

教育部教學實踐研究計畫成果報告

計畫編號/Project Number：PEE107092

學門分類/Division：工程

執行期間/Funding Period：107/08/01 ~ 108/07/31

「見微知著」：運用 3D 列印結合物聯網資訊提升 大型結構實驗力學合作學習

配合課程名稱：結構健康診斷技術及應用、訊號處理與頻譜分析

計畫主持人：林子剛 教授

執行機構及系所：交通大學土木工程學系(所)

繳交報告日期(Report Submission Date)：108/09/12

「見微知著」:運用 3D 列印結合物聯網資訊提升 大型結構實驗力學合作學習

一. 報告內文

1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

本計畫主題為「見微知著:運用 3D 列印結合物聯網資訊提升大型結構實驗力學合作學習」,並將學習力定義為學習動機、學習態度、學習效率、學習滿意度、學習成效。針對本校組成跨院校級專業團隊計畫及計畫主持人在教學場域中的教學心得,分別說明其研究動機與目的及其重要性。

(1) 研究動機

在課程規劃下,主要透過接續材料力學相關實驗,培養同學於大型實驗力學上之專業分析能力與實驗能力。反力牆實驗及振動台實驗獲得實驗數據,讓學生進行各方法分析,從中將所學實際應用,更具體地理解教科書中之內容。

- 改善死板的教學模式

利用「合作學習法」於課堂中間將同學分為數組,並且給各組團隊目標完成實驗,讓學生於分組過程中養成獨立思考之能力,並且使學生於分組過程中學習一般課程中不會接觸到之能力,如溝通技巧、人際互動、分工合作以及互助合作之精神等,藉此改善傳統呆板之教學模式,提升學習效率。

- 改善缺乏參與感的教學模式

將原本於振動台實驗時所使用之大型試體更換為小型之 3D 列印縮尺模型,由各組學生自行應用縮尺模型設計法設計一縮尺模型,而後利用與台大土木所合作將設計完成之縮尺模型以 3D 列印之方式印出,最後再進行振動台試驗,並分析試體受震後之反應,希望透過做中學增加學習效率,並且透過實際動手做增加課程之印象,以便於未來加以應用。

(2) 研究目的

本研究之主要目的為希望能夠透過設計研究法,創建一套有系統有效率之教學模式,並且應用文中所提及之方法進行修正,以達到本課程之最大效益,能夠於有限之課堂時間內,教授更多更創新之課程內容,並且應用合作學習法改善台灣傳統教育過於制式化之詬病,以更加活潑之上課方式,讓學生能夠即早學習合作之能力,更有利於未來之發展。

- 配合本校教學目標與願景,實踐教學素養,發展一套跨域學習之特色課程模組。
- 以 3D 列印結合物聯網資訊為核心,搭配合作學習法教學模組融入課程中。
- 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)。
- 將課程模組推廣到跨院校級的各專業團隊。

2. 文獻探討(Literature Review)

(1) 設計研究法

翁穎哲和譚克平之「設計研究法簡介及其在教育研究的應用範例」中，提出設計研究法之設計流程分為四個階段，如圖一所示。設計研究法最關注的焦點是學習過程，再導入所設計的創新教材後，分析學生面對新教材的學習成效。尤其教材為跨域結合，如:3D 列印材料、感測器與物聯網結合等，因此完整且系統地記錄當同學面對新教材的學習曲線對於教育產品的修正是很重要的參考資料。實施新教材的過程中可以藉由學生的反應，不斷修正教材內容。

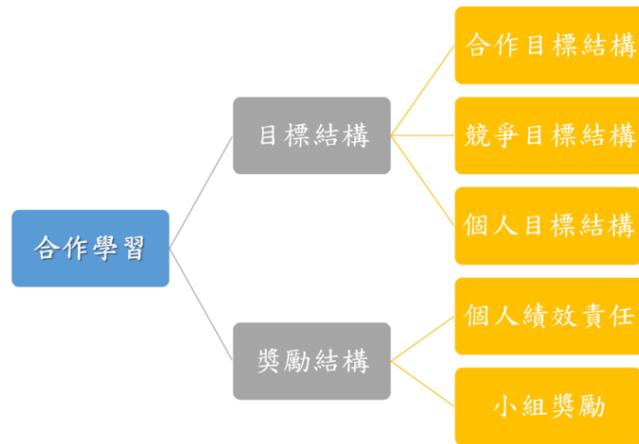


圖一、設計研究之四個階段

- 1.準備階段：針對教學實務問題尋找相關之理論基礎，並且藉此產生設計原則，並根據其關聯產生設計原型，因此研究者於準備階段即須決定研究場景及資料蒐集方式。
- 2.執行階段：進行測試、分析以及修正之循環過程(Collins, 1999;Collins et al., 2004; Edelson, 2002)，若分析結果與預期相差甚遠，可重新進行準備階段，重新設計其產品原型，再進行該流程，直至該分析結果與預期相符。
- 3.評鑑階段：對設計歷史進行回溯分析，檢視整個研究歷程並了解所設計之產品於解決實際問題之效能(Bannan-Ritland, 2003; Cobb, 2001; Cobb et al., 2003; Collins, 1999; Collins et al., 2004)。
- 4.推廣階段：推廣階段即將所設計之產品推廣至教育界，使更多人於實際教學與學習時，能夠透過該產品幫助學習，並評估推廣效果(Bannan-Ritland, 2003)。

(2) 合作學習法

合作學習是種藉由學生共同進行作業，以達教學目標的學習方式(Lefrancois, 1997)，也是一種有結構有系統的教學策略，教師依學生的能力、性別、種族等背景，分配學生到小組中，鼓勵彼此相互幫助，以提高個人的學習效果並達團體的目的(林佩璇，民 81；陳淑絹，民 84)。另外，在獎勵結構中，Slavin(1990)認為合作學習之兩要素分別為個人績效責任以及小組獎勵，合作學習之歸類整理如圖二所示。

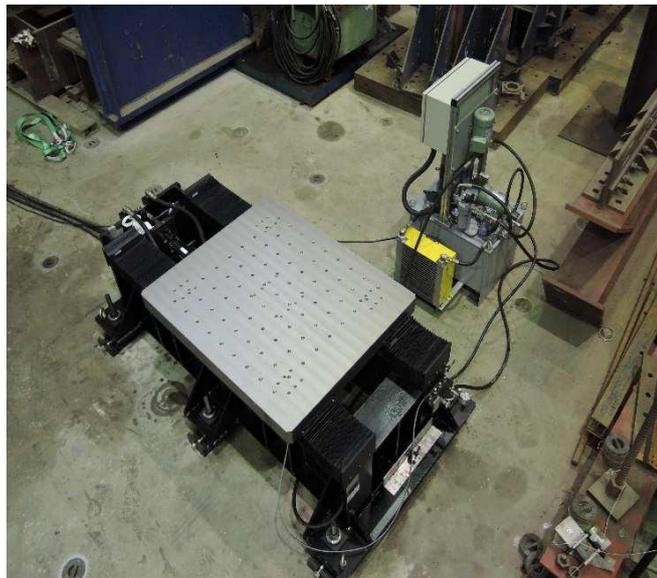


圖二、合作學習鉅觀歸類

3. 研究方法(Research Methodology)

(1) 實驗場域描述

本計畫執行之課程第一學期為訊號處理與頻譜分析，於課堂教室進行，培養學生自主性學習與設計能力；第二學期課程為結構健康診斷技術及應用，於結構大樓之實驗場進行，培養學生合作使用實驗器具，並學習理論設計與結果分析。課程使用國立交通大學土木結構大樓中建置之液壓滑軌壓式振動台，如圖三所示，該多功能震動台的檯面與軌道有別於原先已安裝置交大土木結構大樓之震動台的滾柱/滾珠式摩擦介面，採用了新型的液壓滑軌方式。使用液壓滑軌式之振動台可以減少相對於滾珠或滾柱式於滑動時所造成的摩擦力干擾，對於控制而言減少摩擦力所造成的干擾，使能夠達到更精準地控制效果。



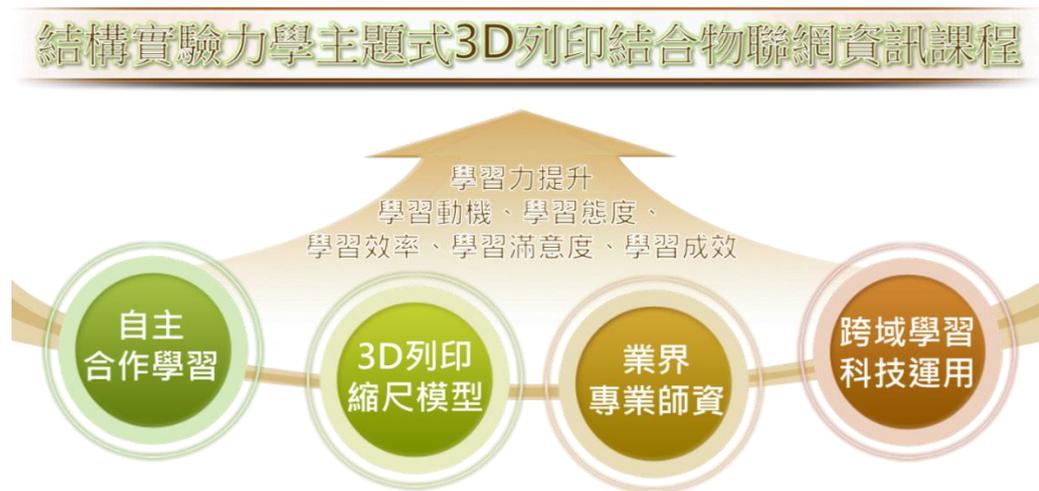
圖三、液壓滑軌式震動台

(2) 研究對象

以修課成員(多為研究生)為主，本校系上為提高教育成效，使畢業生能更符合未來的人力市場需求，目前正積極進行課程的改革，引入其它領域之新科技並配合新興行業，以擴展土木工程之領域，其中，「智慧型建築物防振設計與健康診斷之研究」與「高科技廠房振(震)害防治之研究」兩項目標，與本課程「結構實驗力學」息息相關，透過本計畫改善之內容(獨立思考與分工合作)與突破(結合 3D 列印實驗、物聯網概念、專業業師引導)，提供碩士班學生更有前瞻性之授課內容，更能夠應用課程所學之內容於未來發展，並且能夠引領創新教學之風氣，成為教學團隊授課之典範，改善目前台灣之教育環境。

對於教學對象的先備條件而言，本研究從修課生的學習經驗切入。由於修課成員多為研究所學生，而在全台大專院校土木系基本課綱皆包括工程材料學、材料力學、工程數學與結構學，雖學生皆有基本的力學理論與數值分析的基礎，但對結構實驗皆沒有接觸經驗，面對結構實驗需使用較進階的力學與數學理論，因此希望藉由此教學實踐研究計畫的落實，增進理論與實務等相關能力。

(3) 研究架構



圖四、整體教學實建教學策略架構圖

4. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

(1) 教學過程與成果

過去結構實驗課程實施程序為先介紹結構實驗基本材料性質測試，再來針對指標性的結構元件強度測試與結構實驗類型進行介紹，期望激發研究所同學追求相關知識之好奇心然而同學在沒有實際操作之情況下，對課程印象不深刻難以達成目標。因此在本研究之課程程序規劃，課程前段仍先建立學生對於結構實驗之基本知識，後將具指標性的結構實驗方法(如:反力牆實驗)以影片與實地參觀的方法教授給學生。預計課程進行至第 8 週時，評估各學生對前段課程吸收程度，同時利用評量幫助同學進行分組。第 9 週之後進入課程主軸，將學生分組進行期末實驗專題並搭配業師

授課。有別於過去課程，此次課程著重於學生親自設計實驗流程，透過合作學習以及各方業師輔導以完成實驗專題，同時將結構工程界的新興主題融入期末實驗專題。課程最後兩週安排各組上台分享試驗成果。

- 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)，更多元有效率的運用 3D 列印結合物聯網資訊等現代科技。
- 完成實驗力學主題式 3D 列印結合物聯網資訊教材模組，推廣到跨院校級的各專業團隊，並開放讓更多有心向學的學生受益。

- 教學活動

修正後之教學活動，預計分四個階段，分別針對四個主題進行下列活動：

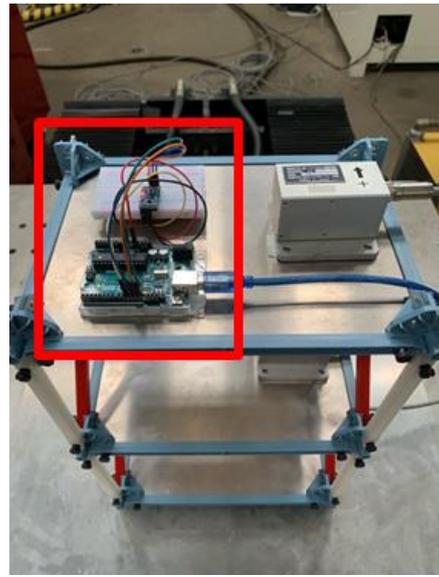
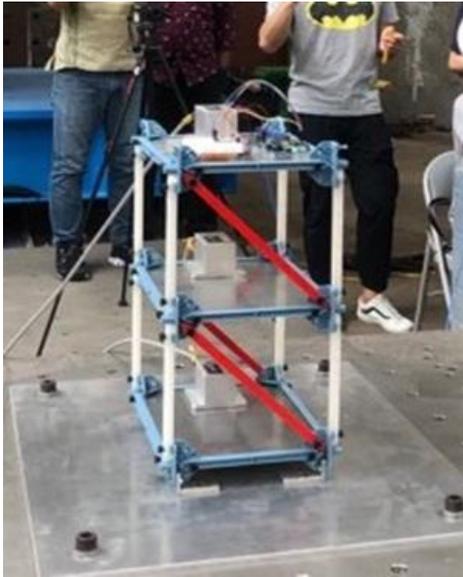
- 引發學習動機：領域專家帶領，提升學生的學習興趣與動機，啟發學生對議題了解。
- 連結學習者舊經驗：師生對話，老師分享經驗，利用舊經驗連結，老師轉變成引導及協助問題解決者。
- 教學活動進行：學生發展自主性想法，進行主題專案縮尺模型素材蒐集與設計，產生實驗流程與架構藍圖。
- 成果分享：接下來透過任課老師、跨校師資與業師協同協助學生釐清與解決問題，使設計實作之主題專案更完整化；最後學生完成作品檢討與分享。

- 教學評量

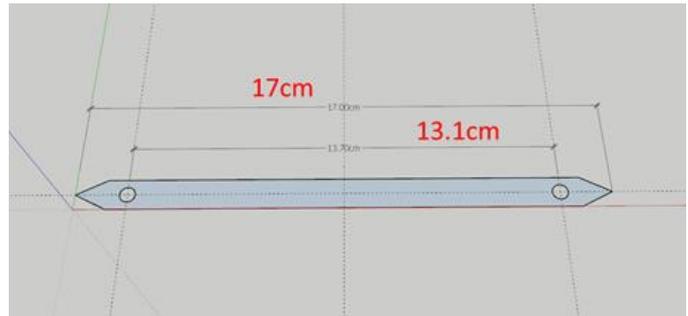
以結構工程新興主題為實驗力學的課程專案，注重學生的創作理念與實際操作 3D 列印縮式模型模擬地震實驗過程，以實作評量的方式進行，鼓勵學生主動表達知識以及將學生個別化差異納入評量過程中。學生作品以學習檔案評量方式，蒐集學生之學習成果作品，展現其在某一特定領域的努力、進步與成就之學習歷程。內容包括質性描述、教師或同儕評論，以及正式的評量記錄。

- 課程實驗設計

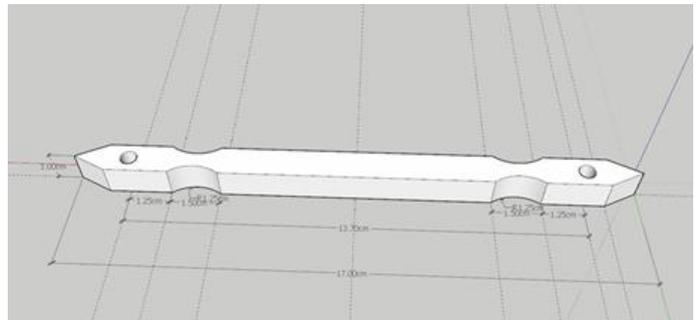
圖五為實驗使用之兩層樓的結構物模型與感測器，各樓層樓板是以鋁板製成，梁和柱和斜撐都是用 3D 列印出來的材料，本計畫先以完整材質的結構當作健康狀況進行，集錄並整理 sensor 數據後，接著將二樓的其中一根柱子替換成學生親自設計的有孔洞的桿件，來模擬模型的受損狀況。圖六、圖七為柱桿件設計圖。



圖五、3D 列印結構物模型與使用之感測器



圖六、原始柱構件圖

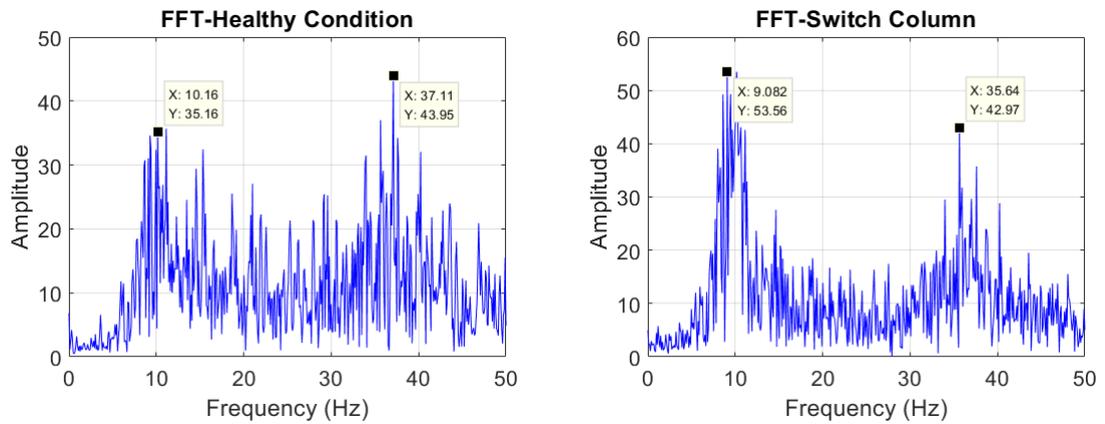


圖七、學生設計柱構件圖

藉由分別量測原始與設計破壞之結構動態反應，可由下列三種方法識別結構物健康行為：

➤ FFT(fast fourier transform) 快速傅立葉轉換：

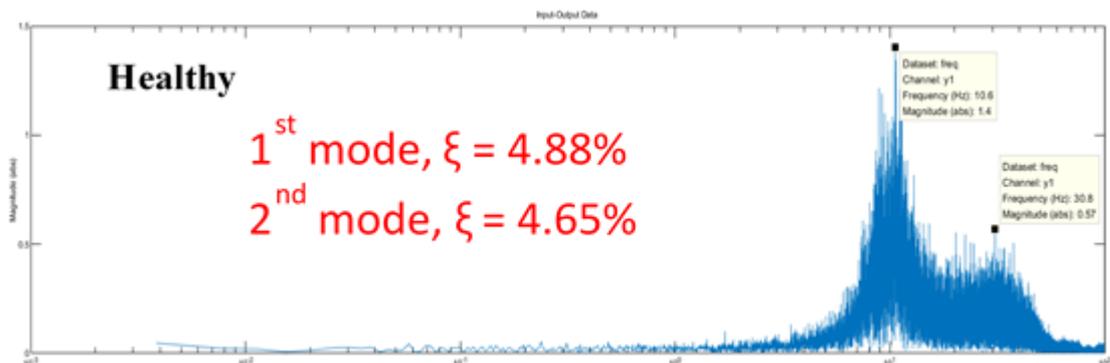
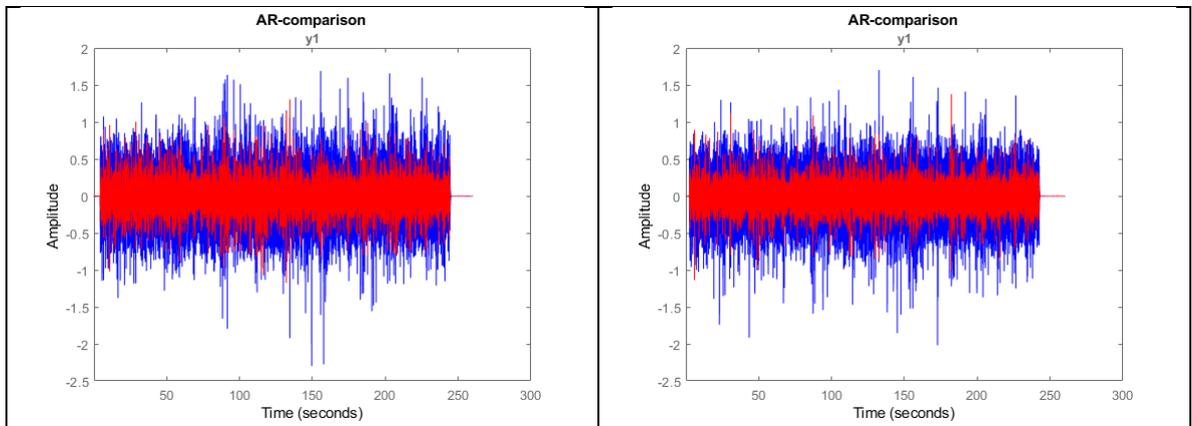
將結構反應的加速度歷時透過傅立葉轉換，將時間域轉到頻率域上，可得 FFT 圖，並可從圖中得到結構前幾模態的頻率。

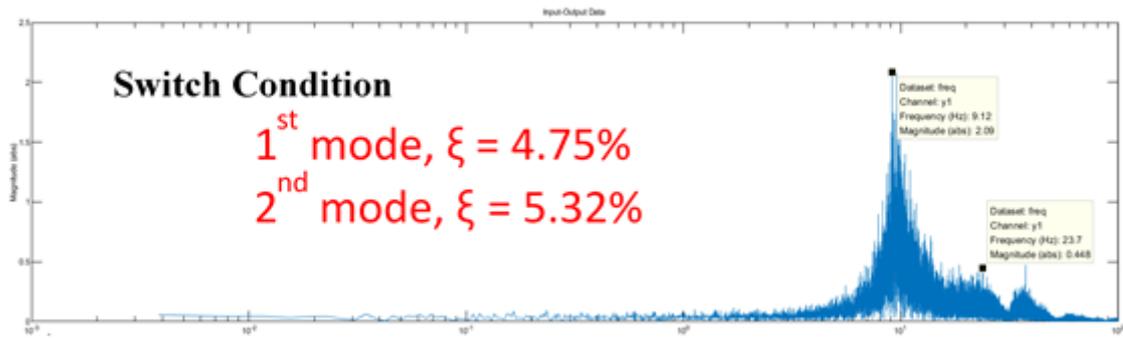


圖八、健康狀態與受損狀態模型之 FFT 圖

➤ ARX(auto regressive model + exogenous input)：

透過系統識別，輸入震波量測其結構反應(加速度)，並利用結構反應資料推得結構特性(頻率、阻尼比)

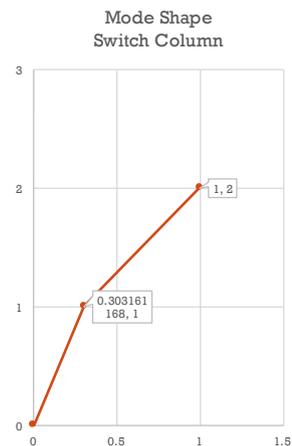
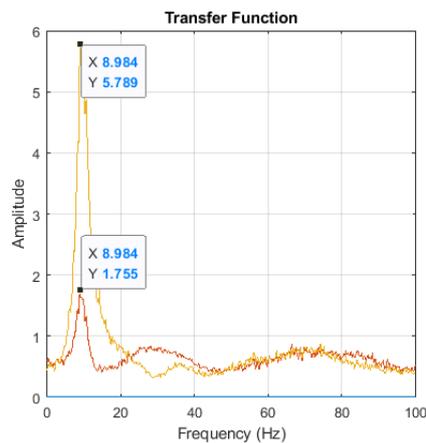
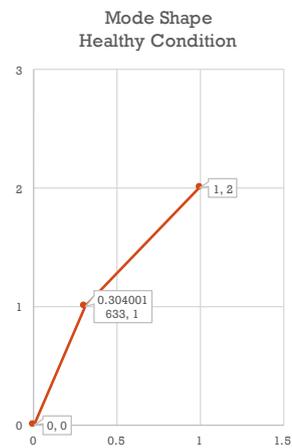
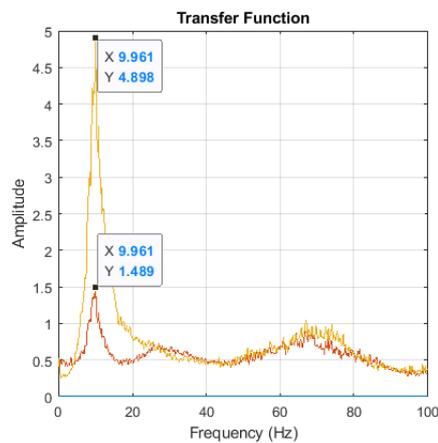




圖九、健康狀態與受損狀態模型之 AR 圖

➤ TR(Transfer function)轉移函數：

透過輸出反應與輸入擾動之傅立葉轉換的比值，由轉移函數 H 來決定結構的頻率，並透過圖上的值來決定模態。



圖十、健康狀態與受損狀態模型之 TR 圖

(2) 教師教學反思

本教學實驗研究計畫，透過導入 3D 列印的方式，突破了傳統課程中對於實驗的限制，並發展未來持續此方向之研究的可能性。

(3) 學生學習回饋

相較以往制式的教學方式，導入做中學及合作相結合的母事，學生能積極的參與課堂，並在學習成效上大幅提升。

(4) 研究成果

結構實驗領域的相關課程相當稀少，許多大專院校也缺乏大型實驗設施，本教育實踐計畫能開發實驗模組。更進一步提供線上數位課程於交通大學開放式課程上，提供他校相關科系學生更多學習來源。

本計畫之研究成果如下：

- 模組化結構實驗力學教材 1 套
- 持結構動態反應量測物聯網 1 組
- 以教學實務相關研究為主題之技術報告 1 份
- 教學實務分享演講 2 場次

二. 參考文獻(References)

- 林佩璇(民 81)：台灣省高級職業學校合作學習教學法實驗研究。國立台灣師範大學教育研究所碩士論文。
- 周惠文(民 88)：網路合作學習環境對英語拼音學習成效之影響。資訊與教育雜誌，72 期，57-76 頁。
- 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。
- Bannan-Ritland, B. (2003). The role of design in research: The integrative learning design framework. *Educational Researcher*, 32 (1), 21-24.
- Bossert, S. T. (1988). Cooperative activities in the classroom. *Review of Research in Education*, 15, 225-250.
- 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.
- 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.
- 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.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13.
- 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: Springer-Verlag.
- 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.
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.
- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105-121.

- Hawkins, J., & Collins, A. (1992). Design-experiments for infusing technology into learning. *Educational Technology*, 32(9), 63-67.
- Johnson, D. W. (1984). Cooperative small-group learning. ERIC (ED 251 937).
- Kelly, A. E. (2003). Research as design. *Educational Researcher*, 32(1), 3-4.
- Kolodner, J. L. (2001). A note from the editor. *The Journal of the Learning Sciences*, 10(1&2), 1-4.
- Lefrancois, G. R. (1997). *Psychology for teaching*. Wadsworth.
- Lobato, J. (2003). How design experiments can inform a rethinking of transfer and vice versa. *Educational Researcher*, 32(1), 17-20.
- 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.
- 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.
- Slavin, R. E. (1990). Comprehensive cooperative learning models: Embedding cooperative learning in the curriculum and the school. In S. Sharan (Ed.), *Cooperating Learning Theory and Research*. (pp. 260- 280). N.Y.: Praeger.
- Sloane, F. C., & Gorard, S. (2003). Exploring modeling aspects of design experiments. *Educational Researcher*, 32(1), 29-31.
- The Design-Based Research & Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.