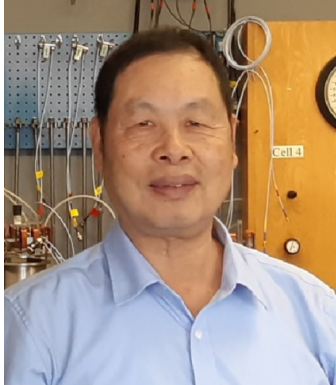




地工技術

土壤振動相關問題與分析

倪勝火



倪勝火先生目前擔任成功大學土木工程學系教授，也兼任國家實驗研究院國家地震工程研究中心臺南實驗室實驗組組長。

倪教授在 1987 年取得美國德州大學奧斯汀校區土木工程博士學位後，1987 年返國任教於成功大學土木工程學系。主要擔任大地工程基本學科、土壤動力學、樁基礎分析與設計等課程。過去之研究涵括大地工程現地地震測試驗、大地地震工程(土壤液化)、基礎振動之反應與防治、振動隔震之數值分析與類神經網路應用、非破壞檢測試驗與評估、岸上或離岸風電支撐結構與基礎系統之振動監測與分析等。迄今發表之國內外學術期刊論文約 80 篇和研討會論文約 150 篇及超過百篇之技術報告等，亦曾獲多個獎項如中國土木水利工程學會及大地工程學會地工期刊等年度最佳論文獎、成功大學優良導師及優良教授獎、中國工程師學會頒發(2018)工程教授獎等。任教期間曾參與中國土木水利工程學會非破壞性檢測委員會委員、副主任及主任委員(2012~2013)，推展土木水利工程非破壞性檢測試驗，並參與中國土木水利工程學會編輯之非破壞性檢測專書「橋梁檢測方法與應用」和「橋梁檢測基本理論」部分章節之撰寫及出版。自 1998 年起至迄今在南部科學園區進行之高鐵引致振動對科學園區之影響研究與進行地表環境微振動之現場網路即時監測，開發自動化監測與分析軟體，應用在園區之環境振動全天候即時監測。目前之研究則較著重橋梁基礎之非破壞檢測試驗與評估及離岸風電支撐結構與基礎系統之震動台之試驗分析研究等。

土壤為大地工程之母，有土斯有大地，土壤與大地工程可說密不可分，因此，土壤的靜態或動態載重及特性深深影響大地工程衍生之問題與分析設計。承蒙地工技術之邀，希望於本專輯之主題《土壤振動相關問題分析》中撰寫贈言，深感榮幸，現在就針對動態載重引致土壤振動之相關問題與分析來概談。

土壤或地盤承受振動之來源可分為自然

造成和人工導致，自然造成的土壤振動包括地震、火山爆震、地盤險陷落或山崩等，而人工導致之土壤振動包括交通、施工、探勘振源、生產機具運作等。因此，土壤振動量大小之範圍可從微震到劇震，因此土壤大小振動引致之土木相關領域不少問題，大振動(如規模 6 以上大地震)肯定可能發生財損及生命傷亡等問題，而微小振動若控制不佳，也會造成高科技產業(如奈米晶圓廠)的巨額

地工技術

損失，因此振動產生之問題，不因土壤振動量小而無，而要視振動發生地點之情境而定。土壤大振動引致問題之受到國際重視，應是源於 1964 年在日本和美國分別發生之新瀉及阿拉斯加大地震，這兩次地震引致多處土壤液化問題，造成公共建築與土木設施等多處損壞與人員生命傷亡，人們開始意識到我們是居住在地盤有不穩定風險的大地上。之後，國際學研單位皆戮力進行這方面之研究分析，未曾中斷。

自然造成之土壤振動引起問題或災害的肇因主要是來自地震，地震引致土壤之振動災害主要有土壤液化造成地表之地裂、噴砂水或側潰等現象、建築物傾倒或傾斜或下陷、人孔浮起、管線破壞、山崩地滑等坡地災害及其他複合型災害等，土壤液化方面經超過一甲子之研究，對問題機制之分析、瞭解與防治已漸趨成熟，而國內也已在多年前先後成立國家地震工程研究中心北部和南部實驗室等專責機構進行研究，今年適逢 921 地震 20 周年紀念，在紀念研討會上展現了多項近年研究成果，其他自然震源造成之土壤振動在國內較少碰到，就不再贅述。

人為導致之土壤振動包括軌道及道路交通車輛運行、營造施工機具運作、地表油氣或地質等震測探勘、爆破開鑿以及生產機具運作之振動等。人為造成土壤振動之發生和影響多屬局部性，主要影響在都會及建物稠密區，如捷運等軌道系統運作時產生之噪音及振動，可能造成臨近建築物產生近共振效應，建築地基之打樁施工振動可能造成臨近建築物產生裂縫或下陷傾斜等，而高速鐵路行經高科技園區引致之振動可能造成晶圓廠良率下降等損失，這些人為振動由於經濟發展須要而幾乎均無法迴避，對土壤容許振動量之要求多有法規限制，因此，問題解決之基本方式即為現地地表振動量測與分析，首先針對標的物量測其振動量大小是否符合現有振動規範或機具允許量，其次是藉由地表振動量測求取地盤衰減係

數，以評估振源之影響距離或範圍等。如果其產生之振動量達不到法規規範要求，則須引用隔/減振技術來降振，隔/減振可採用主動及被動方式隔振，主動隔振主要是對已知振源作隔/減振，而被動隔振則主要是就對振動敏感之標的物，對已或未知振源作隔/減振。目前常用的隔/減振技術有減震牆或槽溝、震波阻塊或樁等，前者應用波傳反/折射原理以降低透入波而減少振動，後者則是利用地盤反應之轉換函數原理，以建造阻塊或樁，使其頻率響應轉移至降振處，隔/減振效果常受振源波頻率之影響。

人為造成土壤之振動問題雖多被認為負面(不利人與物)，但適當之運用卻對土木/大地工程設計參數之求取或品質檢測有很大之助益。土壤振動波之波速與波傳介質(土壤等)有關，而波速又與介質之動態彈性模數有關，不同介質之阻抗比(impedance ratio)會影響振動波之折射及反射能量，因此，應用這些物理特性，已衍生了許多應用在隔/減振技術或求取現地地盤之土壤動態性質(波速及阻尼比)上，在求取現地之土壤動態性質方面，例如跨孔震測試驗(測深可達百米)、下孔震測試驗、懸盪式井測、地盤折/反射試驗、表面波譜法(SASW)試驗、多頻道表面波法(MASW)試驗，其中，表面波譜法可測深達數百米之土層剪力波速，其結果對地盤動態反應分析之正確性有很大助益。另外，利用地盤之單點微震量測可簡易求取地盤之基本頻率等，而使用陣列微震儀量測(MAM)也可求取土層之動態波速，其他應用也包括許多基礎之非破壞檢測法，如平行震測法可藉基礎與土壤波速之不同而求取基礎深度等。因此，對大地工程而言，土壤之振動可能帶來災害，但大地工程師也可研發改善，適切的應用土壤之振動法，以求取更為可靠之地層土壤動態特性，回饋大地工程之分析與設計，達到工程建物防/減震災之目的，使土壤之部份振動也能成為大地的正面效益。