

出國報告（出國類別：開會）

## 參加WCEE2024 國際研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：營建處專員 黃柏軒

派赴國家/地區：義大利

出國期間：113年6月29日至7月6日

報告日期：113年8月23日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加 WCEE2024 國際研討會

頁數 24 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司人資處/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃柏軒/台灣電力公司/營建處/專員/(02)2366-6956

出國類別：1考察 2進修 3研究 4實習 5開會 6其他

出國期間：113 年 6 月 29 日至 113 年 7 月 6 日

派赴國家/地區：義大利

報告日期：113 年 8 月 23 日

關鍵詞：人工智慧、地震工程、結構健康監測

內容摘要：

參加2024年在義大利米蘭舉行的世界地震工程會議（WCEE），該會議由國際地震工程學會（IAEE）主辦，該協會成立於1960年，旨在促進全球地震工程研究和實踐，同時也關注地震對社會和經濟影響的研究。會議邀集眾多專家學者及業界工程師分享設計案例探討與研究成果，共涵蓋17個主題及超過2000篇以上的研究。本報告主要以地震風險評估、減災策略、AI 與機器學習及地震監測技術等為主題節錄相關研究，並簡述摘要及成果，如土木工程導入人工智慧及演算法、地層受擾動導致誘發地震之機制、長期結構監測之成果，盼透過研究其相關研究，供後續本處辦理「本公司既有建築物耐震能力盤查與提升方案」及「二氧化碳封存試驗」之參考。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網(<http://report.nat.gov.tw>)

## 摘要

本次參加2024年在義大利米蘭舉行的世界地震工程會議（WCEE），該會議由國際地震工程學會（IAEE）及義大利國家地震工程學會（ANIDIS）主辦，該協會成立於1960年，旨在促進全球地震工程研究和實踐，同時也關注地震對社會和經濟影響的研究。會議邀請專家學者及業界工程師分享設計案例探討與研究成果，共涵蓋17個主題及超過2000篇以上的研究。本報告主要以地震風險評估、減災策略、AI 與機器學習及地震監測技術等為主題節錄相關研究，並簡述摘要及成果，如結構健康監測、耐震韌性、人工智慧及地震工程等為主題，盼透過研究其相關研究，供後續本處辦理「本公司既有建築物耐震能力盤查與提升方案」及「二氧化碳封存試驗」之參考。

## 目次

一、 目的 .....	5
二、 過程 .....	6
(一) 出國行程紀要 .....	6
(二) 研討會概述 .....	6
(三) 結構健康監測相關研究 .....	8
(四) 社區和基礎設施的耐震韌性相關研究 .....	12
(五) 人工智慧與機器學習相關研究 .....	15
(六) 大地地震工程與工址地震反應相關研究 .....	18
三、 心得與建議 .....	21
附錄 .....	23

## 一、 目的

台灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊之交界地帶，地震活動十分頻繁，平均每年大小地震超過兩萬個，其中有感地震(規模四以上)可達約四百個。近期2022年9月18日震央位於台東池上，發生地震規模為 ML 6.8之強震，造成花蓮玉里鎮的7-11超商倒塌四人受困等災損。本公司於921地震前完工之建築物數目眾多，因此耐震初步評估已為本組重點業務之一。藉由參與國際地震工程研討會，獲取最新地震工程資訊，有助於本公司所辦建築結構耐震業務參考及精進。

本次計畫參加的會議議題內容多元，包括 AI 技術與實例應用、地震災害風險與減災、災害應變與復原經驗分享、設備減震技術研發、系統耐震韌性提升、抗震設計與補強技術精進、災前整備與抗災能力提升對策等，以了解國際於地震工程與地震防災領域的最新發展。

藉由參與國際大型土木工程研討會，向世界各國最優秀之工程專家取經，獲取專業意見回饋，即時掌握最新研究成果及發展趨勢，提升耐震設計相關人員之專業深度與視野，對日後辦理本公司相關建築結構耐震規劃、設計及建築物耐震初步評估時，有相當大之助益。另本處後續將辦理「本公司既有建築物耐震能力盤查與提升方案」及「二氧化碳封存試驗」，也盼透過學習本次會議的相關研究，以精進個人能力，並提升辦理品質。

## 二、 過程

### (一) 出國行程紀要

6月30日 抵達義大利米蘭

7月1日~7月5日 研討會

7月5日~7月6日 返程

### (二) 研討會概述

世界地震工程國際研討會 (World Conference on Earthquake Engineering, WCEE) 為每四年舉辦一次的大型國際會議。本次會議係第18屆，於2024年7月1日起至7月5日假義大利米蘭舉行。該研討會主要由國際地震工程學會(International Association for Earthquake Engineering)及義大利國家地震工程學會(Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica)所主辦，會中彙集全世界各地的學者與專家針對地震工程相關的研究成果，研討會將內容區分為不同主題進行深入討論與研究發表，諸如鋼筋混凝土結構、鋼結構、結構監測、基礎設計、人工智慧、災損分析評估等領域，實為一匯集世界各地地震工程相關領先研究之重要國際會議，總計超過有二千餘篇論文於會中進行口頭與海報發表。

本次會議舉辦型式由數名主講人於大廳演講，其餘時段由專家及學者依研究

主題類別於各會議室發表(會議議程詳附錄)，涵蓋主題如下:

- (1) 人工智慧與機器學習 (Artificial Intelligence And Machine Learning)
- (2) 耐震評估及補強 (Assessment And Retrofitting)
- (3) 橋樑、關鍵設施和其他基礎設施 (Bridges, Critical Facilities And Other Infrastructure)
- (4) 文化遺產與歷史建築 (Cultural Heritage And Historical Structures)
- (5) 混凝土、磚石、鋼、木結構 (Concrete, Masonry, Steel, Timber Structures)
- (6) 地震工程與規範的演變(Evolution Of Earthquake Engineering And Seismic Codes)
- (7) 實驗測試 (Experimental Testing)
- (8) 大地地震工程與工址地震反應 (Geotechnical Earthquake Engineering And Site Response)
- (9) 地盤振動 (Ground Motions And Seismic Input)
- (10) 隔震及創新制震系統 (Seismic Isolation And Energy Dissipation/Response Control Devices)
- (11) 非結構元件 (Non-Structural Elements)
- (12) 事後勘查及現地勘查 (Post-Event Reconnaissance And Field Observations)
- (13) 社區和基礎設施的耐震韌性 (Seismic Resilience Of Communities And Infrastructure)
- (14) 耐震設計與建模 (Seismic Design And Modelling)
- (15) 結構健康監測 (Structural Health Monitoring)
- (16) 地震災害與風險評估 (Seismic Hazard And Risk Assessment)
- (17) 天然災害、多種災害風險評估 (Natech, Multi-Hazard Risk Assessment)

本次會議論文發表多達2000篇以上，因主題眾多，本次報告以結構健康監測、耐震韌性、人工智慧及地震工程等為主題節錄相關研究，並於第三節至第六節簡述研究摘要及成果。

### (三) 結構健康監測相關研究

#### 1. 對一鋼筋混凝土辦公大樓(有地下室)進行13年之結構監測

(K. Kanazawa , Thirteen years structural monitoring of a reinforced-concrete office building with embedded basement )

日本中央電力研究所自2003年以來，對一棟10層鋼筋混凝土建築物進行13年的持續監測，目的是累積結構健康監測（SHM）基礎數據。該建築於1970年在日本千葉縣北部的我孫子市建成，監測期間經歷了2011年3月11日東日本大地震以及多次颱風。該監測系統在每層樓和地下室設置了11個三方向加速度計(圖1)，並在地下室每側設置四個垂直加速度計，以找出地上結構層集中質量的系統模態。

作者對從2008年至2020年共13年的模態參數進行識別，並調查了上部結構和地下室的自然頻率、阻尼比和勁度的變化。使用了由 Overschee 和 Moor (1993) 提出的隨機子空間識別方法和作者提出的模態轉換技術，消除土壤與結構互制效應（SSI），並以儀器每20分鐘紀錄各參數，並通過濾波器進行平滑處理，以消除雜波。此研究可以得到以下結論：

- (1) 即使在風力未納入監測的情況下，本文提出的系統識別方案能夠很好地估計十三年間的模態參數。
- (2) 在311地震中，第一自然頻率和勁度突然大幅下降，但在311地震後的餘震中未發現其他劇烈變化。
- (3) 每年的季節性變化顯示自然頻率和勁度在夏季增加，下部結構勁度的季節性變化大於上層。

作者截取311大地震前後監測數據(圖 2、3)，得到 NS 和 EW 方向上的第一自然頻率和阻尼比的時間歷程，虛線表示 2011 年 3 月 11 日地震主震和 2011 年 4 月 11 日最大餘震發生。在311地震發生時，建物產生損傷，下部和上部結構的自然頻率和阻尼比出現了明顯下降。

另外根據長時間的監測結果得到自然頻率的季節性變化，其變化率約為 5% 或更高。發現自然頻率的變化是由建築物地下結構物勁度的變化引起的，主要受季節性氣溫引起的影響。



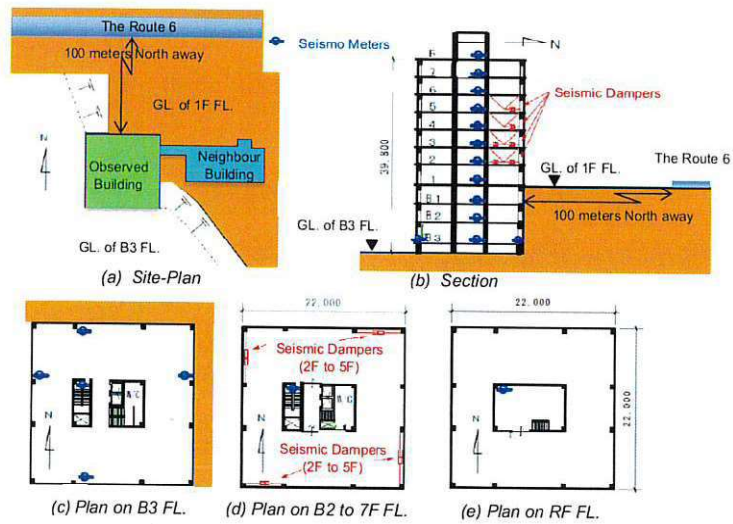


Figure 1. Plans and a section of the observed building, and seismometer layout for the long-term continuous observation.

圖 1

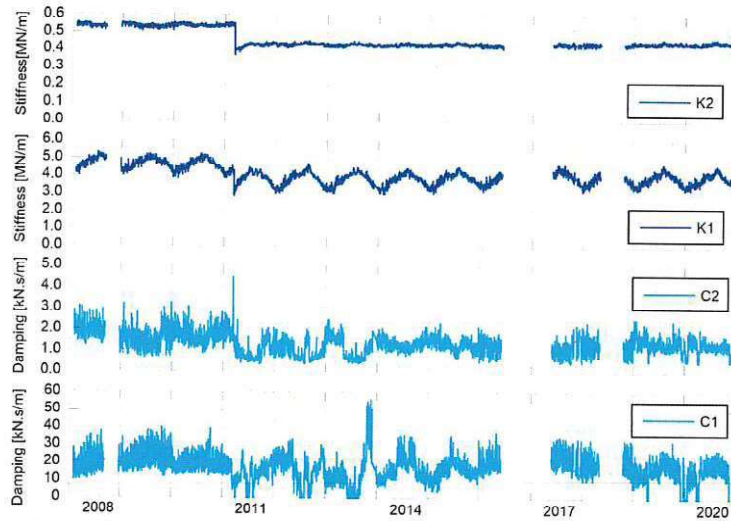


Figure 7. 13-year variances in the NS-1<sup>st</sup> modal stiffness K2 and K1, the modal damping coefficients C2 and C1, identified by the 2-DOF SR model.

圖 2

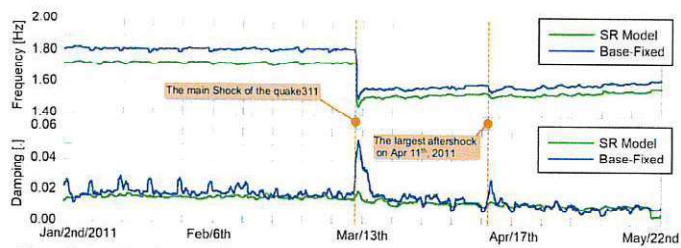


Figure 2. 4-week variances in the NS-1<sup>st</sup> natural frequency and the modal damping ratio.

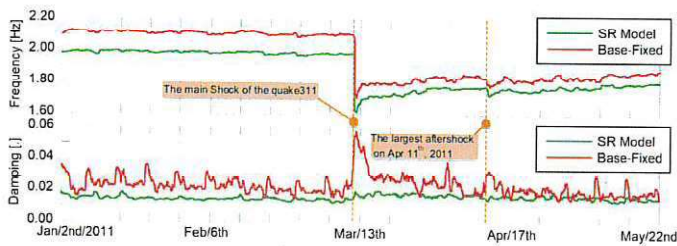


Figure 3. 4-week variances in the EW-1<sup>st</sup> natural frequency and the modal damping ratio.

圖 3

## 2. 用損害評估的容量曲線估計日本地震

(M. Mori, Building capacity curve estimation for damage evaluation using Japanese seismic evaluation results)

隨著城市的高度發展，建物數量不斷增加。這些建築物的耐震性能直接關係到地震發生時的安全性。因此，進行結構健康監測(SHM)以掌握建築物的實際狀況，並在必要時進行補強，對於減少地震災害的影響至關重要。然短期內無法為地震帶的每棟建築物安裝多個感應器。於是該研究目的是來估算鋼筋混凝土建築物的剪力和層間位移，並利用地震評估結果來估算建築物的容量曲線，即可將此曲線與記錄的反應譜數據進行比較(圖4)，可在地震事件後迅速評估建築物的潛在損壞。

地震損害曲線是透過大量地震記錄和數值模擬生成。這些曲線表明在特定震度下，結構體達到或超過某一損壞狀態的概率。生成損害曲線的如下：

- (1) 地震需求分析：涉及建築物在不同地震情境下的耐震需求。常用的方法包括時間歷程分析、反應譜分析等。
- (2) 結構性能評估：確定建築物在面對地震需求時的能力。這通常依賴於非線性靜力或動力分析來模擬結構行為。
- (3) 統計建模：通過統計方法將多次模擬結果匯總，生成反映結構在各種地震強度下損壞概率的曲線。

圖5中標示了不同損傷程度的範圍，從無損傷、輕微損傷、中度損傷到嚴重損傷和倒塌。地震損害曲線(紅線)比實驗結果的能力曲線(黑線)要保守，這意味著評估方法會更早地預測出結構的損傷狀態，該方法的結果較為保守，有助於在實際設計和施工中保證結構安全。

透過一六層鋼筋混凝土建築物振動台試驗。容量曲線比較顯示在圖6，分別為實驗數據、側推分析和損害曲線。X 方向中，實驗數據和損害曲線的初期加速度相似；Y 方向中，小位移產生時，三條曲線的加速度值高度雷同，但降伏後現地試驗值之加速度高於評估值甚多。結果顯示研究所提地震損害曲線普遍小於側推分析及試驗值，顯示此方法具可行性且較為保守。

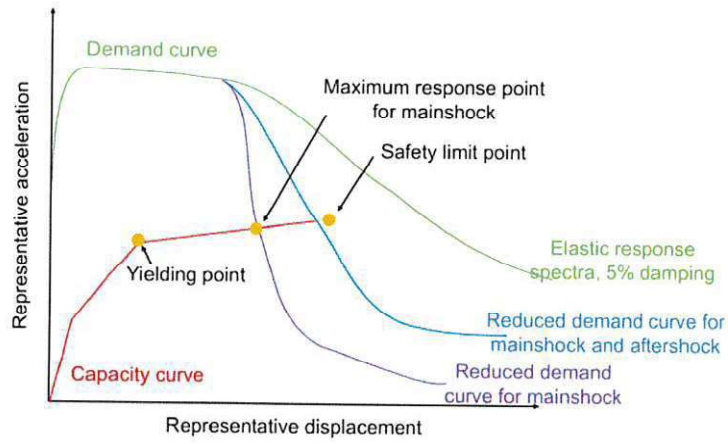


Figure 9. The Capacity Spectrum Method: the capacity curve and the demand curve

圖4

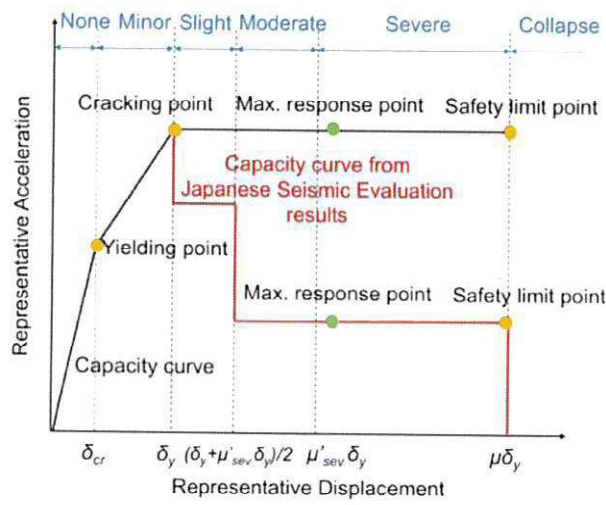


Figure 10. The relationship between the capacity curve and damage state

圖5

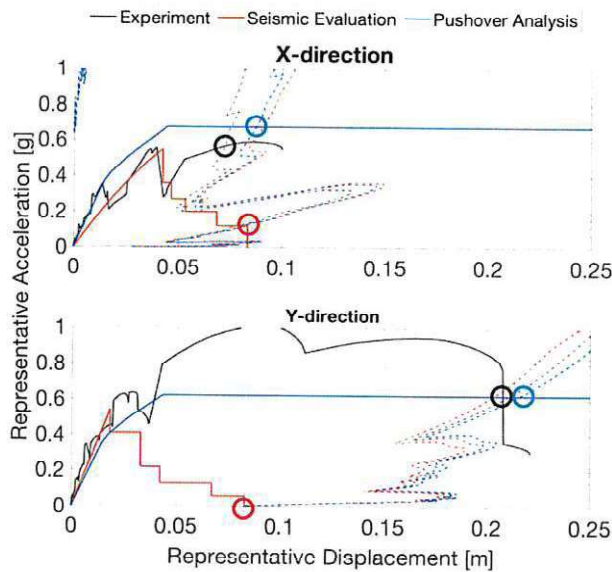


Figure 11. The Capacity Spectrum Method applied to the results from the 6-story RC specimen

圖6

#### (四) 社區和基礎設施的耐震韌性相關研究

##### 電網風險評估和管理系統的開發和案例研究

(Y. Shumuta Et Al., Development and case studies of risk assessment and management systems for power lifelines(ramp))

日本的電力網絡包括發電、輸電、變電和配電設施，分布廣泛且密集，易受自然災害影響。作者開發了電網的風險評估與管理系統（RAMP），並展示了其在多個災害情況下的應用與發展。2018年北海道大地震和隨後的颱風引起了長期停電，為了應對這些災害，必須加強電力供應韌性，以加快恢復供電，分別對於地震及颱風進行相關預測，以擬定回復計畫。

期在預測颱風造成的損害範圍，幫助電力公司可以提前準備人力和物資。本研究開發系統利用氣象數據和電力設施數據進行損害預測，並在颱風來臨前提供準確的恢復計劃。展示了在颱風期間的恢復流程，分為三個主要階段(圖7)：初步準備、強風期間的初步反應以及緊急恢復。在颱風來襲之前，若已知損害規模，可以比較並決定派遣人員的位置和類型，並提前配置人員和物資，以便在颱風來襲時能迅速應對(圖8)。另可估計風力強度和持續時間，以定何時開始進行恢復工作。

當發生大規模地震時，餘震頻繁，進行緊急檢查具一定風險，另一方面，也需儘早評估損壞情況，以便迅速啟動地震後恢復工作。恢復工作分為初期應對、緊急恢復和全面恢復，並顯示了每個階段回復電力系統所需的資訊(圖9)。地震災害評估：RAMP 系統在地震發生後，通過地震觀測數據和電力設備信息快速估算損害範圍，支持初步應對和緊急恢復。系統動態更新損害估算，並考慮後續餘震和現場檢查結果，提升損害預測的準確性。RAMPEr 系統能夠將地震引起的損害分類為直接損害（受地動引起的損害）和間接損害（如海嘯、液化、邊坡滑動等引起的損害）。

圖10展示了2018年北海道地震、2016年熊本地震和2011年東日本大地震對電力分配設備的損害統計比較，多數電力設備破壞都是由間接損害所造成的。RAMPEr 能夠連接地震強度分佈、地圖信息和電力設備信息，辨認每個節點的中心性和其失效後的影響，以確定關鍵廠站。使得在（1）優先檢查區域、（2）請求支援調度和（3）有效分配人員和物料，能夠快速且準確地做出決策。在熊本地震期間，RAMPEr 提供的地震強度分佈圖和損害估算結果被九州電力公司在連續餘震期間參考使用。利用熊本地震及東日本大地震對系統進行驗證(圖11、12)，在地震發生後30分鐘內估算損害情況，並建立設備和地震強度的位置關係。



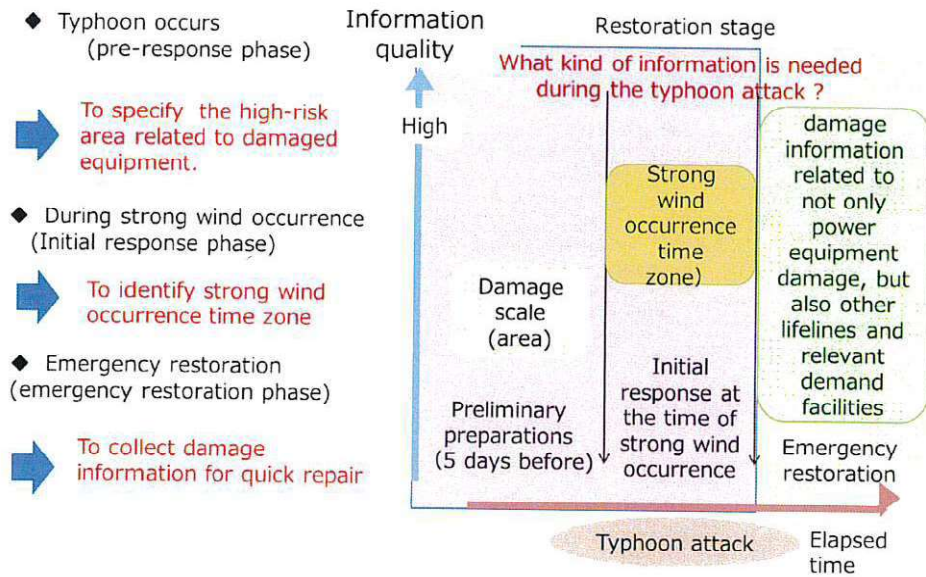


Figure 4 Recovery and required disaster information in the event of a typhoon.

圖7

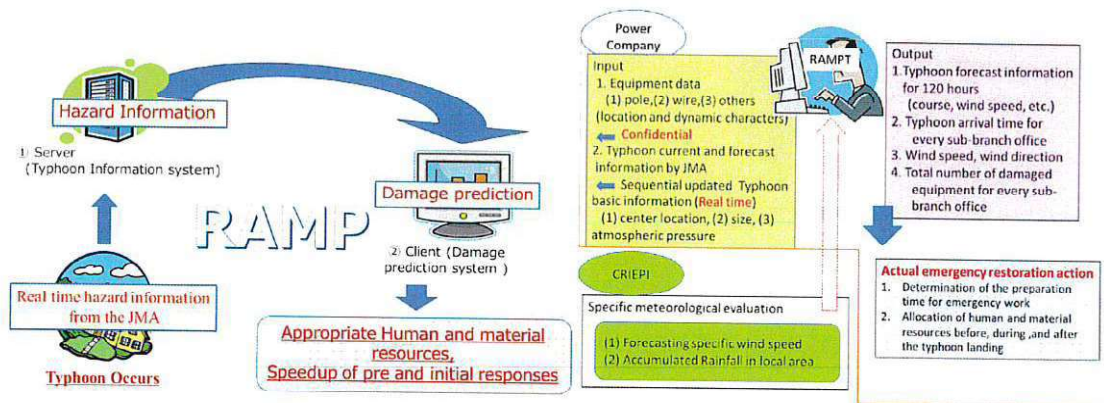


Figure 5 Concept of RAMPT.

Figure 6 Input and output information for RAMPT.

圖8

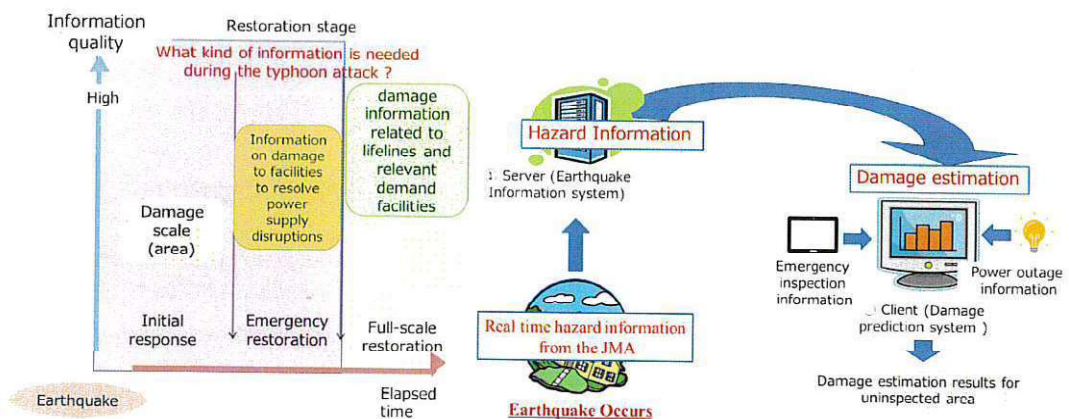


Figure 7. Recovery process and required disaster information in the Event of an Earthquake.

Figure 8 Concept of RAMPER.

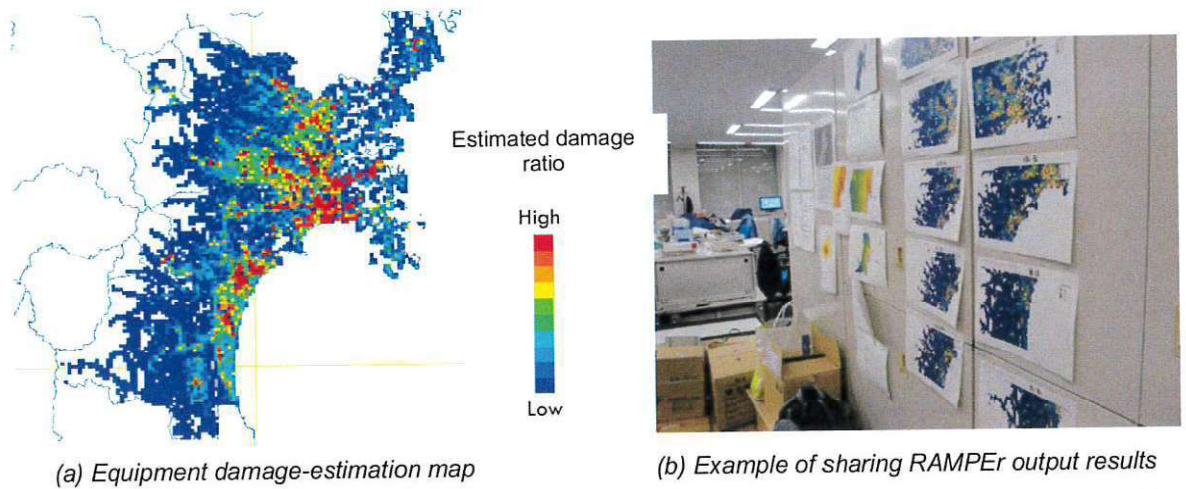
圖9

Table 1 Comparison of damage to power distribution x damage.

Earthquake	Power Company	2018 Hokkaido Eastern Iburī <sup>1)</sup>	2011 East Japan Earthquake <sup>2,3)</sup>		2016 Kumamoto <sup>3)</sup>
		Hokkaido (2018)	Tohoku (2011)	Tokyo (2011)	Kyushu (2016)
	Total number of Poles <sup>4)</sup>	1481017	3035936	5833979	2439142
	Total wireline length(km; overhead) <sup>4)</sup>	66,667	2151329	6416762	2069402
	Total wireline length(km; underground) <sup>4)</sup>	1,581	1154192	2147289	1001284
Pole	Collapsed or broken	44	35	56	4
	spilled	244	56		
	inclination, subsidence, cracks	787	3060	8469	14576
wire	disconnection	56	322	86	36
	entanglement	105	542	1370	102
	bushing broken	57	316	507	6
transformer	inclination	1422	1119	3381	509

1) Hokkaido Electric Power Company (2018), 2) Kyushu Electric Power Company (2016), 3) Shumuta (2016), 4) Federation of Electric Power Companies of Japan (2023)

圖10

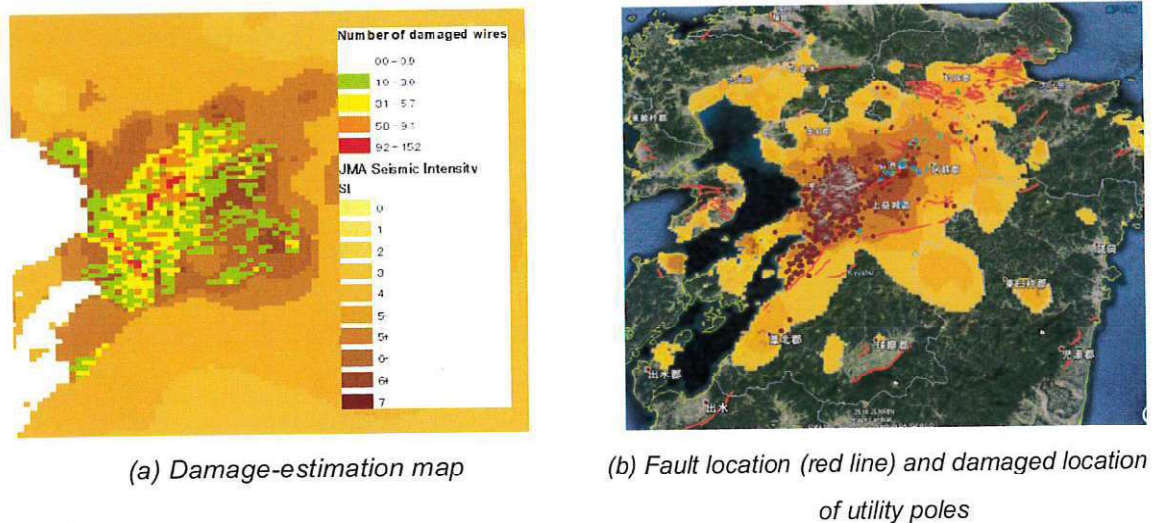


(a) Equipment damage-estimation map

(b) Example of sharing RAMPER output results

Figure 10 Damage-estimation results for electric power distribution equipment by RAMPER and its utilization examples in the Great East Japan Earthquake.

圖11



(a) Damage-estimation map

(b) Fault location (red line) and damaged location of utility poles

Figure 11 Example seismic intensity distribution map and damage-estimation map for power distribution equipment created by RAMPER.

圖12



## (五) 人工智慧與機器學習相關研究

### 從基礎模擬到基於人工智能的建築結構設計方法研究

(LU Xin-zheng, Research progress on building structural design methods: from simulation-based to artificial intelligence-based)

隨著電腦運算能力提升、先進模擬方法進步、人工智慧演算法突破，電腦輔助的建築結構設計方法也不斷發展，已可進行自動學習設計規律並推理生成。發展過程中，高效率、準確的結構力學行為模擬，以及具備學習設計規律與推理能力的人工智能演算法為實現自動化的重要基礎。

本研究將透過人工智慧設計研究與應用的綜合分析與層級劃分等級，可以看到業界已應用各設計軟體的參數化設計、優化設計、衝突分析等屬於 L1 層級；目前，方興未艾的基於深度學習的生成式結構方案智慧設計則屬於 L2 層級；未來，對於部分特定的建築結構，可完成完整的結構設計流程，為 L3 層級；進一步，能夠解決大部分結構問題的人工智慧設計屬於 L4 層級；最終，能夠智能化設計所有結構屬於 L5 層級。隨著近年來人工智慧技術的快速發展，L1 層級的結構智慧設計技術大量湧現；L2 層級的結構智慧設計技術也將取得一定的突破；對於某些特定結構類型，可望實現 L3 層級的結構智慧設計，基本上取代人類結構工程師；而更加高階的 L4、L5 層級結構智慧設計還有待相關技術的進一步突破和創新。

隨著人工智慧的發展，可抽取資料特徵值並學習潛在規律的深度學習方法，為常規建築結構設計資料學習提供了可行性。基於卷積的生成對抗網路演算法研發，實現了對建築設計圖像特徵、設計文件條件、力學機制約束、經驗規則優化等規律的學習；同時，基於卷積神經網路演算法的開發，有效實現了結構拓撲特徵的學習，實現了框架結構梁構件的智慧設計；其對應的智能學習演算法，透過圖說上邊和節點特徵聚合學習掌握結構設計拓撲關係。在設計方法研究的基礎上，推動了智慧化設計的應用實現，建築結構的垂直、水平構件配置設計、構件截面和隔震支座設計自動化生成發展迅速。

此外，針對設計圖面上結構構件像素佔比小，資訊稀疏的特點，為了實現卷積生成網路對結構設計資料的有效學習，提出了建築結構設計資料特徵語意化方法，將向量化 CAD 資料轉化為神經網絡可學習的像素影像(圖15)。

在結構設計中，除了建築平面布置會影響結構設計外，結構設計規範也會影響設計內容，然結構規範通常以文字形式表達，要如何導入文字並以圖面表示，以讓機器學習為其困難點。針對建築圖像和設計條件文本耦合之需求，以及建築結構設計樣本較少的特點，提出了圖像-文字特徵融合的生成對抗網絡，透過分

別對圖像和文字進行編碼，並進一步提取特徵，得到圖像和文字特徵向量。

透過對大量圖說和設計條件的學習，可掌握了構件尺寸和整體設計條件、構件具體位置、結構平面佈置之間的映射關係。進而透過引入尺寸設計對稱性、內牆尺寸共線一致性、沿高度斷面尺寸遞減性等設計規則，保證了設計規則的有效學習。其中，也可隨著高度及震度不同，生成相對應的結構圖面(圖16)。

未來基於模擬的設計和基於人工智慧的設計將進一步融合，具體包括：

- (1) 人工智慧不僅被用來學習既有的設計資料產生新的設計，而且可以進一步用來學習既有的模擬分析算例與報告，從而智慧化地產生新的工程模擬範本以支援新結構基於模擬的設計，例如可以用人工智慧來自動完成結構耐震性能化設計所需的模擬分析工作。
- (2) 人工智慧除了可以學習常規工程案例，還可以透過自然語言處理(NLP)進一步學習規範條文。在此基礎上，人工智慧可以批次產生結構設計案例，然後自動產生新的工程模擬範本，進而開展基於模擬的最佳化設計，由人工智慧學習批量構造大量的學習案例，從而有效克服現階段人工智慧設計中學習案例數據數量和品質都受限的問題。從而最終實現智慧化設計的「自主學習」和「自主進化」。

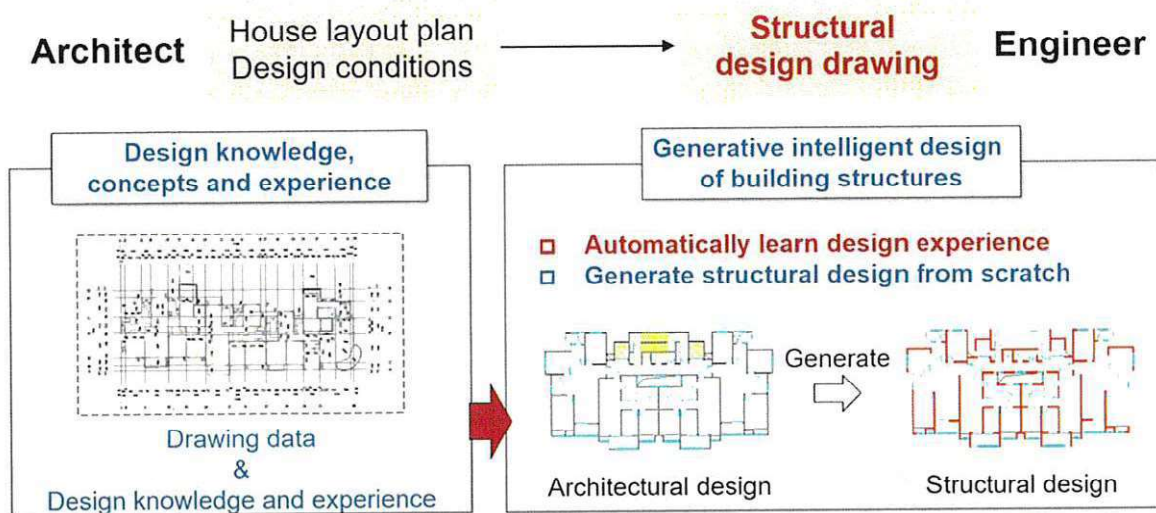


圖13



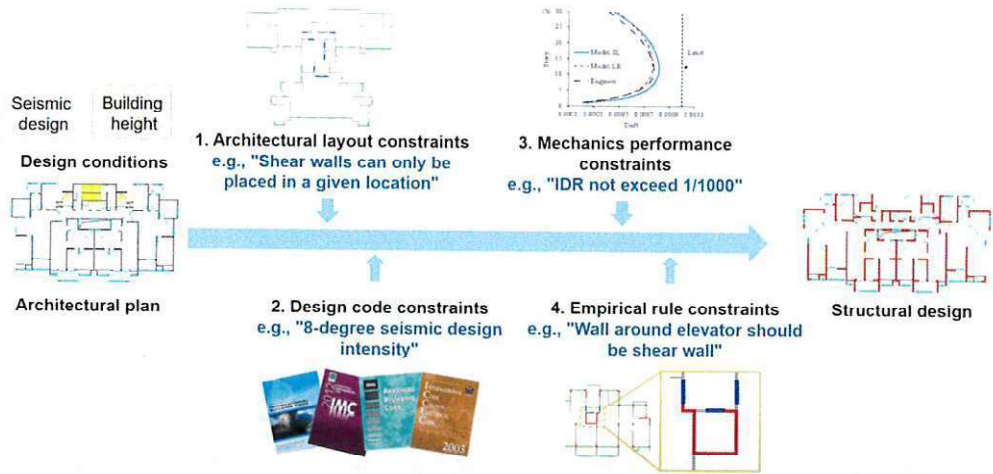


圖14

- Intelligent design method of shear wall layout based on **GAN, GNN and Diffusion Model** (Chinese patent ZL2020104464689, ZL2022115163167, ZL2023104773351)

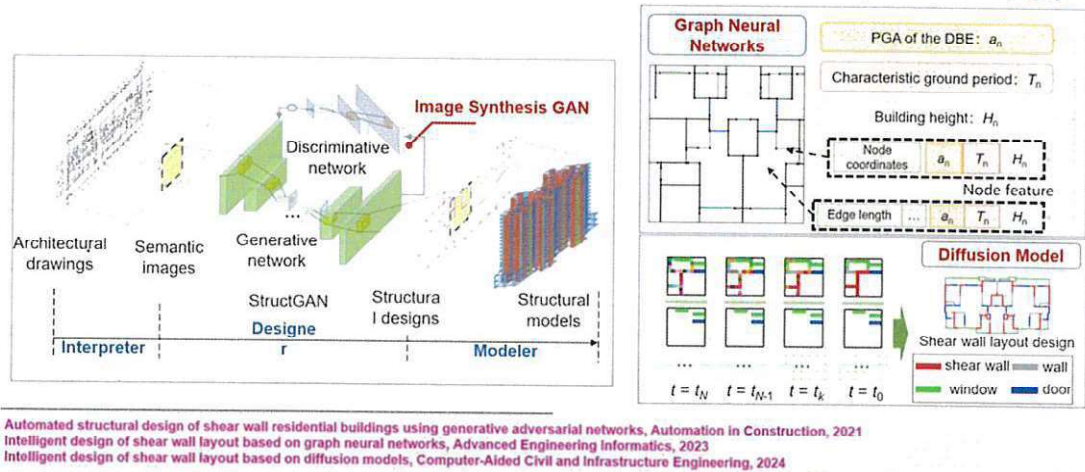


圖15

- StructGAN-TXT algorithm** (Chinese patent ZL2021102743808)
  - Test results: AI establishes the relationship between the number and area of components and design conditions

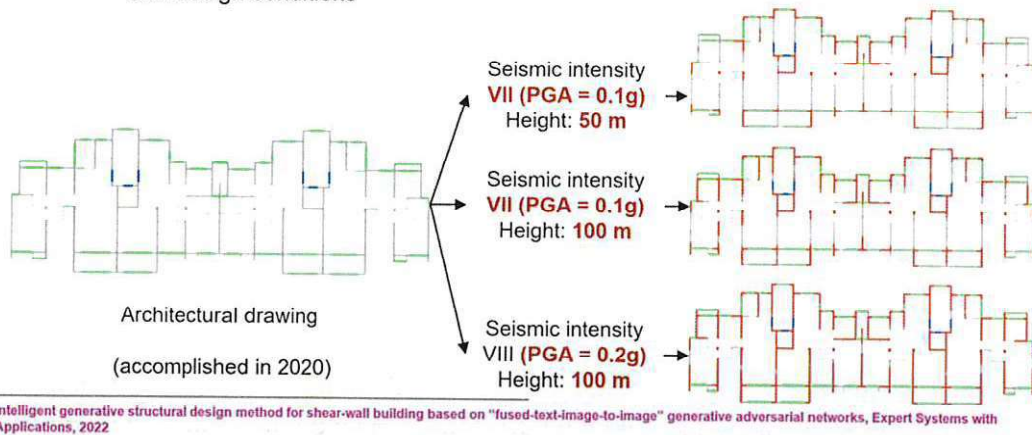


圖16

## (六) 大地地震工程與工址地震反應相關研究

(Julian J. Bommer ,Earthquake hazard and risk analysis for natural and induced seismicity: towards objective assessments in the face of uncertainty)

本研究主要探討了自然地震與誘發地震的危害和風險分析方法，並敘述在面對不確定性時如何進行評估，降低其不確定性。

本研究對自然地震（由地球內部自然過程引起的地震）和誘發地震（由人類活動引起的地震，例如水庫蓄水或液體注入地層）進行區分。誘發地震的特點是它們的發生往往與人類活動有直接關聯，並且在特定條件下可能會改變地震風險（圖17），並說明孔隙壓力升高如何導致有效應力減少，從而導致斷層擾動（圖18）。透過研究已確認的誘發地震案例，了解其中的共同特徵和識別方法，並將其應用於新區域的地震分析中。如荷蘭 Groningen 油田的儲層壓實和誘發地震活動明顯呈正向關係；最大壓實度隨時間的增加，地震得頻率及震度也隨之增加（圖19）。

Groningen 油田原本並不是好發地震區域，然後續開發後，地震事件頻傳，所以吾人很好判別出自然地震及誘發地震。但在原本就位於地震帶的區域，要分辨兩者的差異，是相當困難的。後續歸納幾個指標分辨該地區的自然和誘發地震活動：

1. 地震事件是該地區首次已知的此類地震嗎？
2. 注入/抽象與地震活動之間是否有明顯的相關性？
3. 震央是否靠近注井（5公里以內）？
4. 某些地震是否發生在注入/抽取深度或附近？
5. 如果不是，已知的地質結構能否引導水流流向地震場域？
6. 井底流體壓力的變化是否足以產生地震活動？
7. 流體壓力變化是否足以產生地震活動？

確認誘發地震後，作者也有提出防治手法，目前廣為使用方法為紅綠燈方案 (Traffic Light Scheme, TSL)(圖20)。TSL 根據當地不同的地質條件和規範需求設立2個閾值，不同學者提出了不同的參數與閾值，最常使用最大地表速度(PGV)，設定三個區域(紅、黃、綠)：

- (1) 綠燈正常營運
- (2) 黃燈可採以下手法降低風險：於水力壓裂或注水作業，可以採取逐步增加注水量或壓裂規模的方法，以降低突然誘發大規模地震的風險。另設定作業的最大許可注水量，根據實際監測數據隨時調整，避免超出安全閾值。在地下流體注入作業中，控制注入壓力，避免過高壓力引發斷層

滑動以及透過調整注水速率或選擇合適的注入深度。在可能誘發地震的區域進行壓力釋放，考慮設計壓力釋放方案，如適當排放壓力以減少誘發地震的風險。

(3) 紅燈停止運營，並回復壓力至最低值。

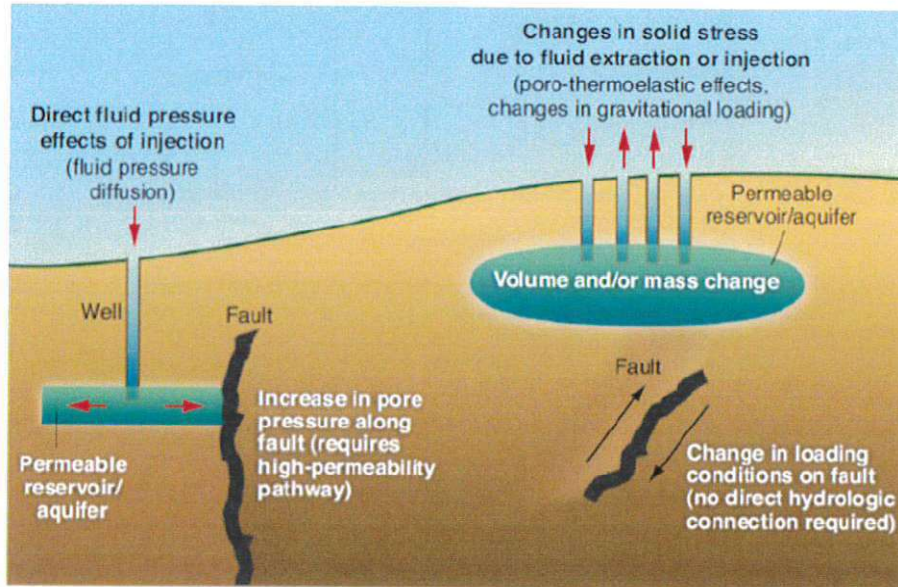


Fig. 85 Illustration of the mechanisms of inducing seismicity through fluid injection leading to increased pore pressure on a fault (left) and by fluid injection or extraction changing the shear and normal stresses on a fault (right) (Ellsworth 2013)

圖17

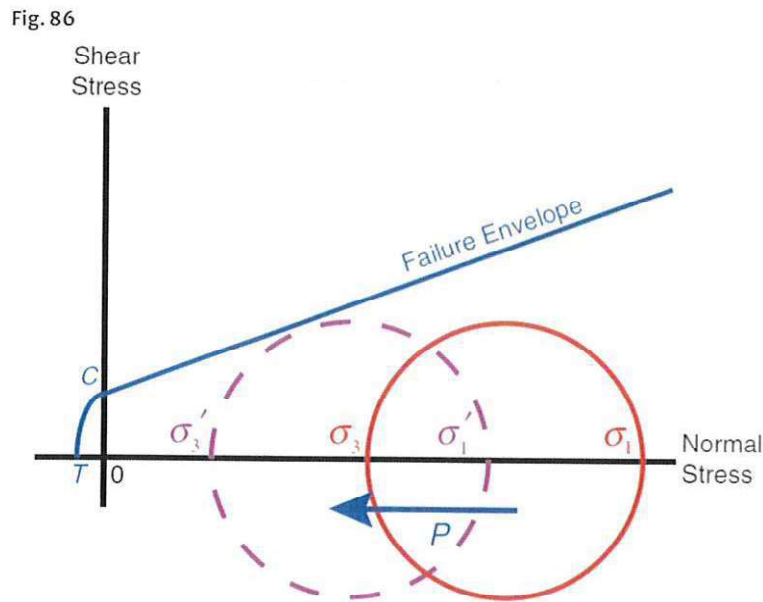


Fig. 86 Mohr's circle diagram illustrated how elevation of pore pressure, leading to a reduction in effective stresses, can bring a fault to failure (Rubinstein and Babaie Mahani 2015);  $\sigma_1 \sigma_3$

圖18



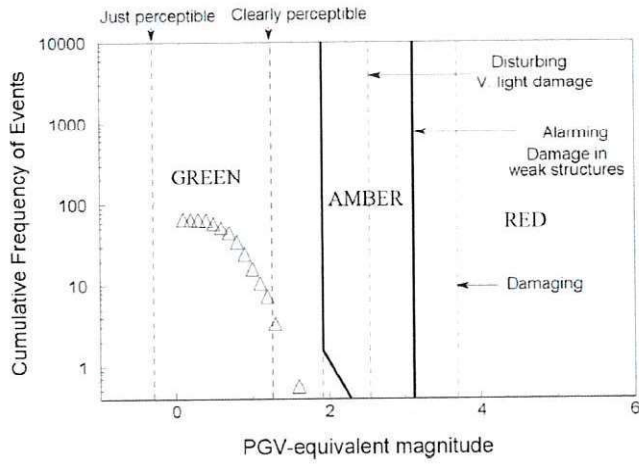


Fig. 96 Traffic light thresholds in terms of PGV-equivalent magnitude defined for the Berlín hot fractured rock (HFR) geothermal project in El Salvador; the triangles correspond to the observed background seismicity (Bommer et al. 2006)

圖19

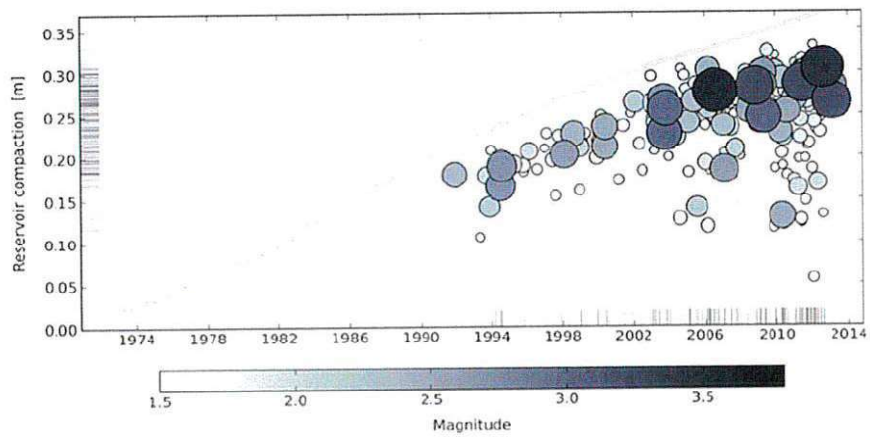


Fig. 135 Reservoir compaction and induced seismicity in the Groningen field as a function of data; the light grey curve shows the increase in maximum compaction with time and the circles indicate earthquakes, plotted against the date of their occurrence and at the local compaction level at the time of the earthquake; the size and shading of the circles indicate the magnitude of the earthquake (Bourne et al. 2014)

圖20

### 三、 心得與建議

#### (一) 結構健康監測相關研究

目前本公司正執行「既有建築物耐震能力盤查與提升方案」，將針對本公司民國88年(921地震)以前之建物進行全面體檢，並同時建立建築物資料庫，另規劃對於耐震不足之建築物及重要的建築物建置合適之監測及震後快速評估損傷系統，盼能應用於地震後快速評估各區域建築物之風險。本處也於今年委託綜研所針對結構監測規劃進行研究，本次會議針對此主題的文章多達135篇及舉辦許多相關演說，透過參加會議各專家學者的演講及討論，使吾更明確相關研究目標及內容，也在後續回國後針對研究案的計畫表內容進行更多補充及精進。

近年國內對於建築物之長期監測也日益重視，國震中心已於今年開始在社會住宅導入結構安全監測系統，而 K. Kanazawa 的長期研究時間跨度已歷經13年，歸納出結構物自然頻率受氣溫影響變化之規律，以及佐證建物受到地震損害後，其自然頻率確會下降並隨時間會慢慢回復，但無法回到過往之頻率，對於本公司後續建置長期監測系統時，可做為建物自然頻率的趨勢參考，並可驗證本公司建物是否有相同趨勢。

本處預計建立本公司建物資料庫，針對本公司民國88年以前之建物進行快篩，將有風險建物進行下一階段評估，並考慮在後續具風險或重要建物納入長期監測，然本公司建物繁多，恐無法將所有具風險的建物都進行結構監測。可參考 M. Mori 之研究，不須進行監測，由損害曲線搭配地表加速度的資料，評估建物的損壞情形，雖無法達到結構監測的精度，但可以大量進行評估，建議其方法可納入評估建築物的結構風險手法之一，以利在有限資源下對建物進行風險處理。

#### (二) 社區和基礎設施的耐震韌性

在極端氣候下，電網可能遭受天災衝擊應預作準備，善用人工智慧，做好風險管理；當非預期事故發生時，可以維持關鍵基礎設施正常運作，將受影響範圍降到最小，增強電網韌性。

Y. Shumuta 利用了颱風及地震的資料庫，於事故發生前先以大數據分析每個系統節點的重要性和其失效後的影響，以確定關鍵設施。本文對於判別關鍵設施並擬定減災策略給出建議，近年極端氣候頻傳，將可幫助決策者在多個方案之間做出最佳的選擇。

#### (三) 人工智慧與機器學習

人工智慧對未來的影響與重要性已經不言可喻，新的趨勢如自動化施工和智慧建設正在驅動各種行業的變革，同樣也為土木業帶來新的浪潮，基於人工智慧的深度學習將在結構設計及健康監控發揮重要的作用，並成為建築設施維護與管

理的重要技術。藉由不同人工智慧的演算法，以建構出自動化與智慧化的模型，透過分析大量數據，提供有價值的洞察，以做出更優化的決策。

LU Xin-zheng 利用卷積神經網路(CNN)，在訓練過程中使用預先定義維度的網格來掃描結構圖，並學習識別某些關鍵特徵，以生成不同耐震標準及建物高度下的結構設計圖。而且，土木工程在規劃設計、施工、營運維護的不同工程階段自動化程度越來越高，過往已在 BIM 上看到擬真的情境模擬與資訊管理的能力，各結構設計軟體也隨之推出更多自動化的檢核，透過 LU Xin-zheng 的研究已讓我們看到下一個自動化的階段，可以通過大數據分析及學習，由人工智慧生成結構圖說，雖目前還是需要人工的後續檢查及修正，但已為吾帶來全新的結構設計思維。

#### (四) 大地地震工程與工址地震反應

為驗證碳封存技術在我國實施的可行性與安全性，本公司正執行碳封存的試驗計劃，而二氧化碳灌注於地層是否會引起地層擾動為一關注議題，臺灣係地震活動頻繁地區，場址亦可能受到鄰近斷層及遠地地震擾動影響，如何監測並判別出二氧化碳灌注所誘發之地震為一大課題。由於國外對於 CCS 之研究計畫早在 2000年初便已開始執行，累積了許多案例及數據，本次 WCEE 會議邀請 Julian J. Bommer 教授對此進行主題演講，藉此對其相關內容有更深入的了解。

Julian J. Bommer 指出在過去35年進行地震危害評估領域中，已確認誘發地震與人為活動有正相關，也有許多試驗及研究降低其不確定性，且儘管在目前案例中誘發地震都屬小規模地震，仍然需要注意有大規模誘發地震的可能性，也介紹了一些常見的監測及防治手法，值得在本公司執行「二氧化碳封存試驗」中觀察其地層擾動是否符合過去經驗及趨勢，並建議可在監測系統內納入紅綠燈方案 (Traffic Light Scheme) 做為決策之判斷。

#### (五) 爭取2028WCEE 在台灣

本公司於4月提供 LOGO 予中華民國地震工程學會，以協助爭取下屆2028年世界地震工程研討會主辦權，大會安排各國籌備團隊於7月4日上午分別進行籌備簡介，最後台灣無緣成為下次會議之舉辦國，由加拿大取得下屆主辦。



# 附錄

## (一) 研討會議程表

	SUNDAY 30 <sup>th</sup> JUNE	MONDAY 1 <sup>st</sup> JULY	TUESDAY 2 <sup>nd</sup> JULY	WEDNESDAY 3 <sup>rd</sup> JULY	THURSDAY 4 <sup>th</sup> JULY	FRIDAY 5 <sup>th</sup> JULY
09.00-10.30		Opening Ceremony and Plenary Addresses	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions
10.30-12.00		Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	Parallel Technical Sessions	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	Parallel Technical Sessions
16.00-17.00		CSI/IAEE Masters Series Lecture	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	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	

VISIT THE EXHIBITION AREA  
09.00-18.00



(一) 研討會相關照片



Figure 1. 會議現場



Figure 2. 開幕典禮



Figure 3. 地震模擬



Figure 4. 廠商展覽會場

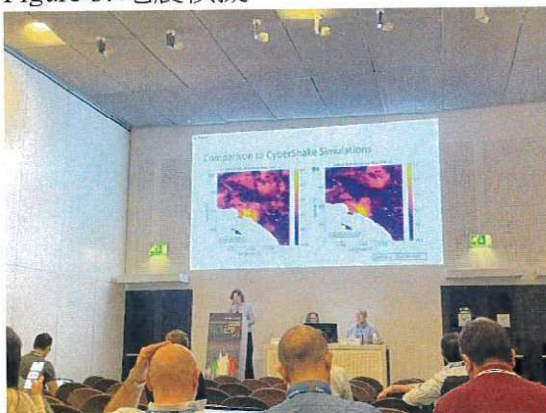


Figure 5. 會議室演講(Stage Presentation)



Figure 6. 螢幕演講(Monitor Presentation)

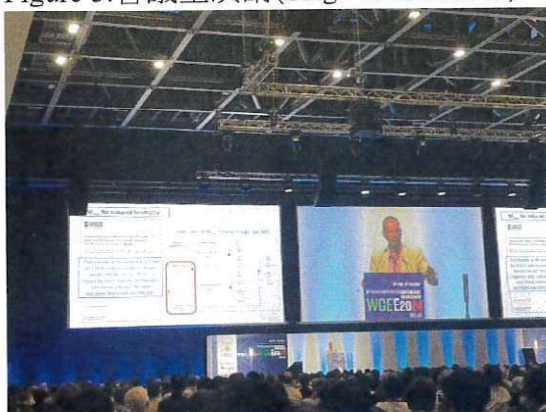


Figure 7. 主題演講 (Keynote lectures)

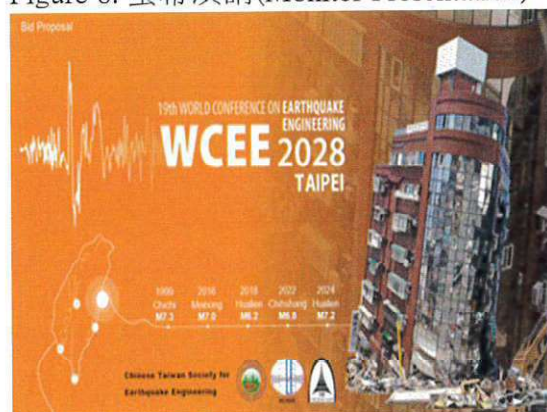


Figure 8. 台灣爭取舉辦下屆 WCEE 簡報