

發行人：黃世建

本期主編：楊炫智、張為光

發行所：財團法人國家實驗研究院

國家地震工程研究中心

地址：台北市辛亥路三段 200 號

電話：(02) 6630-0888

傳真：(02) 6630-0858

網址：<http://www.ncree.org.tw>

106 年 12 月出版

81 年 3 月創刊・季刊

目錄

● 主任的話：持續推動服務努力創新研發 1

● 專題報導：

大地與地震工程之激盪與火花

低矮建物與液化土層互制行為之簡化分析模式 2

海床孔隙水壓激發模式與液化評估方法 3

基於隨機振動理論之地盤反應分析其驗證比較 4

新型多層式剪力試驗盒簡介 5

土石壩縮尺震動台先導試驗之規劃與測試 6

離岸風場土壤調查相關規範條文彙整與本土化建議 7

● 新進儀器設備

動態捕捉量測系統 10

臺南實驗室之土壤力學實驗室建置規劃 11

● 中心活動

2017 抗震盃創意大挑戰 12

校舍耐震評估與補強作業講習會 13

2017 台灣地震損失評估系統講習會 13

● 研討會

週期性材料於重要設施減震應用研討會 14

第十屆台美日自來水耐震研討會 14

建築物基礎構造設計規範之修正研擬說明會 15

建築物基礎開挖工程監測準則及山坡地監測準則研討會 15

國家地震工程研究中心

簡訊

2017.12 第一〇四期

主任的話

持續推動服務努力創新研發

國家地震工程研究中心成立於 1990 年，透過多年的努力，國震中心在國內外都已建立良好的聲譽，並有極佳的服務貢獻。我在今年 2 月接任國震中心主任職位，首要工作就是維持國震中心的聲譽於不墜，並持續推動其服務容量。再來就是構思如何攀上另一個高峰，第一個要努力的就是推動近斷層的研發工作。

台灣島上佈滿活動斷層，已知第一類活動斷層共計 33 條。在斷層旁 10 公里範圍內之人口共計 860 萬，約占台灣人口數之 1/3，其生命財產均受到近斷層效應之影響。靠近斷層的地表震動具有位移大速度高之特性，其對結構物具有特殊的破壞效應。在前主任張國鎮教授的努力下，國震中心台南實驗室已建置在成功大學歸仁校區，並於今年 8 月正式開幕營運。國震中心台南實驗室具備長衝程高速度之振動台與雙軸向測試系統，這正是研究近斷層效應的重要設備。我們應該藉此利器，解決台灣嚴峻的地震威脅。

實驗與解析一直是土木工程研究的左右手，有些項目需要用實驗的手段，有些工作適合用分析解決，但結合實驗與分析計算更是強而有力的研究工具。國震中心應該推動混合型之實驗研究，為地震工程尋找一個全新的研發方法。在這個重要的議題上，我很高興能邀請前主任蔡克銓教授組織整合型研究群，領導國內學界與國震中心一起作出貢獻。

在今年 8 月國震中心台南實驗室的開幕論壇中，我們有幸邀請到國內外的地震工程學者專家共聚一堂。大家對國震中心既有的成果均表肯定，也對國震中心未來的研究非常期待，與會學者專家殷殷垂詢並作出諸多建議。未來需要解決的問題甚多，但重要的是要專注持續的努力，國震中心有專任人員與常態性預算，我們應該義不容辭肩負這些使命。



台南實驗室的長衝程高速度之振動台與雙軸向測試系統

主任 黃世建

低矮建物與液化土層互制行為之簡化分析模式

一、前言

土壤液化現象是地震過程所衍生的自然災害之一。在 2016 美濃地震後，因為許多建築物受基礎土壤液化影響而失穩沉陷，使得土壤液化議題受到社會高度關注。圖一為台南市安南區一處三樓民房因基礎土壤而液化沉陷情況。除了近期發生之美濃地震外，在歷史上亦有許多災害性地震因為引發大規模土壤液化現象，造成嚴重的生命與財產的損失，例如 1964 年日本新潟大地震，因為土壤液化，造成新潟市嚴重之地震損壞；1995 年日本阪神大地震，因神戶港區回填土嚴重液化，使神戶港喪失營運功能，產生鉅額的地震損失；1999 年台灣集集大地震，土壤液化在員林、南投、霧峰與台中港都產生一定程度的地震損失(Hwang et al., 2003)。由於土壤的力學性質在液化過程會瞬間即失去其承載外力的能力，造成位在液化土層上方的結構物將因底部土壤無法提供足夠的支承力而產生均向垂直沉陷與差異沉陷，進而危害到結構物的安全性能。國內都會區因為都市更新不易推動，許多老舊建物難以汰舊更新，因此針對位於具液化潛能區內既有建物之補強與評估，為工程界下一階段應面臨之課題。內政部亦因而積極推動多年期之「安家固園計畫」，期能提升土壤液化潛勢區內老舊建物之安全性能。

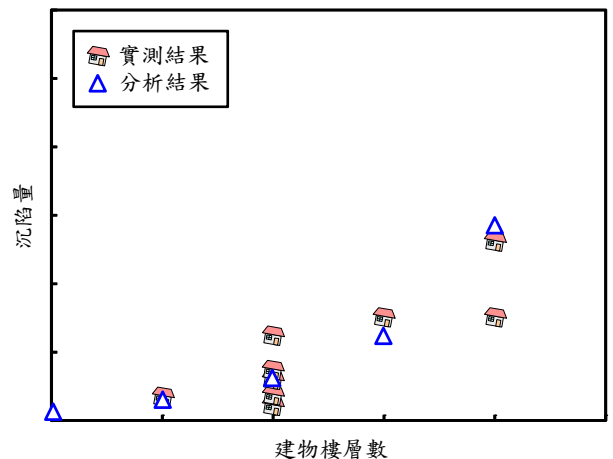


圖一 美濃地震後台南市安南區一處建物沉陷情況

目前在實務上，多採用弱化液化土層參數之簡化方式，藉以掌握液化土層之力學性質，再配合彈簧分析模式，進行土壤-結構互制分析。因為此法避開複雜之液化土壤組成律及動態外力的不確定性，適合用於工程界快速且尚屬合理評估老舊建物於液化土層之安全性能。有關彈簧模式下土質參數折減程度，國內規範多沿用日本道路協會(1996)及日本建築學會(2001)之建議。由於彈簧模式將層狀土壤簡化之單一彈簧，對於土壤-結構互制之模擬仍略嫌簡單。有限元素/有限差分等分析模式仍為較合理、完整模擬土壤-結構互制行為之方式，但是適用於有限元素/有限差分模式之液化土層簡化分析參數仍有待建立。因此，本研究擬針對此課題，以台灣本土資料，建立液化土層參數折減之建議，供有限差分程式進行液化土壤與低矮建物互制分析。希望能建立一套考慮本地震、地質、建物基礎型式特性之低矮建物液化災害損失評估流程，供各界參考應用。

二、低矮建物與液化土層互制行為之研究構想

本研究將利用 1999 年集集地震以及 2016 美濃地震低矮建物震損案例，以及液化地區之地層鑽孔資料，嘗試釐清不同基礎土壤液化條件，以及不同樓層數對建物沉陷之影響。爾後再提出一套簡化評估流程，量化分析低矮建物與液化土層互制行為。本研究首先針對所研究之區域，建立區域標準土層，並以本土 HBF 方法進行簡易液化評估，識別關鍵液化土層及其安全係數。之後，再以有限差分程式 FLAC2D 建置土壤-結構互制分析模型，利用參數弱化之方式，模擬液化土層之力學行為，並藉由程式平衡運算，自動考量複雜之土壤結構互制作用。對比數值程式計算之沉陷結果與液化土層上之建物實際量測沉陷後，逐步調整參數弱化比例，直到兩者接近，以此方式建立合適之液化土壤參數弱化程度，如圖二所示。



圖二 低矮建物於基礎土壤液化震陷分析與實測結果比較示意圖

三、結語

相較於彈簧分析模式，有限元素/有限差分仍為相對合理模擬土壤-結構互制行為之分析模式，然其運用於低矮建物與液化土層互制行為簡化分析之弱化參數設定尚待建立。為此，本研究旨在利用有限差分 FLAC 程式，建立一套考慮台灣地震、地質特色之低矮建物於液化土層之災害評估模式。本計畫相關工作尚在執行，未來計畫成果除可作為設計工程師進行低矮建物與液化土層互制數值分析之建議標準分析流程外；以實際案例反算求得之液化土層參數弱化區間，亦可用以評估土壤液化規範中所建議土質折減係數之合理性，並作為未來修訂規範之參考資料。

副研究員 盧志杰

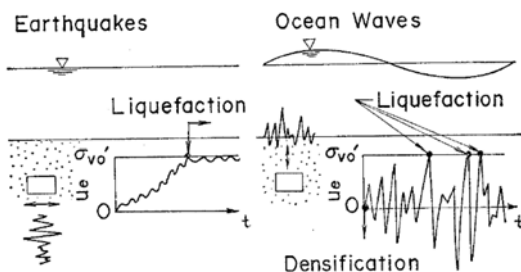
海床孔隙水壓激發模式與液化評估方法

一、前言

隨全球環保意識提升，開發再生能源成為當今能源發展之主要趨勢，需順應環保低汙染，並朝向開發可再重複利用能源為主。因此，綠能如海上風力發電在國內供電上越顯重要且勢在必行。然而，因離岸風力發電機組設置於海床之中，離岸風機的受力條件與陸上結構物大不相同。離岸風機基礎所受側向力遠大於垂直力，基礎側向力主要來自於風力、波浪力、海流，相較於陸域風機的建置風險明顯較高，設置風電機組基樁時，必須對於海洋環境外力做全面謹慎的評估。

近幾年來由於海域於潮間帶及領海的發展，海事工程逐漸成熟，海底通信電纜、海底管線、海上風力發電等各式各樣海事工程陸續展開施工。然而，台灣西海岸海域地質多屬疏鬆軟弱之沖積土層及海埔新生地，颱風波浪來襲時，海床表面波壓從海床表面向下傳遞經過軟弱的覆土層(overburden layer)，在強烈波浪作用下，極可能導致海底通信電纜、海底水管、海上風力發電等各式各樣海事工程發生液化災害。

然而讓結構物產生破壞的原因，除了因為波浪的能量直接作用在結構物本身之外，還有另外兩個主要原因則是結構物底層的砂土受到波浪反覆作用的影響以及地震力作用於海床底部所引致孔隙水壓，而使土壤產生不穩定的情況，進一步造成破壞，如圖一所示。



圖一 波浪及地震所引致超額孔隙壓力特性圖(Zen, 1990)

二、海床土壤孔隙水壓激發與液化評估方法評析

波浪引致海床沉積土壤液化現象是海床中最不穩定之破壞形式，並且會造成沉積物的垂直移動。1980年代有學者提出評估波浪引起海床液化的方法，包括：Nataraja & Gill(1983)、Ishihara & Yamazaki(1984)等。1990年代國內學者陳與楊(1996)依據前人研究，提出更完整的海床液化評估方法。Poulos(1988)指出，影響海床不穩定的主要原因：波浪在海床引起的應力及波浪應力激發海床土壤超額孔隙水壓。當波浪作用在海床時，激發的超額孔隙水壓同時包含瞬時的孔隙水壓及殘餘孔隙水壓。因此，進入20世紀後，陸續有張志新(2004)、Jeng(2007)、黃光爵與鄭永來(2012)與Chien et al.(2014)等學者利用波浪孔隙水壓激發特性進行海床土壤評估研究。上述各種方法之評估特性說明如下：

(一) Nataraja & Gill(1983)評估法

提出以標準貫入試驗作為評估的資料，並以地震力引致土層液化評估模式之概念進行海床液化潛能評估分析之簡化步驟。

(二) Ishihara & Yamazaki(1984)評估法

係根據砂性土壤的相對密度評估其液化阻抗，可對於不同水深下的海床進行液化潛能評估。

(三) 陳景文與楊朝景(1996)評估法

其方法可求得海床液化厚度，及波浪傳遞至海床內之作用力與海床土壤剪力強度對海床深度之分佈。

(四) 張志新(2004)評估法

利用室內動力三軸試驗得到的結果，建立海床砂土液化阻抗強度，並將時間因素加入波浪作用下海床液化潛能評估。

(五) Jeng(2007)評估法

對波浪作用下彈性海床瞬時液化推導出三維判斷準則，評估殘餘孔隙水壓可引致海床最大液化深度。

(六) 黃光爵與鄭永來(2012)評估法

同時考慮海床土壤承受振盪孔隙水壓和殘餘孔隙水壓的液化破壞準則，推導出波浪作用下可液化海床最大液化深度的解析解。

(七) Chien et al.(2014)評估法

利用改良式動力三軸試驗結果，建立海床孔隙水壓激發模式，並將其整合提出海床液化評估方法，並求得海床液化深度。

三、海床土壤現地試驗方法評析

目前工程界評估液化潛能最常用的兩種現地試驗方法，一為SPT-N法，另一為CPT-qc法。目前在國內CPT-qc值評估液化潛能的分析案例很普遍，惟CPT試驗遇有礫石或岩石層時，電子錐頭即會受損，致其適用地區較受限制；但海岸與港灣地區之沖積土層與海埔新生地，則以CPT-qc值評估液化潛能較為適合與可靠；而SPT-N法擁有大量的資料且能獲得較準確之土壤分類與土壤基本性質資料。國外離岸風電產業主要係以CPT試驗結果作為參數推估，主要原因略為CPT具備可連續記錄土層變化之優勢，而且人為誤差小，較SPT精確與科學，且若在海床疏鬆砂層施工易受波浪作用擾動，利用SPT取得土體力學參數之可靠度較低。

四、結語

於各種方法發展背景不盡相同，因此所使用參數、分析流程及其限制也互有差異，常使得液化評估結果有所差距，本研究後續將以海洋大地工程之觀點探討各種模式及試驗之優點及限制條件，以期提供一合適海床液化評估方法應用於離岸海域環境。

專案助理研究員 曾文謙

基於隨機振動理論之地盤反應分析其驗證比較

一、前言

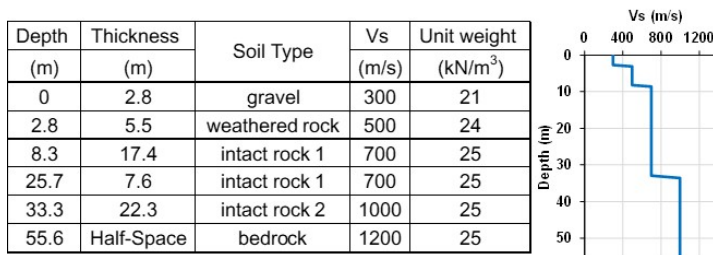
在日本福島核電廠事故後，美國核能管制委員會（U.S. Nuclear Regulatory Commission, U.S. NRC）要求各營運中的核電廠重新進行場址地震危害度分析，供後續耐震安全評估之用。根據美國各核電廠之地震危害度成果檢視報告（Seismic Hazard and Screening Report），基於隨機振動理論（Random Vibration Theorem, RVT）之地盤反應分析模式已廣泛應用於核電廠場址效應評估。

本研究使用 STRATA 程式，針對同一個案例場址以輸入與目標反應譜相符之人工地震歷時進行頻率域擬線性分析之傳統分析模式、及基於隨機振動理論，直接輸入目標反應譜進行分析之 RVT 模式，以此兩種分析方式進行比較驗證。

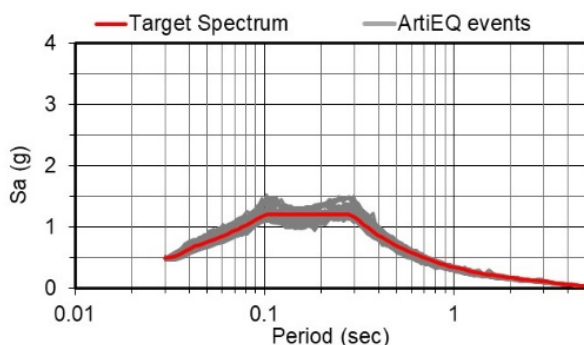
二、地盤反應分析案例

（一）代表性場址參數與基盤目標反應譜

本研究場址地層分為淺層厚度 2.8 公尺礫石層(gravel)、其下為厚度 5.5 公尺之風化岩層(weather rock)，在深度 8.3 公尺以下則是完整岩層(intact rock)，場址地層參數與波速剖面參見圖一。本場址基盤面位於深度 55.6 公尺處，其下視為半無限域，此處基盤面露頭(outcrop)為目標反應譜（如圖二中紅線）之輸入位置。



圖一 案例場址地層參數與剪力波速剖面



圖二 基盤露頭處之輸入運動反應譜

（二）人工地震之製作

為了比對傳統頻率域地盤反應分析與 RVT 分析兩種模式之結果，本研究根據目標反應譜製作與其相符之人工地震，作為傳統分析之輸入運動歷時，包含：

- (1) 採用案例場址鄰近測站之真實地震紀錄作為種子地震

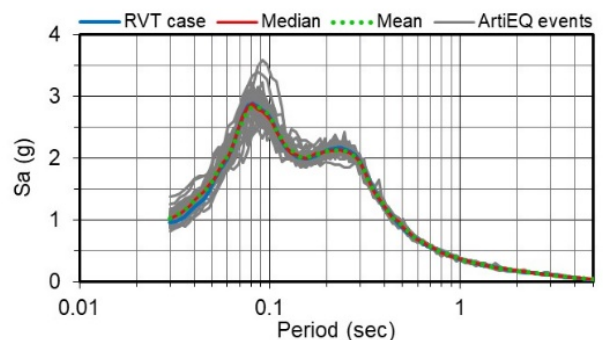
（seed events），保留真實地震紀錄之相位角，製作 10 筆人工地震；

- (2) 採用鄰近斷層且具有速度脈衝特性之真實地震紀錄作為種子地震，同樣保留其相位角，製作 10 筆人工地震；

- (3) 採用 SIMQKE 程式，以隨機相位角模擬方式製作 10 筆與目標反應譜相符之人工地震。30 筆人工地震歷時之加速度反應譜與目標反應譜如圖二所示。

三、分析結果驗證比較

圖三為採用傳統地盤分析之 30 筆人工地震事件(ArtiEQ events)與採用 RVT 分析模式兩者場址地表運動加速度反應譜比較，同樣可發現雖然個別人工地震分析所得之地表加速度反應譜各有差異，但整體 30 組人工地震分析之平均值(Mean)與中位數(Median)變化趨勢幾乎與 RVT 分析模式結果一致。



圖三 場址地表運動加速度反應譜之比較

四、結語

根據本研究初步數值分析案例結果顯示，基於隨機振動理論之地盤受震反應分析模式，其輸入運動是直接採用設計反應譜之方式，分析計算所得之各項地層反應如地層剪應變、地層最大加速度分布、地層運動反應譜等，皆與使用 30 組不同人工地震模擬方式之傳統分析模式其結果之統計值一致。顯示 RVT 地盤反應分析模式可避免以往製作人工地震之模擬方法與挑選地震種子樣本等因素對於分析結果所造成之變異性，具有分析結果統計平均值（statistical average）代表性，適合用於核電廠進行耐震設計或耐震安全評估使用。

副研究員 許尚逸

專案助理研究員 黃郁惟、劉佳泓、許雅涵

新型多層式剪力試驗盒簡介

一、前言

許多大地地震工程的重要研究，如：地盤受震反應分析、土壤液化以及土壤-結構互作用等相關的課題，研究者可利用物理模型試驗(physical model test)方法，探討其破壞機制或驗證相對應的分析以及設計方法。為能透過物理模型試驗的方法探討地盤或土層與結構物間的受震反應，則需要一個試驗盒裝載土壤並提供圍束力以進行半無限空間中(half space)之土層模擬。針對此需求，國家地震工程研究中心委託翁作新教授進行研究，在 1999 年研發出可雙軸向柔性邊界之剪力試驗盒的運動機制，並與工業技術研究院機械工業研究所共同完成設計及開發製造工作，並且此試驗盒之設計構想與技術已獲得專利許可[中華民國專利新型第一六四七五〇號]。由於後續橋梁多重災害等研究的需求，在 2011 年再次委託工業技術研究院機械工業研究所製作第二座雙軸向柔性邊界之剪力試驗盒，其特點是土壤試體高度可達 2.5 m。

近年來，政府大力推動綠色能源的開發，臺灣位處亞熱帶區，風力資源豐富，具有發展離岸風電之優勢，但因受到如颱風及地震等多重自然災害的影響，無法直接採用國外作法與規範。須先針對離岸風機耐震能力等多重災害影響進行研究並建立測試平台，作為後續研究風機場址之地盤受震反應、土壤液化以及風機基礎與地盤受震反應等相關研究的試驗與驗證之用。有鑑於此，國家地震工程研究中心亦規劃新型柔性邊界剪力試驗盒的開發。而此新式剪力試驗盒的功能除了滿足離岸風機研究測試需求外，也朝向多功能使用的目標規劃。配合國家地震工程研究中心臺南實驗室的高速度、長衝程振動台的特色與規格，新式剪力試驗盒也應滿足未來近斷層相關地震工程研究的需求。初步規劃後也邀請專家學者進行諮詢會議，凝聚共識。目前新式剪力試驗盒正進行細部設計與製作階段，因此將目前規劃之新式剪力試驗盒構想與規格作一簡介。

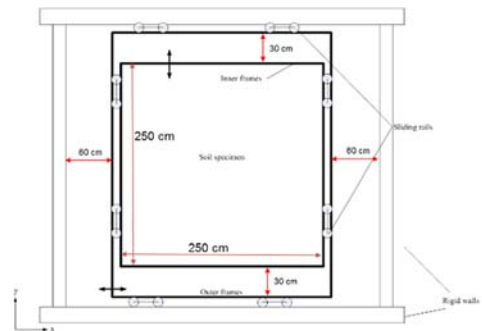
二、剪力試驗盒之設計構想與規格

理想狀態下，為使試驗中土壤符合半無限空間中土層之受震行為，試驗盒須符合下列幾項準則：(1)試驗過程中試驗盒之橫剖面須維持固定平面且無側向擴張；(2)試驗過程中試驗盒須在垂直面上產生和水平面上大小一樣之剪應力，使土層元素所受之力為純剪力；(3)試驗盒無重量；(4)試驗盒在不同高度可隨土壤自由變形；(5)保持試驗盒中土壤之水密性。然而，上述之準則在現實上是無法完全達到的，因此實際應用時仍須妥協。由於翁作新(2000)等人所提出雙軸向剪力試驗盒的獨特運動機制，可解決試體在二維振動因土壤試體或試驗盒質量之不對稱而導致額外的扭矩問題，因此，新式剪試驗盒決定繼續採用其所研發之運動機制為基本架構，加大試體在三維度上的尺寸，尤其在試體的高度方面以滿足未來研究需求。

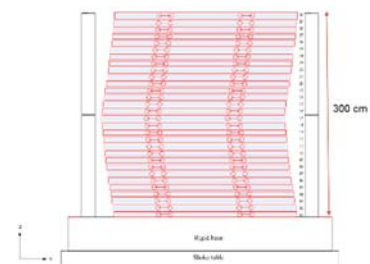
綜合前述的多功能的需求，同時配合臺南實驗室振動台的容量與規格，目前新式剪力試驗盒採用內外複合框架組合而成，試

驗盒內最大試體之尺寸為 2500 mm × 2500 mm × 3000 mm。試驗盒外框之四邊中相對兩側裝有線性滑軌，以提供外框在 X 向沿外牆之滑動。內框亦設有相同之滑軌裝置，並且將沿外框上 Y 向軌道運動。內外複合框架的設計可使得放置於內框中的試體可進行無扭轉的平面多軸向運動(如圖一)。同時框架選用輕質鋁合金以減低對試體自身慣性力之干擾，並於內框中配置防水膜以維持試體之水密性。

為考慮柔性邊界之運動機制，內外框皆以上下相互堆疊共計三十層框架所組成如圖一(b)，並可根據試驗需求拆解為上下兩層。如此，各層框架本身具有相當之剛性而無變形效果，且可由各框架間之相對移動提供試體在縱剖面上隨地震波作用而變形。依土壤試體的最大尺寸來看，框架變形超過 30 cm 的位移量可視為土壤破壞，考慮近斷層地震可能引致之永久變形較大，設計 X 方向外框架最大位移為 60 cm，而 Y 方向內框架最大位移量為 30 cm，並加上防撞保護設施，使框架無撞擊外牆之可能。



(a) 平面圖



(b) 側視圖

圖一 柔性邊界剪力試驗盒示意圖

三、結語

新型多層式剪力試驗盒之建置，應能滿足未來五年離岸風電以及近斷層相關研究與測試的需求。可預計國家地震工程研究中心未來在此方面的研究已經有好的研究設備作為基礎，但若要有豐碩的研究成果，仍須有精密的量測系統與合適的試驗規畫，並搭配專精大型試驗的工作人員與分析團隊，才能有效率地把研究成果應用於防災減震的實務層面。

助理研究員 陳家漢

大地組組長暨中央大學教授 黃俊鴻

土石壩縮尺震動台先導試驗之規劃與測試

一、前言

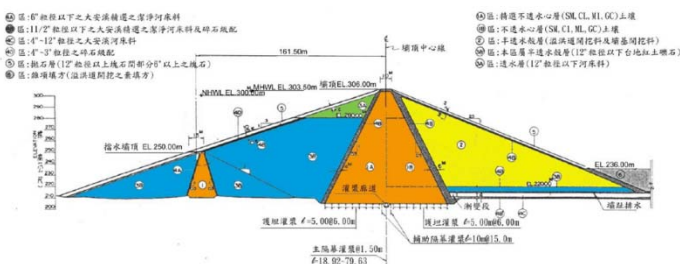
台灣地質年代年輕地勢坡陡，故須興建水庫作為貯水維持民生需求之用，依據水庫興建的方式與材料種類可以大致區成土石壩、重力壩、拱壩、撐牆壩等不同型式，其各具有其優缺點與適用性，而因土石壩所需之壩體材料可由壩址附近找尋適當且足夠之土壤材料，同時在地盤條件適用性上之需求亦較其他種類壩體滿足，故為台灣目前水庫分佈中所佔比例為高。但觀察國內外過往震損案例之中，土石壩在震災過程往往會產生一些損傷，最嚴重的甚至會產生潰壩造成社會經濟以及性命的損失，以日本為例，位於日本福島縣須賀川市的藤沼大壩即在 2011 年東日本大地震之作用下發生潰堤，如圖一所示。而在台灣則有鯉魚潭水庫、虎頭埤水庫等土石壩因地震產生局部損傷或破壞，故有其必要針對土石壩受震安全與破壞行為模式進行分析。



圖一 日本藤沼大壩主壩潰堤狀態(GEER 2011)

二、土石壩縮尺試體之規劃與製作

因考量國內位於苗栗三義的鯉魚潭水庫自從完工後即利用其埋設之加速度感測器進行地震記錄觀測與記錄，為目前國內土石壩歷經地震所產生壩體反應記錄最為完整的壩體，同時該水壩在經歷 921 南投集集大地震時亦產生多處破壞，故選擇鯉魚潭水庫做為縮尺試體製作之對象，其設計為中央心層滾壓土石壩，壩高 96m，長 235m，上游坡度比為 1:3，下游之坡度比為 1:2.5，壩體構造區分為不透水心層、濾層、殼層以及表層，壩體之設計如圖二所示。



圖二 鯉魚潭水壩斷面示意圖（經濟部水利署網站）

試體於固定式砂箱內進行試體製作，考量該砂箱內部之尺寸為 4.4m*1.3m*1.1m(長*寬*高)，因此，將以 1/160 之比例進行縮

尺試體製作，實際施作的尺寸為壩體尺寸為 3.36m*1.3m*0.6m；考量試體施作時之流程與細節，僅針對不透水層以及殼層進行模擬，土樣材料選用林口紅土做為不透水心層的材料，殼層則採用越南石英砂進行填築；施作過程依據水壩構築過層採用分層碾壓方式達到相對密度 98% 以上的要求。並同時針對所選用的土樣進行材料試驗，求得其一般物理以及動態性質，用以後續進行數值模擬分析之用，圖三為試體施作完成後之縮尺試體。



圖三 土石壩縮尺試體示意圖

三、試驗流程規劃

由於縮尺試體之模態與受震行為將較原實體壩體有所不同，故試驗前會先進行縮尺試體模態頻率分析，並依此重新改變設計反應譜的主要反應頻率範圍，輸入運動則選用多筆距離壩體不同距離以及深度之地震，其中以 921 集集地震之地震紀錄為主，將鯉魚潭水庫壩底實測之加速度記錄錄錄並進行反應譜相符的重新計算，期望藉此觀察土石壩縮尺試體受震的動態反應，與後續數值模擬分析的結果進行比對。

感測器部分則區分為兩個部分，第一部分採用傳統常應用之加速度規、水壓計以及土壓計，參考實際壩體之安排設計於縮尺試體製作時埋設於預定位置；另一部分則採用高速影像量測設備，針對壩體殼層因受震產生的變形或破壞進行觀測與計算，藉由影像觀測的方式取代傳統側面變形觀測以及改善接觸式量測方式的拘限與缺點，將採用工業用高速相機、影像量測系統以及消費級錄影設備進行，並開發壩體坡面整體位移場變形與破壞區域觀測之技術。

四、結語

由於國內外鮮少有針對土石壩進行振動台縮尺試驗之研究，本研究期望能藉由本次先導試驗建立土石壩縮尺試體振動台試驗的方法與流程，並配合數值模擬以及數位影像量測技術有效分析土石壩縮尺試體試驗之過程與結果，期望將相關成果應用於後續土石壩安全分析與設計之用。

副研究員 楊炫智

離岸風場土壤調查相關規範條文彙整與本土化建議

一、前言

能源是國家發展及經濟成長之基本動力，而為了環保與永續，世界各國目前均積極投入再生能源之開發。臺灣夏有西南氣流吹拂，冬有東北季風盛行，風力資源豐富，西部海域更被國際能源顧問 4C Offshore 評定為世界最優良之海上風場，故離岸風電便成為再生能源開發之重點。根據經濟部正積極推動之「千架海陸風力機」計畫，2025 年之前將完成陸上 450 架、離岸 600 架之風機，總發電容量達 4.2GW，其中 3GW 為離岸風機所貢獻。

對設置於海上風場之離岸風機而言，其支撐結構基礎之功能，在於將作用於風機轉子、塔筒與下部結構受風、波浪、海流與地震等作用造成之負載，安全地傳遞至海床，須具備足夠之承載力與位移控制之能力。因此，支撐結構基礎設計實為離岸風機設計中相當重要之一環，若設計不足，風機之可靠性將難以確保；若設計過於保守，風機建置成本將大幅增加而影響收益。

離岸基礎性能與海床承載土壤之工程特性直接相關，因此，欲進行精確合理之離岸風機基礎設計，須先透過場址海床土壤調查，獲得設計所需之土層分佈與土壤性質等地工資料，藉以確認風機支撐結構之安全與性能，並用以評估施工方法之可行性。本文將回顧常用之風機設計規範，彙整當中之離岸風場土壤調查相關條文，包含調查目的、方法、程度與範圍、鑽孔數量、取樣方法與數量、室內試驗之相關要求以及基礎受反覆載重(如地震)作用之特別考量等。並將綜合前述結果，提出離岸風場土壤調查之本土化建議。

二、風機設計規範之離岸風場土壤調查相關建議彙整

主要參考規範

本文所參考之風機設計規範，如下所列：

- International Electrotechnical Commission (IEC) (2009), Design Requirements for Offshore Wind Turbines, IEC 61400-3.
- 日本土木學會(JSCE) (2010), 風力發電設備支持物構造設計指針・同解說。
- Germanischer Lloyd (GL) (2012), Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines.
- American Bureau of Shipping (ABS) (2015), Guide for Building and Classing Bottom-Founded Offshore Wind Turbine Installations.
- DNV GL (2016), Support Structures for Wind Turbines, DNVGL-ST-0126.

調查目的與調查時機

關於離岸風場土壤調查之目的與時機，相關規範條文如下：

- 土壤調查須能提供可展現土壤特性之適當資訊。(IEC)
- 詳細土壤調查是指對設計所需之地層層序(地質、層厚、深度)、基礎土壤特性(承載力、強度參數、變形係數、動態變形特性等)及地下水位等進行定量調查。(JSCE)

- 土壤調查之目的在於獲得可靠之土層分佈與土壤性質等地工資料，以確認風機支撐結構之安全與性能，並評估施工方法之可行性。(ABS)
- 土壤調查應提供細部地工設計所需之土壤資料，故應於設計前進行，否則設計時須採用保守假設，並須於施工前完成調查以驗證之。(DNV GL)

調查與評估之執行者

關於離岸風場土壤調查與評估之執行者，相關規範條文如下：

- 離岸風場之場址土壤條件，應由專業大地工程師來評估。(IEC)
- 土壤調查資料之詮釋應由具公信力之大地工程顧問為之。(ABS)
- 場址土壤調查時，應有代表業主或開發者，且熟悉所考慮基礎概念之資深大地工程師在場，依據土壤調查之發現，必要時可採相關行動以變更土壤調查執行計畫。(DNV GL)

調查方法與調查程度

關於離岸風場土壤調查之方法與程度，相關規範條文如下：

- 土壤調查方法包括場址地質條件與構造調查、海床地形測量、地球物理探測、地質鑽孔與取樣、現地試驗與室內試驗等。(IEC, ABS, DNV GL)
- 土壤調查應進行鑽孔、現地試驗並取得土樣進行室內試驗，以決定風場中各個風機基礎土壤之工程性質。鑽孔之數量及深度，取決於風機之數量與位置、場址土壤變異性、基礎型式與前期地球物理探測之結果。(IEC)
- 為了涵蓋可能之土壤變異性，應建立土壤性質之上限值(upper bound)與下限值(lower bound)。(ABS)
- 調查程度與調查方法之決定，應考量計畫執行之階段性，風機結構型式、尺寸大小與重要性，土層種類與土壤及地形之複雜性。所提供之土壤與岩石參數，應足供詳細及完整基礎設計之需，包括重要土層之側向範圍，與其土壤性質之水平變異性。(DNV GL)

調查範圍(深度、面積等)

關於離岸風場土壤調查之範圍，一般性規定條文如下：

- 調查深度與面積應涵蓋可能與風機基礎結構相互影響之範圍。(IEC)
- 為建立基礎土壤特性資料，應於所有基礎位置進行鑽孔或貫入試驗，深度至少需達到基礎貫入深度加上土壤變異性之考量。(ABS)
- 調查範圍應考慮風機之位置與安裝容許誤差，而調查深度須能確保於該深度以下即便有軟弱層存在，亦不至於影響風機支撐結構之安全或性能。(DNV GL)。

關於樁基礎調查深度之具體規定條文如下：

- 對單樁或群樁基礎而言，最小鑽孔深度為基樁設計貫入深度加上影響範圍。除非可透過分析驗證，否則影響範圍至少為 15.2 m (50 ft) 或 1.5 倍群樁寬度，取較大者。(ABS)

- 針對樁基礎設計，鑽孔取樣與現地試驗應進行到足夠深度。如果發現可能引致打樁困難之底部承載層或其他緊密層，應增加調查範圍。若設計者無提出特殊理由，針對基樁側向承載力，調查深度至少應達樁底以下 0.5 倍直徑深度，對於基樁軸向承載力阻抗，調查深度則至少應達樁底以下 3 倍直徑深度。(DNV GL)

關於重力式基礎調查深度之具體規定條文如下：

- 對重力式基礎而言，鑽孔深度至少應等於基腳長度或 3 倍基腳寬度，取較大者。若情況允許，應進行現地試驗，其深度須包含所預估之剪力破壞面。(ABS)
- 對於重力式基礎設計，土壤調查應至少達到任何臨界剪力破壞面之深度。若由沉陷觀點，風機結構載重影響所及之所有土層均應詳細調查。(DNV GL)

鑽孔/現地試驗之數量

關於鑽孔或現地試驗之數量，相關規範條文如下：

- 原則上應針對每個風機基礎位置建立場址土壤資料，為此，圓錐貫入試驗(cone penetration test, CPT)可應用在未進行鑽孔之風機基礎位置，以補其不足；並應於某特定鑽孔鄰近施作 CPT，以進行資料校準。(IEC)
- 為充分檢驗各個基礎位置之重要地層情況，土壤調查應包含足夠之鑽孔、貫入試驗、現地試驗與地球物理調查，並應根據地質條件與構造調查及海床地形測量之結果進行調整。若欲以貫入試驗代替鑽孔，必須與鄰近鑽孔資料進行比對校準。若土壤條件於基礎結構平面範圍內屬不連續，便應進行深度較小之額外鑽孔。(ABS)
- 對於多個風機組成之風場，應針對個別風機基礎(或所座落地盤土壤均質程度高之一群風機基礎)，評估土層分佈與土壤強度範圍；對於獨立之風機結構物，建議至少應進行一孔足夠深度之鑽孔，以取得室內試驗所需之土、岩樣品；當土層具高度變異性、發現有局部之軟弱地盤或基礎尺寸甚大(如直徑超過 20m)時，便須進行更多之鑽孔或 CPT。(DNV GL)
- 原則上每個風機都應實施鑽探調查與標準貫入試驗(standard penetration test, SPT)。(JSCE)

取樣方法與數量

關於取樣方法與數量，相關規範條文如下：

- 為正確決定設計用之土壤與岩石參數，在土壤調查作業中，取得足夠之高品質土壤與岩石樣品極為重要，可參照 ISO 22475-1 來進行。(DNV GL)
- 現地取得之土樣應妥善封存，以減少含水量之變化，並避免擾動。土樣須精確標記，記錄目視檢查結果後，送至具公信力之實驗室。(ABS)
- 鑽孔取樣須足供建立合理連續之土壤剖面，在 12 m 深度內之所取之土樣應盡可能完整；若土層具顯著變化，則於深度 12 m~61 m 之範圍內，應每 3 m 取一土樣，於深度 61 m 以上則應每 7.6 m 取一土樣。(ABS)

室內土壤試驗之相關要求

關於室內土壤試驗之要求，相關規範條文如下：

- 直剪與三軸試驗是決定砂質土與黏性土剪力強度之相關試驗，但不適用於纖維泥炭土，低腐植泥炭土之剪力強度參數可用環剪試驗決定；無圍壓縮試驗則可用來決定岩石強度。(DNV GL)
- 針對黏性土樣，於現地應至少進行一組不排水剪力強度試驗，如十字片剪試驗(vane shear test)、落錐試驗(drop cone test)或無圍壓縮試驗，若有所缺漏，則應於陸上實驗室補足。其他室內試驗至少應包括：黏性土樣之含水量與阿太堡限度試驗、密度試驗、篩分析(粒徑>#200 篩之砂/沉泥)；建立土壤組成律用之無圍壓縮試驗、不壓密不排水(UU)三軸壓縮試驗或壓密不排水(CU)三軸壓縮試驗。(ABS)
- 對於採用樁基礎之結構，需考慮進行額外試驗，以適當地反映土壤之動態行為、潛變(creep)、強度復原(setup)等特性，以及樁~土系統之側向靜態與反覆承載特性。對於重力式基礎，應另進行包含孔隙水壓量測之剪力強度試驗，以及包含變形與孔隙水壓量測之反覆載重試驗；若有需要時，亦應進行滲透性與壓密試驗。(ABS)

反覆弱化、土壤液化與地震場址效應之特別考量

關於土壤強度與勁度之反覆弱化(cyclic degradation)與地震時之土壤液化現象，各規範多未明訂對應之土壤調查條文，但若納入基礎設計章節之條文，可彙整出相關之考量如下：

- 應考慮反覆載重造成地盤性質弱化(稱作反覆弱化)之效應，尤其是代表土壤側向承載能力之 p-y 曲線，包含其勁度與強度。在地震活動區，應根據場址條件考量可能之土壤液化影響，包含因土壤液化造成的差異沉陷或傾斜。(DNV GL)
- 應探討反覆載重所造成土壤剪力強度、承載力與勁度之下降。在地震活動區之土壤液化現象，應基於合理之工程判斷、場址條件與類似工程專案之經驗，審慎考量其影響。(GL)
- 應考慮反覆載重對土壤性質之影響，包含土壤強度之下降、土壤受力~變形關係之變化、液化潛能與邊坡穩定性等。(ABS)。
- 在軟弱或液化地盤，由於不能忽略地震對地盤變形之影響，應考慮地盤變形對樁體造成之應力；評估液化地盤中之基礎側向承載力時，應對水平地盤反力係數進行折減。(JSCE)
- 重力式基礎設計時應驗證其具備足夠之抗液化能力。(IEC, GL)

至於地震場址效應評估所需之土壤性質，相關規範條文如下：

- 在地震活躍區，基於以地震引致剪力波傳遞之觀點，必須獲得可能影響設計之土層深度內剪力模數資料。(DNV GL)
- 如地盤有受震液化之可能，進行地盤反應分析時，應對液化層之地盤剛度降低情況進行評估。(JSCE)

三、離岸風場場址土壤調查之本土化建議

調查目的與調查時機

關於調查目的與調查時機，建議如下：

- 離岸風場之場址土壤調查，應提供細部地工設計所需之土壤資料，包含將影響風機結構物設計與施工之所有土層分佈與土壤性質，藉以確認風機支撐結構之安全與性能，並評估施工方法之可行性。調查應於設計前進行，否則設計時須採用保守假設，並須於施工前完成調查以驗證之。

調查與評估之執行者

關於調查與評估之執行者，建議如下：

- 離岸風場之土壤調查資料詮釋與土壤條件評估，應由大地工程技師或相關專業技師為之；調查時，應有代表業主或開發者，且熟悉基礎設計概念之資深大地工程師在場，依實際發現對調查計畫進行相關變更。

調查方法與調查程度

關於調查方法與調查程度，建議如下：

- 土壤調查方法包括：場址地質條件與構造調查、海床地形測量、地球物理探測、地質鑽孔與取樣、現地試驗與室內試驗等；調查方法與程度之決定，應考量計畫執行之階段性、風機之數量/位置/尺寸/基礎型式、土層種類及土壤與地形之複雜性，須足供建立各個風機基礎土壤之工程性質，並涵蓋可能之土壤變異性，以供基礎細部設計之需。

調查範圍 (深度、面積等)

關於調查範圍與調查深度，建議如下：

- 調查面積與深度應涵蓋可能與風機基礎結構相互影響之範圍，並應考慮風機之位置與安裝容許誤差，以充分檢驗各個基礎之地層情況與土壤特性。其中，調查深度須能確保於該深度以下即便有軟弱層存在，亦不至於影響風機支撐結構之安全或性能。
- 單樁或群樁基礎之最小調查深度為基樁設計貫入深度加上影響範圍，若設計者未提出輔以分析驗證之理由，單樁之影響範圍至少須為 3 倍直徑深度，群樁之影響範圍則為 15m 或 1.5 倍群樁寬度，取較大者。
- 重力式基礎調查深度須涵蓋所預估之剪力破壞面，至少須為基腳長度或 3 倍基腳寬度，取較大者。若由沉陷觀點，載重影響範圍內(例如：因基礎載重引致垂直應力增量 $\geq 10\%$ 有效覆土應力之深度範圍)均應詳細調查。

鑽孔/現地試驗之數量

關於鑽孔/現地試驗之具體數量，建議如下：

- 在每個獨立風機之基礎位置，至少應進行一孔足夠深度之鑽孔，以取得室內試驗所需之土樣；當土層具高度變異性、發現有局部之軟弱地盤或基礎直徑超過 20m 時，便須進行額外之鑽孔。圓錐貫入試驗(CPT)可用以代替鑽孔，但須與鄰近鑽孔資料進行比對校準，且仍應搭配取樣。

取樣方法與數量

關於取樣方法與數量，建議如下：

- 所採用之鑽孔與取樣方法，應避免對土壤造成無法接受之擾動；應優先採用薄管取樣，然若於砂土層進行薄管取樣確有困難，可改採劈管取樣，過程中之打擊數需紀錄並呈現於鑽孔柱狀圖中。
- 現地取得之土樣須精確標記，記錄目視檢查之結果及拍照，妥善封存後，送至具公信力之實驗室進行室內試驗。
- 在 20 m 深度內之所取之土樣應盡可能完整，至少每 1.5m 取一土樣；於深度 20 m~60 m 之範圍內，應每 2 m 取一土樣，於深度 60 m 以上則應每 3 m 取一土樣。

室內土壤試驗之項目

關於室內土壤試驗之項目(包含反覆弱化、土壤液化與地震場址效等考量)，建議如下：

- 針對黏性土樣，應於鑽探工作船上至少進行一組不排水剪力強度試驗，如無圍壓縮試驗、口袋貫入儀、扭轉儀、十字片剪試驗等。
- 其他室內土壤試驗項目包括(但不限於)：
 - 土壤基本物理性質試驗：含水量、單位重 (以上建議於鑽探工作船上完成)、顆粒比重/孔隙比、相對密度、砂性土之篩分析、黏性土之阿太堡限度等試驗。
 - 土壤剪力強度試驗：用以求取土壤之排水與不排水剪力強度，包括黏性土之無圍壓縮試驗(補現地不排水剪力強度試驗之不足)、砂性土之直接剪力試驗、黏性土之不壓密不排水(UU)三軸試驗或壓密不排水(CU)三軸試驗、砂性土之壓密排水(CD)三軸試驗。
 - 針對可能因壓密沉陷導致穩定性疑慮之黏性土層，應進行單向度壓密試驗。
 - 對於具有反覆弱化(cyclic degradation)或土壤液化疑慮之軟弱沖積土層，應對現地不擾動土樣進行反覆載重試驗(如動態三軸試驗、反覆單剪試驗)，檢驗其反覆弱化特性或抗液化能力。
 - 在地震活躍區，應進行地盤反應分析以評估地震場址效應。為此，應取樣進行共振柱試驗、動態三軸試驗或反覆單剪試驗等室內試驗，以求取地盤反應分析所需之土壤動態性質曲線，包含剪力模數與阻尼比隨剪應變之變化。

四、後續工作與展望

本文為科技部專題研究計畫「離岸風機支撐結構天然災害風險評估與關鍵組件測試平台」之執行成果，後續將邀集學界與產業界之大地工程、離岸地質調查與離岸風電工程專家召開諮詢會議，廣納各界建議後據以補充修正，以臻完善。對於國內因推動離岸風電而即將浮現之大量離岸風場土壤調查需求，相關成果期能做為工程界規劃與執行之參考。

副研究員 柯永彥

動態捕捉量測系統

一、前言

傳統接觸式量測系統，諸如磁感式位移計、拉線式位移計，其皆須裝設於相對之固定點，通常利用測試系統周邊所架設之參考架作為參考點，以量測試體與參考點之相對關係。這類接觸式量測裝置對於參考架之剛性往往有所要求，若參考架之剛性不足，或者振動台的振動影響過大，或者量測平面或三維度運動時兩正交方向的相互影響，將產成極大的量測誤差。此外，這類的量測系統，考慮訊號傳遞與外部供電，故需要一對一對應著電源與訊號傳輸之線路，在進行大型結構試驗時，對於這類接觸式量測系統之佈線規劃，往往耗費許多試驗準備時間。再者，國研院國震中心臺南實驗室之振動台尺寸為 8 公尺見方，考慮到未來各種大型試體之試驗，以傳統量測系統架設於振動台外之量測方法有諸多困難之處，故規劃建置非接觸式量測系統，以滿足未來試驗研究之需求。

二、動態捕捉量測系統演進

量測系統隨著發展演進與相關技術的提升，已走向第三個世代的量測系統。第三個世代的量測系統，同樣是以光學理論基礎所建構出之非接觸式量測，但相較於上一代的量測系統，最大的不同在於安裝於試體上之觀測點或標定點，藉由材料技術的進步，以紅外線塗料塗布於標定點上，故無需額外的供電，達到了名副其實的非接觸式量測目標。而這類型量測系統具體呈現的技術稱為動態捕捉，其發展約莫可追溯至 1970 年代，電影公司在科幻特效或動畫製作上，為了描繪出更真實的人體或動物之動態行為，而發展出的量測方法。首先藉由適當數量之攝影機，組成三維度之空間，藉由拍攝黏著於試體上之觀測點或標定點，量測並記錄其動態行為。而此一非接觸式量測技術，隨著時間的演進，在精度上與量測距離上都有長足的進步，同時也逐漸被應用於各研究領域中。這樣一個新穎的非接觸式量測系統於土木工程應用的例子，較近期的為日本清水建設於東京新建置的振動台 E-Beetle。該實驗室於先期就規劃了以動態捕捉技術所建構之非接觸式量測系統，於實驗室適當的位置裝設了足夠數量之量測攝影機，且攝影機之拍攝角度皆由中央控制室直接進行控制，降低現場調整之不便性，大幅提升試驗效率。

三、動態捕捉量測系統特色

本量測系統，除了前述觀測點無需額外供電之特色外，觀測點安裝簡易(圖一)，且相機本體體積輕巧，重量僅約莫 1.5 kg (圖二)，可以多部相機同步使用，形成龐大的量測範圍，足以因應未來試驗規模的變化。系統最高取樣頻率為 180 FPS，且於 25 m 的量測距離外，量測誤差小於 1 mm，足以滿足大部份的動態試驗需求。此外，系統所對應之操作軟體，均以圖形化介面顯示，使用上更為直覺。扣除量測相機之架設(位置、角度)、對焦微調與校正需以人工進行外，其餘操作皆可由軟體進行設定，且系統校正與

同步過程中，軟體能夠顯示系統內每部相機所截取的校正樣本數與軌跡，確保校正與同步作業時的精確度與效率。在試驗進行時，本系統更能夠即時顯示觀測點之位移、速度或加速度等物理量，有效掌握試驗過程(圖三)。綜合上述動態捕捉量測系統之特點，本量測系統所具備的自由度與豐富完整的軟體功能，期能滿足未來學研界與業界之動態試驗量測需求。



圖一 觀測點與安裝



圖二 動態捕捉相機本體



圖三 軟體使用者介面

助理研究員 楊卓諺、林旺春、黃謝恭、李翼安

研究員 汪向榮

台北科技大學副教授 楊元森

台灣科技大學教授 黃震興

臺南實驗室之土壤力學實驗室建置規劃

一、前言

臺灣西部海域為世界最優良之海上風場，離岸風電因而成為再生能源開發之重點。離岸風機受到風、波、流與地震等作用，需透過支撐結構基礎將相關負載安全地傳遞至海床，故基礎須具備足夠之承載力與位移控制能力。欲進行合理之離岸基礎設計，必須進行海床地質調查，透過鑽探與取樣，了解地層組成與工程性質；並在實驗室對土樣進行基本物性、強度、變形性及動態性質等試驗，以獲得設計所需參數。為達到 2025 年離岸風電容量 3GW 之目標，須在西部離岸風場設置 600 架風機，而大部分風場所在之海床為軟弱沖積土所組成。為充分掌握地盤工程特性，並考慮可能之變異性，每個離岸風機位置至少需進行一組地質鑽孔，而每個鑽孔對應之室內土壤試驗數量可達數十組，則土壤室內試驗需求將可能多達上萬組，國內既有之土壤力學實驗室容量將可能有所不足，亟需更多專業地工試驗能量之投入。本中心長期投入地工研究，甫於 2017 年 8 月開幕啟用之臺南實驗室已規劃土壤力學實驗室之空間，建置相關儀器設備後，將可因應未來離岸風場海床地質鑽探之大量土壤室內試驗需求，提供高品質且具公信力之服務。

二、土壤力學實驗室設備規劃

參考國內學校與業界既有之土壤力學實驗室服務項目，與國外離岸風場案例之土壤室內試驗規劃，以建立能因應離岸地質調查需求而提供完整服務之土壤力學實驗室為目標，規劃相關儀器設備之配置，如圖一所示，各主要試驗設備茲說明如下：

土壤基本物理性質相關試驗設備

供土壤基本物理性質求取與土壤分類之用，其為基礎設計之必要基本資料，故屬土壤力學實驗室必備之設備，包括：

- 烘箱、電子天平、恆溫水槽、土壤攪拌機、標準篩、搖篩機、液限儀及相關試驗用容器與工具，可供土壤粒徑分布、單位重、比重、含水量、塑性參數等物理性質求取之用；
- 相對密度試驗儀(含振動桌、模具與樣品澆注筒)，可供砂土緊密程度評估用，將有助於了解砂土工程特性。

土壤剪力強度與壓縮性相關試驗設備

針對基礎設計必備之基礎承載力評估與基礎沉陷評估，提供所需之土壤剪力強度與土壤壓縮性參數，為土壤力學實驗室最基本之力學試驗設備，包括：

- 直接剪力試驗儀：可執行不壓密快剪(Q test)、壓密快剪(Qc test)及慢剪(S test)試驗，供砂土剪力強度求取之用，將有助於評估砂土層中之基礎承載力；
- 三軸試驗儀：供土壤壓密排水(CD)、壓密不排水(CU)與不壓密

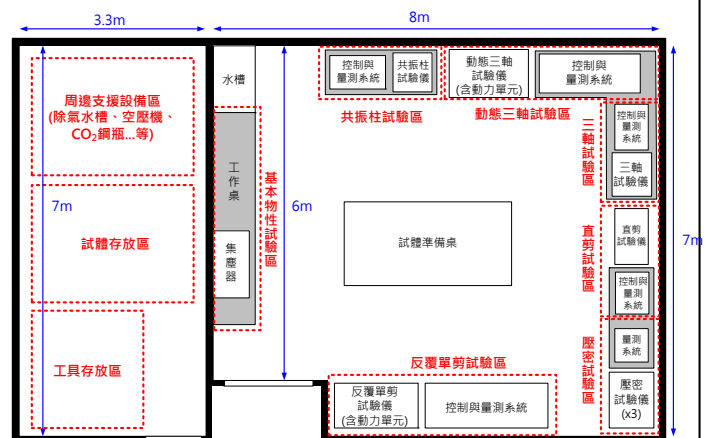
不排水(UU)三軸試驗用，以求取各種土壤之排水與不排水剪力強度，有助於評估各種加載條件下之基礎承載力；

- 單向度壓密試驗儀：供黏土壓縮性求取之用，將有助於了解地盤可能之壓密沉陷程度；

土壤動態性質相關試驗設備

特別考慮離岸風機支撐結構承受風、波、流與地震等負載，設計上須準確掌握地震場址效應與基礎動態勁度，並應合理評估土壤液化潛能，提供分析所需之土壤動態性質。相關設備包括：

- 動態三軸試驗儀：供土壤動態三軸試驗用，以求取土壤抗液化強度及土壤於較大應變範圍之動態性質(如剪力模數與阻尼比)，將有助於評估基礎抗液化性能及基礎動態阻抗；
- 共振柱試驗儀：供求取土壤於較小應變範圍之動態性質，並兼具反覆扭剪試驗之功能，將有助於評估基礎動態阻抗；
- 反覆單剪試驗儀：用以模擬土壤受地震剪力波作用下之應力狀態，可供求取土壤剪力強度、抗液化強度與較大應變範圍之動態性質，將有助於評估基礎之承載力、抗液化性能及動態阻抗。其試體通常為長度小於直徑之短圓柱形，所需土樣長度較試體長徑比(L/D)約為 2 之動態三軸試驗為短，代表在相同之現地鑽探取樣數量下，可供進行較多組試驗，在不擾動土樣取得成本較高之離岸地質調查中將具有高競爭力。



圖一 臺南實驗室土壤力學實驗室配置規劃圖

三、預期效益

上述構想已提送至科技部審查中，若能如實建置完成，將可使臺南實驗室除既有之結構工程試驗功能外，更具備大地工程試驗能量；並可針對我國離岸風場海床地質調查相關之大量室內試驗需求，提供高品質且具公信力之服務，產出設計所需之重要參數，確保離岸風機之工程品質。如此，將有助於促成 2017 年前離岸 3GW 之風機建置，完成我國再生能源之推動目標。

副研究員 柯永彥

2017 抗震盃創意大挑戰

與地震共存 抗震盃長期落實防災教育

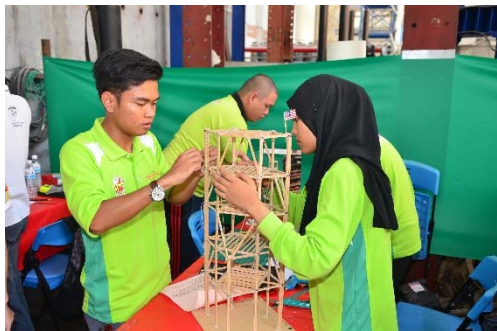
據統計，臺灣約每隔 15 年至 20 年即會發生一次劇災型地震災害，造成極重大之人員傷亡與經濟損失。以現今的科技水準，仍無法有效預測地震，因此平時地震防災教育以及防震準備更顯重要。

抗震盃自 2001 年起每年舉辦，迄今已歷經 16 屆競賽，國內外參賽學生總數超過 6,500 人。今年的比賽共有 110 支隊伍參賽，其中包含 38 支，近 200 人的國外隊伍(澳洲、中國、香港、澳門、印尼、馬來西亞、菲律賓、南韓、新加坡及越南共 10 個國家)，總參賽人數達 546 人。另有 40 多位國外師生組團來台觀摩，更讓活動熱鬧不少。

活動一連舉行三天，首先由 9 月 21 日(四)的「抗震盃研究生組國際研討會」揭開序幕，選手們先在研討會中闡述模型設計理念，以及防震、隔震與減震消能的方法，提供台灣學子與國際接軌的機會，並促進國內外的學術交流。

9 月 22 日(五)為競賽活動之模型製作，各參賽隊伍必須在 6.5 個小時內完成模型製作(圖一)，交由裁判審查並決定模型載重後，才能參加接下來的競賽。

9 月 23 日(六)活動正式開幕，首先請國研院吳光鐘副院長及國研院國震中心黃世建主任致詞，之後由高中、研究生、大專組依序進行模型競賽測試。高中、大專組依照樓層面積的大小，在模型上加載至少 7.5 公斤的鐵塊，研究生組則一律於每層樓加上 10 公斤、總計 40 公斤的鐵塊。



圖一 參賽隊伍專心製作自行設計之模型

由效率比決定獎落誰家

高中、大專組模型將以各種不同震度的地震進行測試，開始時的震幅不大，然後逐漸加大，直到競賽規定的最大地震強度或所有模型都崩塌為止。而研究生組則開放參賽學員自由設計各種隔減震裝置，讓模型剛好在競賽規定之地震力(1050gal)下倒塌，才能獲得最高分。今年在財團法人中興工程顧問社的贊助下，研究生組增設「隔減震創意獎」，從參賽隊伍中由裁判團評選 3 至 6 隊入圍隊伍，於其模型上安裝感測器，實際量測模型頂樓的加速度，以了解其隔減震效果，效果最好的隊伍更可獲得新台幣 10 萬元獎金！

在模型安置於振動台測試前，均事先記錄每一個參賽模型的質量(質量越重表示用了越多材料，分數越低)，模型測試中則會記錄造成該模型破壞時的地震強度，這些數值被用來計算每一個模型的效率比。經由振動台測試後，每組評選出前三名效率比最高的模型，頒發獎金及獎盃。此外裁判團還會票選出「結構設計獎」、「建築美觀獎」、「設計理念展示獎」等各種獎項，頒發獎金與獎狀，鼓勵年輕學子。

比賽結果高中組第一至三名分別為高雄市立高雄高級工業職業學校、華夏科技大學(五專部)、臺中市立大甲工業高級中等學校，大專組第一至三名分別為中原大學土木工程系、Universiti Sains Malaysia、Universitas Brawijaya，研究生組首獎與競賽獎金最高的研究生組「隔減震創意獎」由 The Hong Kong University of Science and Technology 同時獲得，另研究生組第二、三名則分別為、Universiti Putra Malaysia、成功大學土木工程研究所獲得。

高中組第一名高雄市立高雄高級工業職業學校的模型設計，在 2 至 4 樓間善用斜撐加強模型承重能力和側向強度，並於高樓層安裝棉繩有效控制高樓層的側向位移，同時加強力量傳遞的連續性，藉此提升模型抗震能力，因此獲得優勝。

大專組首獎則由中原大學土木工程系獲得，該組模型結構重量僅 534 公克，相當簡潔輕盈，同時採用擴柱方式加強模型載重能力，並使用紙張包覆 1 樓柱底進行補強，且該組選擇挑戰高達 22 公斤之載重，在順利通過 800gal 的最後測試後，取得競爭最為激烈的大專組冠軍。

研究生組首獎及隔減震創新獎均由 The Hong Kong University of Science and Technology 獲得，該模型隔制震設計是由基底隔震系統與樓板阻尼器所組合而成，基底隔震系統是由高精度滑軌以及橡皮筋組合，經過精密計算的橡皮筋數量與長度，提供適當的彈性與消能能力，精密的滑軌系統則確保結構只在水平方向移動而不會上下搖晃。至於樓板阻尼器就像安裝於台北 101 大樓的調諧質塊阻尼器，經過適當設計，可將模型的振動力量轉換至樓板阻尼器上，藉以減低地震對模型的傷害。

國研院地震工程研究中心連年舉辦抗震盃競賽，藉此推廣地震工程防災教育，鼓勵學生藉由參與科學競賽而激發創造力，並提供國內年輕學子與各國精英同台競技的機會，提升我國年輕一代的國際視野與專業能力。

助理工程師 黃瀚緯

校舍耐震評估與補強作業講習會

國家地震工程研究中心老舊校舍補強專案辦公室（以下簡稱專案辦公室）協助教育部執行公立高中職以下校舍耐震評估與補強整建計畫已邁入第 8 年。專案辦公室除了擁有完善的校舍資料庫提供教育部全國校舍執行現況之數據外，亦針對各縣市政府承辦人員、高中職及國中小以下學校老師、專業人員、補強工程施工廠商等，提供耐震評估與補強專業知能講習與觀摩活動，使相關作業人員熟悉執行程序與相關作業規範規定。

為建立校舍結構耐震能力提升之標準作業程序，提高耐震評估與補強作業之執行品質，執行相關業務人員，均須依據作業規範規定，參與相關教育講習課程或說明會，因此，校舍專案辦公室每兩個月定期舉辦「校舍耐震評估與補強作業講習會」，授課對象包含有各縣（市）政府教育局（處）承辦人員、學校及承攬各階段業務之專業人員等，本講習會課程規劃共有六堂課，分別為「校舍補強計畫簡介」說明本計畫之緣起與未來展望，並依序針對各階段作業安排「初步評估作業規範說明」、「詳細評估作業規範說明」、「補強設計作業規範說明與常見工法介紹」及「補強工程監造作業規範說明」詳細解說此等作業之標準作業流程，最後搭配校舍耐震資訊網成果上傳程序之「各階段上傳作業填表說明」課程，使相關人員瞭解計畫執行之全貌與程序，並藉由課程提升相關地震知能。

課程內容安排係依教育部國民及學前教育署頒布之最新作業規範為主軸，說明各階段評估與補強工作之行政流程、執行注意事項以及相關人員工作權責劃分等，使各方執業人員對於校舍耐震評估與補強作業有更一致性的理解，使計畫推動上更為順利。

自 98 年度計畫執行起至 106 年 10 月止，本講習會於全臺舉辦共計 130 場次，期間經歷多次作業規範修訂與各縣（市）政府教育局（處）承辦人員、與會人員之建議，目前授課內容更加實用與完善，亦更符合第一線執行人員之需求。爾後，校舍專案辦公室將持續於全臺各區舉辦「校舍耐震評估與補強作業講習會」，持續提供業務單位教育訓練，以推廣老舊校舍耐震能力評估與補強計畫。



圖一 校舍耐震評估與補強作業講習會現況

專案技術員 林筱菁

2017 台灣地震損失評估系統講習會

「台灣地震損失評估系統—TELES」乃結合自然、工程與人文資料庫，研發跨領域震損評估模式，以因應不同實務應用需求之軟體；可協助各級政府與公、民營事業單位進行震災境況模擬及早期損失評估，並據以研擬減災、應變和風險管理對策，達耐震安全與永續家園的目標。國家地震工程研究中心每年均舉辦「台灣地震損失評估系統」講習會，一方面推廣運用震災境況模擬技術，另一方面汲取使用者的經驗回饋，作為未來系統發展的參考。

本年度國家地震工程研究中心於 11 月 27 日舉辦 2017 年「台灣地震損失評估系統」講習會。主題包含：(1)孕震構造與斷層之景況地動模擬：介紹三維地動模擬演進背景及理論發展基礎，並以鄰近台北都會區之山腳斷層錯動為例，說明完整景況地動模擬分析程序、計算資源、時間及結果等；(2)發展台灣地震動模型以及其於地震動境況模擬之應用：介紹為台灣地區客製化之新一代地震動預估模型，及其在危害度分析與境況模擬之應用；(3)國內土壤液化研究回顧與現況：回顧國內土壤液化研究，高雄美濃地震液化災害勘查與評估，並說明內政部推動之安家固園計畫的近況；(4)建築物耐震能力分類與震損評估模式精進：介紹最新之模型建物分類、耐震能力分級，並考慮用途係數之建築物震損評估模式，未來可應用於校舍、醫院、警政消防廳舍等重要設施之震損評估；(5)自來水系統震損評估研究之現況與應用：介紹自來水重要設施與導/送/配水管線系統之震損評估模式的詮釋及其應用，含損害狀態、修復時間及經費等推估模式；(6)開放式地理資訊系統與資料之應用：介紹開放式地理資訊系統軟體工具、政府開放資料、地震監測資料等之彙整與應用。

本講習會實際參與人數共計約 80 名，包含交通部公路總局、高公局、營建署、自來水公司、縣市政府消防局、縣市政府協力單位、保險業等，藉由此之講習會，將 TELES 推廣至多面向之使用層級並汲取使用者的寶貴經驗，以利 TELES 未來之應用與發展。



研討會議場實況

副技術師 陳世良

週期性材料於 重要設施減震應用研討會

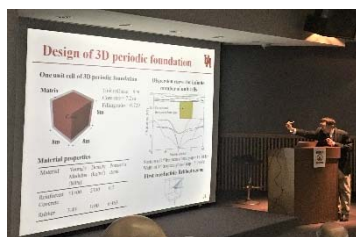
美國休士頓大學莫詒隆教授、能源部、阿貢國家實驗室、電力研究所、以及台灣國震中心，自 2014 年起合作展開為期三年之週期性材料於重要設施減震應用研究計畫。2017 年 10 月 26 日美國能源部官員 Thomas P. Miller 主任與 Alison Kranger Hahn 專案經理、以及理海大學 Richard Sause 教授、伊利諾大學香檳分校 Youssef Hashash 教授、Lawrence Burkett 工程師訪台，一同舉辦且參與本次國際合作研究計畫成果展示之研討會，內容包含週期性材料研究成果報告、討論、以及振動台實際試驗展示。期藉由本研討會之舉辦，以提升產官學研界對於週期性材料之認識。

本研討會由黃世建主任介紹國震中心揭開序幕，並特別邀請 Thomas P. Miller 主任分享美國能源部近年來致力於核能安全、能源永續的相關研究，週期性材料於重要設施減震應用研究計畫即為其一，希冀藉由創新耐震技術提升核能電廠之安全性與穩定性。

莫詒隆教授的演講(圖一)中，分享以延伸晶格設計的週期性材料，可有效阻隔彈性波的傳遞，濾除特定頻率範圍之地震波，達到減震效果且不會產生過大的隔震位移。源自於聲子晶體的概念，由一維進展至三維週期性材料基礎設計，透過有限元素分析探討合理且務實的設計參數，以縮尺鋼構架模擬欲保護之核能設施，並於振動台試驗中展現位移與加速度反應在設計頻率帶寬中之優異折減效果。

在莫詒隆教授與臺灣大學張國鎮教授的帶領下，於實驗室介紹試驗設備、試體、量測儀器與試驗流程(圖二)，展示一維週期性材料基礎，並以振動台進行三維週期性材料基礎試驗，即時顯示加速度與位移反應，直接驗證週期性材料基礎上方欲保護核能設施之水平向與垂直向反應折減效果。

國內外產官學研界在會中針對此研究議題展開熱烈討論，相關建議對於本研究未來規畫與發展有極大助益。



圖一 莫詒隆教授演講



圖二 實驗室試驗展示

助理研究員 楊卓諺、李翼安、黃謝恭
專案佐理研究員 邱宜甄
研究員 汪向榮、吳俊霖
主任 黃世建
台灣大學教授 張國鎮
休士頓大學教授 莫詒隆
休士頓大學博士候選人 Witarto

第十屆台美日自來水耐震 研討會

第十屆台美日自來水耐震研討會(The 10th JWWA/WRF/CTWWA Water System Seismic Conference)，10 月 18-20 日於本中心臺南實驗室會議廳舉行。有鑒於自來水系統的重要性，以及近年國際間大規模地震對於都會區供水設施的破壞與影響，美、日等先進國家對於自來水系統的耐震提升與應變加強，一向不遺餘力。透過美國自來水研究基金會(Water Research Foundation, WRF)與日本水道協會(Japan Water Works Association, JWWA)作為平台，美、日兩國自 1999 年開始，每兩年輪流舉辦乙次以自來水耐震為主題的研討會，就耐震設計補強、風險評估管理、震後應變恢復、震害經驗與防治技術等相關議題進行交流。台灣代表自第三屆起即積極參與，並成功爭取成為三方研討會，本屆為第二次於台灣舉辦。

本屆研討會，由中華民國自來水協會(Chinese Taiwan Water Works Association, CTWWA)、台灣自來水公司與本中心共同主辦，參與人員超過 140 人，規模空前，包含 9 位美國與 31 位日本學者專家。研討會由三場特邀演講開始，分別為：(1)胡南澤理事長(中華民國自來水協會)，講題：Damage and restoration of drinking water systems caused by 0206 Tainan earthquake；(2)宮島昌克教授(日本金澤大學)，講題：Lessons learned from damage to drinking water supply system in the 2016 Kumamoto earthquake in Japan；(3) Craig A. Davis 博士(洛杉磯水電部)，講題：Developing a seismic resilient pipe network using performance based seismic design procedures。研討會共有 34 篇一般論文發表，分散於以下六大主題：(1)震害案例研究(Experiences and lessons learnt)、(2)耐震整備與緊急應變(Seismic preparedness and emergency response)、(3)系統及設施評估(Evaluation of water system components)、(4)系統分析與資訊應用(Assessment and information system)、(5)管線試驗分析與設計(Pipe testing, analysis, and design)、(6)管線耐震提升策略(Pipeline enhancement strategy)。第三天，研討會安排曾文水庫防淤隧道的考察行程。研討會之論文集，已以本中心研究報告的形式出版(報告編號 NCREE-17-013)，歡迎至本中心官網下載閱覽。



圖一 第十屆台美日自來水耐震研討會國外與會人員合影

研究員 劉季宇

建築物基礎構造設計規範之修正 研擬說明會

基礎構造物為建築物之根基，對建築物之安全性與穩定性至為重要。目前我國基礎構造物之設計大都以內政部營建署民國 90 年頒布實施之「建築物基礎構造設計規範」為依據，實施以來已 15 年未曾修正過。現有「建築物基礎構造設計規範」之內容包含地基調查、建築物各類基礎之設計、擋土牆、深開挖、地盤改良與土壤液化之分析，內容堪稱完整。惟該規範實施至今已超過 15 年，期間我國基礎工程之設計方法與施工技術均有相當程度的進步與改變，現有規範已不敷使用，且部分規定不符現況，故內容亟需修正，以符合業界之需求。

本研究計畫「建築物基礎構造設計規範之修正研擬」，係由內政部建築研究所委託中華民國大地工程學會執行，歷經一年之研究與討論，已作大幅度之修正，完成修正初稿且經大地工程學會規範委員會審查，為使規範更為完整，特舉辦本說明會，說明修正成果並蒐集各界意見，供規範修正之參考，使新版之規範更適合使用。



研討會會場

專案佐理研究員 林毓瑛

建築物基礎開挖工程監測準則 及山坡地監測準則研討會

中華民國大地工程學會於 106 年編訂了系列規範/準則，其中『建築物基礎開挖工程監測準則』及『山坡地監測準則』監測部分已完成。除相關儀器配置、安裝及量測等內容外，對於監測管理基準均建立了注意值、警戒值及行動值等三級管理基準值之觀念。其中，基礎開挖監測第一級管理值(注意值)取設計分析值百分比；第二級管理值(警戒值)取設計分析值；第三級管理值(行動值)取工程安全容許界限或設計分析，所設定不能超越的應力(材料容許值)或變位值。山坡地監測之管理值則依一般邊坡特性及保全對象，訂定反映長期危險潛勢之監測管理值，尤其增加了深層滑動或填土邊坡管理值介紹。除了管理值的說明外，也增訂了監測規劃者的資格及角色說明，除其需具備相關類科技師資格外，監測規劃可由設計者執行，或由設計者於設計圖上訂定監測之需求，要求施工單位由具專業技師資格者，依設計需求進行監測系統規劃配置。由於這是整合國內現行監測相關問題及統合標準的準則，將可提供業界、專業技師及各級審查單位參考依據，也期望藉由本次研討了解學界及業界對準則之建議，以期進一步研修作為後續規範修訂銜接引用。



研討會會場

專案佐理研究員 林毓瑛