上述的工程外，早期各專業部門亦有將 BIM 運用於各專業類的管線工程上，但基於一般土地開發工程的發展，其主要目標為道路、排水、污水、自來水、電力電信管道等各種專業管線的設計與整合，本公司因應趨勢，將 BIM 應用於土地開發工程相關建模工作進行全面自動化之開發。

應用需求確認

因應土地開發大範圍的細部設計工作需求，本公司目前作業方式為各專業工程師完成各自專業設計及 BIM 模型建置為基礎，再進行模型整合。

土地開發工程建置 BIM 重點為：道路系統及道路平面交叉路口（含標線、中央分隔島等）、排水系統（含排水溝、明渠、集水井及箱涵等）、滯洪池、灌溉渠道、生活污水、事業廢水、再生水、自來水（含消防栓）、共同管道（供給管道）、橋梁、號誌（含管線）、標誌牌及路燈等，建置內容歸納整理如圖 2 所示。

土木設施類	管線工程	其他結構物
道路工程	生活污水	號誌(含管線)
橋樑工程	事業廢水	路燈
排水系統	再生水	
灌溉系統	自來水(含消防栓)	
滯洪設施	共同管道(供給管道)	

圖 2 建置需求彙整

細部設計與 BIM 自動化

在目前臺灣的工程環境下，於細部設計產出階段性成果時，就需以最快的方法來建置模型，此為主要課題。

本公司長期以來，持續投入自動化研究與開發，如污水、事業廢水及排水等自動化整合設計與 BIM 建模等，因近年來，多有 BIM 全面整合之需求，故本公司一併開發 BIM 自動化相關之 REVIT API，在階段性版本細設成果確認後，產生全區模型並盡速檢討碰撞。

土地開發的工程細部設計，一般來說路工為最先行之設計單位，由路工先進行設計後，再將設計資料提供給其他各部門進行管線細部設計（如圖 3），設計成果釋出後，再到 REVIT 中使用本公司所開發相關 API，讀取設計資料，再對應中興 PMIS-BIM 模組之元件庫進行下載至 REVIT 中，再進行模型自動建置（如圖 4），一切建置皆採用設計之資料進行，避免與設計成果有差異。

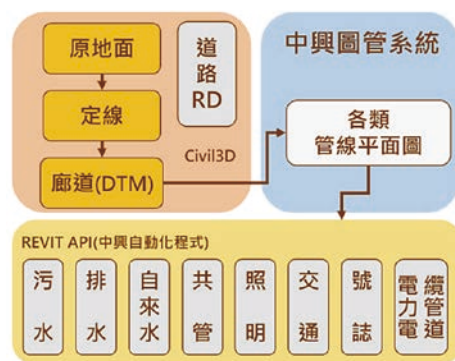


圖 3 自動化架構

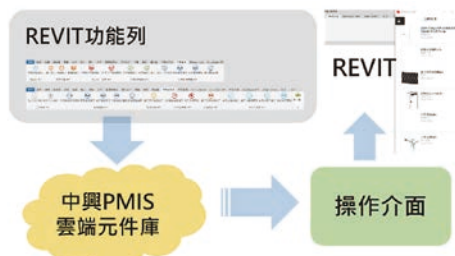


圖 4 自動化建置流程圖

道路工程

常用的道路工程設計軟體有 Civil 3D 及 OpenRoads 等，目前多採用 Civil 3D 進行定線設計，Civil 3D 除了本身定線等路工設計功能，其軟體本身亦有建置廊道組合的功能，依照設計圖進行廊道組合建置，並沿著定線產生廊道模型，且其本身具有擠出模型量體的功能，故最後建置完成後，擠出模型後即可完成道路模型，模型皆符合路面設計坡度等，在 Civil 3D 中，廊道的交叉路口建置調整最為耗時，本公司開發 Civil 3D 之 API，可進行路口廊道快速建置，有效提高工作效率，如圖 5 所示，因 3D 模型從設計軟體產生，基本上都與設計資料相同。

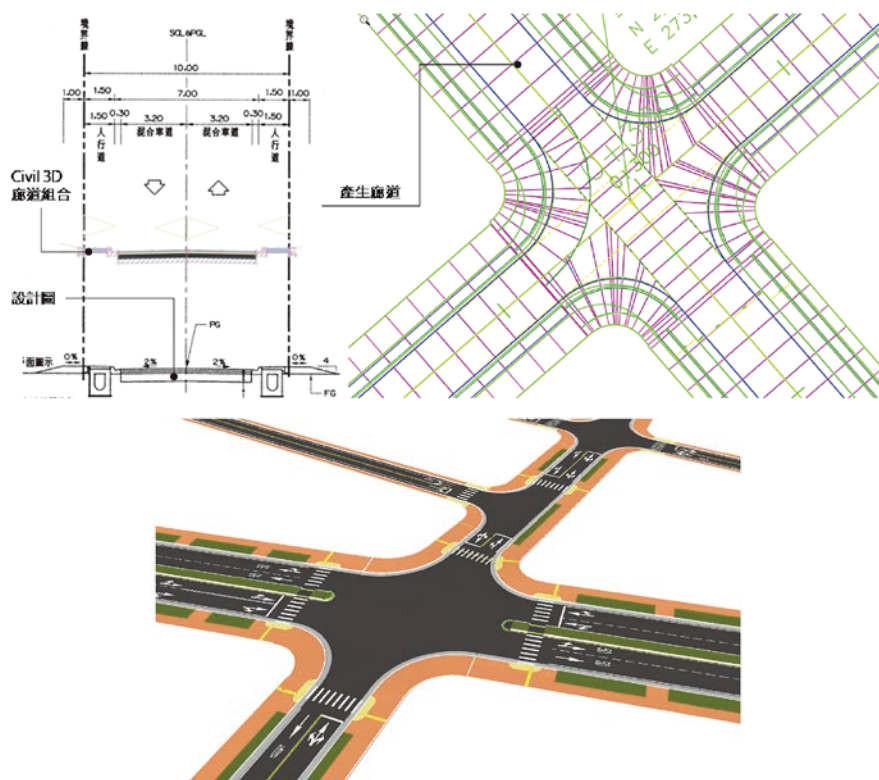


圖 5 道路工程模型成果

排水工程 [SinoDrain]

本公司長期參與工業、科學園區之規劃設計及區域排水系統、雨水下水道規劃設計作業，具豐富的實務經驗及相當程度的資訊化技術與能力。唯當前常見可用於排水設計之商用工程設計軟體所提供之功能與實際作業需求存在一定落差，本公司根據排水設計流程，針對各階段設計需求，基於 Civil 3D 平台開發出一套介面清楚易用之自動化排水輔助設計系統，符合排水工程設計邏輯，針對設計輔助（導入水理計算程式）^[3]、資訊管理與報表輸出三大面向，提供客製模組協助排水設計，最後將設計成果匯出，由 REVIT API 匯入直接產生 BIM 模型如圖 6 所示；特殊水工構造物模型則依照設計資料高程、漸變箱涵與側溝、跌水等進行建置模型，以期達成作業標準化、自動化目標。

污、廢水及自來水工程 [SinoSewer]

SinoSewer 為本公司具歷史的自動化程式，有鑒於污水管線分析日益重要，本公司於民國 78 年就發展符合本土化需求之污水管線規劃設計程式（SEWER 程式）^[4]，自此污水管線規劃設計工作的效率及正確性大為提升，後經數次升級發展成 SinoSewer，至近幾

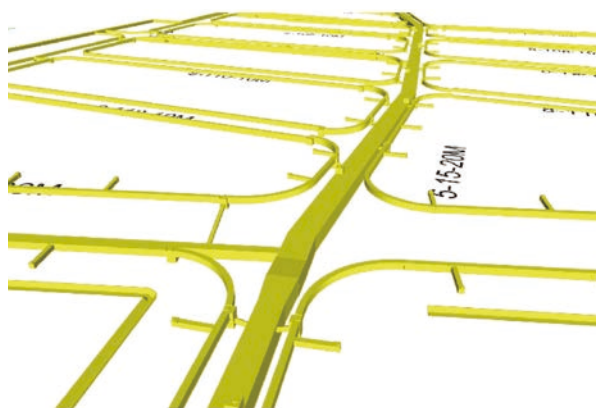


圖 6 排水工程 REVIT 成果

年 BIM 應用發展蓬勃，故進行功能提升，使其可整合匯出至 REVIT 建置模型，再另行增加自來水管線自動化，使水環類 BIM 管線自動化建置能更為完整，成果如圖 7 所示。

共同管道工程

電力管線類管道具量體大、功能人孔多及與其它管線衝突多等特性，工程實務上需最多調整之管線類別，是最需要進行建置的模型之一，本公司以三維元件生成系統概念，應用於 REVIT API 來進行建置如圖 8 所示。

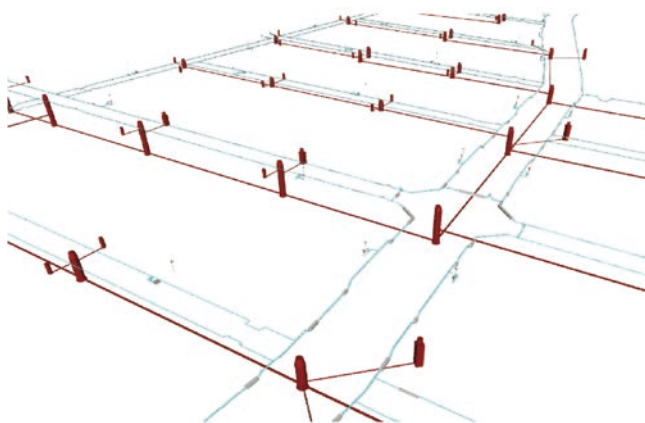


圖 7 污、廢及自來水工程 REVIT 成果

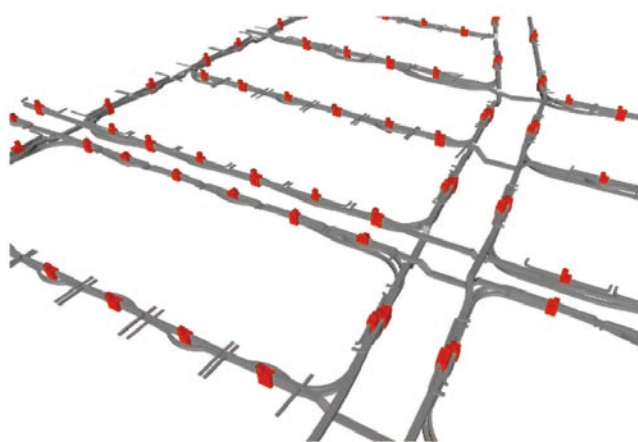


圖 8 共同管道工程 REVIT 成果

號誌、照明工程

各類號誌、人手孔、過路段號誌管線、微電腦開關箱、號誌開關箱、路燈、共桿路燈、路燈開關箱、交通指示牌等，目前一併開發 REVIT API 來進行自動化建置及調整功能，先進行大量自動化建置，再使用調整功能，再來進行更細部之調整，成果如圖 9 所示。

其他（橋梁、景觀及電力電纜管道）

有鑒於本公司過往經驗，橋梁與景觀獨特性高，多為個案客製化，除較長線型之道路高架工程或軌道

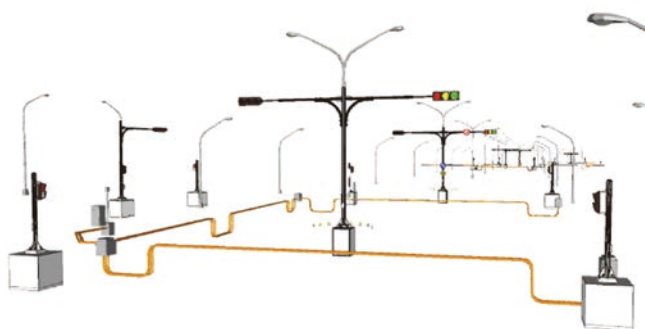


圖 9 交通、號誌、照明工程 REVIT 成果

系統高架有較高之重覆性，具有自動化之需求，以土地開發方面，仍由各專業工程師自行建置，成果如圖 10 所示。

本公司亦開發相關地下電力電纜類的 REVIT API 建置功能，成果如圖 11 所示。

綜合上述相關自動化建置完成後，即進行碰撞整合，檢討及如何閃避碰撞等議題，相關建置功能多有附帶開發相關功能列可協助快速調整，整合成果細節如圖 12 所示。

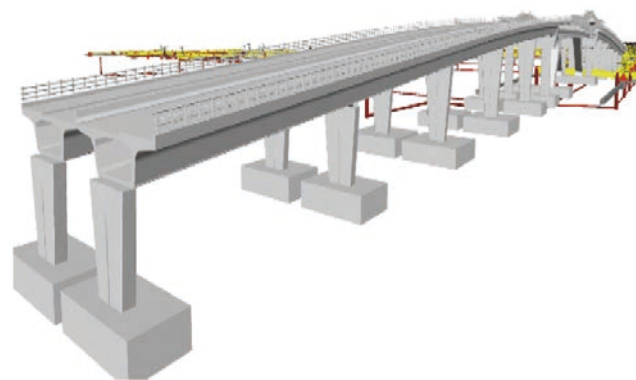
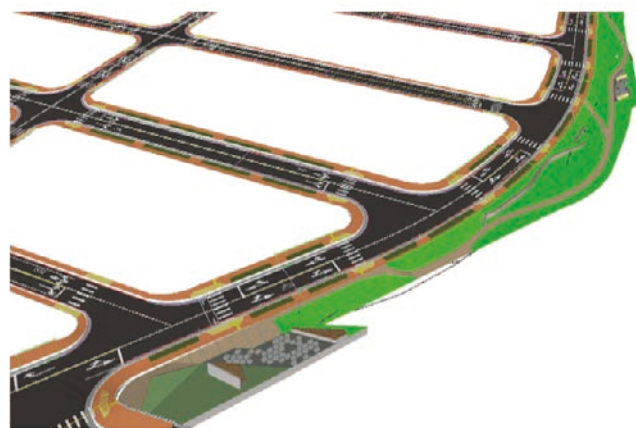


圖 10 景觀及橋梁工程模型成果

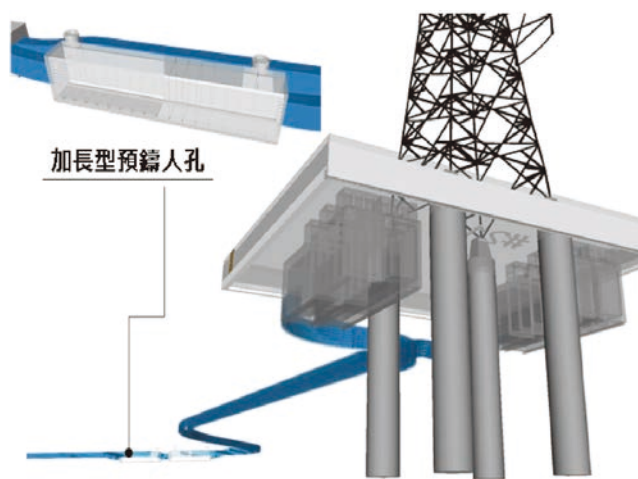


圖 11 電力電纜管道工程 REVIT 成果

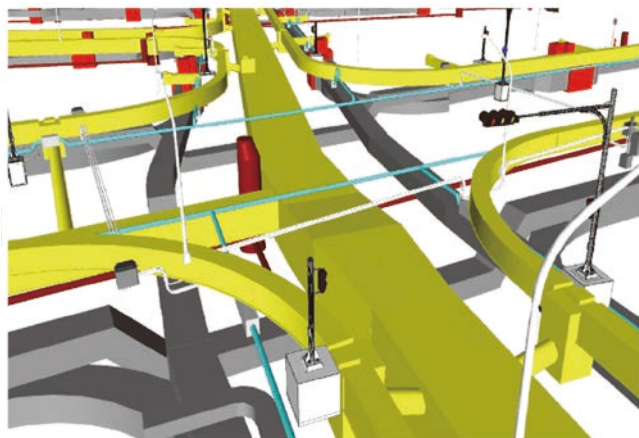


圖 12 地下管線 BIM 整合模型案例

中類		01				02				03		04		05	06	07	08		91	型號	尺寸單位	所屬管段	手冊	通管檢驗	照片	管徑標度	管徑標度	管段編號	管理單位	管線型態	管線材料	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼
小類	01	02	03	04	05	01	02	03	04	01	01	02	03	01	01	01	01	01	02	01	管徑標度	管徑標度	管段編號	管理單位	管線型態	管線材料	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼					
	□	□	□	□	□	■	■	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	管徑標度	管徑標度	管段編號	管理單位	管線型態	管線材料	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼					
屬性項目	一般電	單訊電	警報電	有線電	交通電	配電電	路燈電	交通電	輸電電	自來水	污水	雨水	合流	供水	灌排	輸油	共同管	寬頻	工業	管徑標度	管徑標度	管段編號	管理單位	管線型態	管線材料	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼						
類別碼	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼												
識別碼	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼												
起點編號	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼												
終點編號	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼												
管理單位	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼												
作業區分	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼												
設置日期	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼												
管線編號	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	管線編號	管線長度	起點編號	終點編號	管段長度	起點標度	終點標度	管段標度	設置日期	設計編號	圖別碼	資料狀態	起點埋設深度	起點編號	通別碼												

圖 13 公共設施管線資料標準與 REVIT 屬性欄位

BIM 最重要的部份即為資訊，目前國內管線模型建置的屬性部份，多為遵照內政部國土管理署公布之公共設施管線資料標準，REVIT 本身有建置參數相關之功能，一併使用 REVIT API 開發自動建置屬性欄位，欄位資料一併整合至中興 PMIS-BIM 模組上，可供不同專案自行調整，再至 REVIT 內於本公司開發的功能列上，選擇該計畫後，自動將所有元件建置對應的屬性欄位，如圖 13 和圖 14 所示。

運用 PMIS-BIM 橫向整合

土地開發組織架構示意圖如圖 15，對內，本公司需於內部進行跨部門及跨地域之橫向整合，在這樣的情況下，更加大了橫向整合之困難度，對外，有專

管單位或業主，設計成果外審等，最終再送至機關核定；綜合上述之介面經常超過十餘個單位，更顯現了土地開發案整合的重要性。

在上述的情況下，本公司全面進行數位轉型，如大量採用 PMIS 工程數位化管理 [5]，提升人員資訊能力，並續持續發展 PMIS-BIM 模組 [6]，其相關詳細功能可詳參考文獻 [5]，BIM 模組可在網頁上進行版本管制、檔案管理、議題列管、模型預覽等功能，為進行管理與整合成功的關鍵因素，因細部設計往往期程緊迫，在邊設計邊修正的情況下，且各專業有各自進度的考量，輔助計畫管理的 PMIS-BIM 議題模組因而成為重要的工具。

在細部設計 BIM 模型建置完並彙整後，迅速的檢

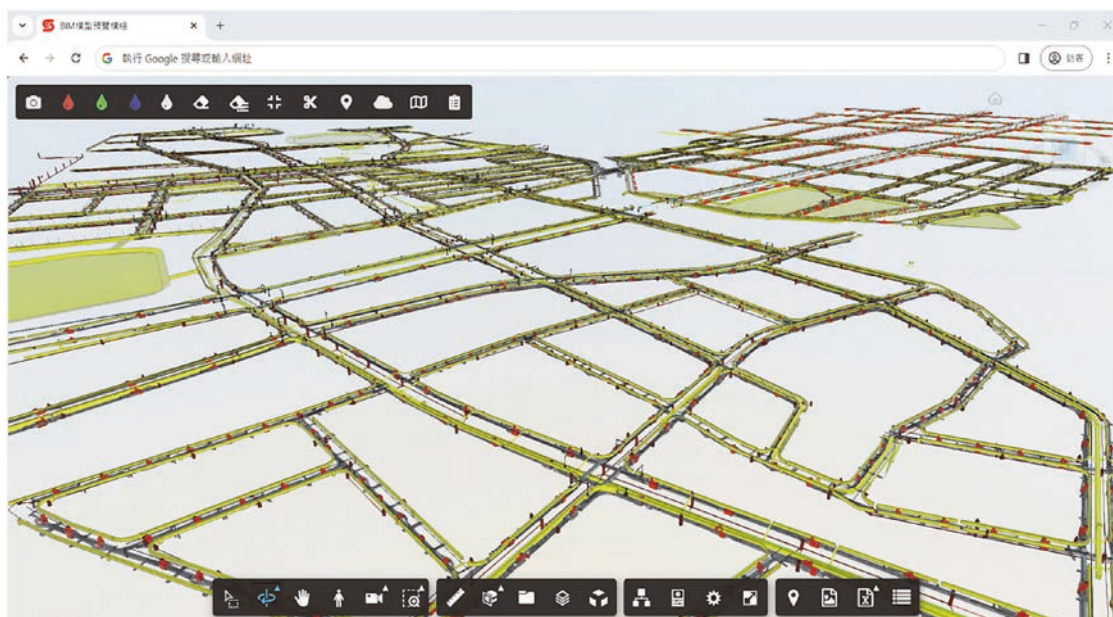


圖 14 本公司土地開發案地下管線模型成果 (PMIS-BIM 模組模型線上預覽功能)

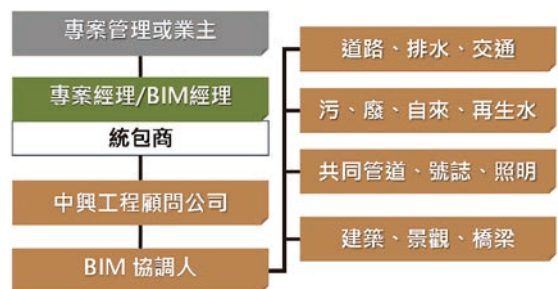


圖 15 本公司常見土地開發組織架構圖

討出「高優先碰撞」，高優先度的碰撞檢討，就考驗 BIM 經理（BIM Manager）及 BIM 協調人（BIM Coordinator）能力，BIM 協調人本身除了技術與工程專業及經驗外，另應兼具多方溝通協調的能力。

一般計畫團隊由設計計畫經理主導設計整合協調，BIM 協調人協助 BIM 經理進行 BIM 整合，彙集各單位 BIM 模型後，透過各種軟體協助 BIM 協調人判讀哪些議題需優先進行討論，並將相關議題彙整至 PMIS-BIM 議題模組上。

本公司 PMIS-BIM 議題模組，可提供日期、議題種類、地點、專業分類、內容說明、處理進度，模型視角截圖、連結模型視點及可自行上傳附件（如設計圖）等，希冀能讓各專業負責人，在最快速度的下理解該問題，避免浪費各專業人員的時間，直接切入重點，且議題建置後可設定通知信來通知各專業相關人員，各專業人員可依各自進度來安排時間解決碰撞問題，不再如傳統般召集所有人來進行討論，並可自行過濾專業類別，讓各專業設計人員僅需專注在本身的議題上，如圖 16 所示。

本公司土地開發案 BIM 模型已核定案例，其碰撞議題的累積與解決如圖 17 所示，從設計開始，逐漸出現碰撞議題，但隨著設計期程進行，逐步探討碰撞議題並修正後解除列管，至細部設計核定後，BIM 碰撞議題也逐步收斂，從先前案例的經驗，該案在本公司同仁的努力下，議題排除的情況呈現收斂，從趨勢來看，可有效管控碰撞議題。

專利取得

「排水物件的關聯系統」新型專利於 112 年 12 月



圖 16 PMIS-BIM 議題模組應用實例

取得專利證書 [7]，本項係在建立明確且符合實務需求的排水物件關聯關係及機制，包含排水物件間的上下游關係及與路工設計（定線、地形）的關聯關係等。

「三維元件生成系統」新型專利於 112 年 8 月 [8] 及發明專利於 113 年 5 月取得專利證書 [9]，內容為改善設計計畫將 2D 設計成果轉換成 3D 模型的流程，為利

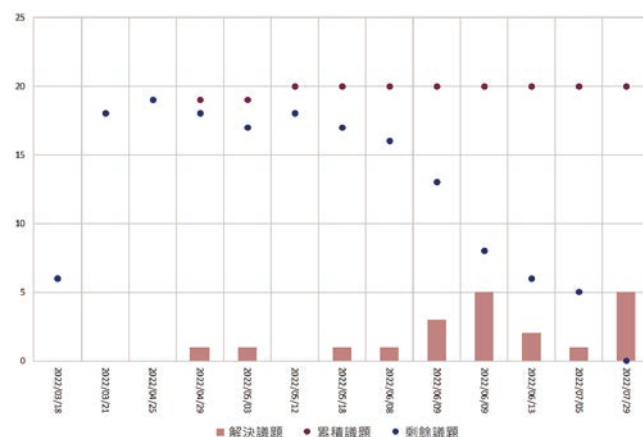


圖 17 實際案例之設計階段碰撞議題趨勢圖



圖 18 專利證書

用 BIM 協同作業平台之元件共享模組及半自動化建模 API 的技術，配合設計資訊和地形資料，完成將 2D 設計成果轉換成 3D 模型的作業。

「三維元件碰撞調整系統」新型專利於 112 年 7 月取得專利證書^[10]及發明專利於 113 年 3 月取得專利證書^[11]如圖 18，內容為改善設計計畫針對多系統 3D 模型執行碰撞調整的流程，且已實際應用於計畫中。為利用自動化碰撞點偵測及調整 API，以及半自動化碰撞調整 API 的技術，配合碰撞調整的資訊紀錄和人工複查，完成多系統 3D 模型碰撞調整的作業。

以上成果皆已應用於實際案例，證明系統的可應用性，並能有效提升設計工作效率及精準性。

結語

在土地開發工程自動化的作業中，以道路工程較難全面自動化，主要受限於設計需因現況持續變動，而道路工程設計軟體在彈性上也有所限制，故仍需耗費一些工作時間；另以管線自動化的成果而言，在不同的標案時，常會因為不同的主辦機關或設計人員而需產出略有不同的成果，因此程式仍保留部份彈性給工程師使用。

在 BIM 開發上，雖本公司投入大量資源與人力，進行 BIM 輔助程式及網路開發等，但無法否認，從中興集團創立至今已超過 50 年歷史，在世代的差異下，導入數位化作業，並非易事，這是所有傳統產業所面臨到的課題，以 BIM 人員的角色，就短期目標，應扮演輔助的角色，提升品質，中長期目標應為持續推

動，逐步增加人員熟練度，長遠目標為全 BIM 設計。

數位轉型與全 BIM 設計並非一蹴可及，但近年已見不同年齡層的員工對這類工作接受度已大幅提升，BIM 與專業設計的合作本是密不可分，未來希望能讓更多人來參與 BIM 工作，以期將來能讓專業設計與 BIM 的工作合而為一。

參考文獻

1. 陳廷雄，工業區規劃設計之回顧與展望，中興工程第 107 期，第 99-116 頁，99 年 4 月。
2. 羅財怡、陳冠華、蔡雪華，BIM 建築資訊模型應用於國道工程設計階段之輔助應用，TCI 2021 Concrete Conference，110 年
3. 黃滯瑩、鄭文明、林季萱、朱家勤、卓涼華、楊健邦，新型專利：排水物件的關聯系統（證號：M649422），112 年 12 月。
4. 林鴻祺、陳吉宏、江東法、劉恒昌，環境工程技術之回顧與展望，中興工程第 107 期，第 117-141 頁，99 年 4 月。
5. 郭瑋明、陳廣揮、黃志民（2019），功能整合導向之計畫管理資訊系統（PMIS）建置，2019 電子計算機於土木水利工程應用研討會，台北，108 年。
6. 黃琬淇、郭瑋明、許睿叡、陳廣揮、吳中期、黃志民，整合 BIM 模組之 PMIS 計畫管理平台，中興工程第 147 期，第 149-156 頁，109 年 4 月。
7. 黃滯瑩、林季萱、朱家勤、鄭文明，自動化排水輔助設計系統-SinoDrain 設計與應用，水利會訊第 26 期，第 45-52 頁，112 年 6 月。
8. 蔡雪華、楊宗融、吳建誠、許貴棠、黃模立，新型專利：三維元件生成系統（證號：M645305），112 年 7 月。
9. 蔡雪華、楊宗融、吳建誠、許貴棠、黃模立，發明專利：三維元件生成系統及其方法（證號：I841346），113 年 5 月。
10. 蔡雪華、楊宗融、吳建誠、許貴棠、黃模立，新型專利：三維元件碰撞調整系統（證號：M643874），112 年 7 月。
11. 蔡雪華、楊宗融、吳建誠、許貴棠、黃模立，發明專利：三維元件碰撞調整系統及其方法（證號：I836967），113 年 3 月。



公共工程實驗室 數據數位化交換 以 淡江大橋工程 為例

呂斌豪*／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 技術經理
林芳輝／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 資深協理
郭瑋明／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 組長
陳廣揮／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 工程師
曾枸諺／SGS台灣檢驗科技股份有限公司材料暨工程實驗室 經理
郭燕菁／SGS台灣檢驗科技股份有限公司材料暨工程實驗室 主任

面對數位及永續雙軸轉型的國際趨勢，公共工程實驗室數據無紙化數位交換之推動，已成為提升工程品質管理效能與精確度的當務之急。本文係以「淡江大橋及其連絡道路新建工程（第三標）工程」為試辦案例，係著重於透過數位手段，加快數據處理速度，提升決策效率，並透過建立共通的數據格式交換標準，確保各系統間能夠順利互通無礙，增進工程管理的透明度。此外，未來配合數位簽章等科技的應用，可強化數據交換的安全性與法律效力。

在推動數據交換的目標下，引進「數據交換架構」（Data Exchange Architecture, DEA）的概念，藉由標準化的數據交換介面和協定來實現不同系統之間的數據共享和交換。相較於傳統將各單位強制至由特定管理機構所架設之集中式的資訊平台，各單位根據自身的業務特點和管理需求，開發和維護適合自己的資訊系統，DEA 更適合提倡。

在全球面臨氣候變遷的嚴峻挑戰下，我國政府已將 2050 淨零排放目標法制化，凸顯了公共工程在追求品質與高效的同時，亦需承擔起永續發展的責任。因此，公共工程實驗室數據數位無紙化交換之推動，不僅代表著技術層面的革新，更象徵著策略層面向永續轉型的積極邁進。期許透過本計畫的成功推行，不僅能促進台灣公共工程管理體系的進步，同時亦能在提升管理效能與品質的過程中，實踐環境永續的長遠願景。

關鍵字：公共工程、實驗室、數據交換、數據交換架構、數位轉型、永續發展

背景與緣由

公共工程三級品管制度

台灣的公共工程品質管理採取三級品管制度，這是一個全面性的品質保證體系，旨在確保公共工程符合預期的品質標準。包含施工廠商之「施工品質管制」、工程主辦機關及監造單位之「施工品質保證」、工程會及工程主管機關之「施工品質查核」等三層次

品質管理制度，此三級品管制度的目的是透過層層把關，形成一個綜合的品質保障網，從而提升公共工程的整體品質，並確保工程的安全、功能和壽命達到設計要求。此制度不僅強調每個參與者的責任，也促進了品質管理知識和技術的交流與應用。

實驗室制度與 TAF 認證

行政院公共工程委員會（以下簡稱：工程會）自 1996 年 12 月 13 日公布實施「公共工程施工品質管理作業要點」後，於 1999 年 10 月 4 日修正有關材料檢驗

* 通訊作者，ahow@mail.sinotech.com.tw

部分相關內容，規定優先指定適當檢驗項目，由中華民國實驗室認證體系（CNLA）認可之實驗室辦理，並由認可實驗室出具認可標誌之檢驗報告；2002 年則對於檢測之對象物較明確訂定為鋼筋、混凝土瀝青混凝土及其他適當檢驗項目。2003 年經濟部將經濟部標準檢驗局中華民國實驗室認證體系（CNLA）及經濟部中華民國認證委員會（CNAB）兩者業務合併，並於 9 月 17 日成立財團法人全國認證基金會（以下簡稱：TAF）。

工程會之管理要點檢列如表 1 所示，相關共計 17 項試驗項目，工程會明訂為試驗大宗項目。相應於工程會 17 項試驗項目，TAF 發布「公共工程材料實驗室認證服務計畫」要求實驗室配合之重點項目。

工程會遂於「公共工程施工品質管理作業要點」第十二點規定，並依據下述辦理：

1. 2005 年 11 月 10 日增加工程管字第 09400415500 號函補充規定所公告試驗項目「混凝土圓柱試體抗壓強度試驗」、「混凝土鑽心試體抗壓強度試驗」、「瀝青鋪面混合料壓實試體之厚度或高度試驗」、「瀝青混凝土之粒料篩分析試驗」、「熱拌瀝青混合料之瀝青含量試驗」、「瀝青混合料壓實試體之比重及密度試驗」、「鋼筋混凝土用鋼筋試驗」等 7 項；
2. 2009 年 10 月 29 日工程管字第 09800480600 號函擴大採用材料試驗認證項目「水硬性水泥壩料抗壓強度試驗」、「水泥混凝土粗細粒料篩分析」、「水泥混凝土粗細粒料比重及吸水率試驗」、「土壤夯實試驗」、「土壤工地密度試驗」、「可控制低強度回填材料（CLSM）抗壓強度試驗」、「瀝青混凝土壓實度試驗」、「鋼筋續接器試驗」、「高壓混凝土磚試驗」、「普通磚試驗」等 10 項。

工程會於「公共工程施工品質管理作業要點」，明訂公共工程材料試驗，應由符合標準法之認證組織所認可之實驗室執行試驗，此規定可對國內公共工程品質具有提昇之作用。而在公共工程品質管理中，目前由 TAF 認證的實驗室所出具的測試報告即被廣泛認可，相關測試結果並作為評判工程材料合格與否之重要評估依據。

公共工程推動 PMIS 制度的進展

政府亦為因應雲端、大數據、超寬頻、物聯網暨數位網路的時代來臨，乃以「數位國家、智慧島嶼」為總政策綱領，擘劃「數位國家 創新經濟發展方案（2017～2025 年）」以期帶動臺灣產業轉型加值應用。

工程會即基於強化各項公共工程之履約管制及提升施工品質，從工程三級品管所需進行的品質管制品質查證、及施工查核之系統架構推動公共工程工地管理資訊化管理作業。自 2017 年即推動公共工程履約文件電子化，啟動電子化開端，於 2019 年遵行電子化乃至 2021 年 2 月倡導將「營建自動化」納入技術服務案評選項目，致力進行公共工程品管制度數位化轉型^[1]。

公共工程監造管理於工程履約執行過程中導入專案管理資訊系統（Project Management Information System, PMIS）之方式，協助監造管理人員即時掌握專案基本資訊與執行脈絡，提高專案資訊溝通、傳遞、評估及紀錄留存應用。除了進行文檔雲端儲存管理等基本功能外，並透過擷取各監造（專管）計畫執行情況數據，如工程進度、估驗進度及服務契約執行進度等，統合管理介面，並以進入系統之權限管理架構提供不同管理階層或利害關係人掌握所屬相關計畫訊息。而如何將數位化資訊納入 PMIS 系統平台，強化數

表 1 工程會之管理要點變動彙整表^[2]

年度	內容
88	廠商品質計畫之內容應包括材料及施工檢驗程序，而監造計畫之內容應包括材料設備抽驗程序及標準，機關得優先指定適當檢驗項目，由中華民國試驗室認證體系認可之實驗室辦理，並由該實驗室出具認可標誌之檢驗報告。
91	材料及施工檢驗程序，應就鋼筋、混凝土、瀝青混凝土及其他適當檢驗項目，明訂由廠商會同監造單位取樣，並由政府機關、大專院校設置之實驗室辦理或由中華民國實驗室認證體系認可之實驗室辦理，並由該實驗室出具認可標誌之檢驗報告。
93	(一) 鋼筋、混凝土、瀝青混凝土及其他適當檢驗或抽驗項目，應由符合 CNS 17025 (ISO/IEC 17025) 規定之實驗室辦理，並出具檢驗或抽驗報告。 (二) 前款檢驗或抽驗報告，應印有依標準法授權之實驗室認證機構之認可標誌。自辦監造者，應比照前項規定辦理。第一項之檢驗或抽驗報告，其由行政機關、公立學校或公營事業所屬實驗室出具者，自九十五年度起，應印有依標準法授權之實驗室認證機構之認可標誌。
96	同 93 年內容，無更動。
101	(一) 鋼筋、混凝土、瀝青混凝土及其他適當檢驗或抽驗項目，應由符合 CNS 17025 (ISO/IEC 17025) 規定之實驗室辦理，並出具檢驗或抽驗報告。 (二) 前款檢驗或抽驗報告，應印有依標準法授權之實驗室認證機構之認可標誌。自辦監造者，應比照前項規定辦理。

位資訊交流，係後續發展數位化的工程管理的關鍵。

配合公共工程三級品管的架構中，主辦機關或監造單位應建立「施工品質查證」管理系統。以 PDCA（Plan、Do、Check、Act）循環作為思維核心，建構持續優化之監造管理邏輯，並以數位模式與以落實。監造作業品管圈融入 PMIS 系統之概念，如圖 1 所示^[3]。

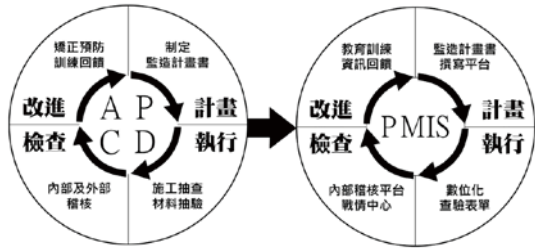


圖 1 監造管理 PDCA 循環圖

實驗室數據數位化交換

數據交換的意義與目的

公共工程監造作業的數位化是應對科技快速發展和社會需求變化的必然趨勢。隨著「數位國家、創新經濟發展方案」的推動，政府已制定一系列數位轉型相關配套措施，旨在透過數位化手段提升公共工程的管理效率和品質。

透過數位化的數據交換，能夠大幅度提升數據處理的速度和準確性，減少人為錯誤，使得工程進度和品質檢測結果更加透明，利於公眾監督和信任建立。

本文基於數位化發展的趨勢，提出「數據交換架構」（Data Exchange Architecture, DEA）的概念，相較於傳統將各單位強制至由特定管理機構所架設的集中式資訊管理的大平台架構，更加強調政府和產業間多元發展和互操作性。在 DEA 的架構下，各單位根據自身的專業特點和管理需求，開發和維護適合自己的資訊系統。為了實現不同系統之間的數據共享和交換，則應提供了標準化的數據交換的具體作法，包含了數據內容欄位定義的統一制定及檔案的交換格式。

資訊的數位化加上即時、準確的彙整分析，可以幫助決策者快速做出基於數據的決定，其關鍵就在於需求端資料的整合應透過標準化的數據格式，使得不同的系統和組織間可以更容易地分享和利用資訊，促進跨單位合作。

DEA 觀念的提出能於數據交換環節上實現無縫對接，這不僅有助於帶動產業整體對於數位化發展的重視，也為未來數位應用創新的實踐奠定了基礎。

推動實驗室數據交換的流程

實驗室數據的數位化交換對於提升公共工程品質管理的效率與準確性至關重要。標準化的數據格式能夠確保不同單位間的數據兼容，加速資訊的共享與處理，並減少因格式不一致而導致的溝通與轉換上的障礙。

其標準化格式的擬定係須過需求調查，以了解不同使用者對數據格式的需求，包括實驗室、監造單位、設計單位等。考慮到操作通用性，應參考通用標準進行格式的擬定，以確保數據能夠在更廣泛的範圍內被接受和使用，以制定具體的技術規範，包括數據結構、編碼方式、交換協議。並於實際工程案例中進行試辦應用，根據試辦結果進行作業流程及標準制定的調整和優化。其作業流程圖如圖 2 所示。

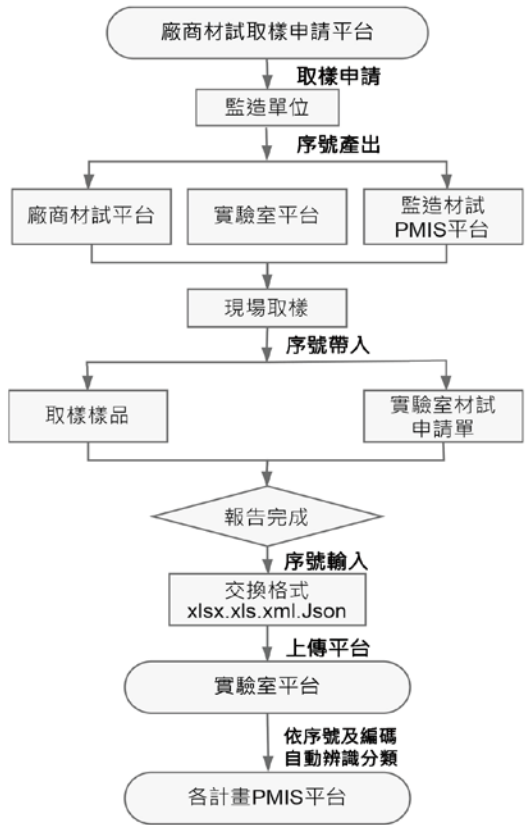


圖 2 實驗室數據交換流程圖

實驗室數據交換原則與循序策略

考量台灣地區實驗室及各單位之數位發展程度不一，故擬定以下方式以進行階段性之發展原則。

1. 數據交換資料格式應採開放格式提供服務應用程式介面（API 或 WebService）方式以利各界查詢與取用，以達成機器對機器識別讀取（M2M）及利用為原則目標。

2. 對於具備交換能力之試驗室，擬定需求資訊標準交換格式，其制定格式標準採用原則如上，初步擬定以 XML 及 JSON 格式作為交換檔案格式。
3. 對於尚不具備數位交換能力之試驗室，可採 MS EXCEL 檔案格式 (*.XLSX) 進行中小型試驗室數據交換之格式，藉由 PMIS 系統平台轉寫檔案內容納入平台資料庫。
4. 對於交換的資訊內容，則依據該項試驗之規範要求及產出成果，訂定內容的格式標準以利數據流通。應由實驗室完成相關試驗所填具的材料試驗數據為基礎，並補充必要的管理資訊，並可再藉由表單編碼原則之擬定，以作為後續資料統計的參考依據。

案例應用及效益說明

公共工程實驗室數據交換案例

淡江大橋工程（以下簡稱：本工程）由於施工技術困難高，為提升工程之施工品質與施工安全，兼顧現場監造執行作業實務需求，故整合性導入施工數位化監造管理策略，規劃數位資訊數據多元運用。

由於本工程之監造單位，中興工程顧問股份有限公司（以下簡稱：中興公司），全面導入 PMIS 系統，可整合監造管理之 PDCA 作業內容，設置各類作業平台，相關資訊數據串聯整合，有關系統之登入畫面及系統內對應之功能模組項目，詳如圖 3 所示。



圖 3 淡江大橋工程 PMIS 系統平台登入介面

本工程之 PMIS 系統平台介接「無紙化數位查驗系統」大數據資料庫，並依照工程會「監造計畫製作綱要」的格式快速匯入、自動化產出監造計畫，發揮資訊多元利用價值，提升計畫書撰寫效率及準確性。

在 DEA 的架構概念下，PMIS 系統平台可以與實驗室的檢測資訊進行數據交換，實現從檢測申請、取樣、報告上傳到最終評估的數位化管理。這不僅提高了工作效率，減少了人工錯誤，也為後續的大數據分析應用創造了條件。

PMIS 系統平台的材料實驗申請分項平台上，施工單位需提出材料實驗申請。申請提交後，會自動生成一組專屬的序號，同時更新至監造單位、廠商介面及實驗室平台。獲批准進行實驗後，監造與廠商工程師須攜同序號至現場提取樣品，並記錄於取樣及實驗申請單上，以便後續追蹤管理。平台頁面如圖 4 所示。

實驗結束後，實驗室按序號提交報告檔案上傳至平台，系統可自動匹配序號相關文件，並整合至 PMIS 中，確保資料準確性與可溯性有關數據交換成果案例，如圖 5 所示。監造單位可及時判定材料試驗結果，並可進行材料試驗數據進行分析，材料試驗分析案例，如圖 6 所示。

系統介接資安的考量

SGS 集團成立於 1878 年，於全球皆有測試、驗證、檢驗服務。1952 年在台灣設立瑞（瑞士）商遠東公證股份有限公司，於 1991 年 5 月成立台灣檢驗科技股份有限公司，擴大提供專業測試及技術相關服務。

本工程之實驗室數據交換試行作業即係由中興公司與 SGS 台灣檢驗科技股份有限公司材料暨工程實驗室（以下簡稱：SGS）共同合作辦理。



圖 4 PMIS 實驗室材料試驗平台介面



圖 5 PMIS 實驗室材料試驗平台數據交換成果

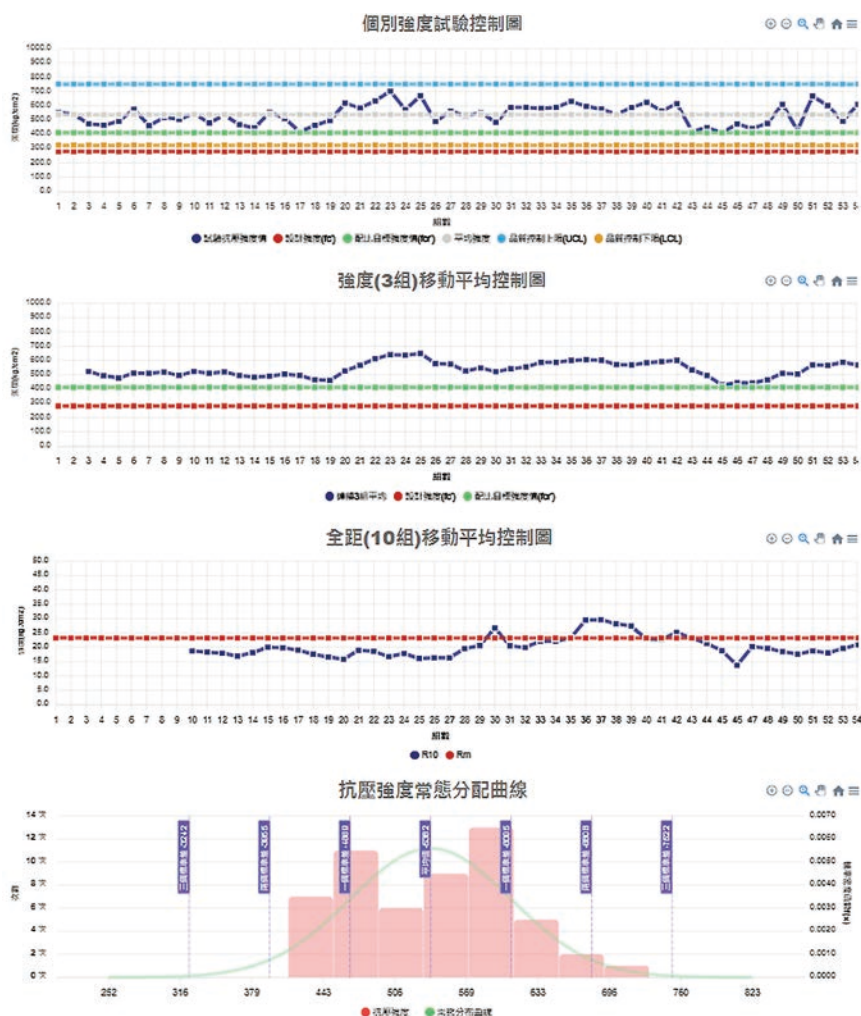


圖 6 實驗室數據交換後繪製品質管制圖表

中興公司與 SGS 辦理相關資訊交換時，亦特別強調在雙方皆須以提供更全面、有效的資訊安全環境前提下進行，相關安全機制包括強化身分驗證及授權、使用 SSL/TLS 協定來加密資訊傳輸，系統的隔離和監控、以及對資料本身的安全性進行確認等管理方式，以降低系統介接時的資安風險，亦確保雙方資訊系統的防護與保障。

案例成效及效益評估

透過深入分析本工程執行流程，可以得出以下幾點關於案例應用及效益的評估結果：

- 避免重工及資訊誤植

以往材料 / 設備檢試驗項目，對於工程品質掌控環節中，扮演重要關鍵任務，因此工程會制定標準作業流程及規範，透過委託具 TAF 認證之第三方機構辦理驗證合格與否之工作，惟紙本寄送或傳遞過程中，除耗時外尚有遺失風險，更有數據資料庫建置多次重工之累，透過資料標準交換格式傳遞，可加強資料正確性，同時有利於大數據資料累積，更可減省相關的人力成本。

- 增強工程管理效率

透過系統間的數據交換與共享，相關執行單位能夠即時獲取工程進展資訊，大大提升了協同效率和決策的及時性。尤其在 DEA 的架構下，各系統可以根據自身需求靈活組織數據，避免了單一中心平台的限制，使得數據的流動和應用更加順暢高效。

- 增強工程資訊透明度

增強了計畫各方之間的透明度和溝通效率。通過共享平台，參

與工程相關單位（包括施工單位、供應廠商及實驗機構）都能夠及時了解計畫資訊，這有助於減少誤解和衝突，增加信任度，促進整體合作。

● 推動數位化轉型與創新

工程品質提升之管理手段，端賴工程統計分析相關數值資料。爰此，首先必須取得大量且正確可靠之數據資料，再由兼具統計分析能力及工程背景之專業品管人員，透過正確判斷是否符合設計原意及分析結果之因應對策，方能確保工程品質，這些案例通過 PMIS 系統平台和相關數位工具的應用，可推動公共工程管理的數位化轉型，激發新的管理模式和技術創新，以提升公共工程領域的整體發展。

制度與規定之因應

在數位作業後，探討實驗室數據交換過程中，仍無可避免的需要面對程序符合的問題。有關數位文件在我國現行法規體制下的合法性、適用性與法律效力，在當前法律體系中所面臨的挑戰與改進空間。以下僅就議題面向提供推動法律框架的演進參考，冀盼相關機關增修相關法令或契約條文規定，俾利工程數位化時代的需求。

數位文件的法律效力與認證

因應「公共工程材料實驗室認證服務計畫」，TAF 發佈了土木工程測試領域的認證規範（TAF-CNLA-S01）。在第 8 版中，第 5.10.1 節對於結果報告簽署提出了要求：除政府機關依法以職章印信方式簽署外，所有之試驗報告均應經報告簽署人親自簽署。

惟在第 9 版 TAF-CNLA-S01(9) 的第 7.8.5 節則有更進一步規定：除政府機關依法以職章印信方式簽署

外，所有之試驗報告均應由報告簽署人親自簽署，若採電子簽章方式簽署，應保存完整簽署流程及時間紀錄。這為電子報告建立了原則性的要求。而這樣的規定也一直延續到目前最新的第 11 版。

而 CNS 17025 的 2018 年版，在第 7.8.1.2 節備考 2 中亦載明：只要符合本標準要求事項，報告能採用紙本或電子方式發行提供。若再往前追溯，2007 年版的 CNS 17025 亦是相同的規定，即認可報告採電子方式發行。

從 TAF-CNLA-S01 的演進，如表 2 所列，可以看出，最初要求報告由報告簽署人親自簽署，到後來說明若採用電子簽章方式時要保存完整的簽署流程和時間記錄，顯示了對報告真實性和可追溯性的重視。同時，CNS 17025 早在 2007 年就已經明確表示報告可以採用電子方式辦理，這一方面符合數位化時代的趨勢，也更提高了報告的傳遞效率和便利性。

行政院近期（2023 年 02 月 29 日）院會亦通過數位發展部擬具的《電子簽章法》修正草案，明定電子文件及電子簽章功能上等同實體文件及簽章，以確認電子簽章的法律效益，實有益於數位文件之推動。

數位文件的長期保存與存取

隨著數位化進程的加快，數位文件的長期保存和可存取性成為重要議題。法律應該考慮到技術的變遷，確保數位文件可以被長期保存並在需要時可被輕易存取。這涉及到數位檔案的格式標準化、兼容性以及更新與轉換的法律規範。

在數位文件的管理和交換過程中，個人隱私和數據保護是不能忽視的問題。立法院於 2023 年 5 月 16 日三讀通過個人資料保護法修正，在公共工程領

表 2 TAF-CNLA-S01 簽署規定彙整表

規範	內容	結果報告簽署要求
TAF-CNLA-S01(8)土木工程測試領域認證規範 (2014 年起實施)	5.10.1 除政府機關依法以職章印信方式簽署外，所有之試驗報告均應經報告簽署人親自簽署。	
TAF-CNLA-S01(9)~(11) 土木工程測試領域認證特定規範 (2019 年起實施)	7.8.5 除政府機關依法以職章印信方式簽署外，所有之試驗報告均應由報告簽署人親自簽署，若採電子簽章方式簽署，應保存完整簽署流程及時間紀錄。	
CNS 17025:2018 ISO/IEC 17025:2017	7.8.1.2 備考 2. 只要符合本標準要求事項，報告能採用紙本或電子方式發行提供。	

域，工程相關人員的基本資訊流通在所難免。因此，法規應針對數位化工程的特性，對資料「去識別化」範圍、資訊傳輸環節、利用限度等作出明確規範與管理。法律框架需要進一步明確數位文件處理過程中的隱私權保護措施，包括數據加密、訪問控制以及用戶資料的最小化原則，並嚴格規範數位文件中敏感資料的處理標準。

現行相關法規的限制

公共工程直接相關的法律，如採購法、公共工程品管作業要點、營造業法、技師法、…等，現僅對於工程規劃、實施、管理等方面的提出相關規範，但涉及數位治理及數據交換管理方面尚未有相關管理思維方面的對應規定。

目前台灣現行法律在與公部門資訊系統有關數據交換、數據共享政策、數位轉型相關規範以及永續發展與環境保護等方面。目前缺乏針對這些領域的標準化規範與明確的法律指引，這對於促進數位化趨勢、應對新興技術挑戰造成了阻礙。

工程數位化的深入推進，離不開法規制度層面的支持與保障。如何在鼓勵創新的同時，也為數據要素的合理流動提供規範，值得持續探索。DEA 強調多元發展，利用訂定標準格式內容與檔案架構予以整合，必將為相關法規制度的完善提供有益參考。對工程參與各方而言，及時瞭解和研究相關法規動態，對把握數位化發展機遇至關重要。

未來，應當完善制定或更新相關法律，明確數位時代下的資料處理與交換規範，同時確保這些活動不僅支持技術創新和經濟發展，還能兼顧個人隱私保護和環境永續。具體來說，營造並建立全面數據交換的標準化框架、設立全面的數據共享政策、制定適應數位轉型的法規，有賴公部門上位機關團體，因應整體數位治理大方向，以及加強對環境影響評估的數位化要求，接軌世界潮流趨勢。

結語與建議

數位建設已於 2024 年首度將納入國家「公共建設計畫」，而工程管理數位化作業更應視為公共工程「數位轉型」及企業「永續轉型」的第一步。此轉型不僅

涵蓋工具面、流程面與服務價值層面的深入盤點與思考，還包括透過 PMIS 系統平台串聯不同內部及外界的資訊平台，實現監造全周期數位管理的完整落實。

而實驗室為公共工程品質管理作業的一環，可透過不同單位數位平台介接，結合管理制度以大幅提升效率，也藉由監造資訊的數位整合，使工程監造管理更高效精準。藉由前述試辦計畫的成果，對於公共工程試驗室數據交換仍有以下建議：

1. 政府應制定具體策略與措施，加速公共工程監造作業的數位化轉型，從而提高效率並減少人為錯誤。
2. 推動數位化電子簽證，逐漸取代紙本，循序漸進達成無紙化電子簽證報告作業。
3. 為了促進不同系統間的操作通用性，政府與民間企業應共同制定數位化交換的標準與格式，確保資訊的一致性與可靠性。同時，也要兼顧各單位的特定需求，為其數位化發展預留空間。DEA 的理念與數位建設的作法應得到足夠的重視和支持。

工程數位轉型已是大勢所趨。通過開放的架構和靈活的機制，我們可以在鼓勵多元創新的同時，也實現關鍵數據的互聯互通，從而不斷釋放數據的潛在價值。站在數位化時代的門檻，工程行業必將以更加開放的姿態擁抱變革，用創新的智慧點亮未來。而 DEA 的廣泛應用，必將成為通往高效、永續的智慧工程之路的重要一環。

隨著全球對氣候變遷的關注增加，政府於 2023 年 2 月公佈「氣候變遷因應法」，將 2050 淨零目標納入法律中。在此背景下，無論是民間企業還是政府部門，都應有更宏觀前衛的思考，來面對未來的挑戰。仍盼藉由上述策略與行動，期望能夠實現公共工程管理的數位化與永續化，提高管理效率與品質，同時滿足社會與環境的長期需求。

參考文獻

1. 林芳輝、郭鴻祥、黃正緯（2021），「從公共工程之監造科技管理淺談—數位轉型」，中國土木水利學刊，第 48 卷，第 4 期，第 95-101 頁。
2. 蔡榮一（2012），「公共工程服務計畫的緣起、形成及意義／價值」財團法人全國認證基金會認證報導，第 6 期。
3. 林芳輝、唐士宸、呂斌豪（2023），「從監造作業全數位化談公共工程三級品管制度」，中國土木水利學刊，第 50 卷，第 2 期，第 45-52 頁。



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
社團法人中國土木水利工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登位置	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：

○ 51.5 ○ 51.6 ○ 52.1 ○ 52.2 ○ 52.3 ○ 52.4 共 次
(10月) (12月) (2月) (4月) (6月) (8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：社團法人中國土木水利工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: service@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)	仟萬	佰萬	拾萬	萬	仟	佰	拾	元
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------	----	----	----	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

繳納會費

- ☐ 常年會員年費 1,200 元
☐ 初級會員年費 300 元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期

- ☐ 國內・個人會員 新台幣 300 元
☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 1,800 元
自第 卷第 期起， 年期雙月刊 份

訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期

- ☐ 國內・個人會員 新台幣 1,600 元
☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 3,600 元
☐ 國外・個人 美金 80 元
☐ 國外・機關團體 美金 200 元
自第 卷第 期起 年期學刊 份

收款 戶名	社團法人中國土木水利工程學會	
姓 名	寄 款 人	
地 址	主管：	
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 註：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>	繳納會費 ☐ 常年會員年費 1,200 元 ☐ 初級會員年費 300 元
會員證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 ☐ 國內・個人會員 新台幣 300 元 ☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 1,800 元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
身分證號碼			訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期 ☐ 國內・個人會員 新台幣 1,600 元 ☐ 國內・非會員及機關團體 新台幣 3,600 元 ☐ 國外・個人 美金 80 元 ☐ 國外・機關團體 美金 200 元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
卡 別 ☐ VISA ☐ MASTER CARD ☐ JCB			白天聯絡電話
信用卡卡號			通訊地址
信用卡末三碼			
信用卡有效期限 (月 / 年)			
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)



亞新工程顧問股份有限公司
MOH AND ASSOCIATES, INC.

台北 | 台中 | 高雄 | 仰光 | 曼谷 | 新加坡 | 香港 | 澳門 | 北京

運輸工程 | 大地工程 | 數位工程 | 結構工程 | 環水工程 | 專案及施工管理 | 建築、都市計劃、景觀及室內設計 | 機電工程



Tel: (886-2) 2696-1555 Fax: (886-2) 2696-1166 Website: www.maaconsultants.com E-mail: maagroup@maaconsultants.com

義力營造股份有限公司

EARTHPOWER CONSTRUCTION CO., LTD.

卓越
誠信
安全
技術
品質

義呈實諾 力呈卓越

創立於民國八十三年，甲等綜合營造業

深耕台灣，致力鑽研土木、環境、建築、區段徵收、開發工程，秉持追求全員工安、品質提升的精神，在誠信踏實的經營態度之下，堅守營建道德崗位，各項工程實績屢獲優良工程金安獎、公共工程金質獎

土木工程

整地、道路、排水橋梁、隧道護坡、植生景觀、管線工程

建築工程

辦公大樓、廠辦新建特殊建築、集合住宅

環境工程

掩埋廢棄物分類清除、土壤污染改良、污水處理、復育工程、廢棄物分類機械製造

區段徵收

區段徵收工程、土地重劃、公設工程施工

開發工程

工業園區開發、社區開發、租售管理



優良廠商 / 優良營造業
金安獎、金質獎 雙獎特優

TEL: (04) 2435-0568
FAX: (04) 2435-0569

公司地址：
臺中市北屯區軍福11路553號1樓

郵箱: earth.powerld@msa.hinet.net
網址: www.earthpower.com.tw

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.cec.com.tw> E-mail: pr@cec.com.tw

構築永續城市

四十多年來，根基的工程實績已遍佈全臺，持續為國家、企業與民眾建構永續城市與幸福家園，透過世代代根基人的雙手，與臺灣一起迎向永續未來。

根基致力ESG永續發展，持續推動低碳工程、BIM營建數位轉型並攜手供應鏈投入社會公益與環境保護行動，榮獲台灣永續獎(TCSA)百大永續典範企業殊榮。

住宅工程

民間都市更新業務、精緻住宅、集合住宅大樓、辦公大樓等

土木工程

政府交通建設包括道路、橋樑、車站、隧道、下水道、軌道等

統包工程

政府公共工程、指標建築工程、社會住宅、高科技及民間廠房、企業總部辦公大樓

嘉義鐵路高架化

新店寶高園區

台積電廠辦

冠德安沐居

臺北南門市場

誠信 | 品質 | 服務 | 創新 | 永續



根基營造股份有限公司
KEDGE CONSTRUCTION CO., LTD.

☎ +886-2-2378-6789

✉ kedge_service@kindom.com.tw

📍 台北市大安區和平東路三段131號6樓

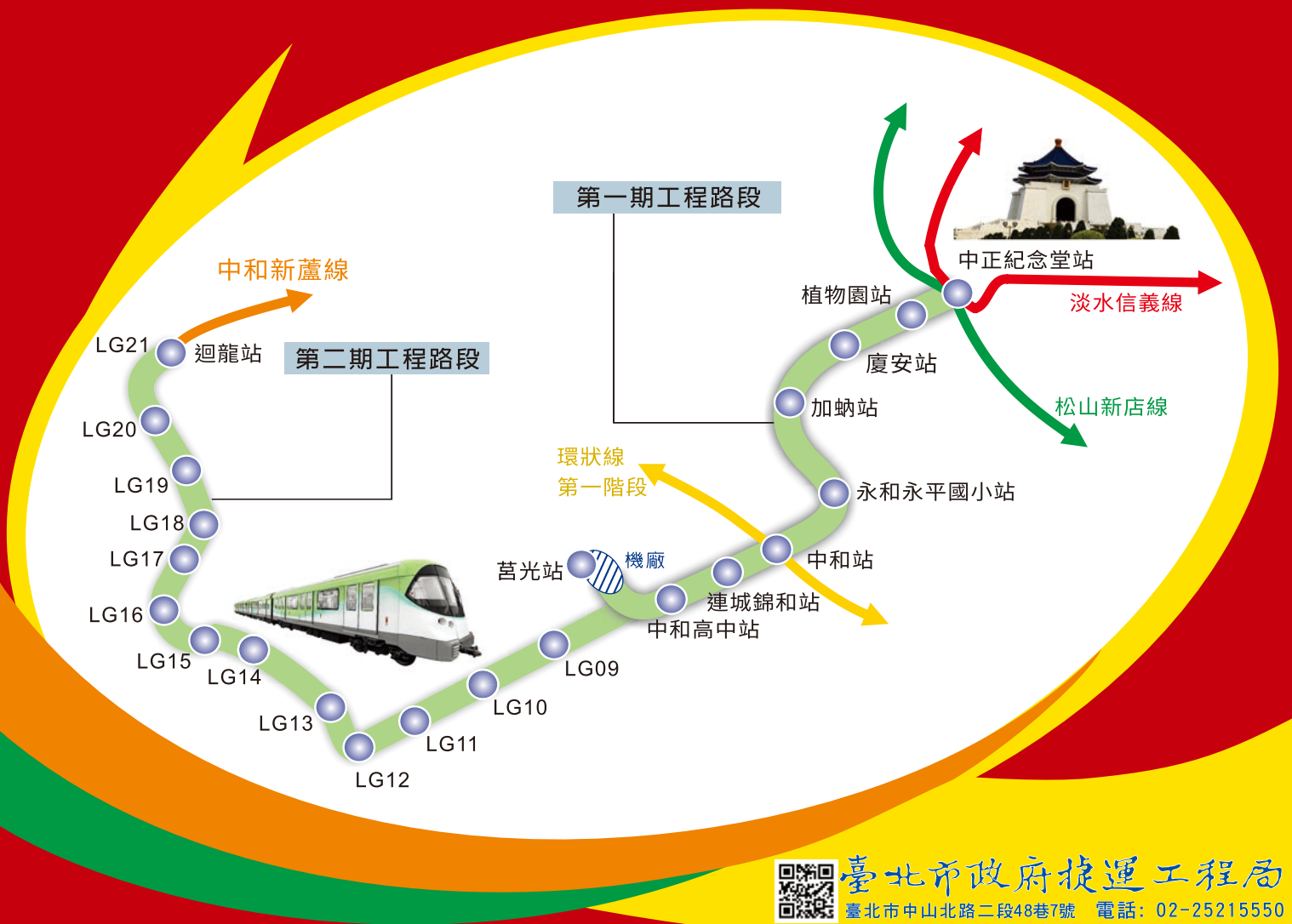
帶動都市再生與發展 迎接經濟共榮圈



萬大-中和-樹林線

第一期工程路段：中正紀念堂站(臺北市)-機廠段(新北市土城區金城路)，均為地下段，全長約9.5公里(含機廠支線約0.7公里)，共設9座地下車站和1座機廠。

第二期工程路段：機廠(新北市土城區金城路)-迴龍段(新北市新莊區與中和新蘆線迴龍站相接)，全長約13.3公里(地下段2.8公里/高架段10.5公里)，共設13座車站(2座地下車站及11座高架車站)。



▲萬大線中正紀念堂站穿堂層



▲植物園站穿堂層



▲廈安站穿堂層



▲加蚋站穿堂層



▲永和永平國小站



▲中和站



▲連城錦和站



▲中和高中站



▲莒光站



▲金城機廠暨莒光站聯開大樓

歡迎投稿 CECAR10 明年一起組隊參加

Oct. 21-24, 2025 於韓國濟州島 (Jeju) 舉辦

The Asian Civil Engineering Coordinating Council (ACECC) was established on September 27, 1999 in Tokyo, with five civil engineering societies namely ASCE, CICHE, JSCE, KSCE and PICE to promote collaborative work towards sustainable development of infrastructure within the Asian Regions.

The Civil Engineering Conference in the Asian Region (CECAR) is a major activity of ACECC held on a triennial basis. Leaders and decision-makers from academia, industry, and the public sector get together to discuss the issue of infrastructure development in the Asian Region and disseminate developments and potential solutions to the world.

The theme for CECAR10 is Sustainable Management and Resilient Technology (SMaRT) in Civil Engineering. Technical areas covered will include all fields of civil engineering.

CECAR10 & KSCE 2025 CONVENTION

  [Home](#) [Login](#) [Sign up](#)

CECAR10
CIVIL ENGINEERING CONFERENCE IN THE ASIAN REGION
& KSCE 2025 CONVENTION

Sustainable Management and Resilient Technology (SMaRT) in Civil Engineering
October 21-24, 2025
International Convention Center (ICC) JEJU, Jeju, South Korea



The Asian Civil Engineering Coordinating Council

- Moscow Department Russian Society of Civil Engineers
- Nepal Engineers' Association
- The Institution of Engineers (India)
- The Institution of Engineers (Singapore)
- The Institution of Civil Engineers (UK)
- Institution of Engineers (Lanka)
- Indonesian Association of Civil Engineers
- Indonesian Ahli Konstruksi Indonesia
- Engineers Australia
- Engineers New Zealand
- Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering
- Philippine Institute of Civil Engineers
- Vietnam Federation of Civil Engineers
- Japan Society of Civil Engineers
- JSCE
- KSCE
- ASCE
- American Society of Civil Engineers

Important Dates

• Call for Session Opens	June 1, 2023
• Call for Abstract Opens	August 1, 2023
• Abstract Submission Deadline	August 20, 2024
• Notification of Acceptance	September 30, 2024
• Registration Opens	January 6, 2025
• Deadline for Full Paper Submission	January 31, 2025
• Speaker Registration Deadline	May 31, 2025
• Early Bird Registration Deadline	July 31, 2025

CECAR10

摘要徵求中：113.12.31 截止，歡迎投稿

Sustainable Management and Resilient Technology in Civil Engineering

Topics

- Construction Management
- Disaster Management
- Transportation
- Structural Engineering
- Geotechnical Engineering
- Construction Materials
- Hydraulic Engineering
- Coasts, Oceans, and Ports
- Environmental & Water Resources
- Nuclear & Renewable Energy
- Regional and Urban Planning
- Surveying & Geospatial Information
- Digital Technologies in Civil Engineering (AI, IT, Big Data, Digital Twin, etc.)
- Sustainable Development
- Foresight, Futures Thinking, and Education
- Other



詳情請見 CECAR10 官網



詳細年會訊息網頁

中國土木水利工程學會 113年年會 系列活動

11/14 工程參訪、11/15 年會大會、土木水利工程論壇、年會晚宴

時間：113年 11 月 14、15 日 (星期四、五)

工程參訪地點【石門水庫、桃園火車站】 年會大會地點【桃園市政府】



請多利用網路報名

報 名 表

使用紙本報名者 請填寫資料 (網路報名者 免填)

報名期限：113 年 10 月 20 日

姓 名			服 務 單 位		
會 員 證 號	(沒有請空白)		手 機 / 市 話		
E m a i l	(請提供)		膳 食 偏 好	☐ 葷食 ☐ 素食	
參 加 活 動 項 目 (請勾選)	☐ 11 月 14 日 (四) 上午 8:00-17:00 工程參訪				
	☐ 11 月 15 日 (五) 上午 9:30-11:40 年會大會				
	11 月 15 日 (五) 下午 13:00-14:30 論壇一、二 (二選一)				
	☐ 論壇一：桃園市捷運工程現在及未來 ☐ 論壇二：學生BIM競賽優勝發表				
	11 月 15 日 (五) 下午 15:00-16:30 論壇三、四 (二選一)				
	☐ 論壇三：你AI了沒？人工智慧與工程產業轉型 ☐ 論壇四：英語簡報競賽優勝發表				
	☐ 11 月 15 日 (五) 下午 17:00-20:30 歡迎酒會 及 頒獎晚宴				
年會大會安排有多趟 專 車 接 駁，接駁資訊請至年會官網查詢					
報 名 費 用	☐ 工程參訪： 600元 (報名費一律 600元、無免費名額) ☐ 晚宴費用：1,000元 (以下身分得享晚宴免費) ☐ 邀請晚宴：本學會理監事、邀請貴賓、主持人、演講人等晚宴免費 ☐ 贊助晚宴：每贊助 20,000元，得享一位晚宴免費名額 以此類推，每單位最多四位晚宴免費			紀念品專區	
					
付 款 方 式	☐ 網路繳費 https://cart.cashier.ecpay.com.tw/qp/uVSF ☐ 紙本信用卡 請填寫下面 紙本信用卡授權書				
				 2025 年三角桌曆	
發 票 開 列	☐ 二聯式 ☐ 三聯式 統一編號：_____				
	發票抬頭： ☐ 同本人 ☐ 同服務單位 ☐ 其他 (請填寫)：_____				
身 分 證 字 號	下午論壇均提供認證積分服務、需提供身分證字號				
技 師 積 分	☐ 需要 (限技師、請填寫科別)		科 別		
公 務 人 員	☐ 需要 (限公務人員)		參 訓 證 明	☐ 需要 (請先勾選、事後恕不補發)	

年會報名費 **紙本信用卡授權書** (僅供本學會 113年年會使用)

卡 號		有效日期	月	年	末 三 碼	
持卡人簽名		金 額				

聯絡窗口 吳玕璇小姐 - Tel: (02) 2392-6325 #22、email: service@ciche.org.tw、Fax: (02) 2396-4260

填妥請 email 或 傳真 回本學會 (網路報名者免填)