

經費來源： ☐ 01 當年度公務預算 ☒ 02 委託補助計畫

機密(E)： ☐ 是 ☒ 否

出國類別： ☐ A 考察/訪問 ☒ B 學術會議/研討會

☐ C 進修/研究 ☐ D 工作會議

第 18 屆世界地震工程研討會
The 18th World Conference on Earthquake Engineering

出國報告書

單位名稱： 國家災害防救科技中心

出國人姓名職稱： 吳秉儒 副研究員

出國地點： 義大利米蘭

出國日期： 民國 113 年 6 月 27 日至 113 年 7 月 8 日

報告日期： 民國 113 年 10 月 4 日

摘 要

第 18 屆世界地震工程研討會於 113 年 7 月 1 日至 5 日在義大利米蘭舉辦，除了大會邀請演講外，主要討論議題包括地盤運動及地震輸入、大地地震工程及場址效應、地震危害及風險評估、海嘯及多災害風險評估、耐震設計及模擬、評估與補強、人工智慧與機器學習、地震工程與耐震規範、混凝土、鋼構、磚造與木結構、橋梁及重要設施、隔震及消能控制裝置、結構健康監測、實驗測試、非結構元件、文化資產及歷史建築、災害調查及現地觀察、社區及設施之耐震韌性等。

職出席本次研討會，並口頭發表研究論文，題目為「臺灣大規模地震情境模擬及防災規劃應用」(Large-scale Earthquake Scenario Simulation and Application on Disaster Reduction Planning in Taiwan)。研討會期間，聆聽多項議題之發表，並與各國學者交流研討，蒐集世界各國地震工程及地震防災相關領域之最新研究成果資料，做為地震減災工作規劃之參考。

目 次

一、目的	1
二、會議紀要	2
三、心得及建議	19
四、出國效益	22
附錄—研討會議程	23

一、目的

世界地震工程研討會(World Conference on Earthquake Engineering)係由國際地震工程學會每四年舉辦一次之大型國際研討會，為世界各國學者交流最新地震減災技術及災害防救經驗的重要平台。本屆於 113 年 7 月 1 日至 5 日在義大利米蘭舉辦。為期五天的研討會，除了大會專題演講之外，討論議題包括地盤運動及地震輸入、大地地震工程及場址效應、地震危害及風險評估、海嘯及多災害風險評估、耐震設計及模擬、評估與補強、人工智慧與機器學習、地震工程與耐震規範、混凝土、鋼構、磚造與木結構、橋梁及重要設施、隔震及消能控制裝置、結構健康監測、實驗測試、非結構元件、文化資產及歷史建築、災害調查及現地觀察、社區及設施之耐震韌性等。國內地震工程相關研究單位、大學院校及顧問公司皆派員參加，共有超過 50 位出席本次研討會。

本次發表論文題目為「臺灣大規模地震情境模擬及防災規劃應用」，於研討會進行口頭發表，呈現本中心地震衝擊評估技術研發及防災規劃應用成果。除了將研究成果與世界各國學者交流研討之外，將蒐集世界各國地震工程技術、地震危害及風險評估、大地工程、橋梁及重要設施等相關領域之最新研究成果資料，做為地震減災工作規劃、精進地震衝擊評估技術之參考。

二、會議紀要

第 18 屆世界地震工程研討會為期五天，研討會在義大利米蘭的 MICO 會議中心舉行。主辦單位每天中午及傍晚皆安排一小時的大會專題演講(Keynote Lecture)，美國地震工程研究學會(Earthquake Engineering Research Institute, EERI)亦於傍晚安排一小時的邀請演講；第五天下午安排至歐洲結構評估實驗室、歐洲地震工程研究及訓練中心、米蘭捷運系統等現地參訪。研討會共開設了 161 個議程，在上午安排兩個、下午安排一個報告時段，口頭報告有上台報告(Stage Presentation)及螢幕報告(Monitor Presentation)兩種型式；上台報告分成 16 個場地同時進行，螢幕報告最多有 30 個螢幕同時進行(報告者站在螢幕旁進行口頭報告)，各時段議程安排如附錄。本次研討會共收錄了 3,820 篇論文，參與人數達 4,250 人，還有 110 個來自世界各國的廠商及學會組織參與展覽攤位，圖 1 是研討會第一天開幕式會場情形。

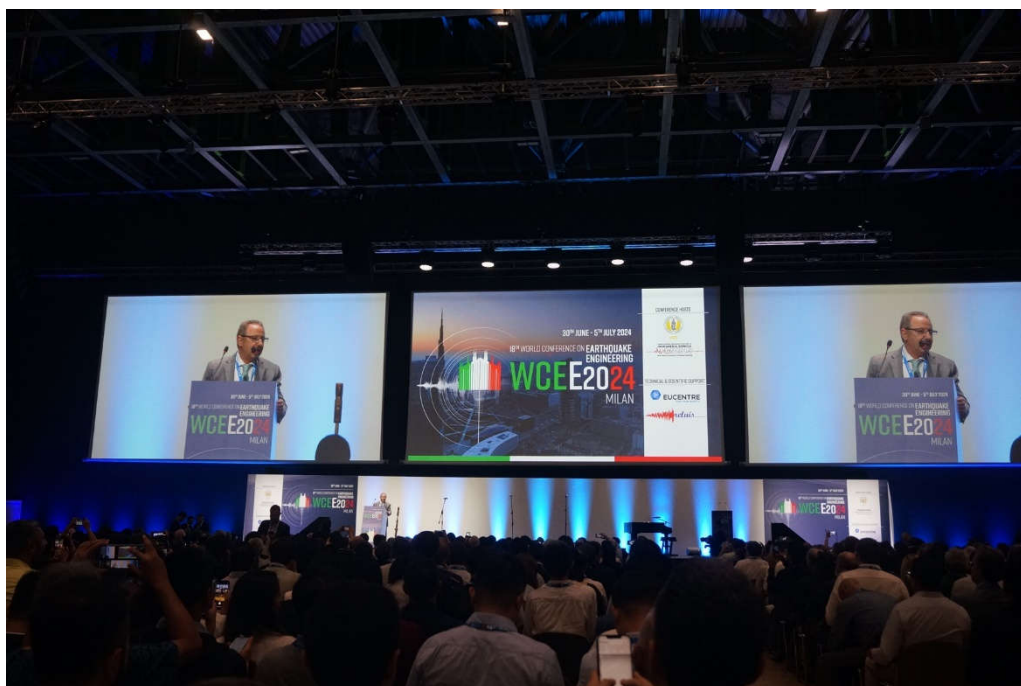


圖 1、研討會開幕式

2.1 大會專題演講

挑選三個專題演講內容說明如下：

1. 以性能為基礎的地震工程：由五個簡單元素敘述(Performance-Based

Earthquake Engineering: A Chronicle in Five Easy Pieces)

由美國加州柏克萊大學土木與環境工程研究所 Jack P. Moehle 教授主講，從 1906 年舊金山地震至今，以五個階段說明以性能為基礎的地震工程之演進過程：包含(1)位移設計法、(2)既有建物耐震性能評估與補強、(3)第二代性能設計法(考慮風險)、(4)高層建築採用非線性動力分析、(5)地震損壞及可修復性設計。經由結構設計控制變形及損壞程度在目標範圍內，維持建物的功能性及可修復性(圖 2)。

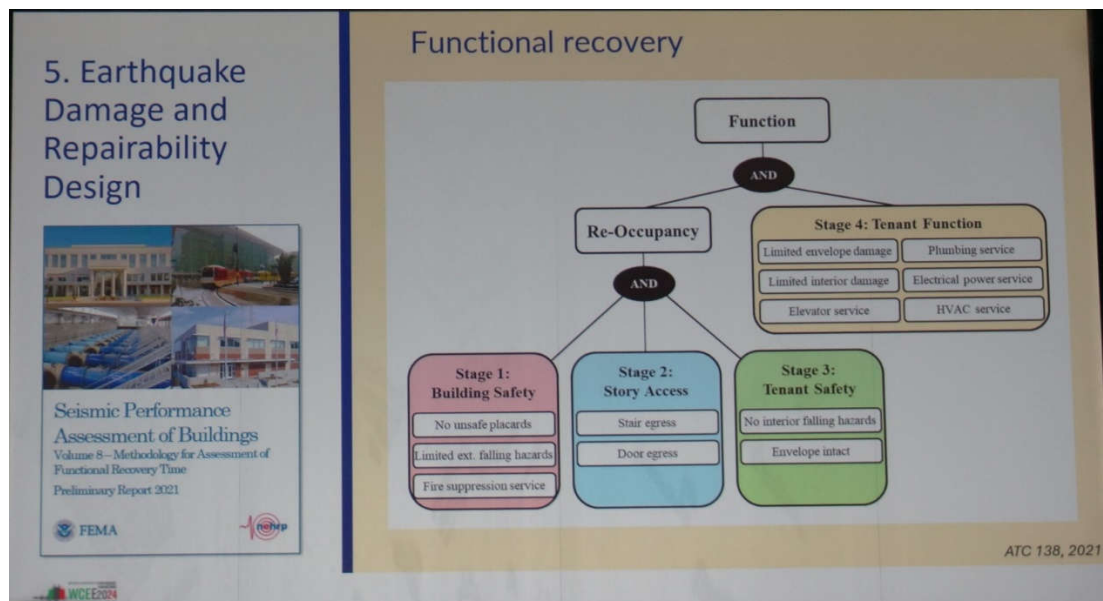


圖 2、以性能為基礎之地震工程設計 - 考慮地震損壞及可修復性

2. 性能設計於大地地震工程之演進(The Evolution of Performance-Based Design in Geotechnical Earthquake Engineering)

由美國華盛頓大學退休教授 Steve Kramer 主講，從過去世界上幾次重大地震災害歸納致災型態，將性能設計法之性能基準(圖 3)導入大地地震工程，考慮不同回歸期地震力，達到小震不壞、中震可修、大震不倒之性能要求。近年來進一步將鋼結構設計使用之荷載與抗力係數設計法(Load and Resistance Factor Design, LRFD)導入大地工程構造物設計，考慮構造物產生裂縫寬度及需要修復程度，定義輕微損壞、中度損壞、嚴重損壞、完全損壞狀態，建立四種損壞狀態之易損性曲線；並將載重、承載力的不確定性納入考慮，推求達到極限狀態的危害曲線。工程師考慮受震反應、損壞狀態、損

失，經由現地調查、室內試驗及詳細分析降低不確定性，提出更完善之設計方案。

Performance-Based Seismic Design in U.S.

Discrete hazard level approach
Vision 2000 – mid-1990s

- Multiple ground motion return periods
- Different performance objectives for each return period

Vision 2000		Earthquake Performance Level			
		Fully Operational	Operational	Life Safe	Near Collapse
Earthquake Design Level	Frequent (43 yrs)				
	Occasional (72 yrs)				
	Rare (475 yrs)				
	Very Rare (975 yrs)				

Diagonal labels in the matrix: Essential/Hazardous, Basic, Safety Critical

圖 3、性能設計法之性能基準

3. 從模擬驅動的都市減災到生成式人工智慧強化的地震設計(“Simulation-driven” Urban Disaster Mitigation to “Generative AI-powered” Seismic Design)

北京清華大學陸新徵(Xinzheng Lu)團隊開發建物三維動態模擬技術，可進行超高樓建物動態模擬、城市非線性動態分析(圖 4)。結合地理資訊系統(Geographic Information System)及建物資訊模型(Building Information Model)建立城市資訊模式，使用 GPU 建置高效能伺服器。已有研究成果包括：(1) 運用地震量測記錄，可進行即時地震損壞評估、震後損壞評估；(2) 考慮風向及風速，進行震後火災起火及延燒模擬、火災避難路線分析；(3) 強風對結構震動之影響評估；(4) 考慮掉落物，進行人員避難模擬，挑選避難疏散場所；(5) 加入復原人力資料，進行城市復原時間模擬；(6) Covid-19 之臨時醫院病床數預估；(7) 使用生成式 AI 產製建築設計圖(梁、柱、牆平面位置)，進行隔震設計、減震設計等。

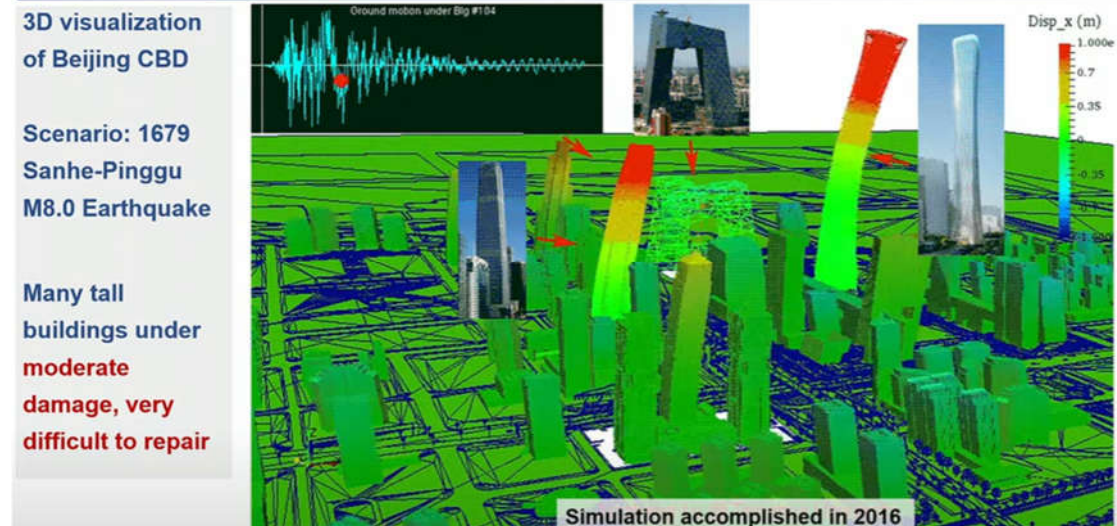


圖 4、三維建物動態模擬及展示

2.2 各議題口頭報告

本次研討會職以「臺灣大規模地震情境模擬及防災規劃應用」(Large-scale Earthquake Scenario Simulation and Application on Disaster Reduction Planning in Taiwan)於地震危害及風險評估(Seismic hazard and risk assessment)之第一個子議題「地震風險模式於決策支持：進展及應用」(Seismic Risk Models for Decision Support: Advancements and Applications)進行口頭報告。地震危害及風險評估議題共有 16 項子議題，是各項議題中為數最多者，可見研討會主辦單位對這項議題的重視及各國學者熱衷投入的程度。以下在地震危害及風險評估議題之四項子議題，及重要設施衝擊分析、地動模擬、土壤液化分析、海嘯模擬等議題中各挑選數篇論文，摘錄各研究重點說明如下：

1. 地震危害及風險評估

- (1)臺灣大規模地震情境模擬及防災規劃應用 (Large-scale Earthquake Scenario Simulation and Application on Disaster Reduction Planning in Taiwan)，作者：B. R. Wu, S. S. Ke, K. F. Ma, C. H. Chan and C. H. Lin

本中心配合內政部規劃 2023 年國家防災日地震演練擬於新竹地區舉辦之需求，與國內學術界合作，設定震源為新城斷層規模 6.9 地震，進行三維地動模擬及各項災損推估，以 500 m 網格呈現建物破壞、人員傷亡、避難

收容需求、震後火災、道路橋梁阻斷、及維生設施受損情形；並且考量防災規劃需求，以主題圖方式闡述救援及醫療、避難收容等衝擊議題。研究成果提供內政部應用於 2023 年國家防災日地震演練，進行救災指揮調度、救災支援路線、收容場所、緊急資通訊等項目之實兵演練操作(圖 5)。

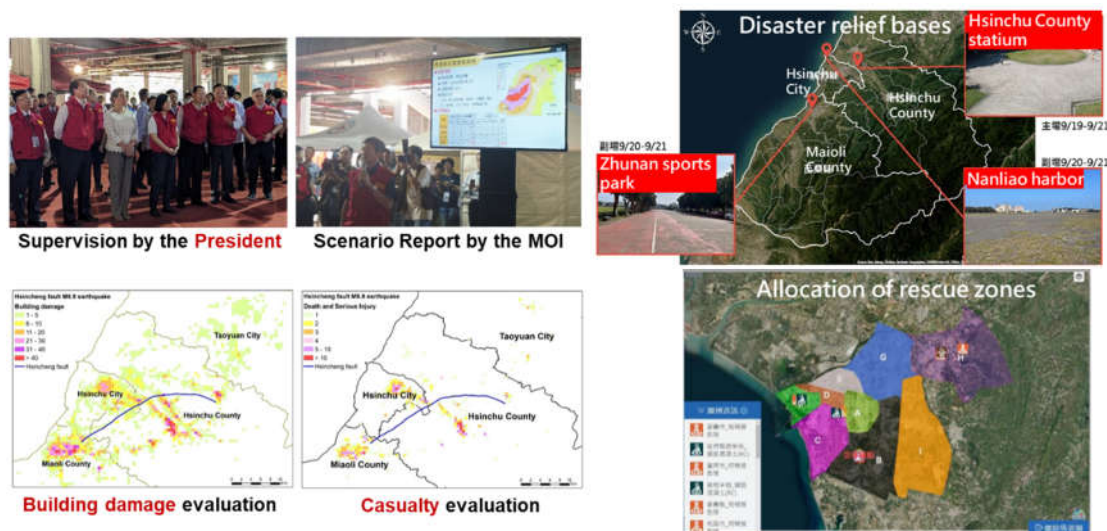


圖 5、地震情境模擬結果應用於 2023 年國家防災日地震演練操作

(2)全球地震模型之地震危害分析總彙，從 2018 年至今之應用及未來進展 (GEM'S Global Seismic Hazard Mosaic: Updates Since the First Release, Applications, and Upcoming Activities)，作者：K. Johnson, M. Villani, K. Bayliss, C. Brooks, A. Rood, R. Styron, M. Simionato, M. Pagani

全球地震模型(Global Earthquake Model, GEM)組織彙集全球超過 30 個國家/地區之地震危害度模型(圖 6)，臺灣地震模型(Taiwan Earthquake Model, TEM)¹亦是其中之一，國科會「大規模地震情境模擬及災損推估」計畫中有多位教授參與 TEM 相關研究，我國目前完成之地震情境模擬亦有多項斷層參數來自 TEM 研究成果。各國採用當地之地質調查及地震觀測資料，提出地動衰減式，產製機率式地震危害圖，包括 475 年及 2500 年回歸期之最大地表加速度、震譜加速度分布圖等。2018 年彙整產製第一版全球地震危害圖，於 2023 年更新第二版(圖 7)，由圖可見臺灣位居地震高危害地區。GEM 組織正與各國學研單位合作，推動地震危害圖於地震情境模擬、防災規劃及

¹ 臺灣地震模型(Taiwan Earthquake Model)網站：<https://tem.tw/>

地震保險等領域之應用。

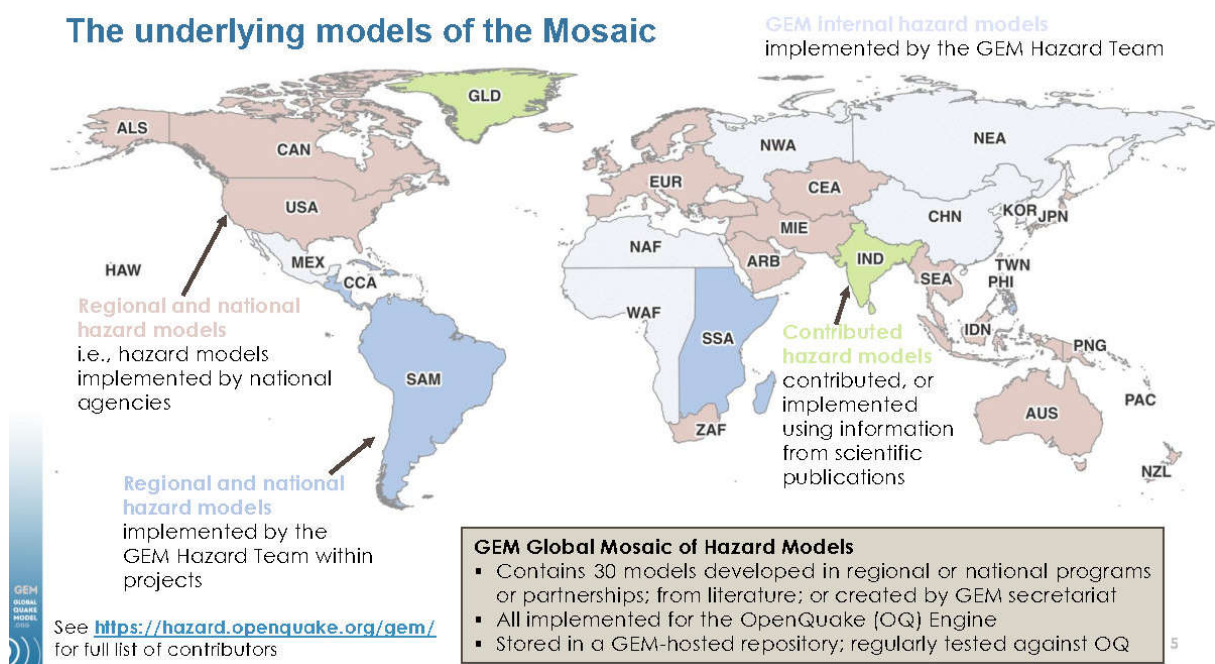


圖 6、參與全球地震模型之國家/區域模式

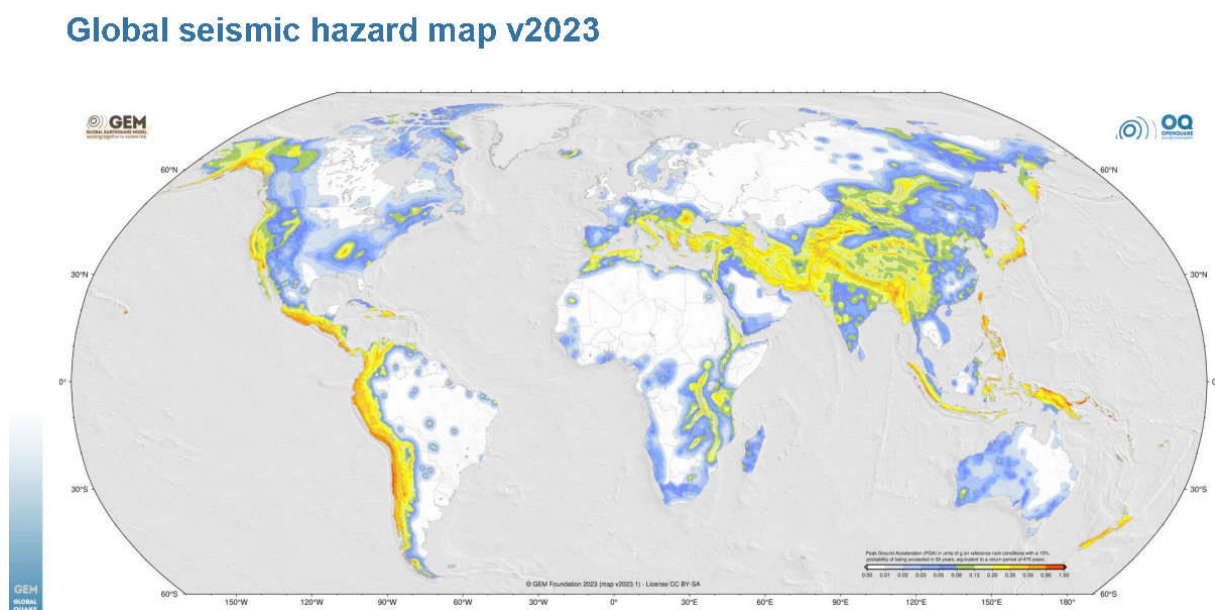
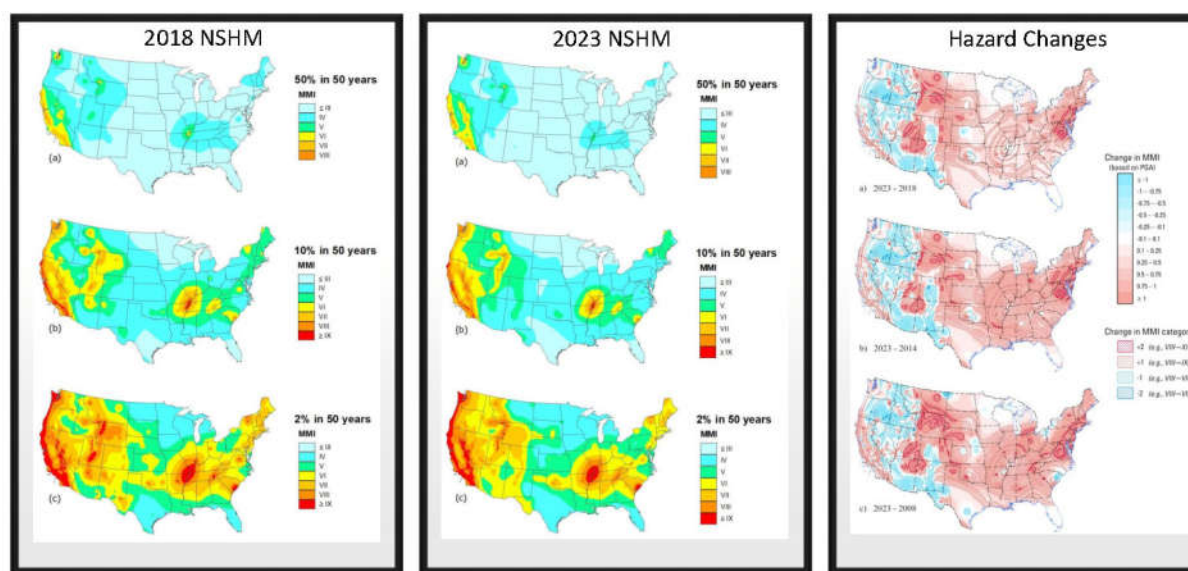


圖 7、2023 年版全球地震危害潛勢圖

(3)綜觀美國發展地震風險推估(A Perspective on Evolving Seismic Risk Estimates in the United States)，作者：K. Jaiswal, M. Petersen, N. Field, K. Rukstales, D. Bausch, J. Rozelle, G. Hayes

根據美國地質調查所(U. S. Geological Survey, USGS)2018 年及 2023 年公布之地震危害潛勢圖(圖 8)，次圖(a)及次圖(b)由上而下分別為 2018 年版、

2023 年版 50 年超越機率 50%、10%、2%之地動分布，以修正麥卡利震度 (Modified Mercalli Intensity, MMI) 表示，分別代表常遇地震、475 年迴歸期、2500 年迴歸期地震情境；次圖(c)由上而下分別為 2023 年版 475 年迴歸期震度分布減去 2018 年版、2014 年版及 2008 年版之差異值。採用美國聯邦緊急事務管理署(Federal Emergency Management Agency)所開發之災損評估軟體 HAZUS 6.0 版分析建物破壞、人員傷亡、短期收容需求、設施機能損壞及回復時間、直接經濟損失等，推估各迴歸期地震作用造成之年化損失金額(圖 9)。由圖可看出損失相對較高者位於美國西部(加州、內華達州、華盛頓州)、中部(猶他州、內華達州)、阿拉斯加及夏威夷等地，美國聯邦政府視各區域地震危害潛勢補助各州預算，推動各項防災計畫。



(a)2018 年版

(b)2023 年版

(c)各年份版本差異

圖 8、美國地震危害潛勢圖及各年份版本之比較

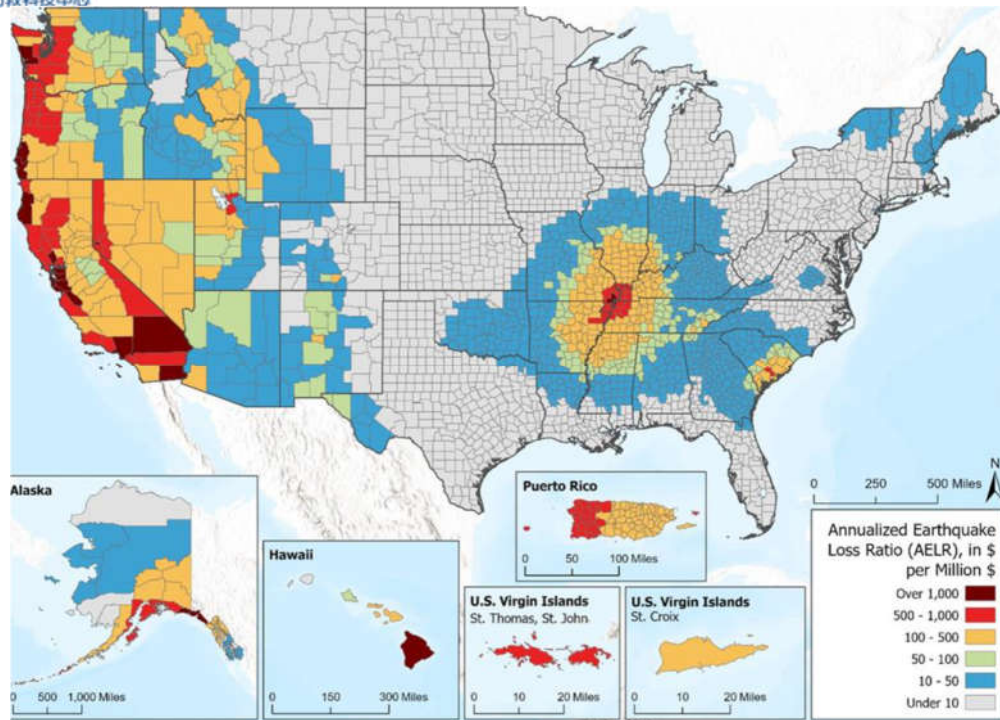


圖 9、美國 2500 年迴歸期地震作用之年化損失比(除以各州建物每百萬美元重置成本)

(4)以 18 年醞釀的模型闡述加拿大地震風險(Characterizing Earthquake Risk in Canada: a Model 18 Years in The Making)，作者：T. Hobbs, P. LeSueur, M. Journey

加拿大地質調查所(Geological Survey of Canada)近期公開了全國地震風險評估結果，包含機率式地震危害度分析及兩組定值式地震情境模擬圖資，災損推估採用美國 HAZUS 軟體，暴露量則採用加拿大各省人口分布及建物種類資料(圖 10)，分別考慮 50 年、100 年、250 年、500 年、1000 年、2500 年迴歸期地震，計算各迴歸期地震引致全國經濟損失如圖 11(a)、各省經濟損失推估如圖 11(b)；其中以英屬哥倫比亞省(British Columbia)、魁北克省(Quebec)和安大略省(Ontario)之經濟損失為前三高者。除此之外，設定德納利斷層(Denali Fault)規模 7.4 地震、卡斯卡迪亞巨大錯動(Cascadia Megathrust)規模 9.0 地震，推估造成之建物破壞(紅單及黃單數量)、人員傷亡、需就醫人數、經濟損失等。研究成果公開於 RiskProfiler 網站(<http://www.riskprofiler.ca>)，提供政府決策者規劃防災對策及因應措施參考；並將各項分析結果圖資公開於 GitHub 網站(<https://github.com/OpenDRR>)供

各界下載及加值處理應用。

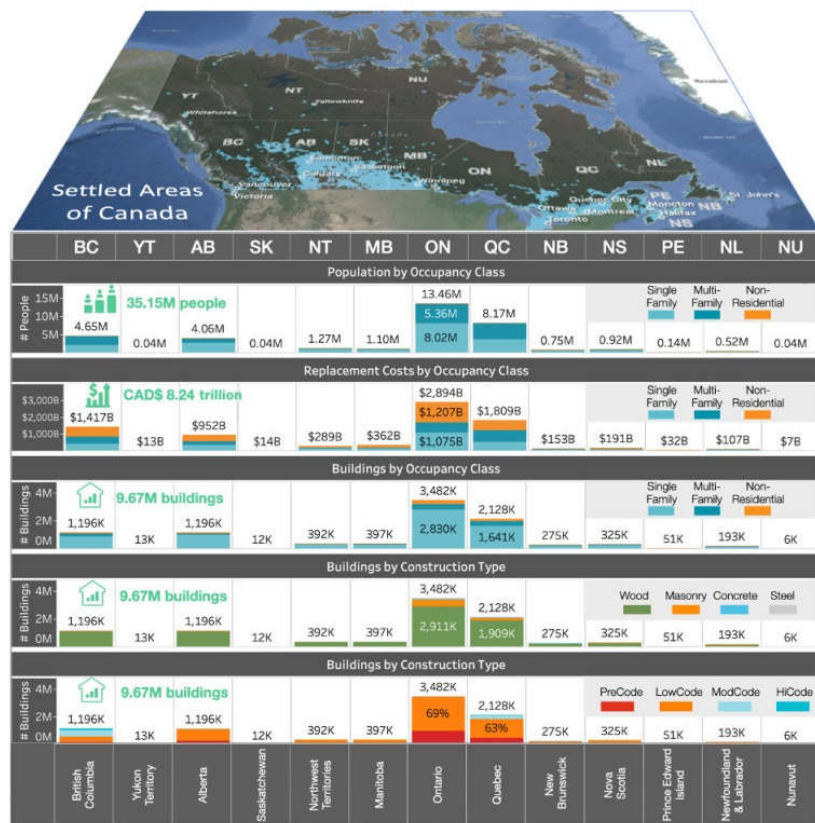


圖 10、加拿大各省人口分布及建物種類分布

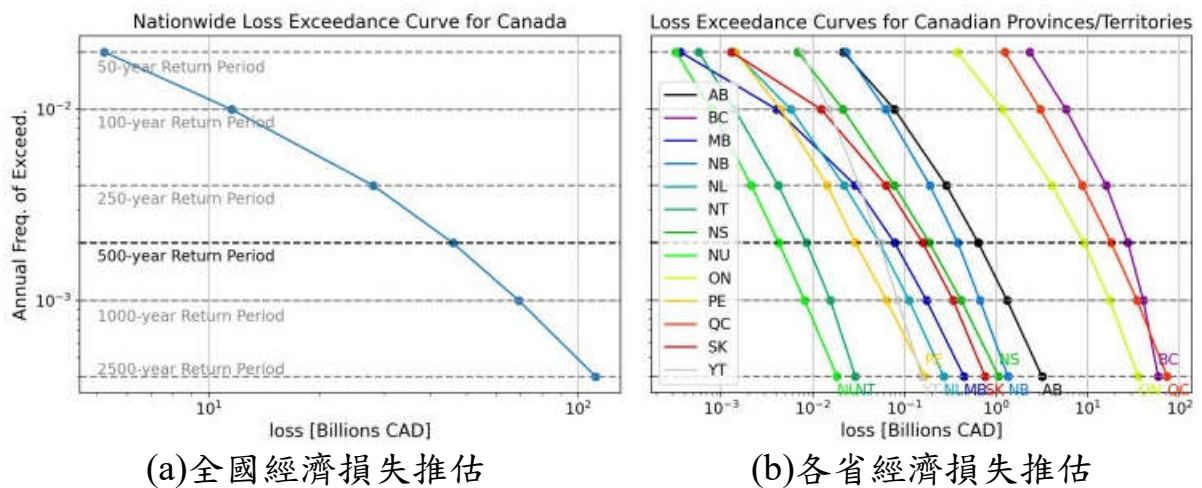


圖 11、加拿大各迴歸期地震情境模擬之經濟損失推估

(5)運用地震風險圖於發展永續降低風險計畫(The Use of the Seismic Risk Map for the Development of a Sustainable Risk Reduction Program)，作者：M.A. Zanini, L. Hofer, F. Faleschini, C. Pellegrino

此研究根據義大利 2011 年第 15 次人口及建物普查建物資料，依建造

年代(1919 年之前或之後)、構造類別(磚石造、鋼筋混凝土造)、設計力(重力設計、地震力設計)、樓層數(1 至 2 層樓或 3 層樓以上)，將建物分為 8 大類別，建構全國暴露量資料庫。地質資料採用 USGS 建置之地下 30m 平均剪力波速($V_{s,30}$)資料，由機率式地震危害圖拆解各省可能最大地震規模，以地動衰減式推估各地之地動分布，結合建物暴露量資料庫，計算各縣市、省份、區域之預期年損失(Expected Annual Loss, EAL)，如圖 12 次圖(a)、(b)、(c)，縱座標色階為歐元；並且調整建物模型參數，模擬所有建物完成耐震補強，符合該類型建物的耐震設計要求，重新計算建物補強完成之各縣市、省份、區域之預期年損失如次圖(d)、(e)、(f)。進一步進行建物耐震補強效益分析，計算建物補強所需之成本，及各類型建物完成耐震補強所減少之預期年損失(視為減災效益)；此外，縣市政府可根據地籍總收入訂定財產稅率，向房屋所有權人徵收財產稅獲得財政收入，推估不同稅率達到補強收支平衡所需年份，擬定合宜之建物補強政策及配套措施。

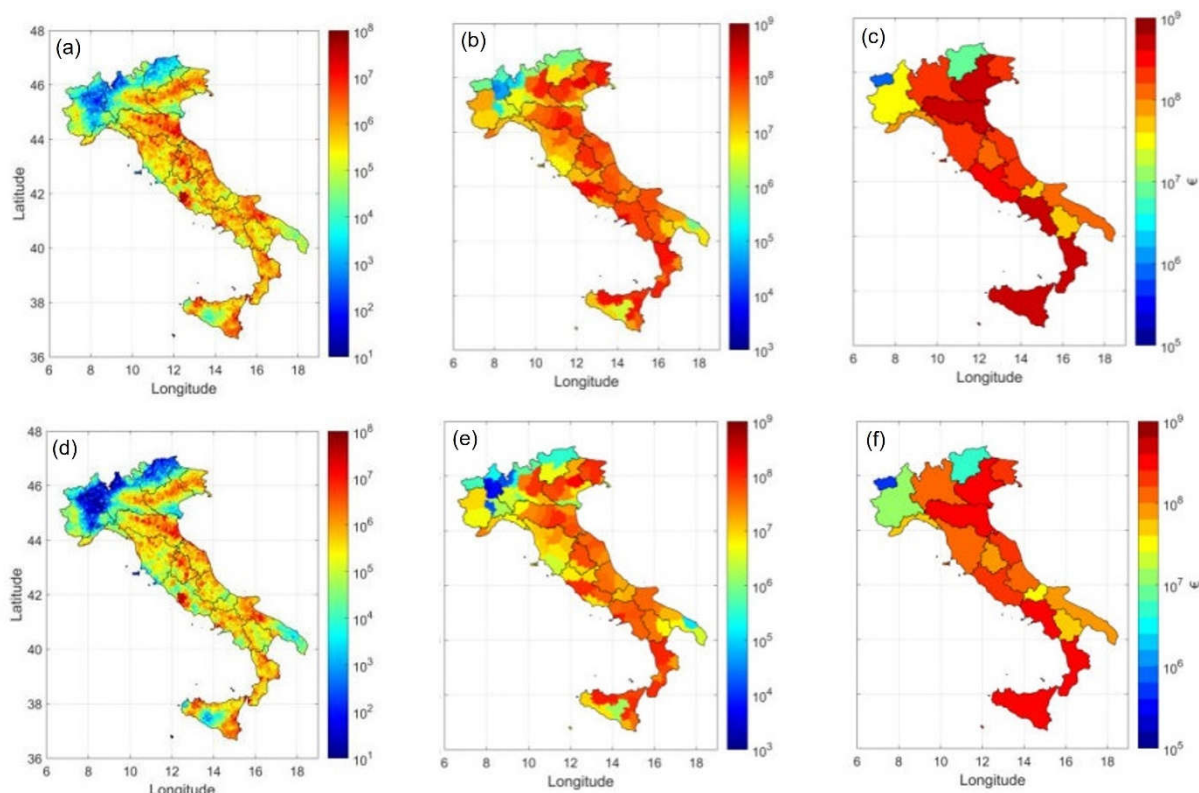


圖 12、義大利建物補強前後之預期年損失比較

(6) 日本強化地震危害評估之進展(Advancements in Improving Seismic Hazard Assessment for Japan)，作者：H. Fujiwara, N. Morikawa, S. Senna, T. Maeda, A. Iwaki, S. Kawai, S. Aoi, K.X. Hao

日本文部科學省地震調查研究推進本部於 2005 年提出第一版全國地震危害潛勢圖，後續於 2009 年、2014 年、2020 年更新(圖 13)，推估未來 30 年各區域之活動斷層可能發生之地震規模及發生機率；尤其在 2011 年東日本大地震之後，重新考慮地震活動模式、更新南海海槽(Nanki Trough)及相模海槽(Sagami Trough)之地震參數、地震及海嘯衝擊評估結果。文部科學省於 2016 年建立地震危害潛勢圖標準製作手法(Recipe)，包括島內活動斷層、隱沒帶板塊間、板塊內之特徵震源模式與參數、地下速度構造模型、地動推估模式、分析結果與實際地震案例驗證方式等。地震危害潛勢圖資公開於日本防災科學技術研究所之 J-SHIS 網站(<https://www.j-shis.bosai.go.jp/>)，供各界查詢參考。

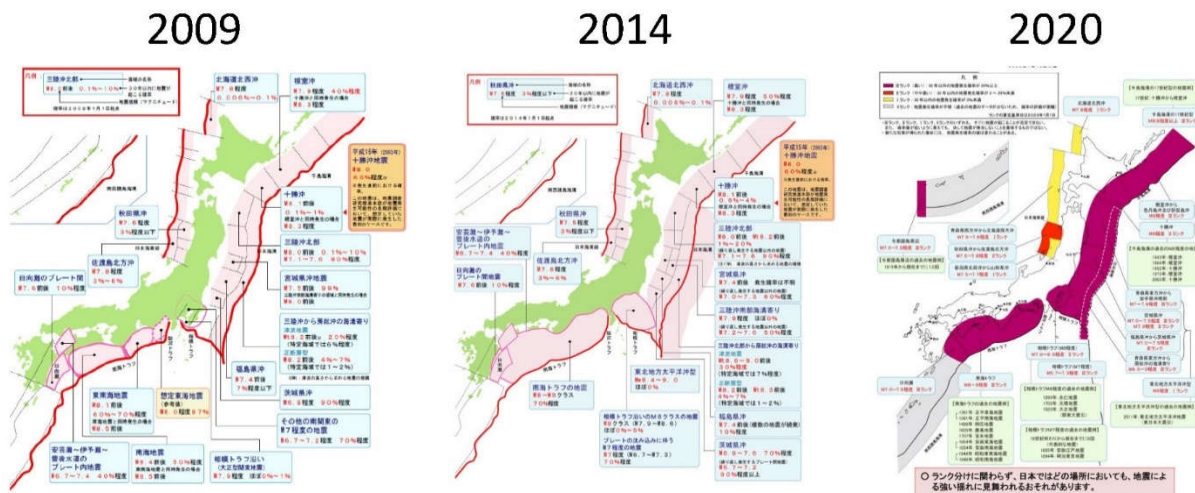


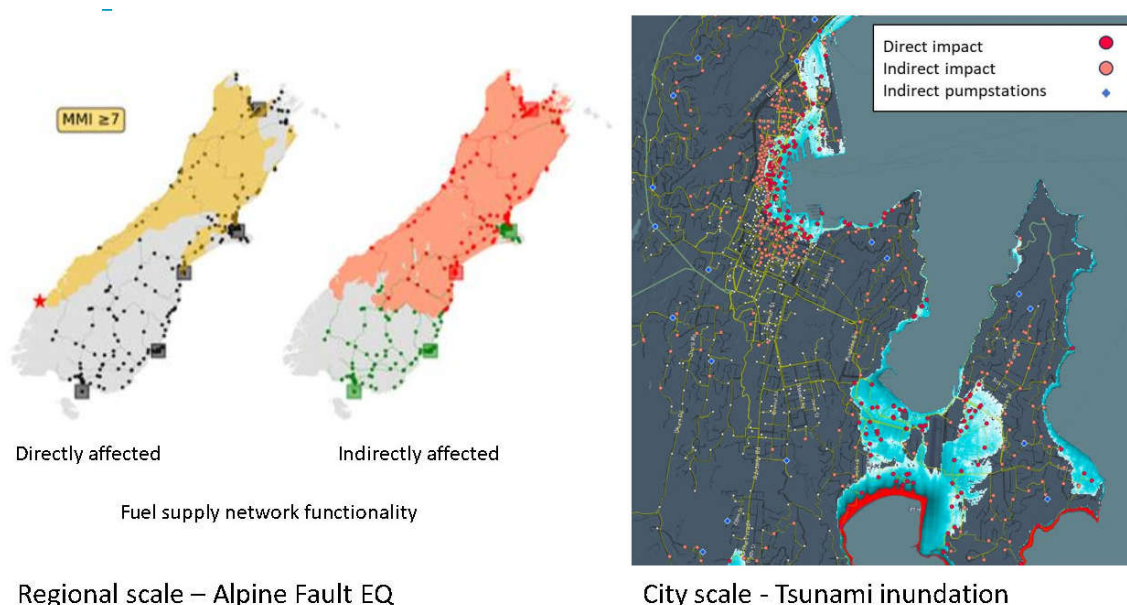
圖 13、日本地震危害潛勢圖版本演進

2. 重要設施衝擊分析

(1) 紐西蘭重要設施之地震風險及韌性評估(Seismic Risk and Resilience Assessments for Critical Infrastructure Networks in New Zealand)，作者：by L. Wotherspoon, C. Zorn, T. Logan, R. Mowll, C. Lan, S. Costello

紐西蘭由多個學研單位及組織合作，經由跨單位研究計畫及交流平台，例如 QuakeCoRE (<https://quakecore.nz/>)、Resilience to Nature's Challenges

(<https://resiliencechallenge.nz/>)，建置各種設施之基本屬性資料，發展重要設施地震風險及韌性評估方法，評估斷層錯動、地表振動、地滑、土壤液化、海嘯等天然災害造成之破壞及損失，並考慮各設施系統之相依性，評估直接衝擊及間接衝擊；例如圖 14 為阿爾卑斯斷層(Alpine Fault)地震對供油系統之直接衝擊及間接衝擊分析，以及海嘯溢淹對供水加壓站造成直接衝擊及間接衝擊分析結果，評估受影響範圍及人數、系統回復所需時間等，提供政府單位或設施管理者擬定因應對策參考。



Regional scale – Alpine Fault EQ

City scale - Tsunami inundation

圖 14、紐西蘭地震模擬對供油設施及海嘯對供水加壓站之衝擊分析

(2) 緊急醫療照護網絡之地震效能評估模擬平台 (Simulation Platform for Earthquake Performance Evaluation of Urgent Medical Care Networks)，作者：J.C. de la Llera, P. Aguirre, G. Candia, A. Cataldo, M. Monsalve, J.P. Munoz, M. Arre, F. Bertín, G. Angulo, J. Verschae, J.C. Hernández, Y. Merino, J. Guaman

智利天主教大學發展了一套緊急醫療照護網絡之地震效能評估方法 (Simulation Planner for Network emergency Response, SimPlaNeR) 如圖 15，包含地動模擬、醫院結構及醫療設備受損評估，評估醫院受損導致醫療能量之折損；採用 HAZUS 評估人員不同等級受傷人數，並且建立傷患在醫院內接受醫療處置之人流模擬模式。此外，系統規劃模組提供外部資源挹注以提升

醫療能量之選項，例如開設野戰醫院、投入更多第一線救災人員、優化避難及運送傷患方式、更有效協調整合醫療中心人力及物資，可提供緊急醫療救護效能評估及資源調度規劃參考。

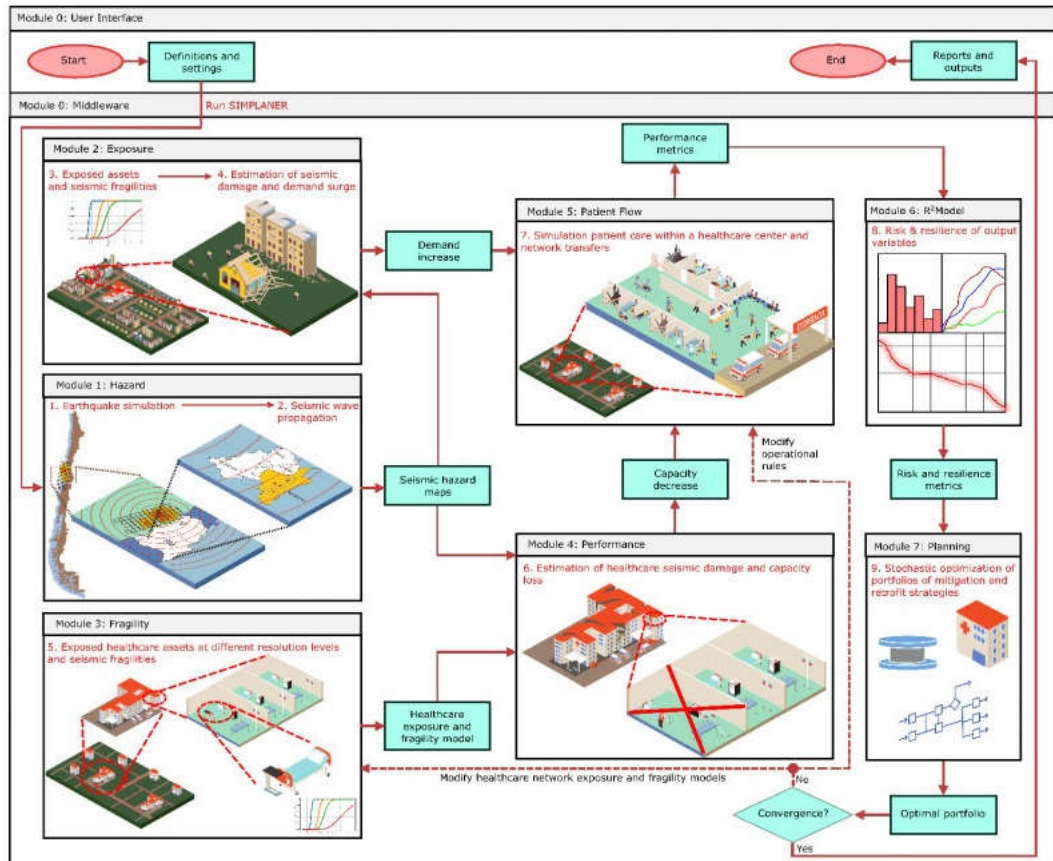


圖 15、智利緊急醫療照護網絡地震性能評估方法

(3)提升地震韌性：系統化評估緊急應變運作風險(Enhancing Seismic Resilience: A Systemic Approach for The Risk Assessment of the Emergency Services)，作者：A. Poudel, K. Pitilakis, V. Silva

根據 2010 年智利規模 8.8 地震、2011 年紐西蘭基督城規模 6.2 地震、及 2016 年日本熊本規模 7.0 地震經驗，消防救援及醫療救護之運作受到重要設施損壞之影響很顯著。此研究運用地理資訊圖資，考慮緊急應變作業設施相依性，建立系統受震損失評估方法。以 1978 年塞薩洛尼基(Thessaloniki)規模 6.5 地震為案例，當時災後調查所得建物紅單佔 6.4%、黃單佔 19.1%，以此地震進行情境模擬。建立道路沿線建物倒塌阻斷道路之評估方法，分析建物倒塌阻斷道路對消防救援、醫療救護運作之影響(圖 16)。圖 17 為考慮

/不考慮道路沿線建物倒塌相依性之醫院運作效率損失比較，在震央附近、建物較密集地區，考慮道路沿線建物倒塌相依性，醫院運作效率損失較多。

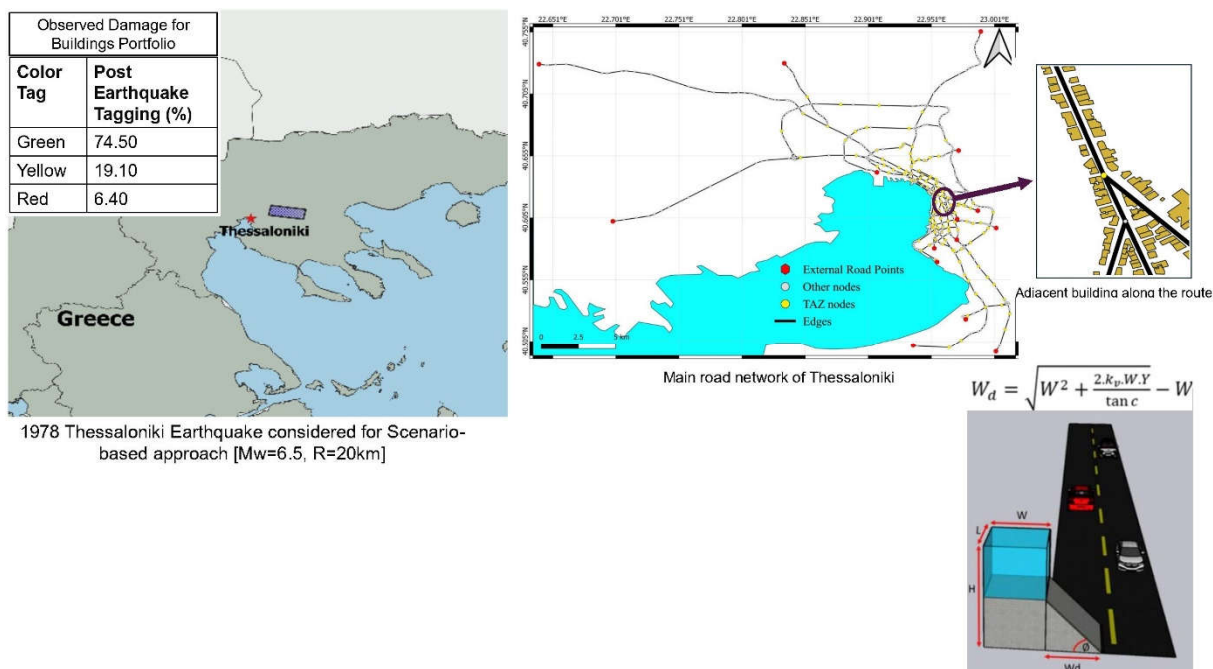


圖 16、希臘建物倒塌對道路阻斷分析模式及地震情境模擬

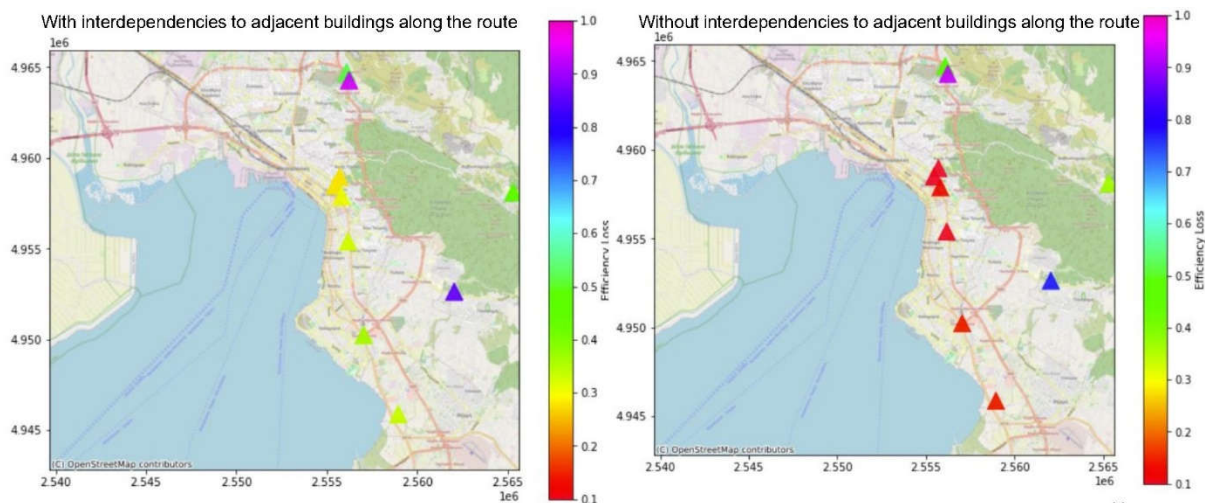


圖 17、希臘考慮/不考慮道路沿線建物倒塌相依性之醫院運作效率損失比較

3. 地動模擬、土壤液化分析、海嘯模擬

(1) 綜觀美國西部新一代地動衰減式研究計畫推展(An Overview of a New Initiative: NGA-West3 Research Program)，作者：Y. Bozorgnia, N. Abrahamson, L. Alatic, G. Atkinson, D. Boore, T. Buckreis, K. Campbell, B. Chiou, J. Donahue, N. Gregor, Z. Gulerce, I. Idriss, T. Kishida, A. Kottke, N.

Kuehn, M. Li, G. Parker, J. Stewart, K. Sung, R. Youngs

美國西部新一代地動衰減式研究計畫由太平洋地震工程研究中心 (Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER) 與 USGS 及相關研究單位合作，自 2003 年起蒐集世界各國地震資料，包含臺灣、日本、智利、義大利、希臘、土耳其、紐西蘭等國家(圖 18)，建立地動反應隨著震央距離衰減的關係式，2008 年提出第一版、2014 年提出第二版，目前正在發展第三版，已蒐集超過 30 萬筆地震資料，預計 2025 年對外發表研究成果。

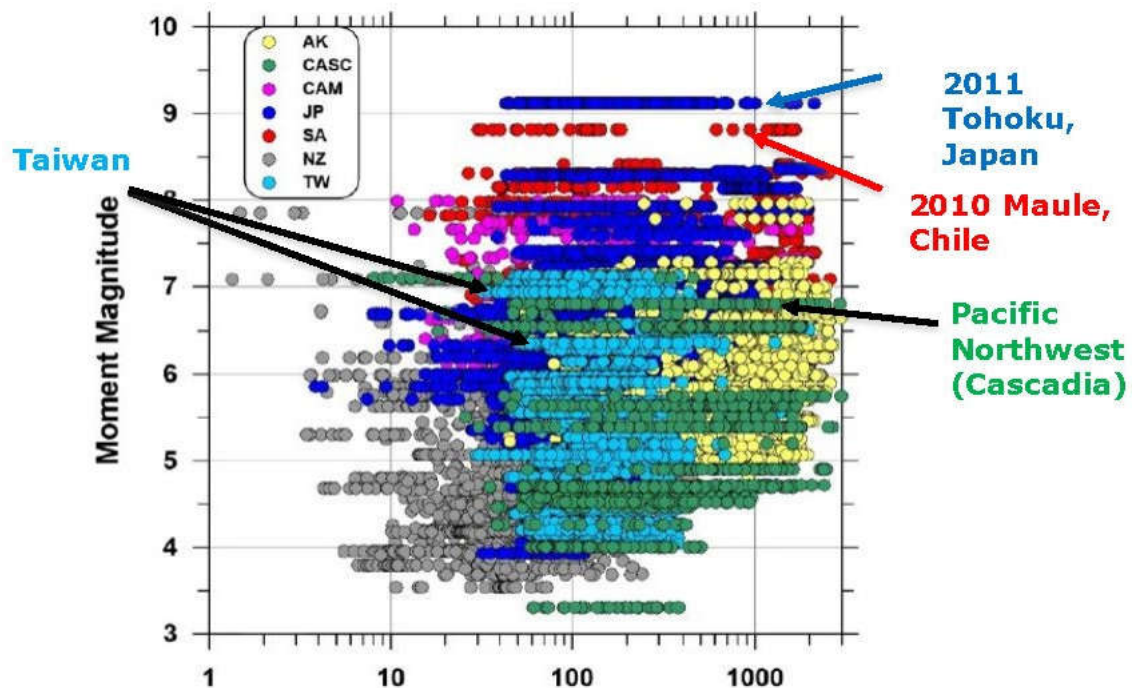


圖 18、新一代地動衰減式蒐集世界各國地震資料(地震規模與震央距離)

(2) 運用新一代液化資料庫以機器學習分析液化因素(A Machine Learning Analysis of Liquefaction Factors Using the Next Generation Liquefaction Database)，作者：P. Zimmaro, K.S. Hudson, K. Ulmer, S.J. Brandenberg, J.P. Stewart, S.L. Kramer

以往土壤液化分析採用之液化案例資料較為有限，此研究採用由 PEER 等單位推動之新一代液化計畫(Next Generation Liquefaction Project)建置之資料庫(<http://www.nextgenerationliquefaction.org>)，包含美國及數個國家之鑽孔資料及圓錐貫入試驗資料。採用隨機森林(Random Forest)演算法，及 546 筆圓錐貫入試驗資料(355 筆為液化場址、191 筆無液化場址)，挑選地震規

模(Magnitude, M)、最大地表加速度(Peak Ground Acceleration, PGA)、覆土應力(σ_v)、有效覆土應力(σ'_v)、正規化錐尖阻抗($q_{c1N,CS}$)、土壤種類參數(I_c)、地下水位等七項參數。參數研究分為四組，每組挑選 4 至 6 項參數；建立邏輯樹分析架構，進行機器學習訓練(80%資料筆數)及成果檢核(20%資料筆數)。以四項指標評估各項參數對土壤液化的重要性，圖 19 是其中一組評估結果，某項參數之點位在橫座標之分布越分散，代表缺少這項參數對分析結果之影響越大，即此項參數越重要。整合四項評估指標之分析結果，以最大地表加速度、地震規模、土壤種類參數為土壤液化最重要的參數。

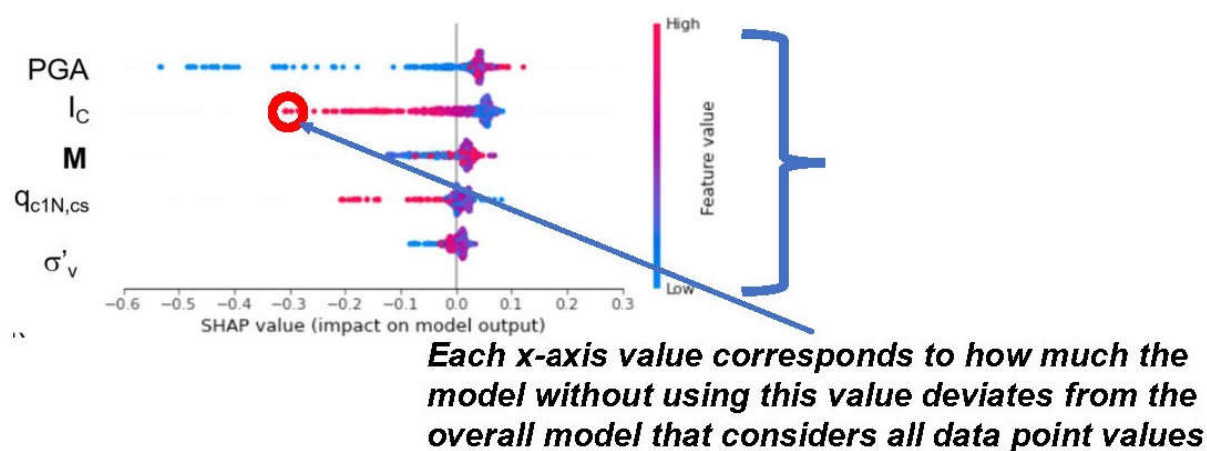
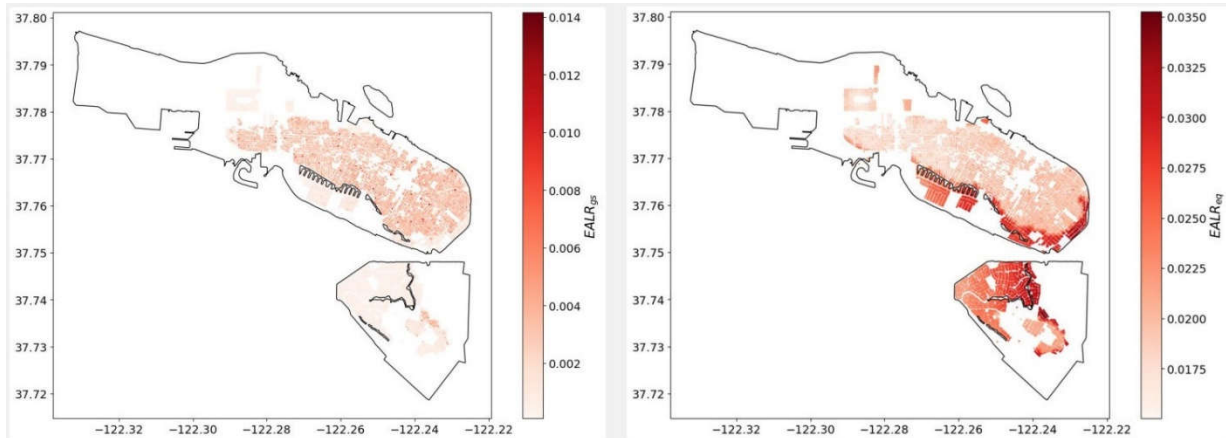


圖 19、土壤液化參數重要性分析

(3)考慮液化及海平面上升之區域地震風險評估(Regional Seismic Risk Assessment Including Liquefaction and Sea Level Rise)，作者：E. Mongold, J. Sobers & J.W. Baker

美國史丹福大學建立一套考慮土壤液化及海平面上升之區域地震風險評估方法，參照機率式地震危害度分析結果，設定地震迴歸期，獲得地動分布；根據建物建造年代及構造類別，建立建物易損性曲線。結合地動分布及建物易損性曲線，計算預期年損失(EAL)，除以建物資產價值得到預期年損失率。再考慮土壤液化對建物之破壞，以及全球暖化導致海平面上升 0.75m 及 1.5m，對低窪地區建物產生之影響，計算預期損失率。以美國加州舊金山灣區的阿拉米達地區為分析標的，圖 20(a)為地動造成之預期年損失率，圖 20(b)為地動加上土壤液化造成之預期年損失率，可看出在沿海地區，土壤液化造成之預期年損失率明顯增加。圖 21(a)與圖 20(b)相同，圖 21(b)為

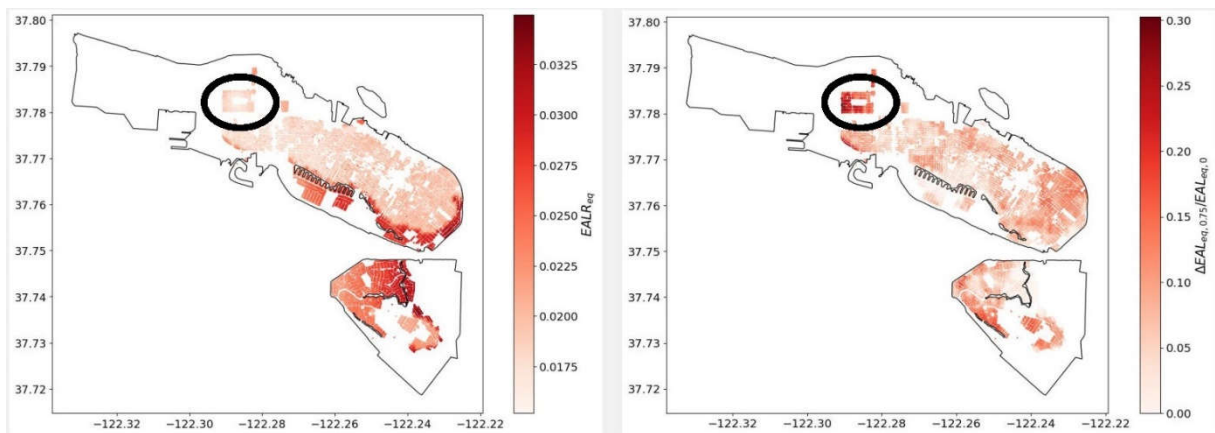
進一步考慮海平面上升 0.75m 造成之預期年損失率增量。



(a)地動造成之損失率

(b)地動加上液化造成之損失率

圖 20、地動及再加上液化造成之預期年損失率



(a)地動加上液化造成之損失率

(b)地動、液化加上海平面上升 0.75m 造成之損失率增量

圖 21、地動、液化及再加上海平面上升 0.75m 造成之預期年損失率變化

(4)跨尺度海嘯危害：全球海嘯模式及目標地球(Tsunami Hazard Across Scales: the Global Tsunami Model (GTM) and Destination Earth)，作者：S. Lorito, M. Volpe, B. Bayraktar, F. Romano, A. Scala, F. Løvholt, G. Davies

由義大利等歐洲數個國家，加上美國、智利、澳洲、紐西蘭、日本、中國、印度等共同推動建置全球海嘯模式(Global Tsunami Model)如圖 22，考慮隱沒帶海底斷層，引用全球中心地震矩張量地震目錄(Centroid Moment Tensor Catalog)，建立地震規模－每百年發生機率曲線，開發海嘯傳播及溢淹模式，由海域至陸域採用不同尺寸之巢狀分析網格(640m、160m、40、10m)，

計算海嘯到岸之預估波高，並建立海嘯溢淹水深與損壞機率關係式。可提供某區域、國家、或地方政府不同尺度之模擬結果，計畫團隊正推動協助縣市政府運用模擬結果進行疏散避難規劃(圖 23)。

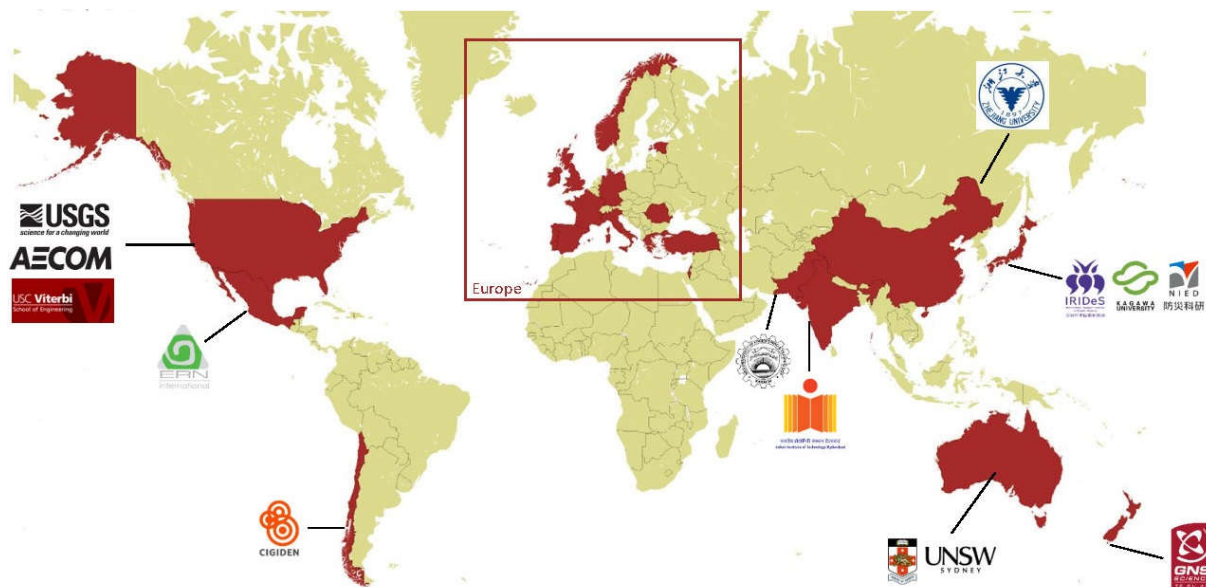


圖 22、全球海嘯模式研究參與國家

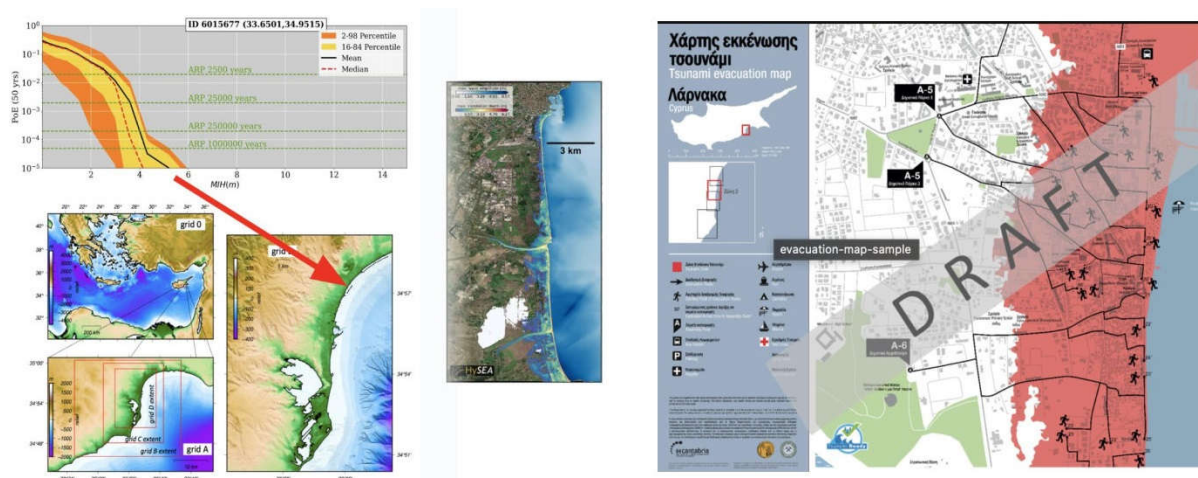


圖 23、海嘯傳播及溢淹模擬協助地方政府疏散避難規劃

三、心得及建議

世界地震工程研討會每四年舉辦一次，職於 2017 年至智利參加第 16 屆研討會，2020 年因為新冠疫情而延至 2021 年於日本東京以線上加上實體方式舉辦研討會，本次第 18 屆研討會在義大利米蘭舉辦，每次研討會在地震工程及地震防災領域皆看到明顯的研究進展。除了地震工程不斷有新的

隔震、減震技術研發及工程應用，近年來越來越多國家投入地震情境模擬及風險評估、重要設施系統衝擊等領域之研究，以及人工智慧或機器學習在地震損壞評估之應用。綜合大會專題演講及各場次口頭報告之結果，彙整心得及建議如下：

1. 地震情境模擬技術精進及防災規劃應用

近年來各國都會區高度發展，人口集中及各項設施佈建使得暴露量增加，倘若遭遇大規模地震，可能造成之損失及風險明顯增加。因應防災規劃的需求，各國學者皆投入地震情境模擬及風險評估之研究，其中全球地震模型(GEM)組織積極推動各國之研究合作及交流，GEM 在本屆研討會籌組地震危害及風險評估議題，包含 16 項子議題，是所有議題中子議題最多者，可見各國學者積極投入的程度。國內由中央研究院及多所大學院校學者共同推動臺灣地震模型(TEM)之建置，是 GEM 的一環，定期與 TEM 團隊交流，並已有多項研究成果發表(詳見 TEM 網站 <https://tem.tw/>)。

我國自 106 年第 36 次中央災害防救會報決議推動「大規模地震情境模擬」，由國科會籌組震源情境小組(由學者專家組成)及災損推估小組(由本中心及國家地震工程研究中心組成)，由內政部及各部會組成因應對策小組。國科會「大規模地震情境模擬及災損推估」計畫中，有多位學者參與震源情境小組，考量臺灣地震發生潛勢，挑選震源及設定地震規模，進行三維地動模擬；本中心蒐集人口分布、建物及各項設施屬性資料，開發「地震衝擊資訊平台」，進行建物及各項設施之災損推估，彙整地震情境模擬及災損推估結果，自 107 年起已完成五組模擬情境，並提供內政部規劃國家防災日地震演練及縣市政府修訂地區災害防救計畫參用。

2. 重要設施衝擊及系統相依性分析

多個國家的研究單位已投入重要設施之地震風險及韌性評估相關研究，並考慮各種設施系統之相依性，評估地震造成之破壞、系統運作中斷造成之經濟損失，及對相關設施運作之影響；例如評估建物破壞阻斷道路對於消防救援、醫療救護運作之影響及損失，並開發評估軟體，供設施管理者規劃防

災作為及資源調度參用。

本中心「地震衝擊資訊平台」已建置道路、橋梁、自來水、電力、通訊等設施之評估模組，提供縣市政府及協力機構設定地震情境進行分析。近年來進一步考慮設施系統相依性，已初步開發供電設施與道路、自來水、醫療救護運作相互影響之評估方法，並發表於期刊論文，未來將持續精進設施相依性之相關研究。

3. 人工智慧輔助地震情境模擬及複合式災害風險分析

本次研討會有人工智慧或機器學習導入地震情境模擬、地動預估、土壤液化等相關議題之研究，發展三維建物動態模擬及展示技術。本中心近期正與學界合作，運用機器學習演算法建立建物受震快速評估方法；此外，將建物耐震屬性資料鏈結三維建物圖框，建立三維建物模型，開發三維建物動態模擬及展示平台。本次研討會有學者考慮土壤液化、及氣候變遷導致海平面上升，評估建物地震受災風險之變化，此類複合式災害風險分析，是未來值得投入的研究方向。

4. 地震工程技術發展與工程應用

近年來世界各國在結構及大地工程之耐震設計皆朝向性能設計，使地上及地下構造物在大規模地震作用下能有更好的韌性；經過多年研發，各項隔震、減震技術皆已逐漸成熟，並且納入各國耐震設計規範中，實際應用於都會區新建築之興建；對於老舊建物或文化古蹟，亦有許多耐震補強工法可以提升其耐震性能。

我國在 1999 年集集地震之後，建物耐震設計規範大幅提升對於新建物耐震性能之要求，必須達到大震不倒、中震可修、小震不壞的目標。對於既有建物，內政部國土管理署(前營建署)推動「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，教育部與國家地震工程研究中心推動「校舍評估及補強計畫」，目前所有校舍皆已完成評估及補強。2024 年 4 月 3 日早上 7:57 發生花蓮規模 7.2 地震，數百萬學生已在學校上課，沒有任何學生因為校舍損壞而產生傷亡，足見建物耐震性能提升，是減少地震造成人員傷亡的關鍵因素。

四、出國效益

我國近年來在政府單位及學術機構的共同努力下，在地震工程技術及防災科技之研發已有豐碩的成果。本次研討會除了本中心之外，亦有國內研究機構、大學院校及顧問公司共超過 50 名學者專家參與，將我國最新地震工程技術與防災科技研發成果與世界各國學者交流，可提升我國學術研究成果之國際能見度。在為期五天的交流討論中，亦發現一些研究議題或方向，是未來可以發展或強化的。

本次研討會主辦單位除了提供專題演講及各場次報告摘要、全文、簡報檔供參加者下載之外，更將歷屆世界地震工程研討會論文集建置於雲端空間，方便使用者查詢及下載檔案。經由本次研討會，學習了許多新知與想法，將持續投入地震情境模擬技術及設施系統相依性相關研究，並與相關單位合作推動應用至防減災規劃上，以期減少地震災害對人民生命財產所造成的損失。

附錄一研討會議程

1. 整體議程

GENERAL OVERVIEW

	SUNDAY 30 th JUNE		MONDAY 1 st JULY	TUESDAY 2 nd JULY	WEDNESDAY 3 rd JULY	THURSDAY 4 th JULY	FRIDAY 5 th JULY		
09.00-10.30		VISIT THE EXHIBITION AREA 09.00-18.00	Opening Ceremony and Plenary Addresses	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions		
10.30-12.00			Parallel Technical Sessions						
12.00-13.00			Keynote Lecture	Keynote Lecture	Keynote Lecture	Keynote Lecture	Keynote Lecture		
13.00-14.30			Lunch Session <i>in Exhibition Area</i> Conference Championship <i>on Games Ground</i>						Closing Ceremony
14.30-16.00			Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Technical Visits		
16.00-17.00			CSI/IAEE Masters Series Lecture	CSI/IAEE Masters Series Lecture	CSI/IAEE Masters Series Lecture	CSI/IAEE Masters Series Lecture			
17.00-18.00				EERI Distinguished Lecture	Invited Plenary Talk	EERI/SSA Joyner Lecture			
18.00-19.00	Check-in & Welcome Reception		Conference Championship <i>on Games Ground</i> Side Events & Work meetings						
From 20.00			Opera Show at "La Scala" Theatre	Conference party					

2. 上台報告議程



Overview of Technical Sessions Schedule – v. 11th June 2024

Stage Presentations

Day	Time	SPACE 1	SPACE 3	BROWN 1	BROWN 2	AMBER 1	AMBER 2	AMBER 3	AMBER 4	AMBER 5	AMBER 6	AMBER 7	AMBER 8	SUITE 6	SUITE 7	SUITE 8	SUITE 9
Mon	10:30 - 11:45	SDM7	IDD11	GRM5	CM51	BCI11	CHH1	SHM1	TNM2	SHR2	ASR9	BCI2	GEO12	IDD2	GEO5	RES11	RES8
	14:30 - 15:45	SDM10	IDD6	GEO8	CM53	NS53	EVO9	SHM4/5	REC1	SHR4	ASR5	BCI3/1	GEO9	RES5	CM510	ASR2	SHR3
Tues	09:00 - 10:15	SDM7	IDD11	CM599	CM51	SHR8	IDD10	SHM1	TNM3	SHR2	RES1	BCI5	GEO12	SDM1	RES4	ASR13	EXP3
	10:30 - 11:45	SDM4	IDD9	GEO99	CM53	EVO6	IDD8	SHM3	REC1	SHR9	ASR7	BCI6	GEO9	GEO11	CHH3	GEO7	SHR18
Wed	10:30 - 15:45	SDM10	IDD6	GRM2	CM59	SHR5	IDD12	SHM1	TNM5	SHR2	ASR12	BCI8	NSE1	RES7	RES9	ASR6	AIM2
	09:00 - 10:15	SDM12	IDD7	GRM5	CM56	SHR5	AIM4	EVO7/8	TNM1/4/6	SHR11	CHH2	BCI6	GEO99	SDM5	CM512	REC2	GEO2
Thu	10:30 - 11:45	SDM13	IDD10	GEO6	CM514	SHR1	AIM1	EXP1	REC4	SHR15	ASR12	BCI99	NSE1	TNM7	CM54	ASR8	SDM14
	14:30 - 15:45	SDM3	IDD3	GRM4	CM56	SHR7	AIM4	EXP4	TNM1/4/6	SHR16/19	ASR10	RES12	GEO10	IDD5	EVO5	BCI10	SHM5
Fri	09:00 - 10:15	SDM10	IDD6	GEO6	CM599	SHR1	AIM3	RES10	REC5	SHR13/14	ASR12	EVO1/2/4	NSE1	TNM8	GRM1	BCI9	SHM7
	10:30 - 11:45	SDM8/9	IDD3	GRM4	CM57	CM513	AIM4	EXP2	REC6/99	SHR17	ASR3/4	RES6	GEO1	SDM4	EVO3	BCI4	RES2
Fri	14:30 - 15:45	SDM2	IDD8	GRM3	CM514	CM55	CHH4	SHM2/BCI7	SHR16/19	SHR6/12	ASR1	IDD4	GEO3	SDM11	CM57	REC3	NSE1
	09:00 - 10:15	SDM6	CM52	GEO10	CM57	GRM2	RES3	EXP2	RES6	SHR10	ASR11	BCI12	GEO1	NSE2	CM58	ASR14	EVO9
Fri	10:30 - 11:45	SDM2	IDD3	GRM3	CM55	SDM8/9	AIM4	ASR3/4	GRM4	SHR6/12	ASR1	EVO1/2/4	GEO3	EVO10	EXP2	IDD4	NSE1

Max. number of attendees per room: 240 in Rooms SPACE & BROWN | 130 in Rooms AMBER | 45 in Rooms SUITE

3. 螢幕報告議程



Detailed Monitors Schedule – v. 11th June 2024

Monitor	Monday		Tuesday		Wednesday		Thursday		Friday	
	14:30 - 15:45	09:00 - 10:15	10:30 - 11:45	14:30 - 15:45	09:00 - 10:15	10:30 - 11:45	14:30 - 15:45	09:00 - 10:15	10:30 - 11:45	09:00 - 10:15
1	ASR9	ASR2	ASR13	ASR7	AIM2	AIM4	AIM1	AIM4	AIM3	AIM4
2	BC2	ASR5	BC5	BC6	ASR6	AIM4	AIM1	AIM4	AIM3	AIM4
3	BC2	ASR5	BC5	BC6	ASR6	AIM4	AIM1	AIM4	AIM3	AIM4
4	BC11	BC13/1	BC51	CHH3	ASR12	BC6	ASR12	ASR10	ASR12	ASR1
5	CHH1	BC13/1	BC51	CHH3	ASR12	BC6	ASR12	ASR10	ASR12	ASR1
6	CHH1	BC13/1	BC51	CHH3	ASR12	BC6	ASR12	ASR10	ASR12	ASR1
7	CMS1	CMS3	CMS1	CMS3	BC8	CHH2	BC199	BC110	CMS99	CHH4
8	CMS1	CMS3	CMS1	CMS3	CMS9	CHH2	BC199	BC110	CMS99	CHH4
9	CMS1	CMS3	CMS1	CMS3	CMS9	CHH2	BC199	BC110	CMS99	CHH4
10	GEO5	EVO9	EXP3	EVO6	CMS9	CMS6	BC199	BC110	CMS99	CHH4
11	GEO12	GEO8	GEO12	GEO9	CMS9	CMS6	BC199	BC110	CMS99	CHH4
12	GEO12	GEO9	IDD10	GEO11	CMS9	CMS6	BC199	BC110	CMS99	CHH4
13	GRM5	GEO9	IDD10	GEO11	CMS9	CMS6	BC199	BC110	CMS99	CHH4
14	GRM5	GEO9	IDD10	GEO11	CMS9	CMS6	BC199	BC110	CMS99	CHH4
15	IDD2	IDD6	RES1	GEO99	IDD6	GRM5	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
16	IDD11	RES3	RES1	GEO99	IDD6	GRM5	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
17	IDD11	RES3	RES1	GEO99	IDD6	GRM5	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
18	RES8	RES3	SDM1	IDD8	IDD12	GRM5	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
19	RES11	REC1	SHM1	IDD9	RES1	IDD7	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
20	SDM7	SDM10	SHM1	REC1	RES9	SDM12	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
21	SDM7	SDM10	SHM1	REC1	RES9	SDM12	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
22	SHM1	SDM10	SHM1	REC1	RES9	SDM12	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
23	SHM1	SHM4/5	SHM1	REC1	RES9	SDM12	EXP1	GEO10	EXP2	CMS5
24	SHR2	SHR4	SHR8	SDM4	SHM1	SHR1	SHR15	SDM3	SHR17	SHM2/BC7
25	SHR2	SHR4	SHR8	SDM4	SHM1	SHR1	SHR15	SDM3	SHR17	SHM2/BC7
26	SHR2	SHR4	SHR8	SDM4	SHM1	SHR1	SHR15	SDM3	SHR17	SHM2/BC7
27	TNM2	SHR4	TNM3	SHR9	TNM5	TNM1/4/6	SHR15	SDM3	TNM1/4/6	SHR6/12
28	TNM2	SHR4	TNM3	SHR9	TNM5	TNM1/4/6	SHR15	SDM3	TNM1/4/6	SHR6/12
29										
30										

4. 各議程全名

AIM - ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING	+
ASR - ASSESSMENT AND RETROFITTING	+
BCI - BRIDGES, CRITICAL FACILITIES AND OTHER INFRASTRUCTURE	+
CHH - CULTURAL HERITAGE AND HISTORICAL STRUCTURES	+
CMS - CONCRETE, MASONRY, STEEL, TIMBER STRUCTURES	+
EVO - EVOLUTION OF EARTHQUAKE ENGINEERING AND SEISMIC CODES	+
EXP - EXPERIMENTAL TESTING	+
GEO - GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AND SITE RESPONSE	+
GRM - GROUND MOTIONS AND SEISMIC INPUT	+
IDD - SEISMIC ISOLATION AND ENERGY DISSIPATION/RESPONSE CONTROL DEVICES	+
NSE - NON-STRUCTURAL ELEMENTS	+
REC - POST-EVENT RECONNAISSANCE AND FIELD OBSERVATIONS	+
RES - SEISMIC RESILIENCE OF COMMUNITIES AND INFRASTRUCTURE	+
SDM - SEISMIC DESIGN AND MODELLING	+
SHM - STRUCTURAL HEALTH MONITORING	+
SHR - SEISMIC HAZARD AND RISK ASSESSMENT	+
TNM - TSUNAMI, NATECH, MULTI-HAZARD RISK ASSESSMENT	+