

## 教育部教學實踐研究計畫成果報告

計畫編號/Project Number：PEE1080344

學門分類/Division：工程

執行期間/Funding Period：2019 年 08 月 01 日 至 2020 年 07 月 31 日

### 「化繁為簡」：運用 Arduino 互動模組於 建構健康診斷系統即時實作

配合課程名稱：訊號處理與頻譜分析、土木專題討論（二）

計畫主持人(Principal Investigator)：林子剛 教授

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：交通大學土木工程學系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2022 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2020 年 09 月 16 日

# 「化繁為簡」：運用 Arduino 互動模組於建構健康診斷系統即時實作

## 一、報告內文(Content)

### (一) 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

本計畫的主題為「化繁為簡：運用 Arduino 互動模組於建構健康診斷系統即時實作」，考慮到學生的上課狀況以及與先前的課程相較之下，希望可以藉由學生的實作增進上課的參與度，使得「結構健康診斷技術及應用」不僅僅讓學生在知識上的增進，更可以體驗到這些知識的實際應用。

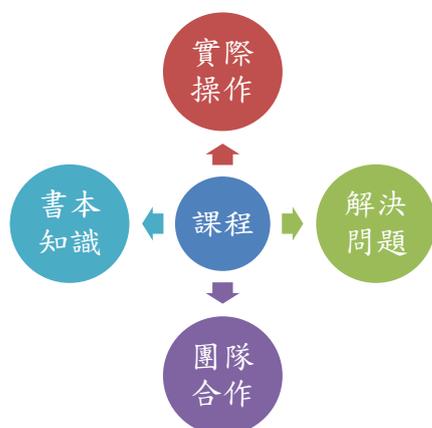
#### 1. 研究動機

##### (1) 以本校的教學理念為出發點

以思考、分析整合知識的能力、自我學習的能力透視新環境，自我定位之能力專業科目之訓練為基礎，並在新世紀大學發展特性「跨領域」、「網際網路」、「國際化」、「複合年齡層」、「經濟與科技之快速進步」、「多元教育」這六個大方向下培育產業專才為教育目標，更注重建立學生良好人文素養與良好的人格特質。

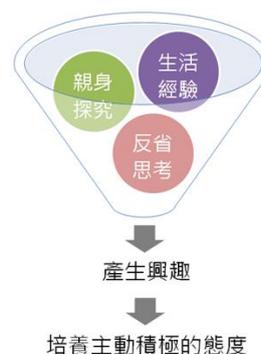
##### (2) 科技輔助的實作課程

打破傳統的授課方式，讓學生更有機會將課程中的知識實際應用在模型上，同時訓練學生的分析能力以及問題處理能力。教學過程中教師亦應善用科技引導學生，提升溝通協調能力(Communication)、團隊合作能力(Collaboration)、問題解決能力(Problem solving)、獨立思辨能力(Critical thinking)、創造力(Creativity)，以達科技結合專業的學習成效。



圖一、整體教學實踐教學策略架構圖

#### 杜威- 做中學 (Learning by Doing)



圖二、做中學理論示意圖

#### 2. 研究目的

- (1) 根據學校的教學理念以及未來展望，配合新科技實現上課互動、實作，希望以這些方法改善同學的上課模式，提升學習效率。
- (2) 以結構健康診斷技術及應用結合 Arduino 互動環境開發模組為核心，搭配做中學以及經驗學習法，驗證是否提升學生學習力(學習動機、學習態度、學習效率、學習滿意度、學習成效)。
- (3) 以實際操作的成果去了解學生的吸收程度，藉以增進知識不足的部分。
- (4) 將課程模組推廣到其他教育單位。

## (二) 文獻探討(Literature Review)

### 1. 杜威做中學理論

杜威(John Dewey)最重要的兩個教育思想：連續性以及實踐中學習。

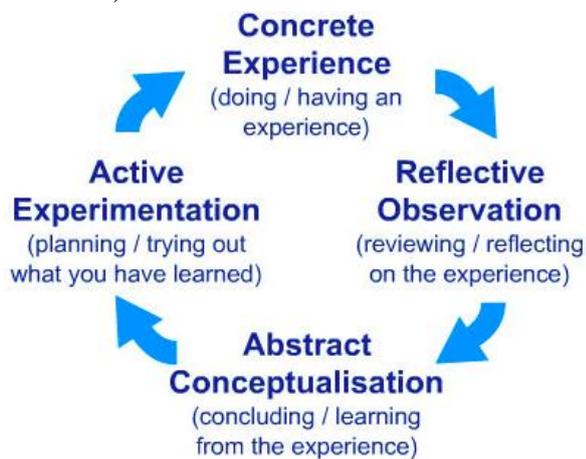
連續性(Continuity)提出教材與教法實際上為一體，所以教學活動是一個師生共同動作的歷程。就經驗的觀點出發，杜威認為教材與教法之間的關係是因為經驗讓我們感覺所嘗試的事情與所成熟的結果之間的關聯，也就是指經驗是一個向前發展的歷程。

做中學(Learning by Doing)帶動教學方法的革新，以往教師講、學生寫的僵化教學法不再是唯一的教學方式；經由課程設計的方式，可以引起學生的興趣，主動的投入工作，並於實地操作中獲得個體認知結構的改造與重組，設計教學法、活動教學法因而成為重要的教學方法。做中學的內涵概括包含了三個部分如圖二，分別為：

- (1)生活經驗：杜威認為教育應該要與生活經驗相結合，能在家庭、學校與社會情境上發揮功效的教育才有功能與價值。
- (2)親身探究：做中學強調親自動手探究，學習的過程才能被轉化成個體的「經驗」，並進一步加深印象來提升學習成效。
- (3)反省思考：在教學活動中，嘗試錯誤與反思原因是讓個體進步的動力，也就是「錯中學」，訓練學生主動發現問題是提升學生學習動機的關鍵。

### 2. 經驗學習法之特點

承接著杜威的理念，高大衛(David A. Kolb) 建構了著名經驗學習法的理論(Experimental Learning Theory)如圖三，主要有四大元素：具體經驗(Concrete experience)、觀察及反省(Observation & reflection)、總結經驗(Forming abstract concepts)及實踐應用(Testing in new situations)。



圖三、經驗學習法理論示意圖



圖四、經驗學習法流程圖

- (1)具體經驗：親身參與、看到、聽到、關注事情、觸動到的事情，會產生很多不同的經驗。學習也是如此，教師提供建構了經驗的環境和方向，由學生自身的背景、能力、與他人的互動和狀態，產生各種經驗的組合。
- (2)反省觀察：反省觀察是將所經歷的事情及人物的互動的資料作綜合和整理。主要從經驗引起的感官、思想、情緒、行為及意圖方面所呈現的資料及信息。
- (3)演譯總結：運用理性邏輯獲取資料及信息，根據對本身的啟發、對其的意義、彙總為是次的經驗，並將個人本身的發現、學習、觀念等，進行思考和分析，以增強經驗的總結。

(4)實踐應用：當學生將所學運用在解決自己的狀況和案例上時，課程內容不只是課程當下，而更是賦予參與者在問題點上運用的能力。

### 3. 經驗學習法之流程

經驗學習法有別於傳統教育之設計流程如圖四。

- (1)學習者是參加者(Active Participant)
- (2)有個人動機、肯投入、負責的 (Self Motivation)
- (3)學習活動是真實而有意義的 (Real & Meaningful)
- (4)反省是學習過程內一重要元素 (Reflection)
- (5)所學到的可以轉化到真實生活裡 (Functional Change)

### (三) 研究問題(Research Question)

本教育研究計畫將應用於計畫主持人任教的結構健康診斷技術及應用。課程設計首要之務為假設將 Arduino 軟硬體帶入課程的學習成效是否提升。本課程採用分組的方式，讓同學實際動手操作 Arduino 程式設計、感測器安裝、數據擷取計算等步驟，透過經驗學習法的流程為前提，本計畫提出四種問題假設：

- 1.實際動手參與操作與學生學習成效呈現正相關關係。
- 2.實際動手參與操作對學生提升此科目興趣呈現高度正相關關係。
- 3.合作學習與學生學習成效呈現正相關關係。
- 4.合作學習對於提升學生上課專注力有正面影響。

### (四) 研究設計與方法(Research Methodology)

#### 1. 實驗場域描述

本計畫課程相較以往，研究設計架構著重於經驗學習法及做中學，所以學生除了學習理論課程，實際動手操作硬體器材從中學習才是本計畫之目的，結構健康診斷 Arduino 課程教材互動模組及 3D 列印模型建置場地於國立交通大學土木結構大樓，使用滑軌式振動台進行實驗，相較於滾珠式振動台，本振動台可以減少滑動時的摩擦力使實驗數據較不易受影響及干擾，振動台機械裝置由油壓驅動，配合設定完成的程式與軟體操作模擬出各種不同訊號類型與震波。



圖五、土木結構大樓試驗場域與振動台



圖八、健康與破壞狀態之斜撐

#### 2. 研究對象

本計畫研究對象多為土木所結構組學生，而全台大專院校土木系基本課綱皆包含工程材料學、材料力學、工程數學及結構學，因此學生在選修此課程時已具備對此課程的基礎知識，但對課程安排的實際動手操作偵測結構破壞行為幾乎沒有接觸經驗，因此希望以本研究為標

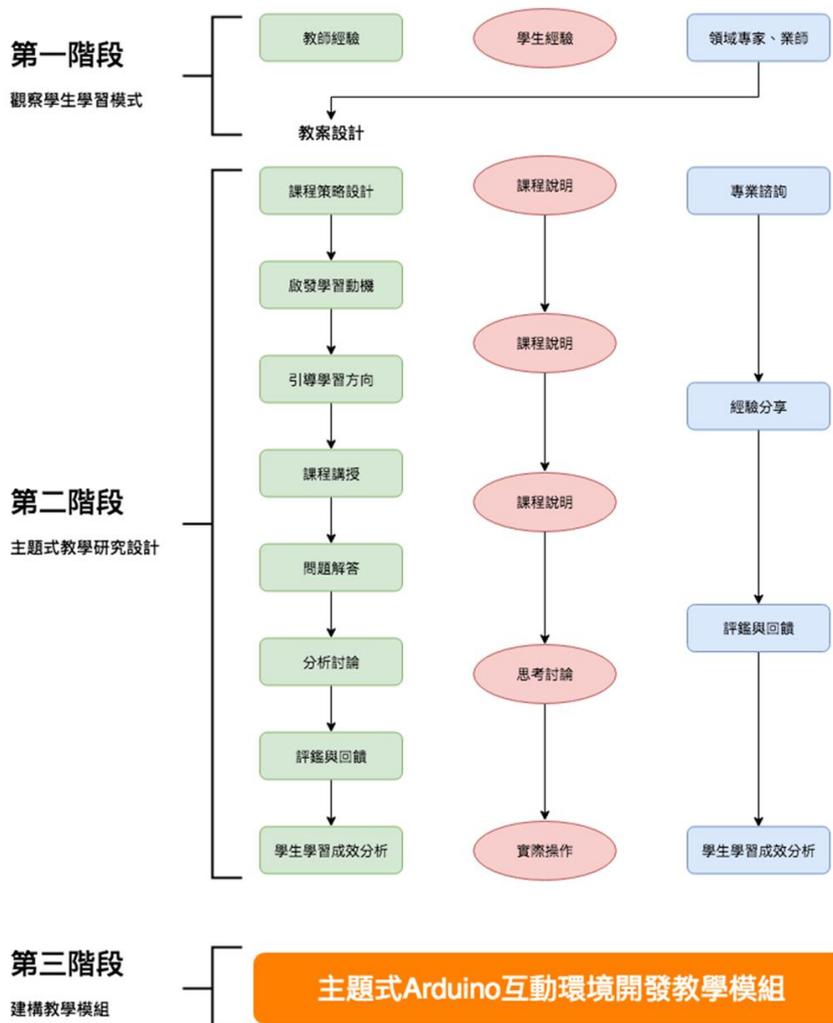
的，憑藉教學實踐研究計劃的落實，使學生能夠透過課程增進結構健康診斷方面專業知識，增進理論與實務等相關能力。

### 3. 研究架構

本計畫之理論架構如圖六所示，三階段課程研究流程圖如圖七所示。



圖六、理論架構圖



圖七、三階段課程研究流程圖

## (五) 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

### 1. 教學過程與成果

過去傳統課程從書本中傳遞結構相關知識，對於此種教學方式，在沒有好奇心驅使下，很難使學生對於材料結構方面有實務上的課程印象，而本課程設計講求學生做中學，因此親

自設計實驗流程與模型，並學習使用開發版套件與感測器進行數據收集為本研究重要的一環，相較於過往課程，更加著重於 Arduino 硬體設備使用及軟體之教學，使用經濟安全且易上手之設備供學生實驗與分析，在學生獲取本課程相關理論後，於第 9 週後進入本課程實驗主軸，由各組學生以合作學習方式，進行討論與分享，同時將結構工程新興主題融入期末專題實驗，各組於期末上台報告試驗結果。

#### (1)課程目標

- 激發學生自主學習能力。
- 修正後之課程實施，提高學生學習力(學習動機、學習態度、學習效率、學習滿意度、學習成效)，更多元有效率的從做中學，靈活運用 Arduino 互動環境開發模組等現代新興科技。
- 完成結構健康診斷技術及應用主題式教材模組，並將教材模組推廣到跨院校級的各專業團隊，並開放課程參觀討論，讓更多學生受益。

(2)教學策略：在教學實踐中存在著眾多的教學方法和教學策略，本可成主要以「發現性策略」為主軸。發現性策略的主要傾向是促使學生自己發現問題，引導學生思考的方法，並從中掌握知識。不同的學生有不同的學習特點和風格，教師應採用多元化因材施教，藉由講述(傳遞權威性知識)，啟發學生自主性學習，以利學生未來發展。

(3)教學活動：修正後之教學活動，預計分為四個階段，分別針對四個主題進行。

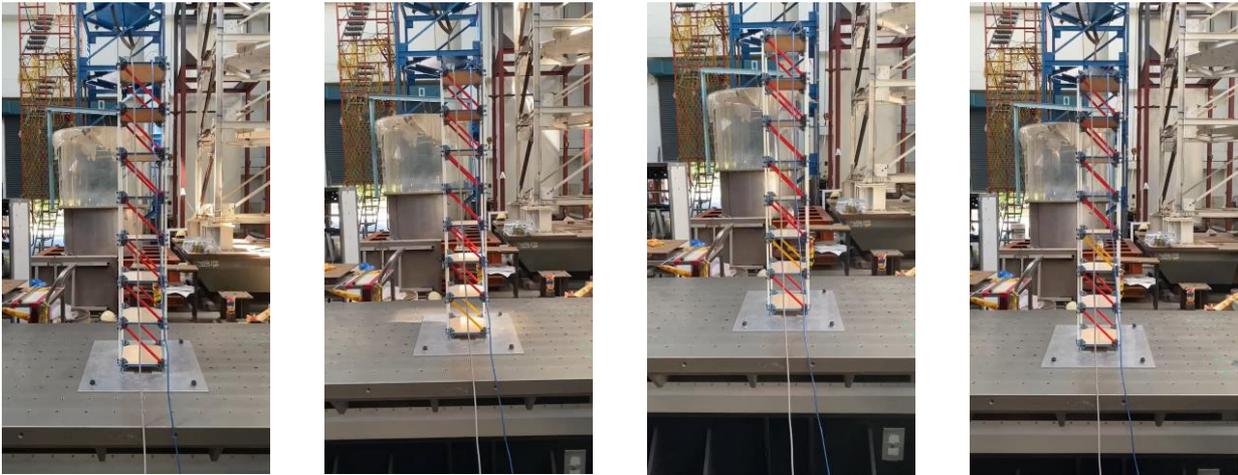
- 引發學習動機：教師及領域專家帶領，提升學生的學習興趣與動機，啟發學生對課程相關議題之了解。
- 經驗學習法結合學習者舊有經驗由做中學：師生對話，教師與學生分享教學實作經驗，藉由結合學生舊有學習經驗，使學生產生共鳴，讓學生從課程的「旁觀者」轉變為「參與者」，教師的角色則變更為引導及協助者。
- 教學活動進行：學生發展自主性想法，進行主題專案模型設計及架構實驗流程與藍圖，並進行感測器安裝、資料擷取、回歸分析等傳統教師示範課程。
- 教學成果分享：學生完成專案後，透過任課教師、跨校師資與業師協同，協助學生釐清與解決問題，使學生設計實作之主題更完整化，並在完成後與學生進行公開作品檢討與分享。

(4)教學評量：以結構工程新興主題為結構實健康診斷課程專案的議題，注重學生實際動手設計模型及架構實驗流程與藍圖完成實驗過程，教學以實作評量為方式進行，鼓勵學生主動表達學習到的知識以及納入學生個體差異，展現學生在課程上的努力及進步。整體教學評量以教師點評、同儕互評為基準，發表正式的評量紀錄。

(5)實驗設計：本課程實驗運用 Arduino 互動環境開發模組，使用 Adxl345 感測器作為三軸加速度計，配合小型 3D 列印結構模型，首先利用地震模擬振動台以 50gal 及 100gal 白噪音模擬震波，針對單層樓 50%斜撐折減，收集健康結構、破壞斜撐之構件破壞狀況加速度數據，將訊號由時域轉換為頻域，透過結構物損壞分析各種狀態下之破壞波型，使學生從實驗中獲得結構健康診斷技術知識。

A.3D 列印模型設計：3D 列印技術與開模相比，減少相當多的製造成本，可以將多種聚合物製作成一複雜結構，由於易於操作，且儀器大小適中，適合本實驗供學生親自操作，模型建置如下，各層樓梁柱及斜撐均以 3D 列印材料構成，模型層數為七層，圖八為健康與破壞

狀態 3D 列印斜撐，紅色為健康斜撐，黃色為削減破壞後之斜撐，折減程度為 50%，圖九為結構健康狀態與裝設一至三樓破壞斜撐 3D 列印模型。



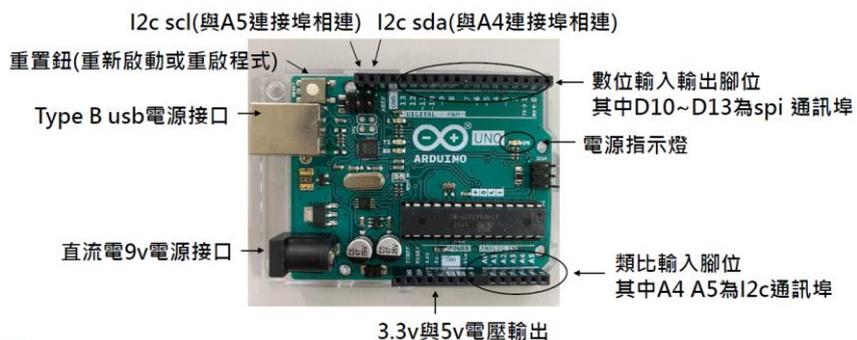
圖九、結構健康狀態與裝設一至三樓破壞斜撐 3D 列印模型

B. Arduino Uno 控制版與 Adxl345 感測器：本計畫使用 Arduino Uno 型號之控制板與 Adxl345 感測器，目前 Arduino Uno 使用 ATmega328p 處理器，有數個數位及類比的輸入輸出埠，配置 I2C 與 SPI 介面與外接感測器傳遞交換訊息，使用類似 C 語言進行程式寫入與輸出，Arduino Uno 介面如下圖十。Adxl345 感測器有八個連接埠，其中 GND 為接地，VCC 為供給範圍 2.0 V to 3.6 V 之電壓，CS 為晶片選擇，INT1 與 INT2 為中斷輸出，SDO 為 SPI 介面串列資料輸出，SDA 為 I2C 介面串列資料線，用於接收串列資料，SCL 為 I2C 介面串列通訊時脈線，用於接收串列時間，如圖十一。再將 Arduino Uno 與 Adxl345 感測器連接，以下為兩者作為三軸加速度計之接線方式，相較過去計畫使用之感測器，接線較淺顯易懂，如圖十二。

- 將 ADXL345 的 GND 連接埠接上 Arduino 控制板的 GND 連接埠
- 將 ADXL345 的 VCC 連接埠接上 Arduino 控制板的 3V3 連接埠
- 將 ADXL345 的 SCL 連接埠接上 Arduino 控制板的 SCL 或 A5 連接埠
- 將 ADXL345 的 SDA 連接埠接上 Arduino 控制板的 SDA 或 A4 連接埠

C. Arduino 三軸加速度計軟體操作介面：本實驗 Arduino 控制板連接 Adxl345 傳感器讀取加速度數據使用 I2C 介面，連接 Arduino 控制板類比腳位，開啟 Arduino 軟體後選取控制板型號與序列埠，使電腦能正確連接已接線完成之 Arduino 控制板，之後於操作介面程式碼輸入格中呼叫用於 I2C 通信的 wire.h 庫，定義 x、y 及 z 軸資料讀取與輸出，於下方驗證編譯，確認結果後上傳至 Arduino，再開啟監控視窗讀取三軸加速度資料。

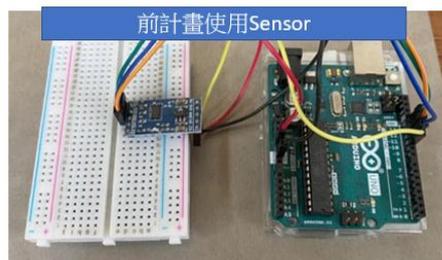
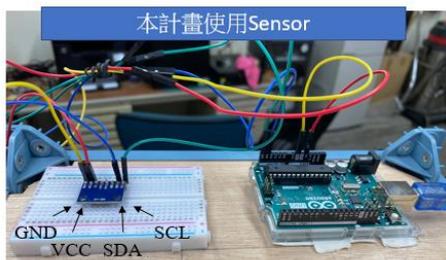
D. Arduino 三軸加速度計實驗分析：本實驗振動台使用 matlab code 模擬訊號為 50gal 與 100gal 的白噪音，訊號長度為 130 秒，為 3D 列印模型於環境擾動下的微振動實驗，以螺栓將結構模型固定於振動台，Arduino 三軸加速度計固定於結構物頂層，配合東京測振加速度計量測，如圖十四，首先由 50gal 白噪音進行實驗，依序進行健康結構，再替換為破壞斜撐實驗，置放於一樓二樓及三樓各模擬一次，由感測器接收數據後，從 Arduino 軟體擷取加速度數據，隨後振動台再模擬 100gal 白噪音，實驗步驟如前述，再收集數據。



圖十、Arduino uno 控制板介面



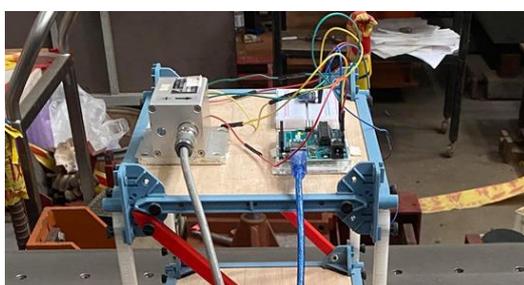
圖十一、Adxl345 感測器



圖十二、Arduino 三軸加速度計接線

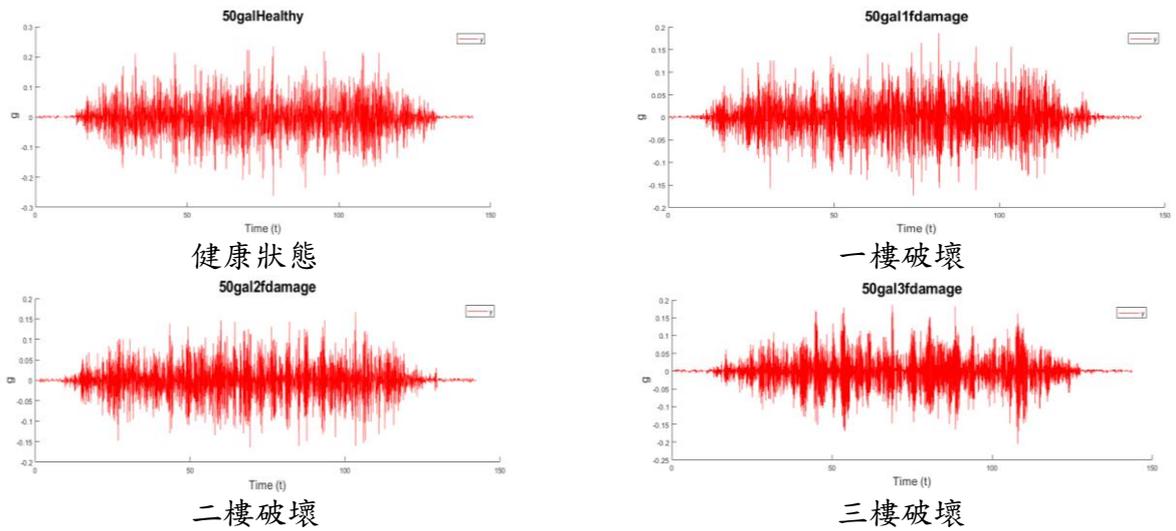


圖十三、Arduino 軟體操作介面

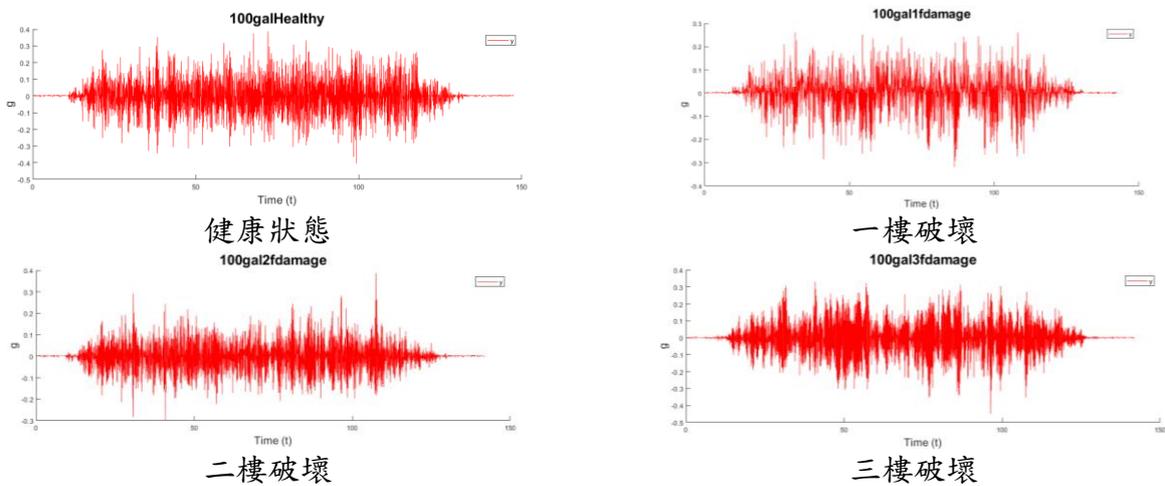


圖十四、於結構物頂層設置 Arduino 與東京測振加速度計

將收集到的數據，以加速度歷時圖表示如圖十六所示。

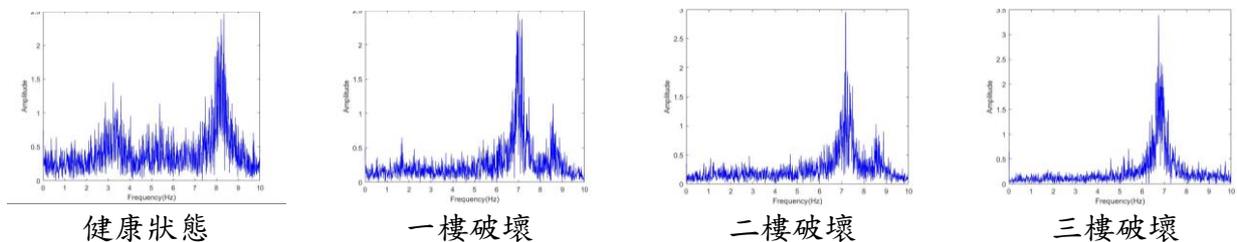


圖十五、50gal 加速度歷時圖

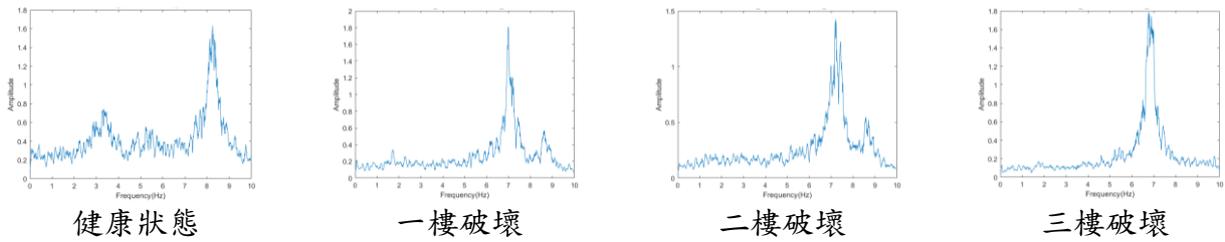


圖十六、100gal 加速度歷時圖

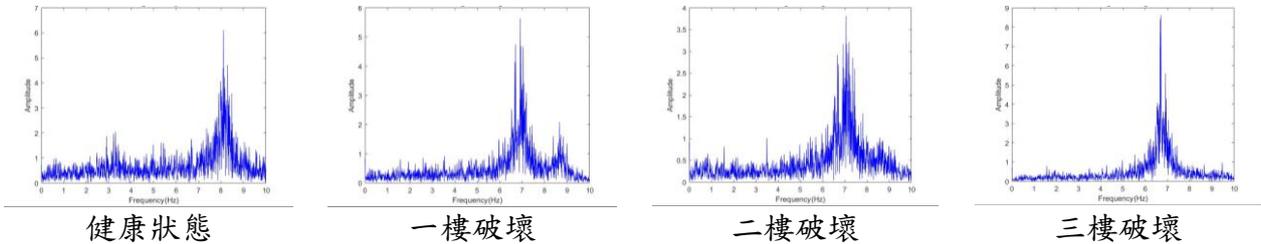
將結構物在白噪音訊號下的結構反應加速度歷時進行快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)，訊號從時間域轉為頻率域，由轉換後的 FFT 圖可得到前幾模態的頻率，識別結構健康與設計破壞行為，由於從 Arduino 傳感器接收的訊號在快速傅立葉轉換後，FFT 圖波型看起來較雜，於是將訊號進行移動平均濾波(Moving Average Filter)，使 FFT 圖曲線更為平滑，方便觀察與分析。



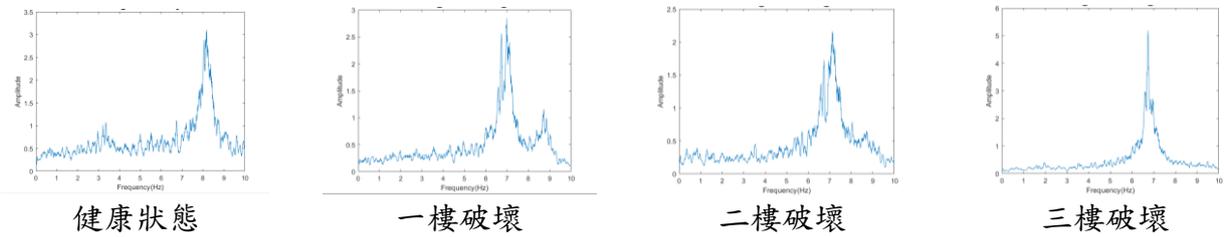
圖十七、50gal 白噪音 FFT



圖十八、50gal 白噪音 FFT (Moving Average Filter)



圖十九、100gal 白噪音 FFT

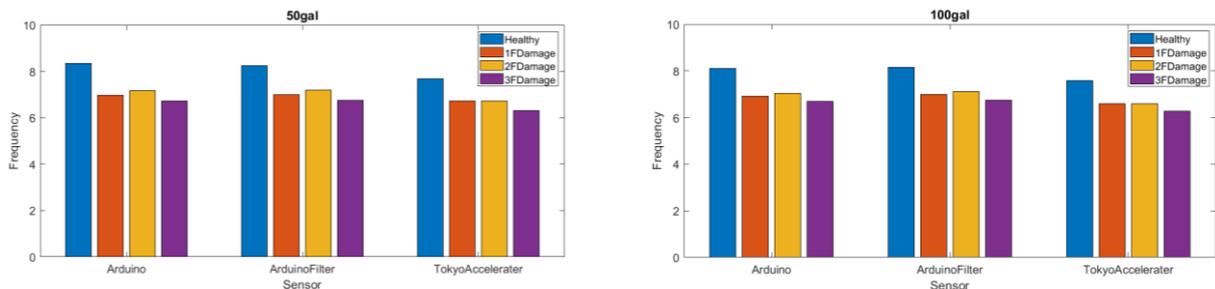


圖二十、100gal 白噪音 FFT (Moving Average Filter)

CASE	Arduino	Arduino Filter	Tokyo accelerator
50gal Healthy	8.343	8.246	7.693
50gal 1f Brace damage	6.982	6.992	6.721
50gal 2f Brace damage	7.166	7.192	6.721
50gal 3f Brace damage	6.736	6.762	6.307
100gal Healthy	8.105	8.154	7.593
100gal 1f Brace damage	6.913	6.985	6.6
100gal 2f Brace damage	7.043	7.115	6.6
100gal 3f Brace damage	6.705	6.738	6.278

圖二十一、FFT 模態峰值頻率(Hz)

將東京測振與 Arduino 健康與損壞狀態快速傅立葉轉換模態峰值頻率以柱狀圖表示，方便驗證實驗結果，可以經由分析結果觀察到結構物健康行為與破壞後行為，峰值頻率明顯呈現遞減趨勢，Arduino 互動模組硬體雖較為經濟便宜，但經由與東京測振數據比對結果可以得知實驗數據有準確性與參考性，此互動模組能有效使用於學生課程實驗。



圖二十二、結構振動頻率比較圖

- 2.教師教學反思：本教學研究計畫，以引導式實作課程增進學生好奇心，使同學對於過往理論知識有新的認識，並導入經濟安全的互動式軟硬體實驗，此種教學方式將持續進行，並探討未來將新式教學向外推廣之可行性。
- 3.學生學習回饋：學生對於求知更加積極，學習成效提升，經由實際動手操作，增進實務思考能力與思辯能力，達成做中學與合作學習願景。

## 二、參考文獻(References)

- [1] Jon Ord (2012). John Dewey and Experiential Learning: Developing the theory of youth work. Youth & Policy, No.108.
- [2] B. Colin & J.P. Wilson (2002). The Power of Experiential Learning: A handbook for Trainers and educators. Derby University, UK.
- [3] Pol-Bernard Gossiaux S, Carl-Philippe Rauch & Safouana Tabiou(2005), 'Learning by doing': a teaching method for active learning in scientific graduate education. European Journal of Engineering Education.30(1).
- [4] David A. Kolb (2014). Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. NJ, United States.
- [5] John Dewey (2007). The School and Society. Whitefish MT, United States.
- [6] Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. The Journal of the Learning Sciences, 11(1), 105-121.
- [7] Hawkins, J., & Collins, A. (1992). Design-experiments for infusing technology into learning. Educational Technology, 32(9), 63-67.
- [8] Johnson, D. W. (1984). Cooperative small-group learning. ERIC (ED 251 937).
- [9] Kelly, A. E. (2003). Research as design. Educational Researcher, 32(1), 3-4.
- [10] Kolodner, J. L. (2001). A note from the editor. The Journal of the Learning Sciences, 10(1&2), 1-4.
- [11] Lefrancois, G. R. (1997). Psychology for teaching. Wadsworth.
- [12] Lobato, J. (2003). How design experiments can inform a rethinking of transfer and vice versa. Educational Researcher, 32(1), 17-20.
- [13] McCandliss, B. D., Kalchman, M., & Bryant, P. (2003). Design experiments and laboratory approaches to learning: Steps toward collaborative exchange. Educational Researcher, 32(1), 14-16.
- [14] Shavelson, R. J., Phillips, D. C., Towne, L., & Feuer, M. J. (2003). On the science of education design studies. Educational Researcher, 32(1), 25-28.
- [15] Bossert, S. T. (1988). Cooperative activities in the classroom. Review of Research in Education, 15, 225-250.
- [16] Brown, A. L. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. The Journal of the Learning Sciences, 2(2), 141-178.
- [17] Chang, S. W., Lin, T. K., Kuo, S. Y., & Huang, T. H. (2017). Integration of High-Resolution Laser Displacement Sensors and 3D Printing for Structural Health Monitoring. Sensors, 18(1), 19.
- [18] Cobb, P. (2001). Supporting the improvement of learning and teaching in social and institutional context. In S. M. Carver & D. Klahr (Eds.), Cognition and instruction: Twenty-five years of progress (pp. 455-478). NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [19] Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. Educational Researcher, 32(1), 9-13.
- [20] Collins, A. (1992). Toward a design science of education. In E. Scanlon & T. O. 'Shea (Eds.), New directions in educational technology (pp. 15-22). New York: Spring-Verlag.
- [21] Collins, A. (1999). The changing infrastructure of education research. In L. S. Schulman (Ed.), Issues in education: problems and possibilities. (pp. 289-298). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- [22] Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. The Journal of the Learning Sciences, 13(1), 15-42.
- [24] 楊坤原、張賴妙理 (2005) 問題本位學習的理論基礎與教學歷程。中原學報，33(2)，215-235。
- [25] 陳淑絹(民 84)：「指導-合作學習」教學策略增進國小學童閱讀理解能力之實徵研究。國立台灣師範大學教育心理與輔導研究所博士論文。