

地工物理模型國際研討會(ICPMG'02)

李崇正*

地工物理模型國際研討會(International Conference on Physical Modelling in Geotechnics ICPMG'02)於今年七月十日至十二日於加拿大紐芬蘭省(Newfoundland)聖瓊斯市(St. John's)舉行。本次研討會是由加拿大大地工程學會(Canadian Geotechnical Society)主辦，協辦單位包括國際土壤力學與大地工程學會TC-2技術委員會(TC-2 on Geotechnics of Physical Modelling and Centrifuge Testing of the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering)及加拿大C-Core研究中心。

TC-2技術委員會在1981年由英國劍橋大學Schofield教授主導成立，最初的宗旨主要是探討及推廣離心模型試驗技術(Centrifuge Testing)的委員會。從1981到1985年共舉辦四次離心模型試驗技術講習班及小型的研討會。從1988年起在法國巴黎舉辦第一屆地工離心模型國際研討會(Centrifuge 88)，1991年在美國克羅拉多州Boulder舉辦第二屆地工離心模型國際研討會(Centrifuge 91)，1994年在新加坡舉辦第三屆地工離心模型國際研討會(Centrifuge 94)，1998年則在日本東京舉辦第四屆地工離心模型國際研討會(Centrifuge 98)。在1999年國際土壤力學與大地工程學會會長日本Ishihara教授鑑於利用物理模型來探討大地工程相關問題的試驗技術及方法愈來愈多樣化，乃將TC-2更名為「離心及物理模型試驗技術委員會」(Centrifuge and Physical Model Testing)，網羅包括離心模型試驗(Centrifuge Modelling)、水力坡降試驗槽(downward hydraulic gradient cells)、標度槽(Calibration Chamber)及其

他物理模型試驗的專家，來共同研討物理模型試驗技術的提昇及工程上的實際應用。因此才有今年的地工物理模型國際研討會(ICPMG'02)的舉行。這次的研討會提供所有進行大地工程物理模型試驗的專家、學者互相間的對話，不在侷限於離心模型試驗者，增廣其包容性，這是一個極大的突破。

這次的國際研討會共有160篇文章，分別以口頭宣讀及壁報張貼方式發表，參加的學者專家共有202人，來自二十個國家及地區。文章的內容包含物理模型在工程教育所扮演的角色、離岸及極地工程、環境地工、地震工程及減災策略，另外還包括歐盟地區環境地工離心模型試驗網路合作計劃以及美國國科會所支助的大型地震工程網路合作計劃。因此大會除了正式議程外，還安排包括七月九日在Memorial大學所舉辦的「地工物理模型在工程教育的角色(Workshop on Role of Geotechnical Physical Modelling in Education)」，以及在七月十二日安排兩個場次的美國國科會所補助的「地震工程模擬網路化研究計劃(the Network for Earthquake Engineering Simulation NEES)報告。

筆者於七月八日晚間十一點抵達聖瓊斯市Fairmont Newfoundland 旅館，次日參加於Memorial大學所舉辦的「地工物理模型在工程教育的角色講習會」，雖然這一天的議程屬於會前會，但仍吸引約六十人與會，討論相當熱烈。講習的主題包括：

- Use of models in K-12 Education;
- Integrating physical modeling into the undergraduate geotechnical engineering;

- The use of centrifuge and active learning methodology for teaching of geotechnical engineering;
- Developments in the use of the centrifuge for teaching;
- Education, training and hosting of external users at RPI centrifuge facility;
- Use of a Min-Drum centrifuge for teaching of geotechnical engineering;
- Experience of graduate student exchange in Europe;
- Tele-observation of centrifuge model tests;
- Internet Web-Based centrifuge-testing education modules.

與會學者利用離心模型來幫助不同程度（高中生、大學生、研究生以及專業工程師）的學生了解有關土壤力學、基礎工程及設計、地下水污染的問題，提出相當詳盡的影片及心得說明。值得一提的是由MIT的Culligan教授，針對高中生及高中教師有關地下水污染擴散的模型試驗的教學設備相當簡單，卻能讓未來的新新人類直接看到地面污染源污染地下水的途徑，可灌輸環保的概念，播下環保尖兵的種子。也許這個構想可以在國內推廣，由環保機關委託全省有土木、環工、營建科系的大專院校，就近進行環保教育營，教育及培養環保小尖兵。另外加州大學El Gamal教授利用網路進行遠距模型試驗及資料蒐集，從加拿大最東端聖瓊斯市透過網路連線啟動遠在加州的震動台，進行震動試驗並及時取得試驗資料。這種遠距試驗較目前的遠距教學更進一步，是未來整合各大型試驗中心資源必經的一條路，也是美國國科會補助的「地震工程模擬網路化研究計劃」的先導研究。

對教學而言，物理模型試驗是一個相當有效的展示方法，學生可直接印證書本的理論及破壞模態，但是模型試驗由於所需設備的整合複雜，試體製作耗時，因此在一般的專業講授課程中因為時間及設備的限制，通

常無法進行。中央大學土木系在教育部的補助下，利用大型力學試驗室進行十五種常見天然災害破壞型式的模型試驗，共有四位不同專長領域的教師（周憲德、許協隆、王勇智及李崇正）參與製作。有興趣的同好可至中央大學土木系網站<http://www.cv.ncu.edu.tw/plan/index.html>參訪或下載。

本次大會的議程包括四節專題演講，離心模型和1g大型物理模型各兩節，其論文名稱如下：

- Physical modeling in offshore geotechnics;
- Properties of soil sample used in centrifuge models;
- Physical modeling of geosynthetic walls and embankment;
- Modeling of soft soil improvement methods in soft clay.

依循過去四次研討會的傳統，論文集的排序和論文發表的節次分成：(1)新成立離心機及研究中心介紹；(2)新震動台、試驗技術及感測器研發；(3)土壤行為及性質；(4)離岸工程設施；(5)環境地工；(6)地震工程；(7)防減災技術的發展及策略；(8)樁基礎；(9)填土、壩工及邊坡；(10)地下開挖；(11)擋土設施；(12)管線與箱涵；(13)地盤改良；(14)加勁土壤。上述論文發表分成三個場次同時進行，每篇論文發表15分鐘，詢答5分鐘。

國內參與此次研討會的學者有翁作新教授、方永壽教授、陳水龍教授及吳秉儒博士及筆者共五人，分別來自台灣大學、交通大學、台北科技大學及中央大學。共發表六篇論文如下：

- A two-dimensional large scale shear box on shaking table (Ueng, Chen & Wang);
- Measurement of earth pressure at-rest with inclined backfill (Fang, Chen & Chen);
- Impact loading of adjacent footings (Chen & Craig);

- Prediction of ground movements around parallel tunnels (Wu, Lee, & Chiou);
- Negative skin friction on grouped piles (Lee & Chen);
- Performance of caisson type quay walls during earthquakes (Lee, Abdoun & Dobry).

NEES結合目前美國著名的地震工程研究單位，整合模型試驗、數值計算、理論、資料傳輸及分享的大型國家型計劃，該計劃將延續至2014年。其主要是提昇目前雀屏中選的地震工程研究中心的試驗設備，可以進行複雜精確的物理模型試驗，並可進行遠距試驗，擴大各界的參與，使好的資源可以很容易共享，集中資源發展先進設備，供不同研究中心及專家使用，而不再將資源分散於各地的研究中心。另外試驗數據的規格化、公開化及快速傳輸，可提供各界驗證數值模擬使用。

七月十二日最後兩個場次是「地震工程模擬網路化研究計劃(the Network for Earthquake Engineering Simulation NEES)報告。由參與該計劃的各個團隊向美國國科會說明其計劃構想及目前的研究進度，各個團隊竭盡所能推銷自己的優點，讓筆者了解美國競爭大型計劃的激烈程度。本報告僅就地工離心模型試驗的相關內容作簡要的報告。這個計劃主要的架構及預期成果如圖1所示。位於陰影部分的設備屬於離心模型試驗中心的層次，而其他部分則屬遠端使用者。遠端使用者可以透過高速網路，監督模型準備、感測器安裝，甚至從遠端啟動離心機進行模型試驗，並及時抓取試驗的資料及影像，在遠端的電腦立即顯現試驗成果及進行必要的分析。可以理解的是被選定為離心模型試驗中心的單位，必然獲得巨額的硬體經費補助，在NEES第一期計劃中被選定為離心模型試驗中心的單位包括UCDavis及RPI兩個團隊。UCDavis獲得US\$4,614,294的硬體補助。而RPI (Rensselaer

Polytechnic Institute) 則獲得 US\$ 2,380,579。主要是發展兩向度的離心震動台、層積板剪力盒(laminated shear box)、快速的資料蒐集系統及高速網路傳輸系統，完成NEES的遠端使用、資源共享的目標。

這種型態的投資可以集中有限資源，發展尖端的設備，避免多重投資，造成經費分散。離心模型試驗屬危險性高且複雜的試驗技術，非中心本身人員進行試驗是相當辛苦，因此遠距試驗是非常迷人的，但是從人才訓練的角度，試驗者並無臨場感，對新入門者而言，可能失去訓練的機會。另外試驗資料的即時公開分享，在目前學術評價的制度下，如何給予試驗計劃及執行者適當的學術評價亦是一大難題。歐盟國家目前離心模型試驗的合作計劃，則是挑選博士生給予講學金，分別至各個離心模型試驗中心進行博士論文的試驗研究，每個地方約三四個月，讓未來的離心模型試驗研究者，了解不同試驗中心的特點。而研究者實際臨場進行模型製作及試驗，可以培養未來獨立研究的能力。這兩種不同的整合模式，從教育的角度孰是孰非，是值得國內學術領導者考慮的。

筆者自1991年參加每屆的離心模型研討會，發現試驗設備及技術發展快速，在離心飛行中，利用遙控機械手臂進行複雜施工程序的模擬，並且進行精確的物理量量測是目前的潮流。這種需要整合自動控制、機械專長的人參與研發，單純土木背景的研究人員是無法勝任的。

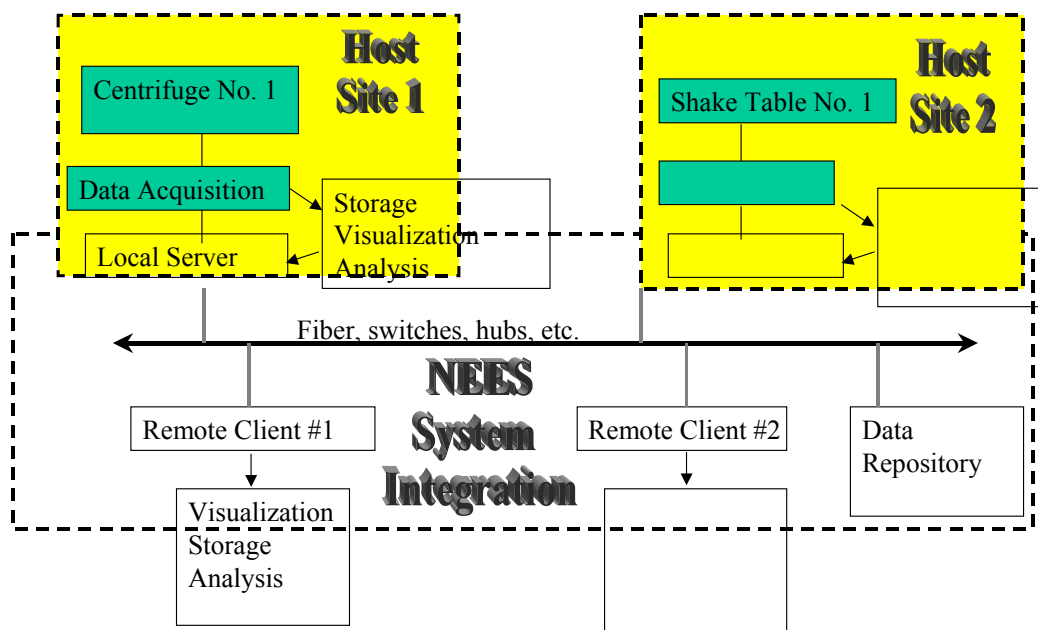
另外值得一提的是目前世界上大型的離心機中心有一半集中在日本，而日本的離心機中心有三分之二是大型顧問及工程公司的研究中心。雖然日本營造業長年不景氣，每年仍有業者投入巨額經費興建新的機器或汰換小型離心機，例如今年日本Obayashi興建完成700g-ton的離心機，可以模擬現場200米的範圍且深度達到100米，而離心震動台的震動能力可以將模型試驗至破壞階段（模型最大水平加速度可達50g，如果進行50g的試驗，原型(prototype)可達1g的水平加速

度)，目前其載荷(capacity)是世界上排名第二大的離心機。據筆者的了解，日本由政府主辦的公共工程中，如果有較複雜的工程或使用新的工法，各個競標者需提供除了數值分析的結果外，也需提出物理模型試驗的成果來驗證其可行性，而離心模型試驗則是地工物理模型試驗最好的選擇。因此各個大型顧問及工程公司除了比氣勢外，也有實際的需要，所以願意投資巨額經費發展各自的離心模型試驗中心。從歷屆的論文集，這些顧問及工程公司的研究內容特別著重新工法、各種復建改善工法有效性的驗證及比較以及工安事件的離心模擬，這對日本營造業技術的發展是有極大的幫助。相對國內營造業激烈的競相殺價，一味與國外廠商技術合作，也無法深入了解施工技術的 Know

How，從事短線操作；主其事的政治人物及技術官員也沒有提出誘因讓營造業有研發的機會。因此未來國內營造業市場逐漸萎縮後，將無法與世界各國競爭國際營造市場，甚至連大陸市場也將會競爭乏力。所以國內營造事業主管機關、學界及營造業者應該認真思考我們的營造業者是否要永遠當國外大營造廠的二奶，是否有那麼一天能成為大當家呢。筆者才疏學淺，工程經驗缺乏，上述論點是個人偏見，尚請工程先進指教。

攜回資料: **Proceedings of the international conference on physical modeling in geotechnics/ICPMG'02**。

NEES Overview



圖一 NEES 計劃架構圖