



中華民國力學學會第153期會訊

- | | | |
|--------|-----------------------|------|
| 【專題報導】 | 結構動態放大效應 | P.2 |
| 【推廣活動】 | 焦點一：2022科普營「蛋白質的力學之美」 | P.6 |
| | 焦點二：「結構動態與波傳」技術論壇 | P.10 |

【近期訊息】

★2022第2期力學推廣活動補助徵件：

延後至111年12月15日(星期四)截止

★2023年會暨第47屆全國力學會議徵求承辦單位：

即日起至112年1月15日(星期日)止

結構動態放大效應

姚忠達 淡江大學建築系

瘋狂列車

美國第一條橫貫東西岸鐵路線——太平洋鐵路，於1869年5月10日通車。在由法國作家Jules Verne 撰寫的冒險小說《環遊世界八十天(Around the World in 80 Days)》(1873)改編的電影(1956)場景中有一幕(圖一)，主人翁Phileas Fogg以七天火車行程，從東岸舊金山到西岸紐約橫越美國。當火車來到梅溪危橋(Medicine Creek Bridge)時，正當蒸汽火車司機猶豫是否要通過危橋時，Fogg大膽提出讓火車以全速有如飛般通過梅溪鐵路橋，可降低列車在橋上高速行駛時帶給危橋因車行而出現崩塌的風險。

最後，火車司機在烈酒壯膽下，勇敢地執行此一不可能的任務。很幸運地，當全列火車快速通過梅溪橋，千鈞一髮之際，危橋支撐架才出現局部性崩塌，故事主人翁一群人得以繼續他們環遊世界八十天的旅程。扣人心弦的戲劇張力及令人佩服的導演功力，不愧是一九五七年第29屆奧斯卡最佳影片獎，卻也勾起十九世紀中葉鐵路運輸方興時，一段鐵路工程師對於橋梁受車行動態反應的爭論往事。



A



B

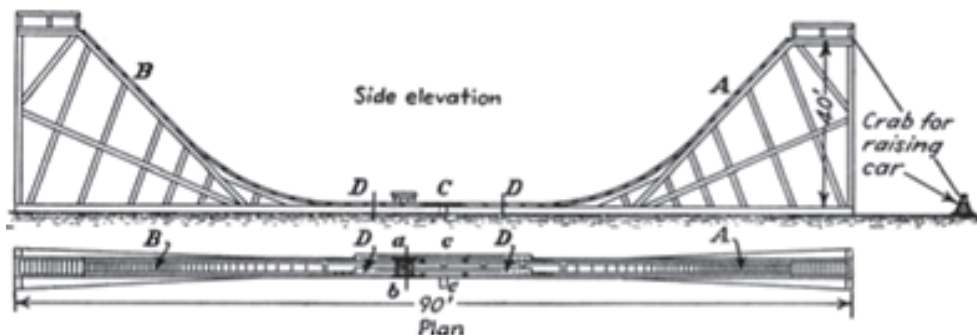
圖一 環遊世界八十天之火車過鐵路橋場景 (照片來源: YouTube網路影片)

爭鋒

這種在電影中充滿瘋狂的場景，在十九世紀中葉的英國鐵路工程界也曾出現爭議，即有人認為列車在橋上的移動力效應類似於撞擊的影響，其對橋梁引起的梁變形反應會比靜態力者大。另一派認為在火車快速穿越橋梁時，橋體沒有足夠的時間產生結構變形，故其反應較靜態者小。

事實勝於雄辯

為了消除兩派人馬的疑義，於是雙方決定進行一場梁受移動力的真實動態量測。地點是選在朴茨茅斯(Portsmouth)的造船廠，參考圖二，在不同的兩側採用支撐構架軌道高度，用以控制移動雙軸車滑行至C處之9英尺鑄鐵梁(cast-iron beam)的車速(Timoshenk 1953)。



圖二 動態受測梁與支撐構架系統 (圖片來源: Timoshenk 1953)

靜態載重實驗

以靜態方式，隨著車架重量荷載的增加，鑄鐵梁的撓度位移(flexural deflection)也跟著成比例放大，此即為靜態撓度。

移動車行動態量測

當載重車被拉到與所選速度相對應的傾斜軌道點再予以釋放，即可產生通過受測鑄鐵梁所要的移動力效應(moving load effect)。在逐漸增加載荷的情況下，重複上述幾次實驗，便可量到不同車速下受測鑄鐵梁的動態撓度。

勝出

通過上述兩種不同作用力方式，在經過重複量測之後，結果顯示：在給定荷載下，受測鑄鐵梁的動態撓度明顯大於由相同荷載靜態下產生的撓度。當提升通過的車速，發現鑄鐵梁的動態撓度隨著速度的增加而增加；而在更高車速下，甚至得到動態反應比靜態者大到2倍以上(Timoshenk 1953)。

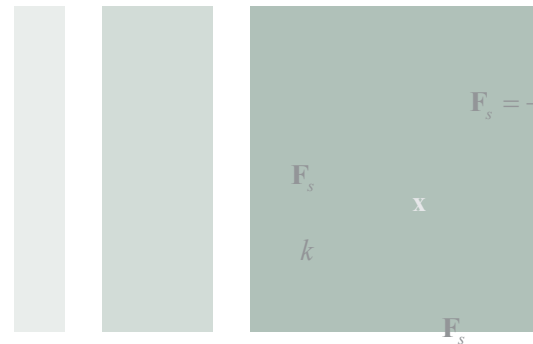
很明顯，此實測結果否定了部分人認為「在火車快速穿越橋梁時，橋體沒有足夠的時間產生結構變形的猜測」。這也是工程師首次透過實驗量測方式，目睹到移動力效應對受力結構反應的影響(Fryba 1999)。

有請力學大神

虎克(Robert Hooke, 1635-1703)與牛頓(Isaac Newton, 1642-1727)均為英國皇家學會成員，也是同時期歐陸的大科學家，他們在科學的成就一直深深地影響後世科技發展，然而兩位大神在某些課題上，卻是不大對盤。這在近代科學仍處萌芽階段，學術規範尚未完善的十七世紀，優先權是經常出現的爭執。雖是如此，他們倆人所提經典理論及其結合與應用，是近代和當下科技發展不可或缺的養分。以下，就以回顧式簡文介紹虎克定律及牛頓運動定律，來說明前面鑄鐵梁受車行之動態反應大於靜態者的動力放大現象。

虎克定律

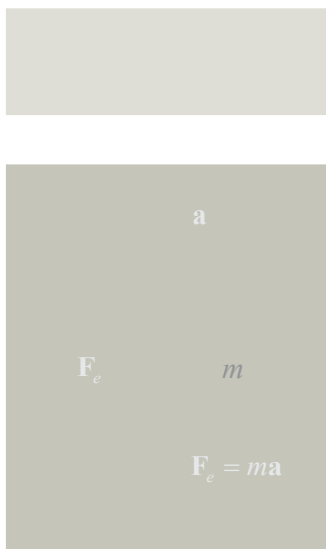
1678年，虎克對於彈性體受力的實驗結果，發表了《彈簧(Of Spring)》的論文，提出「虎克定律(Hooke's law)」，即在線彈性(linear elasticity)限度內，彈簧的伸長量與所受力量的大小成線性正比關係，即 $F_s = -kx$ ，其中 x 為彈簧長度變化量， F_s 為彈簧所產生的恢復力(restoring force)， k 為彈簧彈性係數，當中之「負號」表示彈簧恢復力 F_s 總是與位移相反。此一簡單的數學關係式，建立了作用力和受力體變形間的「力與變形關係」，是明確指出彈性體材料性質的第一篇論文，對人類未來有關物件材料的力學特性掌握與科技應用，有了更深層啟發與瞭解。



牛頓第二運動定律

1687年，牛頓在其巨著《自然哲學的數學原理(Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica)》首次提出三大運動定律，其中第二條運動定律（加速度定律）即明確指出施加於物體的外力等於此物體的質量與加速度的乘積，用我們熟悉的數學公式：

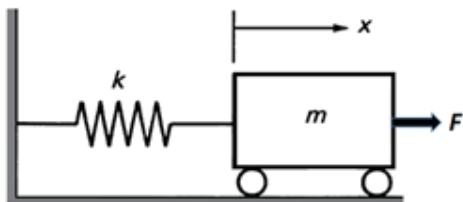
，其中 是外力， 是質量， 是加速度。此一耳熟能詳的數學關係式，為動力學開創了一個全新方向，也成為人類由傳統獸力轉變成機械動力的重要論述基石，至今它仍不斷地影響我們的科技與生活。



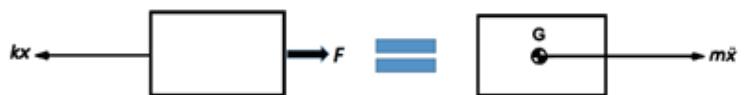
專題報導：結構動態放大效應

兩大定律的結合

對於朴茨茅斯造船廠9英尺鑄鐵梁受移動車行之結構動態放大效應，可以透過結合虎克定律($F = kx$)及牛頓第二運動定律($F = ma$)來解說。如圖三之質量彈簧系統，當中外力 F 是作用在質量塊 m 上。



圖三 質量彈簧系統



圖四 動態放大效應解說示意圖

考慮圖四之質量塊 m ，除了外力 F 外，作用在其上的力量包含以下：

- (1)根據虎克定律，向左彈簧恢復力為 $-kx$ 。因彈簧對質量塊的牽制作用，參考圖四左，質量塊上的接觸性力為 $F - kx$ ；
- (2)因質量塊處於振動狀態，參考圖四右，存在與運動同向的向右慣性力為 $m\ddot{x}$ 。其中 $\ddot{x}$ 代表質量塊的加速度，即質量塊位移量(或彈簧長度變化量)對時間二次導數；
- (3)根據牛頓第二運動定律，參考圖四，可得到 $F - kx = m\ddot{x}$ 。

綜合以上，可得質量塊位移量 $x = \frac{F - m\ddot{x}}{k}$ ，很明顯，當中的位移變動量 $(m/k) \times \ddot{x}$ 成為結構動態放大效應的主控因子，它與系統特性的質量 m 成正比，阻抗勁度 k 成反比，而質量塊加速度 $\ddot{x}$ 是與時間有關的主要變動量，它會放大也會縮小質量塊的位移量。從工程設計觀點，最大變形量是否符合原構件設計要求，是設計者及使用方最在乎的性能要素之一。

結語

力學是解釋自然現象的有效科學手段，也是最生活化的科學，有時候不需太多的數理運算及複雜理論，即可用來說明生活中所發生事件的因果關係。無論是虎克定律($F = kx$)或牛頓加速度定律($F = ma$)，都不需太多深奧理論來展現其重要性，只要細心觀察歸納，便可應用它們來了解生活中與力有關聯性的事件。平易實用的簡單數學式，更能展現其力學原理的精緻美感。

參考文獻

- ◆ Frýba, L., Vibration of Solids and Structures under Moving Loads. 3rd ed. (Thomas Telford Ltd., London, 1999).
- ◆ Timoshenko, S. P., History of Strength of Materials: With a Brief Account of the History of Theory of Elasticity and Theory of Structures (McGraw-Hill, New York, 1953).
- ◆ Verne, J., 環遊世界八十天 Around the World in 80 Days (華文網公司，新北，2003, 中譯)



2022 科普營

蛋白質 的 力學之美

本學會為了推廣力學的普及，今年7月由臺灣大學應用力學研究所、臺灣大學土木工程學系、中原大學土木工程學系、中華民國力學學會、台灣生物力學學會、創創文化科技股份有限公司、三聯科技教育基金會共同主辦，以及國立台東女中王垠校長與鄭華鈞等老師的協助之下，周佳靚老師、張書瑋老師及黃仲偉老師規劃了本次三天的科普營隊，讓20位參與的台東女中同學們透過體驗各種結合虛實模擬及遊戲的活動，在輕鬆愉快的氛圍當中，由主講老師深入淺出地帶領同學們從零開始一點一點建立力學與空間概念應用於微觀生物材料，並對生物材料蛋白質的力學性質有初步的了解。



台大應力所周佳靚老師先以生活中的例子向同學們介紹蛋白質，從巨觀講到微觀，解釋蛋白質的組成和結構，引領同學們進入微觀力學的世界，探索生命與力學的奧秘。在有一些蛋白質結構序列的概念後，由蛋白質桌遊揭開第一天活動的序幕。這套由張書瑋老師、周佳靚老師團隊以及創創文化科技公司共同開發的教育桌遊，旨在透過遊戲競爭的方式讓玩家熟悉胺基酸序列的建構、以及序列對結構力學穩定和蛋白質特性的影響。遊戲過程需要動腦思考如何排列胺基酸以達最穩定的力學結構，雖讓同學傷透腦筋，逐漸熟悉後卻也大呼過癮。燒腦的桌遊結束之後登場的活動是虛擬實境(Virtual Reality, VR)，我們使用匹茲堡大學開發的一款蛋白質虛擬實境教材ProteinVR，可以讓使用者透過虛擬實境的頭戴裝置在VR環境中觀察任何蛋白質結構。在戴上頭戴裝置後，剛剛在課程和桌遊中認識的蛋白質結構，如COVID-19病毒的棘蛋白，就可以立體呈現在同學們的眼前，透過走動或使用手中的控制器從不同的角度觀察蛋白質模型的立體結構。下午的活動由創創文化科技介紹的空間邏輯挑戰開場，讓同學們分組進行對抗挑戰，這款結合了密室逃脫以及空間邏輯概念的實境遊戲，參與的小隊必須在規定的空間中團隊分工盡快找出提示的道具，並透過事先準備的平板App，以擴增實境(Augment Reality, AR)技術設計的介面在App中解決一道道空間邏輯的難題。



精彩回顧-周佳靚老師替活動開場



精彩回顧-創創文化執行長陳彥睿指導桌遊



精彩回顧-虛擬實境中體驗ProteinVR

第二天的活動由周佳靚老師和台大土木系張書瑋老師共同介紹的蛋白質計算揭開序幕。活動中老師介紹了電腦模擬與計算力學的概念，以及科學研究如何利用電腦模擬去瞭解蛋白質分子之行為。同學們在電腦教室中使用NAMD (Nanoscale Molecular Dynamics)及亞佛加厥(Avogadro為一款可建立及編輯分子模型的自由軟體)，跟著老師的示範一同操作，自己建立前一天在蛋白質桌遊中創造的胺基酸序列，讓同學們不僅透過桌遊認識抽象的知識概念，還能實際看到胺基酸序列長什麼模樣。活動中老師也介紹了蛋白質分子的力學拉伸模擬，讓同學們感受到微觀世界中分子結構在受力時的變化。午休過後，由台東女中鄭華鈞老師帶領大家暫時拋開邏輯思考，進入創意的藝術世界。



精彩回顧-張書瑋老師講解軟體使用

同學們已經在先前的各項活動中認識到蛋白質分子的一些形象、特性、結構、力學以及蛋白質與人們生活的連結，在此美術創作的活動中，老師要引導同學們把心中對蛋白質的感受用畫筆實現。首先展示了幾張以蛋白質為主題的藝術畫作，以分組方式討論，鼓勵每個人盡量分享自己觀看作品的感受、聯想到的事物、試著去分析自己的思考方向與作品之間的連結關係，為什麼這樣的表現方式會讓自己有這樣的感覺。經過幾次熱烈的討論之後，再讓同學們以自己選擇的形式進行「蛋白質印象」的美術創作，同學們用一個下午的時間，把這兩天接觸到的、學習到的、對蛋白質的感覺畫下來。在有限的創作時間內，同學們都充分發揮豐富的創造力完成作品。



精彩回顧-同學們與操作中的空拍機合影



精彩回顧-頒發參加證書



第三天進行了空拍機的飛行體驗，由中原大學土木系黃仲偉老師向同學們簡介無人飛行器的演進及工程應用，接著分組讓同學們實際體驗操作迷你空拍機。由於所使用的空拍機只要與手機連線即可透過手機進行操控，並可從手機畫面看到空拍機的拍攝畫面，使用上相當直觀簡單、容易上手，惟第一次操作還是需要一些練習適應。在老師的協助下，同學們在教室外的開放空間輪流練習操控空拍機，執行起飛、飛行、翻滾、降落等操作，上手比較快的同學也嘗試使用空拍機拍照錄影的功能實際拍攝一段飛行影片。活動結束尾聲，同學們也給予主辦的老師們寶貴的建議與回饋，未來如果有機會再次舉辦類似的營隊活動時相信會更好。

結構動態 與波傳

技術論壇

本論壇以技術演講形式來做學術經驗分享，精神為Communicate、Interchange與Knowledge，合併基礎及進階內容，由專業講師融合現有的技術及研發課題，為大家講解其在力學上的學術知識、業界的推廣應用，現場和聽眾Q&A互動。由中華民國力學學會與國立中央大學機械工程學系共同主辦，民國111年9月2日於國立中央大學機械館E2-10會議廳舉行。



講題一

結構與波傳數值建模之透析

COMSOL Multiphysics 軟體

由皮托科技楊棟焜處長擔任講師，介紹如何實現理論、實驗與模擬數值模型，與平民化開發的專業軟體。



講題二

彈性超穎介面與開放共振腔

由國立成功大學蘇余琪教授擔任講師，說明超穎介面的組成增加了波傳可行的頻率範圍，亦展示超穎介面於分波應用上的可行性。



講題三

工程結構的非線性振動行為與分析

由國立清華大學田孟軒教授擔任講師，說明非線性振動在實際結構設計與分析上佔有重要角色，分析介紹相關應用發展，並分享個人學術和經驗課題。



講題四

振動力學之工程應用與技術

由國立中央大學廖展誼教授擔任講師，用較基礎方式為大家講解板結構動態特性理論模型的開發與應用。



貴賓致詞、頒發感謝狀

此論壇活動邀請到本學會理事長兼中央大學工學院院長蕭述三教授、機械系主任李朱育主任蒞臨現場致詞，同時於活動結束前頒發感謝狀。感謝學會秘書長吳育仁教授協助辦理論壇活動。



蕭述三理事長致詞



李朱育主任致詞



楊棟焜、吳育仁、李朱育、蕭述三、田孟軒、廖展誼、賴勇安、蘇昱臻(左至右)

誌謝

本期刊物由出版委員會主委、陽明交大土木系楊子儀教授編輯邀稿與潤飾文字，誠摯感謝淡江大學姚忠達教授允諾撰稿、臺灣海洋大學工學院郭世榮院長與關百宸副院長推薦專題報導專家人選，及學會秘書處提供力學推廣活動資料、彙編與排版。



秘書處地址：320桃園市中壢區中大路300號

國立中央大學工學院工程五館一樓A103室

網址：<http://www.stam.org.tw>

電話：(03)4250476

E-mail：society.stam@gmail.com