



從日本的E-Defense到 建築長照建置計畫(下)

國立成功大學土木系 副教授／朱世禹



感謝三聯科技教育基金會三聯技術期刊的支持，本文將分上下兩集，上集介紹近20年來美國於地震工程與複合災害相關實驗設施的建置與研發方向。下集則介紹近20年來日本於地震工程相關實驗設施的建置與研發方向，也是筆者協助撰寫國家地震工程研究中心臺南實驗室建置計畫書的部分內容，希望藉由這個期刊能留下完整的記錄。並記載筆者近年來在南部推動建築長照建置計畫的過程，希望能引起更多社會大眾的共鳴，促成臺灣防災科技產業的創新與發展。

(接續上集)

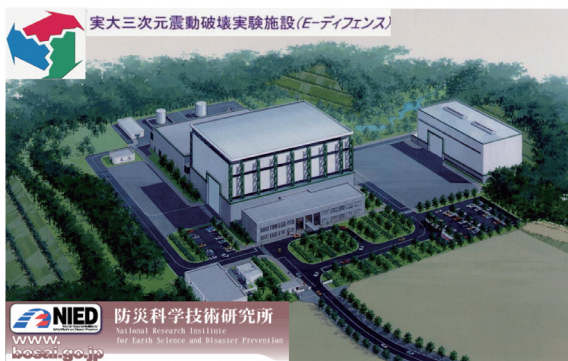
四、日本E-Defense實尺寸振動台介紹

環顧國際地震帶的其他先進國家，日本為亞洲地震工程研究成效卓著的國家，在筆者於2000年至2002年，參與美國NEES計畫於紐約州立大學水牛城分校實驗室擴建之規劃與儀器設備規格制訂與採購期間，亦針對日本的相關研究機構進行拜訪與設施資料的整理，礙於篇幅在本文僅進行整體的文字描述，改期再來詳細比較。日本各項大型實驗設施的建設與營運有很大部分屬於私人企業的研究中心，例如：隸屬株式會社竹中工務店的竹中技術研究所實驗室、隸屬清水建設株式會社的清水建設技術研究所、隸屬株式會社大林組的大林組技術研究所、隸屬鹿島建設株式會社的鹿島技術研究所及隸屬大成建設株式會社的技術研究所。上述日本的五大建設公司均設置有相關的實驗室，除了與地震工程相關的反力牆、強力地板

配合高性能油壓制動器或地震模擬振動台之試驗設施，亦均配置有風洞、防火、性能測試等可以因應複合型災害防災需求的試驗軟硬體設施。

而日本政府對於地震工程及複合型災害相關之官方實驗設施機構，從1963年國立防災科學技術中心於東京設立開始，經過雪害、波浪、強地動、築波研究學園都市設施大型實驗設施興建與歷次的組織改編，目前由國立研究開發法人防災科學技術研究所主導，在通過研究地震，火山，洪水，山體滑坡，氣象變化造成的災害，保護人們的生命和財產免受自然災害的影響，並使社會能夠適應自然災害。有鑑於1995年阪神地震的慘痛教訓，日本政府積極投資防災科學技術研究所(NIED)，在日本兵庫縣的三木震災紀念公園內建造「實尺寸3D振動台實驗設施(E-Defense)」(如圖12)。此實驗設施是以「世界首創」的理念，藉由模擬的地震來振動實尺寸結構物，再現結構物破壞時的地震反應，其實驗與研究成果有助於提高結構

物耐震性能。日本「實尺寸3D振動台實驗裝置」的目標設定為：(1) 實現大型結構物之耐震實驗的承載能力；(2) 實現破壞型大地震之位移、速度、加速度的激振能力；(3) 可有效地進行破壞實驗的激振控制；(4) 量測與分析大型結構物動態反應的能力。該平臺為6自由度，耗費美金約40億之經費，平臺運作由垂直向14支、兩個水準向各5支巨型油壓致動器所構成，並配備有MTS最先進之三階電動伺服控制閥與數位式光纖控制器系統，最大可進行長15m、寬15m、高12m(相當於4層樓高)之實體建築受地震作用之反應試驗。主要傳感器為先進之雷射位移計、光纖加速度計等，配上多達900頻道之資料擷取系統，目前E-Defense隸屬於NIED轄下的兵庫耐震工學研究中心。



三次元震動台の基本仕様		
震動台の大きさ Table Size	20m x 15m	
最大搭載荷重 Payload	12MN (1200tonf)	
加振方向 Shaking Direction	X, Y - Horizontal	Z - Vertical
最大加速度 Max. Acceleration	900cm/s ²	1500cm/s ²
最大速度 Max. Velocity	200cm/s	70cm/s
最大変位 Max. Displacement	±100cm	±50cm

▲ 圖12 世界最大日本E-Defense巨型地震模擬平臺(<http://www.bosai.go.jp/hyogo/ehyogo/index.html>)

五、國內地震工程近程發展與資料庫建置

綜整上述美日兩國所規畫興建的各式實驗設施與防災技術研究方向，均朝向整合各項災害類型及因應複合型災害的研究需求加以建造規劃，尤其，各項實驗設施均已逐漸朝向實尺寸或近似實尺寸的實驗需求加以建置(如日本的E-Defense巨型振動台)，即便如美國各著名的實驗設施，因經費與場地的限制，均積極配置先端實驗設施，配合開發數值模型與實尺寸次結構試體互動的即時複合實驗技術，以間接達到類實尺寸實驗的效果。其主要原因為傳統的實驗設施因規格與經費限制，多採取縮尺的實驗試體來進行研發測試與驗證，其實驗結果與實尺寸的建築或結構的真實行為仍有尺寸效應無法克服。

有鑑於美、日等地震工程先進國家均分別開展對於地震工程下一世代的相關研究需求，我國於1990年開始籌建「國家地震工程研究中心」，實驗室自1997年落成啟用之後，提供了相當完備的軟硬體設施，並持續提昇相關實驗技術與學術研究能力，以及研究團隊之養成，在地震工程領域之研究具有世界一流的水準。同時「國家地震工程研究中心」對921集集地震發生後之救災與災後重建對策扮演關鍵角色。唯「國家地震工程研究中心」面臨實驗室空間過於擁擠問題；且實驗設備正逐漸老舊，實驗儀器功能日益衰退，急思推動新實驗室之建置與適時更新研發設施，以維持其世界領先地位；所以，中心於民國92年11月28日行政會議討論通過成立南部實驗室之原則，且於民國92年12月15日諮詢委員會議確認另案申請成立



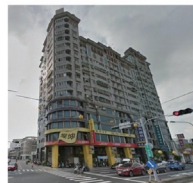
南部實驗室，期能藉由南部實驗室支援全國各大學與地震工程相關之特殊大型實驗研究，以疏解、分擔原實驗室之實驗負荷，解決其面臨之困難與危機，並藉以實現長期發展目標以及繼續保持國際優勢。

同時為了深入瞭解目前國內地震工程研發能量，以及國內學者專家未來進行研究之需求，「國家地震工程研究中心」當時亦針對國內公私立大專院校及業界之學者專家進行問卷訪查。經問卷調查之結果，有高達83%的意見認為「國家地震工程研究中心」現有實驗空間已不敷使用需要再予以擴充，並且有95%的受訪者贊成擴建「國家地震工程研究中心」現有實驗室，並添購相關之實驗軟硬體設備，以提昇未來國內地震工程相關研究與應用能量。此外，有高達92%的受訪者主張儘速增設不同特色之「國家地震工程研究中心」分中心，以提昇國內地震工程研究之國際競爭力。

筆者自2002年回台至國立暨南國際大學服務，根據參與美國NEES計畫籌建實驗室之經驗，協助國立暨南國際大學建置大型實驗室，負責彙整及撰寫「國立暨南國際大學科技學院耐震與防災實驗室建構計畫」，獲教育部補助新台幣貳仟柒佰貳拾萬元整。同時於國立暨南國際大學服務期間，即協助國立成功大學建築系許茂雄教授及土木工程系邱耀正教授，負責彙整及撰寫「國家地震工程研究中心南部實驗室籌建專案計畫書」，並於2004年應聘至國立成功大學土木工程系，繼續協助土木工程系朱聖浩教授籌建國家地震工程研究中心台南實驗室，促成國家實驗研究院與成功大學簽訂研究合作協議，國家地震工程研究中心台南實驗室並已於2017年8月10日落成啟用。

雖然台灣目前已擁有更新更完整的實驗設施，但是，大自然的考驗卻更加嚴峻，例如2009年的莫拉克風災。而從1999年至2019年之間，臺灣地區仍陸續發生了2002年0331花蓮地震、2006年0401卑南地震及1226恆春地震、2016年0206美濃地震台南永康維冠金龍大樓、京城銀行倒塌，以及2018年0206花蓮地震雲門翠堤大樓、統帥飯店倒塌(如圖13)。

2016.02.06 Meinong Earthquake



維冠金龍

京城銀行

2018.02.06 Hualien Earthquake



雲門翠堤

統帥飯店

▲ 圖13 危險老舊建築物的震害

造成人員罹難及財物損失之重大災難，再次引起社會大眾對於大樓建築物耐震能力之關注；尤其對於隔震建築，在未來可能發生之近斷層地震作用下，原始設計之隔震位移是否

足夠？各項隔震系統基本要件是否均能符合？配套之各項維生管線或機電設備是否於震後仍能正常運作？以上種種的議題，可藉由研發對應之系統識別技術加以探討，逐步確認整體之行為，同時回饋於原始設計與未來因應近斷層地震事件之推測評估。而欲達此目標，亟須推廣建置大量的建築物健康監測及強地動量測系統，藉由台灣本身地震頻繁的地理特性，上述新式隔減震建築物可經由經年累月的中小型地震反應獲得寶貴的紀錄，每次地震事件均為一次實尺寸的振動台試驗，除可協助處理國內對此新式建築類型的管理與預防，亦可逐步建立各式各屋齡建築結構的大數據資料庫。

上述的構想，早年已由交通部中央氣象局地震測報中心之強地動觀測計畫加以落實，不過僅針對特殊篩選之建築與橋梁，尚未落實於國內的一般建築。從民國82年迄今，已在全省各地選擇不同高度、不同軟硬地質狀況以及鋼筋混凝土、鋼構或磚造等不同建材之建築物和橋樑裝設強震監測系統，如圖14所示。至民國93年止，已於全台完成60座結構物強震觀測系統，其中46座為建築物、14座為橋梁^[3]。不少學者包括筆者在內，亦根據中央氣象局於結構物地震監測系統所量測之動態反應訊號，進行震後結構物強度變化與損壞評估等相關研究^[4-5]。然而，由於本項觀測計畫由交通部中央氣象局編列預算執行，而非建築物之主管機關，對於該項計畫之整體效益較無法充分落實應用，且近年因應政府組織再造計畫，中央氣象局已逐步將該項業務移轉，綜合評估後應由國研院國家地震工程研究中心最適合本項計畫之大資料管理，不過，後續之量測設備維護與大資料之管理研究與應用，亦亟需培養足夠之研究人才

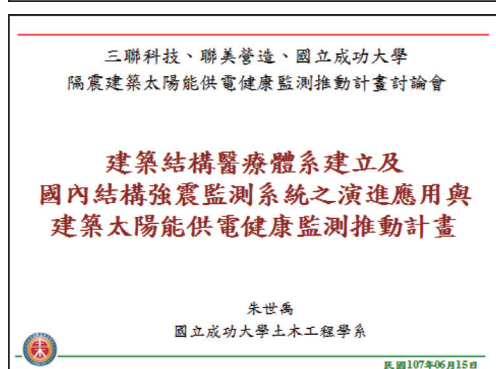
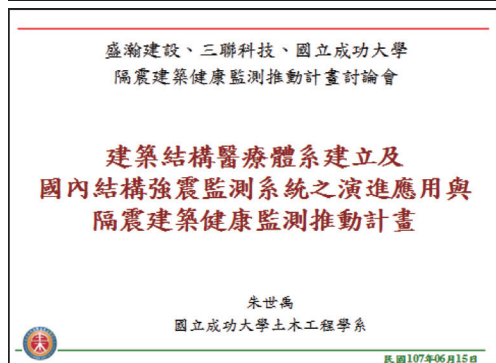
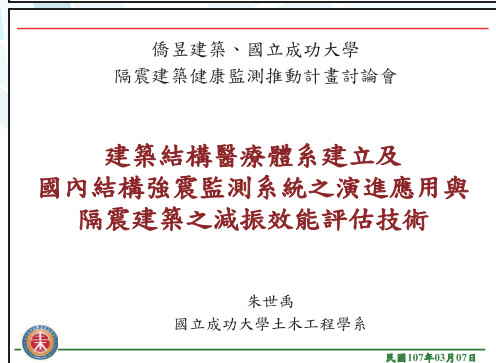
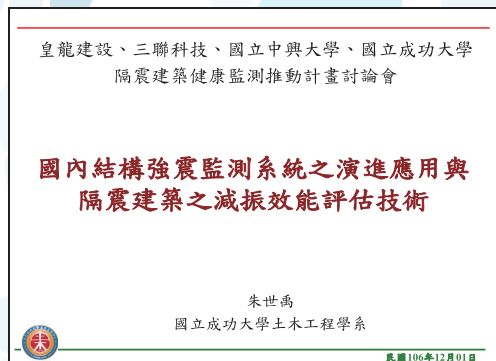
進行研發，才能發揮該項計畫的建置效能。環顧國際之相關法規發展，2015年起，與台灣同處環太平洋地震帶的菲律賓，已由菲律賓公共工程與公路部(DPWH)，發布強制菲律賓國內建築物均需安裝強震監測系統之規定^[6]，顯見國內對此項議題仍有努力的空間。



▲ 圖14 交通部中央氣象局強地動觀測計畫建置分佈圖^[3]

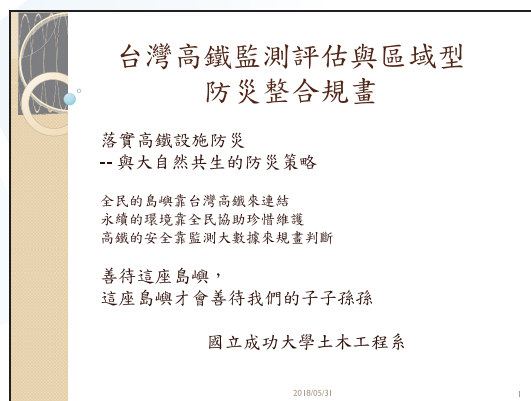
六、建築長照建置計畫之構想與未來實行

在經歷每一次災害型地震後的勘災行程中，針對目前現存的大量危險老舊建築，筆者常思考，應將三聯科技、開誠建設與國立中興大學土木工程學系，於2015年已展開之「住宅建築防災安全監控系統整合應用計畫」^[7]繼續推廣，以期能應用於現有之老舊建築。期間因參與勞動部丁類危險性工作場所審查以及隔震建築的特殊結構審查，長期與南部的業主或技師公會有所接觸，於2016年0206美濃地震後，即積極持續遊說民間建設公司或隔減震建築之業主，推動民間隔減震建築安裝「建築物強震預警與健康監測系統」之公益遊說活動(圖15)。



▲ 圖15 「建築物強震預警與健康監測系統」公益遊說活動

亦將本項理念推廣至台灣高鐵公司(圖16)，希望針對重要交通設施亦能引起共鳴，一起共襄盛舉。



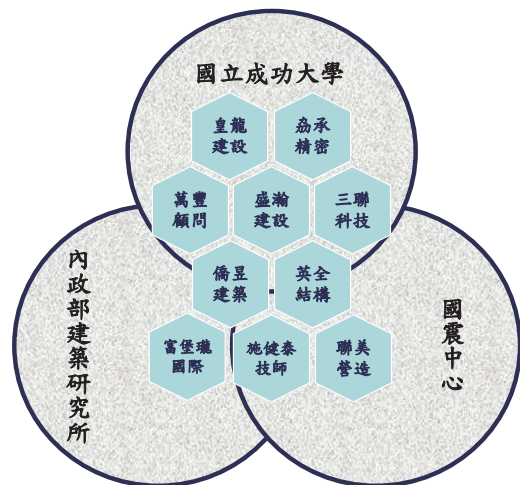
▲ 圖16 「台灣高鐵監測評估與區域防災」公益遊說活動

上述公益性質之推廣活動，也藉由於筆者於2018年中國青島舉辦之第七屆世界結構控制與健康監測研討會(7WCSCM)進行發表與世界分享，獲得極大的迴響。唯欲加速「建築物強震預警與健康監測系統」方案的落實，僅靠熱心與公益的推動極可能落得緣木求魚的結局且緩不濟急。故筆者於108年11月15日，獲得國家地震工程研究中心黃世建主任的支持，藉由國家地震工程研究中心台南實驗室舉辦「實驗展示會—近斷層效應下RC軟弱底層建築物國際分析競賽之倒塌實驗」的機會，邀集台南市結構技師公會、台南市土木技師公會、高雄市結構技師公會、高雄市土木技師公會，台灣省土木技師公會(南區)、台南市建築師公會、高雄市建築師公會以及台南市不動產開發商業同業公會、臺南市大台南不動產開發商業同業公會和台南市營造公會共同參與。順利舉辦「南區建築防災科技聯盟-建築長照建置計畫1.0」籌備討論會議，如圖17。



▲ 圖17 「南區建築防災科技聯盟-建築長照建置計畫1.0」籌備討論會議

「南區建築防災科技聯盟-建築長照建置計畫1.0」目前參與合作的聯盟成員如圖18。



▲ 圖18 「南區建築防災科技聯盟」參與之合作企業與機構

針對目前既有或未來規畫新建之案場，提供作為聯盟建築長照建置計畫之標的建築，在聯盟內不動產開發商、建築師、結構技師、土木技師、設備廠商、營造業者或住戶管理委員會各方的同意下，簽訂互信合作之保密協定，藉由裝設建築物強震預警與監測設備，進行建築結構長期地震事件記錄。

並委由國立成功大學擔任第三方公正單位，協助進行量測資料之分析，提供聯盟標的建築物之長期健康監測履歷，同時彙整健康監測履歷資料庫，以提供未來建築長照建置計畫之防災科技創新服務相關研究參考。並透過國立成功大學、台南市結構技師公會及台南市土木技師公會，以聯盟為基礎發展單一窗口整合服務，並結合國家實驗研究院國家地震工程研究中心台南實驗室，以及內政部建築研究所於成大歸仁校區的防火實驗中心以及風雨風洞實驗室的實驗設施，藉由歸仁校區複合型災害實驗園區(如圖19)的建置完成。



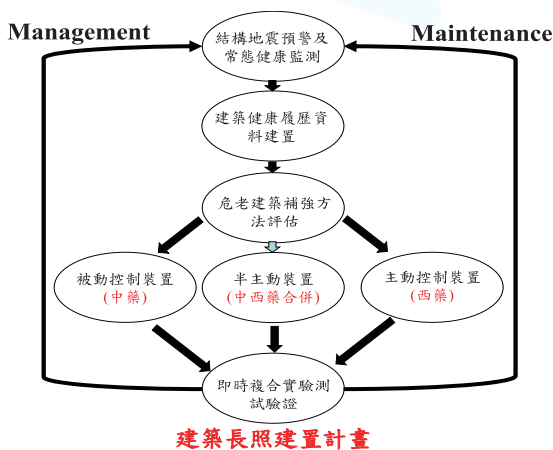
▲ 圖19 國立成功大學歸仁校區「複合型災害實驗園區」示意圖

以學研的角度來結合聯盟成員，對於新建之隔減震案例，進行隔減震元件之實尺寸實體性能保證試驗。目前國立成功大學亦已設置



「國震中心臺南實驗室國立成功大學營運管理委員會」，將可緊密鏈結聯盟成員、終端住戶與學界，並將健康履歷回饋至原始設計(結構技師、土木技師)與元件測試實驗結果(設備供應商)。善用台灣特有多颱風常地震特性之防災產業發展，實不容再拖延緩步。

綜整前述美日兩國實驗設施與防災研究的未來規畫，本文提出之「建築長照建置計畫」針對地震速報應用效能提升進行研究，結合地震速報與結構監測，並提供區域性災損評估特定的安全判斷，以提升地震速報防災產業應用價值，並開發地震防災產業，減低地震災損。關於建築物生命週期長期照護建置計畫的基本流程(如圖20)所示。



▲ 圖20 建築物生命週期長期照護建置計畫示意圖

其中，建築健康履歷的建立需要成熟可信任的識別技術，而後續的補強的評估建構與成效驗證，更需導入國震中心台南實驗室可進行即時複合實驗技術的新穎硬體設備來協助驗證。無論是新建、中年或是危老建築，藉由安裝「結構預警與常態健康監測系統」，進行3~5年的觀測，並由學界協助進行健康履歷報告的建置。同時針對防災產官學資訊交流平臺

管理營運及建置服務進行研究，以聯盟為基礎發展單一窗口整合服務。從一個建案的規劃設計、特殊結構審查、隔減震設施之性能測試到使用維護與管理(相親配對、結婚生子、生命週期健康履歷建置，到防災保險風險管理及二手房市的價格維持)，來進行建築長期照護防災產業的鏈結。未來如能結合保險金融及法律相關專業產業，完成適用於台灣地區之巨災風險評估模型，作為研擬建築地震投保商品費率的基礎。並可針對既有危老建築提供量化之數據，作為政府危老更新的依據，在兼顧公共安全與住戶權益保障的前提下，同時導入有意願的聯盟不動產開發商，協助危老建築都更程式。

☒ 參考文獻

- [1] Kelly JM. Aseismic base isolation: review and bibliography. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 5(3): 202-216. (1986).
- [2] 國家地震工程研究中心，「台灣大學土木系新建研究大樓中間層隔震元件試驗」，國家地震工程研究中心報告，NCREE-08-042，2008年12月。
- [3] 蔡克銓、羅俊雄、黃新愷、林信成、鄭維中、朱毅倫，「台灣地區結構物地震監測系統檢測及資料收集」，中央氣象局技術報告，編號MOTC-CWB-93-E-05，2004年。
- [4] 羅俊雄等，「橋樑在強震時之反應預估模式」，中央氣象局技術報告，編號MOTC-CWB-93-E-13，2004年。
- [5] 姚昭智、林其璋、洪李陵、朱世禹，「建築物在強震時之反應預估模式(II)」，中央氣象局技術報告，編號MOTC-CWB-94-E-12，2005年。
- [6] Department of Public Works and Highways (DPWH) of Philippines, DPWH Installs Earthquake Recording Instrument, <http://www.dpwh.gov.ph/dpwh/news/1056>. (2015)
- [7] 三聯技術期刊98期，2015，12。