



地震防災產業 概述 — 自主性非工程手段 之發展近況與契機

Earthquake Disaster-Prevention Industry – the Development and Opportunity of Autonomous Non-engineering Means

顏銀桐 Yin-Tung Yen / 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 高級研究員兼組長
Principal Researcher & Group leader, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

曹鼎志 Ting-Chi Tsao / 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 副主任
Deputy director, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

張玉舜 Yu-Lin Chang / 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 主任
Director, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.

陳坤助 Kun-Chu Chen / KNY Co. 執行長
CEO, KNY Co.

陳彥俊 Reid Chen / 三聯科技股份有限公司 業務經理
Sales Manager, Sanlien Technology Corp.

臺灣為世界上數一數二地震頻繁的國家，觀測資料顯示每年發生平均約3起芮氏規模大於六以上地震，暗示著面臨遭受地震災害衝擊的機率相當高。縱使從地震防減災想法出發，仍必須考量產業面是否能提供及開發出對應之服務及產品，方得以落實防災構想。政府機關除了法規之擬定以保障基本安全外，災害基礎資訊之提供也能讓產學研相關之因應作為得以展開。地震防災產業面向相當廣泛，大致可從工程及非工程手段做廣義的分類，本文僅著墨非工程手段之解決方案方面，概述地震防災相關產業之服務產品資訊與其未來之發展契機。

關鍵字：地震防災產業、斷層發震潛勢、耐震設計規範、地震危害度、地震預警

Taiwan is one of the most tectonically active regions with frequent earthquakes in the world. Observation data shows about three earthquakes with a magnitude greater than six each year. The view of earthquake prevention and mitigation implies that the probability of facing earthquake disasters is relatively high. Whether the industry can provide and develop appropriate services and products is a key to support that the ideas of disaster prevention and mitigation can be implemented. From the government's point of view, the formulation of laws and regulations ensures basic safety. The provision of basic hazard information can also gradually enable industry-government-related responses to be carried out. This article will introduce the potential seismic maps from the current government's announcement and then outline the knowledge and the future development and opportunity of related industries.

Key Words: earthquake disaster-prevention industry, earthquake occurrence potential, seismic design specifications, seismic hazard analysis, earthquake early warning.

前言

根據交通部中央氣象局近 10 年地震規模及次數統計，臺灣地震年平均發生次數約有 3 萬 4 千多次，其中有感地震年平均次數約 1 千餘次，規模 6 以上的地震年平均約 3 次^[1]。臺灣每年遭受約 3 起芮氏規模大於六以上地震襲擊，也代表每年受地震災害衝擊的機率相當高，但即便如此，由於比起氣候所造成的致災頻率來的低，往往在每次地震災害過後，人們也隨著時間慢慢淡忘。再者，臺灣中小地震頻仍，自 1974 年起訂定耐震規範，至今不斷修訂，1999 年 921 集集大地震後新一代耐震規範新增考量近斷層效應、震區劃分及耐震工程品管^[2]，使地震災損更加有限。雖然民眾的生命財產更加有保障，但風險意識卻仍舊趨於淡化。大規模致災性的地震遲早要面臨，一旦發生將造成可觀的社會經濟損失，所幸大規模致災的地震頻率不高，使政府及人民有更多的餘裕去準備。地震防災必須時時刻刻檢視並改善不足之處，為能將災前整備、災中應變及災後重建規劃做好，必須在下次大地震來襲前檢視各方面防減災整備之量能，如此才得以確保每個地震危害暴露單元都能有強韌的應對能力及回復力。

隨著都市化的趨勢，都會區之重大公共建設也伴隨而生。而臺灣板塊構造由東向西碰撞的特性，導致西部為斷層密集帶，而斷層為未來地震主要發生潛在位置，也突顯出西部人口密集處直接面臨地震危害的風險。雖然地震危害高的地方往往為人口及建設密集所在地區，但大多數人並不清楚自身面臨的危害程度。慕尼黑再保險公司 (Munich RE) 統計 1980 至 2019 年涵蓋全球地區所引致之地震災損，資料顯示每次重大地震之損使平均超過 5 千萬美元 (圖 1)，而地震所涉及的防災產業，除了保險方面的避險及移轉，工程手段及非工程手段之軟硬體預防及補強措施也同樣重要。致災性地震發生前，從預防整備之角度思考如何降低或避免地震災損

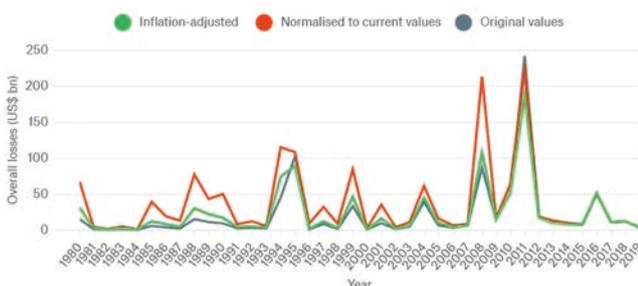


圖 1 全球 1980~2019 年地震損失^[4]

為防災首要要務，此外亦能利用科技方法強化減災整備之效益。本文從政府公開斷層發震潛勢圖資介紹出發，進而探討從圖所揭露資訊所衍生之防減災應變想法，透過非工程手段進行防減災作為之實務及觀念，衍生說明其現階段地震防災之服務案例，探討未來地震防災產業之發展契機及方向。

防災產業涵蓋領域相當廣泛^[3]，概括性可分類為工程 (engineering) 及非工程手段 (non-engineering) 之作法，本文主要鎖定在介紹自主性預防之非工程手段防減災相關服務及產品。

臺灣活動斷層可能引致之地震災害潛勢

斷層引致地震造成之危害程度揭露，有助於釐清臺灣多震之土地上，一旦面臨致災性地震來臨所遭遇時間及空間上之衝擊差異性。地震發生與斷層所在位置密不可分，若能清楚瞭解斷層之位置及其特性，探究每條斷層之發震潛勢，可以從上述衝擊差異性來探究整個影響鏈如何從事完善之防減災策略規劃。

斷層發震潛勢圖資

2021 年 3 月經濟部中央地質調查所 (簡稱地調所) 首次對外界公開斷層活動潛勢圖 (圖 2)^[5]。該圖資係由地調所自 2013 年至 2016 年逐步推動臺灣中部、北部、南部及東部活動斷層潛勢評估工作而完成。臺灣主要活動斷層分布在花東縱谷與西部麓山帶，地調所從戮力活動斷層之普查與精查工作，並同步與學術界及產業界合作，藉由蒐集地質、地球物理、地震及大地測量等各方地球科學專業資料，逐步建立各活動斷層之地下斷層三維幾何模型，再由幾何模型所估算及反演斷層上之活動速率，加上評估斷層上可能之地震活動機率參數，合理地評估每條斷層活動之發震機率。圖資揭露分布於臺灣各地 33 條活動斷層未來 50 年發生規模 6.5 以上之發生機率。

潛勢圖資評估工作期間邀集潛在產業、官方、學研、法人機構等相關人員，討論斷層活動潛勢圖公布相關議題，一方面討論圖資之呈現方式，另一方面藉由專家討論會，避免圖資公布引起不必要之恐慌。潛勢圖資另一個目的是希望能配合地質法「活動斷層地質敏感區」之公告，使民眾了解活動斷層有各自之發生機率特性，若位於敏感區內可考量使用年限內之發生機率進行防減災作為。

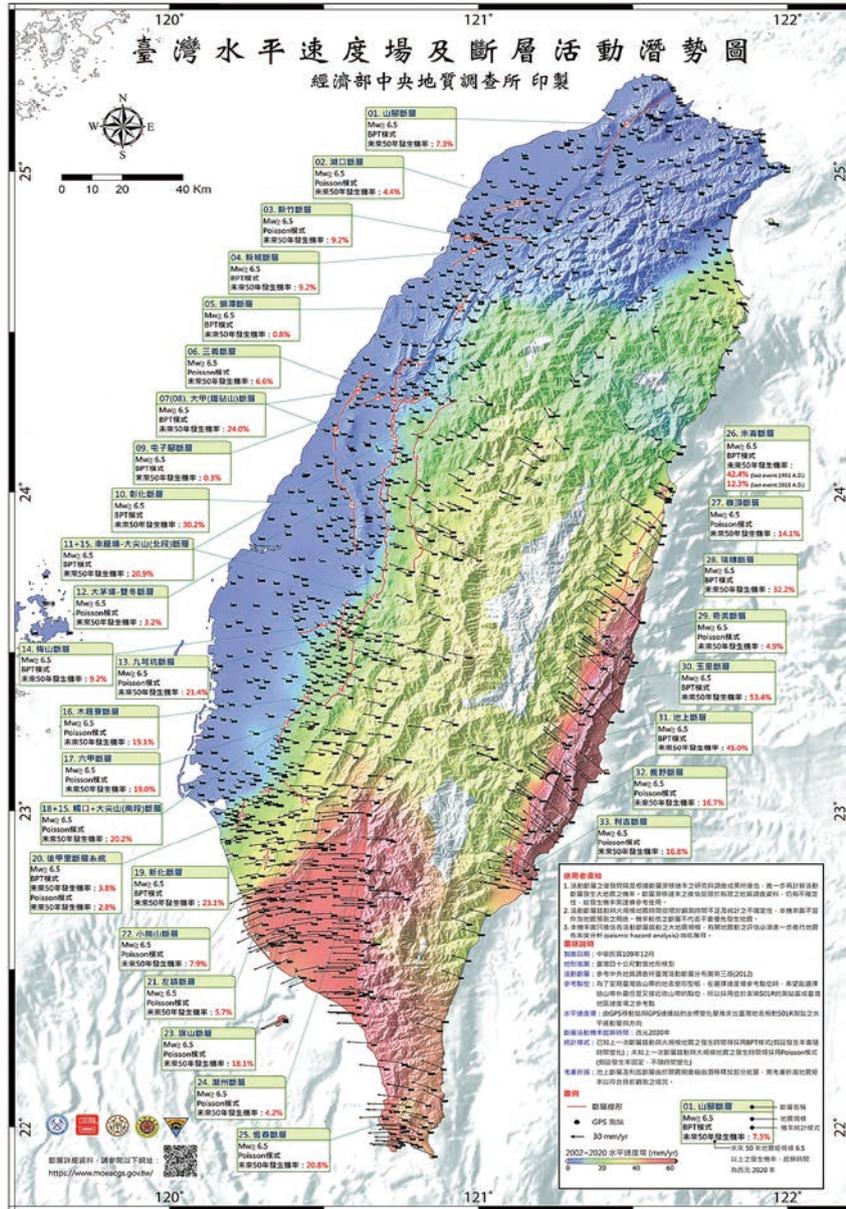


圖 2 臺灣水平速度場及斷層活動潛勢圖

潛勢圖資與產業鏈結

潛勢圖公開對地震防災產業之發展有一定程度效益。基本上，中央政府與鄰近之地方政府、民間企業到個人，都能依據潛勢圖資資訊，從地震模擬災害劇本擬定開始，假定當特定斷層發生地震，事先量身訂做自主防救災計畫，內容可涵蓋災前整備、災中應變及災後重建之整體地震防減災規劃。然而，規劃擬定後必須同時考量其因應之解決方案，也因此將衍生出各項服務及產品。舉例而言，災前整備涵蓋結構耐震設計與規劃、耐震評估、企業風險識別、防災器具、災害潛勢客製化資訊等服務；災中則有即時自動停機、截斷及通報作業等軟硬體設備及服務、逃生警示

軟硬體設備之產品；災後，則會有企業風險顧問及結構損壞評估及工程補強上的需求。

地震防災之相關產業概述

建築物耐震設計規範，進行規劃設計並建造出符合規範標準的結構物^[6]，經由重新檢視結構損害狀況可確保建築物是否仍可安全使用，另可依據自身結構重要性而另外執行高出法規標準之地震危害評估。上述兩者評估工作及其衍生之服務業務及產品需求，即為傳統地震防災產業相當基礎的一環。地震發生時即時之「地震警報訊息」，或是預告性質之「地震預警訊息」，也都有該類訊息推播軟硬體產品及服務。此

外，以強震之前結構物屬性參數及可能所受到之震動大小，亦能提供即時性或半即時性簡要評估服務。再者，透過即時自動截斷作業軟硬體裝置可防止震動導致設備損壞，降低損失。而地震過後專業評估結構物健康狀況或是自身財產面臨之損失風險，則為災後評估或補強等相關工作。

結構耐震及地震危害評估

既有樓房結構係按建造當時之規範設計及施工，因時空背景知識性差異，耐震能力可能有所疑慮，必須經專業研判是否符合現今之耐震標準，以決定是否需要補強需求。詳細評估之程序需要蒐集多項資訊，包括工址資料、結構資料、勁度、強度，可綜合判釋評估結果，作為後續補強的依據 [7,8]。既有建築物在地震作用下行爲及其所造成影響，亦可藉由耐震性能設計評估了解結構是否需要補強，其流程涉及地球物理、地震學、土木工程、營造工程及社會經濟學等各領域之專業知識 [9,10]。

我國政府於 2019 年核定「全國建築物耐震安檢暨輔導重建補強計畫」(2019 至 2021 年)，該計畫主要在全面執行全國危險及老舊建築物快篩、耐震評估、補強及重建等工作，期望能大舉降低地震害造成之結構危害 (圖 3)。這部份衍生之產業類別所需工作，係由專業技師或受政府指定之評估機構執行。

其他重要關鍵基礎設施，包含水庫、橋梁、核電廠、風機等重要結構物，則以高於規範要求之專案方式進行地震危害度分析，以作為環境評估、初步設計及細部設計之參考依據 [11,12]，此部份專業分析及軟體開發工作多由工程顧問公司及專業從業人員執行，服務對象多為政府機關、國營企業及民間私人企業，是為地震防災產業相當重要之一支。



圖 3 全國建築物耐震安檢及重建補強宣導圖 (引用自 <https://www.cy.gov.tw/>)

即時性訊息揭露產品

從民眾自身的 FCP (Family continuity planning) 風險管理概念，地震預警報及預警訊息為重要的地震防災資訊，衍生的產業為即時性訊息揭露之相關服務，而這部份產品大部分為即時訊息推播軟體，藉由人手一機的普遍性訊息接收狀況，主動提供地震預警的訊息。目前坊間即有各類地震預警推播 App 產品，於接收中央氣象局地震測報中心所發布之地震警報後，可以在極短時間內發布予所有用戶，並且可以於 App 內設定客制化應用反應資訊，以利各種不同情境與使用者需求之防災應變反應措施。

一般而言地震規模達六以上時之致災機會較高，但該類地震頻率不高，因此地震預警 App 若能搭配日常資訊可增加該 App 之留用率，以每日天氣資訊作為基底，外加與中央氣象局地震測報中心界接，民眾手機可設定警戒地震動級數，一旦超過警戒設定，使用者就會收到對應級數之地震預警通知 (圖 4)。圖 5 為 2006 年芮氏規模 6.6 美濃地震時之即時強震預警訊息。

即時訊息若從硬體界接，即為輔助監測及示警設備相關之產業別。交通部臺灣鐵路管理局經由安裝警報器及多組地震儀於各處變電站，能即時顯示中央氣象局發布之地震資訊，包含強震即時警報、地震觸發通報、地震格點震度報告及有感地震報告等資訊 (圖 6)。

從民生需求用品角度，則能開發出結合生活用品及預警訊息之商品。有別於臺灣市場，此類的商品於日本



- ★ 全台灣天氣地震資訊最豐富的 APP——KNY 台灣天氣·地震速報
- ★ 獨家地震專區，輕鬆設定地震速報、地震資訊不漏接
- ★ 百萬下載肯定，您最好的天氣小夥伴選擇

KNY 致力將最完整的天氣、地震資訊提供給您，美好的早晨，您還縮在被窩裡，苦思今日衣著的厚薄嗎？要不要帶雨具？防曬乳、太陽眼鏡該出門了嗎？打開「KNY 台灣天氣」，迅速掌握今日天氣狀態。充足的準備，讓您擁有一整天的好心情！

圖 4 「KNY 臺灣天氣·地震速報」App



圖 5 2016 年美濃地震強震即時警報 App 訊息截圖
(KNY Co. 提供)



圖 6 Cube 警報器即時顯示有感地震報告畫面
(三聯科技公司提供)

相對廣泛，如圖 7 為日本一款具地震預警功能之商品，結合日曆、時鐘、警報器及收音機。圖 8 則為結合地震預警及手電筒功能之家用產品。上述產品不僅單純作為警報及預報設備，更可作為日常居家使用，加上此類商品重視外觀設計感，提升民眾購買意願。

即時性初步評估產品

建築物新近竣工尚未使用之狀況下，透過系統量測震動數據搭配專業技師診斷，可建立第一筆結構健康診斷報告，亦即為最佳健康狀態報告。當未來受地震影響，後續量測與診斷報告將可與第一份識別報告參照比對，即可得知建築結構物本身之生命週期。除此之外，系統本身更具備建築結構物之快篩檢測，當大規模地震



圖 7 結合電子日曆時鐘及收音機功能之地震警報裝置
(引用自 <https://www.rbbtoday.com>)



圖 8 結合手電筒之地震預警家電產品
(引用自 <http://www.j-force.net>)

來襲後，能夠於短時間內透過警示燈號反映建築結構物當下狀態，以評估建築物本身即時健康狀態（圖 9）。國內營運中耐震能力存疑之建築物若辦理耐震補強期程較長，如重要醫療機構，則可藉由建立健康管理系統進行持續監測、即時診斷與主動預警，為建築物生命週期安全維護管理提供決策支援^[13]。

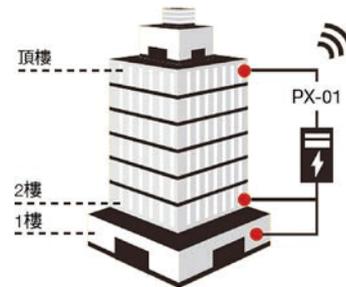


圖 9 結構健康監測系統架構示意圖（三聯科技公司提供）
(其中圖點為地震儀裝設位置，PX-01 為主要控制及分析系統)

強震預報應用產業別還有即時控制之硬體設備及智慧判釋程式開發。地震預警結合斷電機制產品係為典型案例，藉由資訊整合與傳遞，將警報器數位化顯示與既有變電站之斷電機制整併進行現地優化功能，警報器內建判斷邏輯可將地震儀與既有強震儀同時收到之震度作判斷，藉以達到智能斷電效果（圖 10）。

非即時性線上地震災害風險及耐震評估工具

地震災害頻率不高，因此常被淡忘進而降低防災意識，但是相反的也提供了我們更多準備時間。藉由非即時性線上評估產品，簡要提供居住所在地位置及結構方面等相關資訊，就能呈現自身面臨地震災害風險，而民眾即能主動從事地震防減災環境作為。一般民眾最在意係為自身居住之建築是否鄰近公園、學校及其他有利環境，地震安全考量優先度較低。因此，除了科普教育及防災宣導以外，若能提供便利操作之評估工具，應能提升個人防災作為。

國家實驗研究院國家地震工程研究中心開發之街屋耐震資訊網（圖 11），一般民眾由網頁界面填入相關檢測參數，即可初步瞭解建築物是否有耐震安全疑慮。

然而，若能更直接地提供各類別解決方案之聯繫

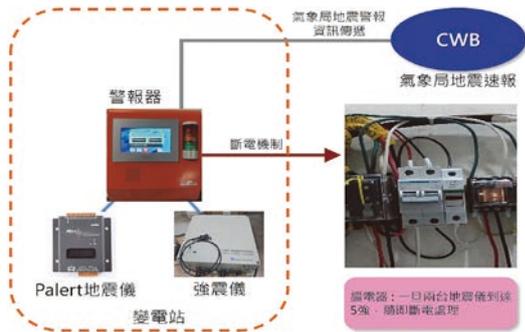


圖 10 鐵路變電站地震監測自動斷電設備 (三聯科技公司提供)



圖 11 國家地震工程研究中心提供的階屋耐震資訊網 (http://streethouse.ncree.narl.org.tw/)

管道，應能更有效率地將民眾防減災需求轉化成消費行動。美國 Tremblor 公司就有類似服務性質產品^[14,15] (圖 12)，此類工具之優點在於將產學提供之災害潛勢轉換成民眾方便理解且有感的資訊，並且依據這些資訊提供各類解決方案之分析評比，讓民眾依據自身的財力及對於風險之理解狀況作選擇。

Temblor 提供之線上評估工具，可以根據特定房屋的位置和規格，概述性地分析該房屋可能因地震動而造成之損壞，並且對地震保險以及房屋進行改造成本效益進行綜合整體分析 (圖 13)，並提供各類解決方案供應商之聯繫資訊 (圖 14)，民眾可以直接聯繫廠商進行諮詢。



圖 12 temblor 公司即時檢視地震災害風險入口網站 (https://temblor.net/)

地震防災產業發展契機

臺灣身為地震大國且地狹人稠，任何地震災害都可能造成重大損失，如此上天給予的劣勢，也能是個機會，拋開傳統觀念對「防救災」的想像，防救災不該只是專屬於政府及專家學者們之職責，相反地，防救災的觀念、知識及方法，應該可以透過新科技及新知識之力量，深入民間日常生活，讓民眾也成為「地震防災知識+」，將民眾需求轉變成一項防災產業，讓政府及專家學者回歸其防災規劃擬定及專業研究本業，使臺灣科技防救災整體政策及學術研究領域更精進，則地震防災產業也能隨之蓬勃發展。

以臺灣地震災害相關的警報訊息傳遞產業為例，經由公私協力完成，可讓地震警報訊息之產業生生不息。若存在一個民間組織針對地震相關產業發聲管道，作為與官方商討相關產業政策、警報技術研究、教育推廣、以及法規制訂之橋樑不失為可行之道。日本地震警報訊息產業鏈中由官方主導之非營利組織「特定非營利活動法人地震情報利用協會」(Real-time Earthquake and Disaster Information Consortium, REIC)，其負責在第一線整合民間業者力量、教育宣導等，政府機關則是扮演傳遞正確資訊，以及落實政策執行之角色 (圖 15)。

若向日本阪神大地震震災救援的自助的比例高達七成的概念中學習，臺灣民眾教育能有自助認知才能追溯到產業解決之需求服務及產品發展，如此一來防救災將能成為一高潛力之新興產業。此外，不同產業別之間跨業結合也能拓展地震防災產業之面向及廣度，以地震風險評估作為起點，衍生後續之解決方案，則可包含保險相關、建築承包商、耐震結構補強相關產品、工程顧問、地震預警及預報軟體商等相關產業，彼此相互串連推廣建立更多元商業模式，勢必能藉此讓產業順勢發展。

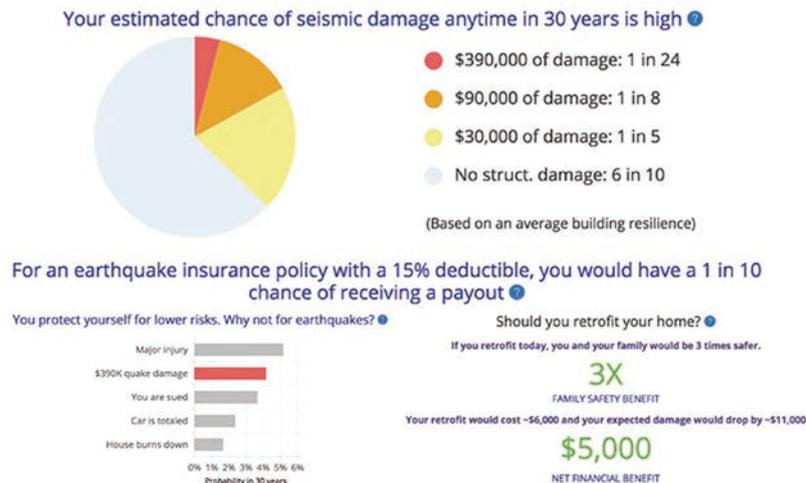


圖 13 根據特定房屋地址與規格所評估之成本效益分析數據圖

More	
RECOMMENDED PROVIDERS	
Insurance Agents	
Retrofit Contractors	
Structural Products	
Structural Engineers	
Quake Prep Consulting	
Become a recommended provider	

圖 14 各類建議的解決方案之供應商聯繫資訊

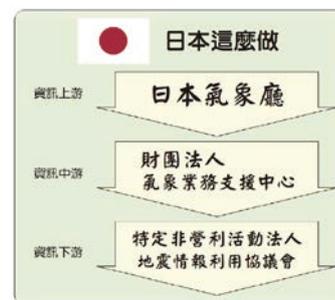


圖 15 日本地震警報訊息政府與非營利機構之關係架構

結論

吾等身處臺灣頻繁多震之地理環境，政府、企業及民眾，任何人事物都無法完全避免災損。藉由科學研究揭露空間上斷層潛勢之差異性，加上科技進步讓通訊與監測技術能完善地設計出符合效益之預警預報服務及產品，如此得以讓地震防減災更有機會妥善縝密規劃並付諸實際行動。藉由產官學合作之災害潛勢基本資訊，定期滾動揭露可能之地震危害潛勢衝擊程度，搭配既有規範及法規，企業與個人都可藉由商業或公部門所開發之客製化評估工具，獲得初步因應解決方案建議，再透過地震防災產業相關廠商資訊之鏈結，降低地震可能引起之損失。上述一系列配套之運作，相信得以讓臺灣之地震防災產業更加蓬勃發展。

參考文獻

1. 行政院 (2019), 108 年災害防救白皮書, 臺北, 民國 108 年。
2. 鄧崇任、柴駿甫、翁元滔、蔡克銓 (2009), 臺灣集集大地震後建築物耐震設計規範之演進與前瞻, 土木水利, 第 36 卷, 第 4 期, 第 16-25 頁。
3. 王華弘、鄭錦桐 (2017), 擊劃台灣防災產業國際行銷, 社團法人臺灣災害管理學會。
4. Munich Re, Earthquake risk: A deadly threat, retrieved May 13, 2021, from: [https://www.munichre.com/en/risks/natural-disasters-losses-are-](https://www.munichre.com/en/risks/natural-disasters-losses-are-trending-upwards/earthquakes-a-deadly-threat.html)

5. 經濟部中央地質調查所, 斷層知多少, https://www.moeacgs.gov.tw/News/news_more?id=5bb06a0c9f4c43a195cf167075b61202, 存取於: 2020/4/30
6. 內政部營建署 (2011), 「建築物耐震設計規範及解說」。
7. 楊耀昇、周維苓、鍾立來、賴勇安、邱聰智、賴昱志 (2018), 「結構耐震評估與補強設計結果之檢核 (上) (下)」, 技師報, 第 1123 及 1124 期。
8. 鍾立來、陳俊鴻、楊耀昇、邱聰智、涂耀賢 (2019), 「結構耐震評估: 審查重點及結果彙整表」, 技師報, 第 1180 期。
9. 薛強、吳嘉偉、陳正忠、陳國慶 (2007), 台灣建築物耐震性能設計規範之研擬, 中興工程季刊, 第 96 期, 第 7-15 頁。
10. 薛強、邱天宏、張權、翁健煌、陳正忠 (2014), RC 建築物震後損失評估, 中興工程季刊, 第 122 期, 第 15-22 頁。
11. 鄭錦桐、江憲宗、林柏伸、李錫堤 (2010), 「地震危害度分析技術之發展與應用」, 中興工程 40 週年工程技術論文, 第 232-248 頁。
12. 林柏伸 (2016), 美國 [資深地震危害分析委員會] 程序簡介, 中興工程季刊, 第 133 期, 第 27-33 頁。
13. 薛強、簡宗益、林威廷、翁健煌、張仁綺、白燕菁、曾騰毅、吳璋晉、李其航、劉建均 (2017), 醫療院區建築結構健康管理, 中興工程季刊, 第 137 期, 第 74-84 頁。
14. Sevilgen, V., Jacobson, D.S., Stein, R.S., Lotto, G.C., Sevilgen, S., and Kim, A. (2016, December). Temblor, an App to Transform Seismic Science into Personal Risk Reduction. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2016, pp. NH23C-1876).
15. Stein, R.S., Sevilgen, V., Sevilgen, S., Kim, A., and Madden, E. (2015, December). Temblor, an app focused on your seismic risk and how to reduce it. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2015, pp. T13D-3033).