

REINFORCED PLASTICS
COMPOSITES

強 塑 複 材

廣 用 新 知 季 刊

2003 DECEMBER | vol.97

強化塑膠 廣用新知雜誌

發行人／林伯實·馬振基

編輯委員會：

總編輯／趙珏

執行編輯／吳文隆

發行所／台灣區複合材料工業同業公會

中華民國強化塑膠協會

地址／台北市南京東路三段261號4樓

電話／(02)二七五八〇〇~〇二

電傳／(02)二七五八六三九

E-mail: gfrp@ms54.hinet.net

出版登記證／行政院新聞局

局版北市誌字第1599號

台灣北區郵政管理局許可證北台字第13115號

郵政登記／中華郵政北台字第6068號

執照登記為雜誌交寄

割撥帳號／割撥帳戶第0108883-5號

設計印刷／英杰企業有限公司

電話／(02)二七五八〇〇

目錄

國際研習

CFA 2003年會報導

.....陳忠鳴 2

經營管理

大陸投資經驗漫談

.....張廣博 12

應用發展

壓電智慧型材料結構系統之應用與發展(二)

.....王栢村 16

耐震補強

複合材料補強RC結構物技術之發展現況與未來展望

.....葉芳耀 32

加工技術

六軸單面針機縫用於複合材料的製造

.....蔡國忠、林山豐 46

聲學科技

聲學屏蔽材料特性及其影響因素

.....余秉憲、金一凡、丁明仁、李昌崙 56

潔淨能源

風力發電的全球展望和台灣的发展情形

.....趙珏、吳文隆 66

新興材料

長纖強化熱塑—Twintex®

Dr. Corinne Blanc、Dr. Paul Lucas、簡浩洋、趙珏、吳文隆 72

廣告索引

國精化學公司	15
良機實業公司	55
大洋遊艇企業公司	64
華立企業	65
永純化學工業股份有限公司	76
拓凱實業有限公司	77
偉國鋼模公司	78
英全化學工業公司	78
裕煒實業有限公司	79
金財興股份有限公司	80
長興化學股份有限公司	封面裡
干寶實業股份有限公司	封底裡
台灣玻璃工業公司	封底

(三) 智慧型材料結構系統應用於外力預測

外力測定或外力預測(force prediction)其理念如同響應預測以圖 47 作說明，有了正確之理論數學模型足以代表實際結構系統特性，當假設系統之輸出響應可以度量，而且為已知時，理論上輸出及系統內涵均為已知，即可求得系統之輸入。

外力預測為逆向工程問題之一，典型之外力預測構想如圖 48，由模型驗證已得到系統之理論數學模型，假設有適當之感測器可度量結構系統受輸入負荷之輸出響應，透過外力預測模式，將可求得輸入負荷之內涵。

外力測定之主要效益，在已知系統及輸出響應下能預測外力大小、作用位置等輸入參數之內涵，對評估負荷狀態以及瞭解結構之安全性或健康監測均有其重要性。

外力預測的方法有很多種，但在進行預測

時必須先架構數學模型以符合實際結構。理論模式(theoretical modeling)或實驗模式(experimental modeling)都是常使用的方法。而這些模式都有不同的探討觀點。

第一，典型結構的離散系統(discrete system)及連續系統(continuous system)都曾被探討過，如 Huang et al.[47]將銑床簡化成一剛性桿(rigid bar)與兩組支撐彈簧，進而預測出銑床在切削時所產生之衝擊力。Lim and Pilkey[48]則是採用離散系統進行十個間隔(ten-bay)的桁架結構的動態響應時間函數之預測。在探討結構外力預測問題時，其中包含了簡單結構及複雜結構。簡單結構如桿件(bar)[49]，樑(beams)[50-59]，平板(plates) [60-62]，複合材料薄板(composite laminates) [63]等。所以理論模式對於簡單結構的分析可以被廣泛地定義與求解。而對複雜結構而言，如工具機，旋轉機械[64,65]及電腦零件[66]等，所以實驗模式對於複雜結構的分



析亦可被廣泛地運用。

第二，在求得結構系統響應，常被採用的方法有時間域方法與頻率域方法。在時間域方法中，對輸入外力與輸出響應的旋轉積分方程式的結果能以公式來表示，如 Green's function 應用 fb 波傳遞響應分析，而脈衝響應函數 (impulse-response function, IRF) 則對結構振動響應有直接關係。在頻率域方法中，頻率響應函

數 (frequency response function, FRF) 可由理論分析 (theoretical modal analysis, TMA) 或實驗模態分析 (experimental modal analysis, EMA) 獲得。在某些狀況下，模態域之方法可由系統的模態參數 (modal parameter) 來表示，亦可發展出預測系統的響應。Kim and Kim [67] 利用模態模式 (modal model) 的方法建構系統的 FRF。所以作用之外力便可由 FRF 之反矩陣預測得知。Busby and Trujillo [50] 則是以理論模態分析 (TMA) 方法求得系統的模態參數，並且更進一步地評估系統的響應，而後求得未知外力作用的時間歷程。

第三，主要的求解方法是在解出系統的方程式，可由有限元素法 (FEM) 來評估預測感應器的響應 [63]，或是動態程式 (dynamic programming) [59, 68, 69]、迴旋法 (convolution) 及分散法 (deconvolution) [70] 與模態分析 [57, 67, 71] 等。

Wang and Chui [72] 發展一外力預測模式求

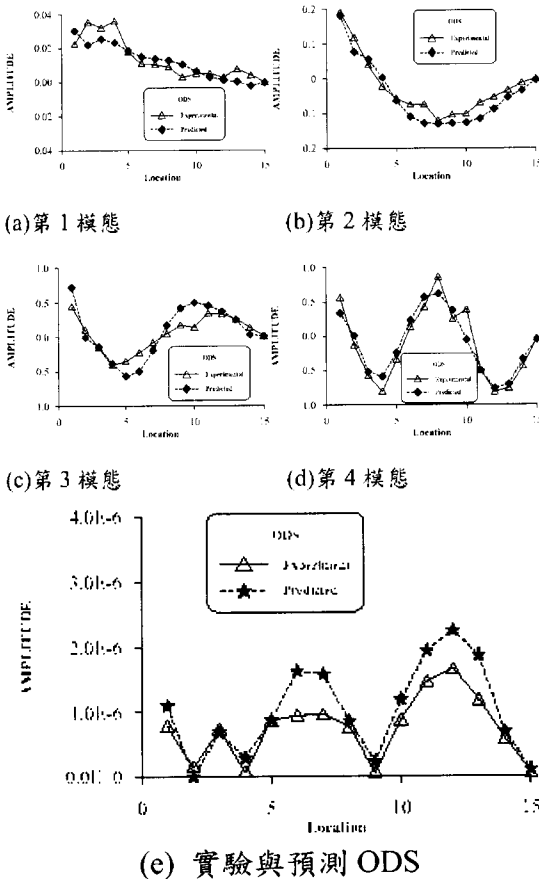


圖 46 第 3, 4 模態非共振激振下之 ODS 振型與預測之振型 [44]

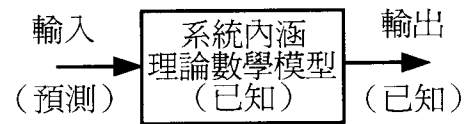


圖 47 外力測定理念示意圖

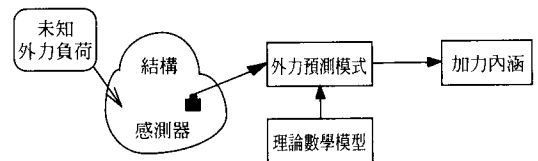


圖 48 外力測定構想示意圖

取衝擊外力作用於簡支樑之大小、時間歷程與作用位置，衝擊外力型式假設成理想衝擊力，王等人則[73]假設為三角力以符合實際衝擊外力之三角波型式。圖 49 為樑結構受衝擊外力之預測理念架構圖，首先可由理論模態分析(TMA)或實驗模態分析(EMA)得到結構系統之自然頻率、模態阻尼比及振型等模態參數，當結構受到衝擊外力時，結構之加速度時間域響應可量測並記錄，預測之響應則可根據模態域分析得到表示成外力大小與作用時間歷程及作用位置之函數，定義預測與量測響應間的誤差平方和為目標函數，進而架構最佳化問題以求得此衝擊力之大小與作用時間歷程，以及相關於外力作用位置之模態振型，經與實際結構模態振型做比較分析，則可找到衝擊外力之作用位置。圖 50(a)及(b)為簡支樑受未知衝擊外力分別採用時間域法及頻率域法之作用位置預測結果。由理論與實驗的結果可得知所發展之預測外力模式之可行性，並可應用至其他結構。

王等人[74]主要運用前述所發展之外力預測模式，應用於懸臂樑結構上，求取未知衝擊外力作用於懸臂樑之大小、時間歷程與作用位置，圖 51 為懸臂樑及未知外力作用位置示意圖；圖 52 為未知外力預測流程圖；圖 53(a)及(b)則分別為不同作用力位置及不同量測響應位置的懸臂樑預測外力位置之結果。所發展之外力預測模式可適用於類似之樑結構，未來將可結合不同感測器應用此外力預測模式以解決外力預測問題。

王等人[75]則應用智慧型材料發展一外力預測模式求取衝擊外力作用於簡支樑之大小、時間歷程與作用位置，衝擊外力型式假設成三角力以符合實際衝擊外力之三角波型式。圖 54 為壓電材料樑結構受衝擊外力預測之系統架構示意圖。圖 55(a)及(b)則為壓電材料樑結構受未知衝擊外力，分別在不同作用力位置及不同量測響應位置的懸臂樑預測外力位置之結果。由理論與實驗的結果可得知應用壓電智慧型材料結構於預測外力模式應用之可行性。

本節介紹筆者所發展之外力預測模式求取未知衝擊力作用於任意樑結構之位置與大小的系列研究結果。基於結構之模態特性分別發展時間域與頻率域兩種方法，首先可由理論分析或由實驗模態分析得到結構系統之自然頻率、模態阻尼及振型等模態參數，當結構受到衝擊外力時，時間域與頻率域之響應可分別量測並記錄，預測之響應則可根據模態域分析得到表示成外力大小及作用位置之函數，接著可定義預測與量測響應間之最小誤差平方和為目標函數，後而架構最佳化問題以求得此衝擊力之大小，以及相關於外力作用位置之模態振型，經

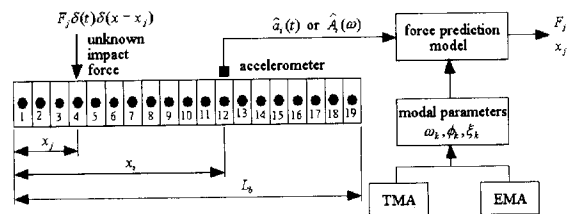


圖 49 樑結構受衝擊外力之預測[72]



與實際結構模態振型做比較分析，則可找到衝擊外力之作用位置。主要的研究結果如下：

1. 已發展出以加速度計為感測器之外力預測模式的理論基礎[76]，可適用於未知衝擊外力作用於懸臂樑[74]及簡支樑結構[72,73]，可預測出衝擊外力之大小及作用位置。

2. 導入智慧型材料結構系統之壓電薄膜為感測器量取簡支樑之響應，透過外力預測模式

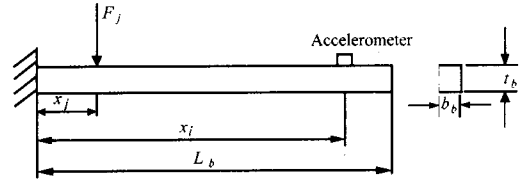
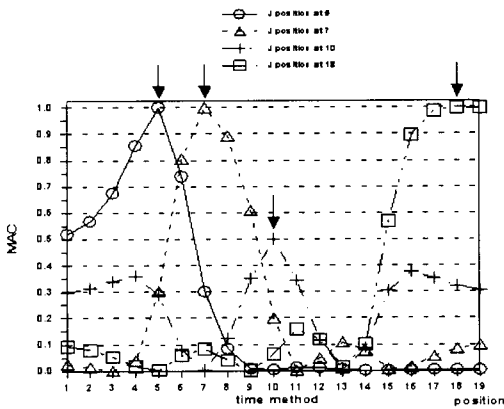
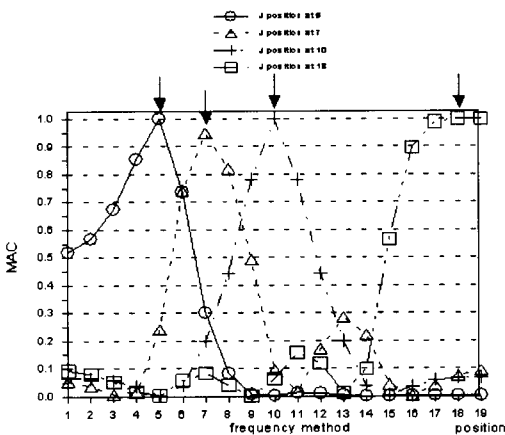


圖 51 懸臂樑尺寸及未知外力作用位置圖[74]



(a) Time domain method



(b) Frequency domain method

圖 50 簡支樑衝擊外力作用位置之預測[72]

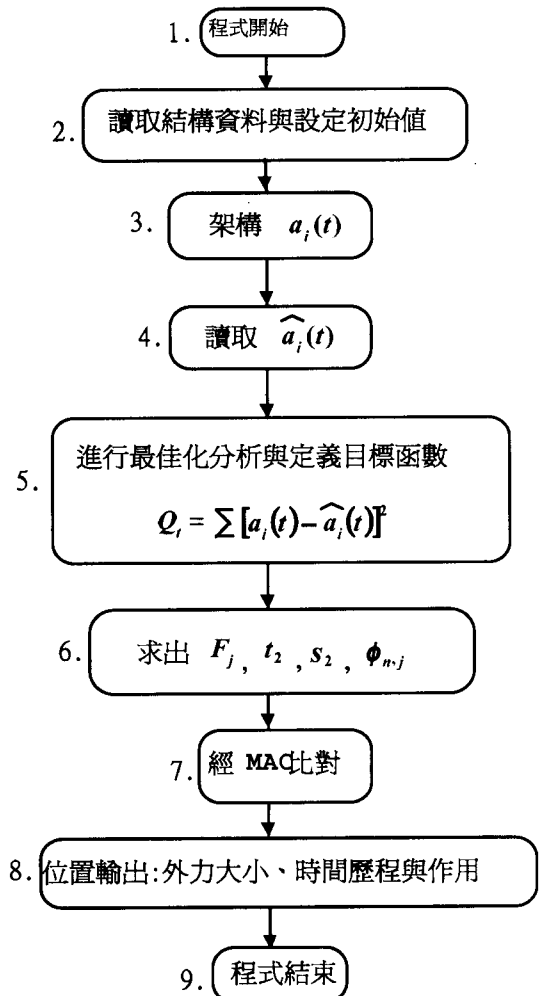


圖 52 外力預測流程圖[74]

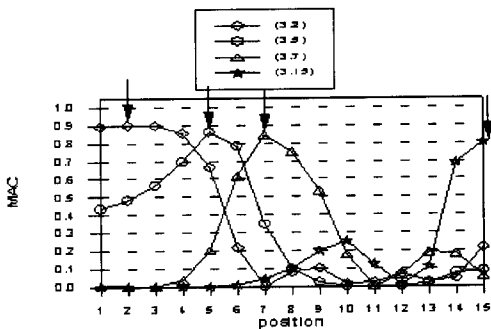


成功地預測出衝擊外力之大小及作用位置[75]。

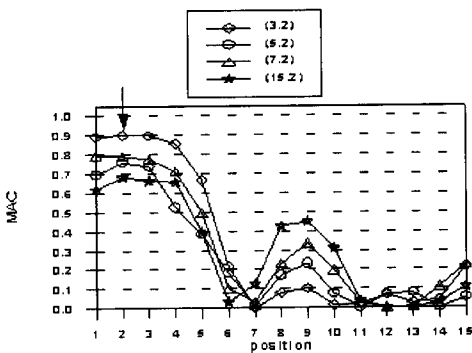
3. 成功的發展一外力預測模式，當簡支樑結構物受衝擊外力作用時，衝擊外力型式假設成三角力型式，以符合實際衝擊外力型式。

4. 外力預測模式中，適當參數之選取，對外力作用位置、時間歷程或作用力大小之預測結果都有相當高的準確度，可證實以壓電薄膜為感應器進行外力預測之可行性。

5. 成功的將智慧型材料之壓電薄膜導入本預測模式中，有助於智慧型材料結構系統於外



(a) 不同作用力位置



(b) 不同量測響應位置

圖 53 懸臂樑預測外力位置之結果[74]

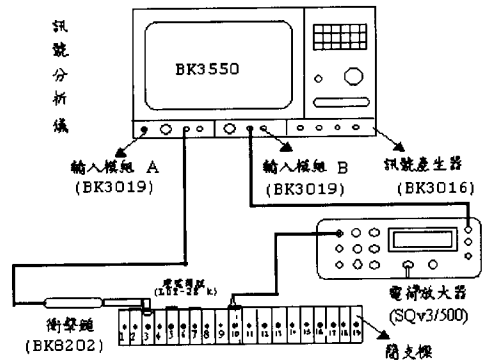
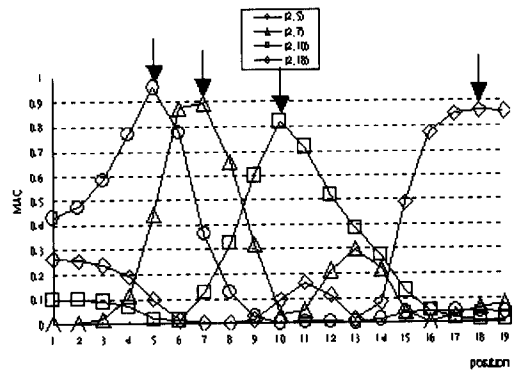
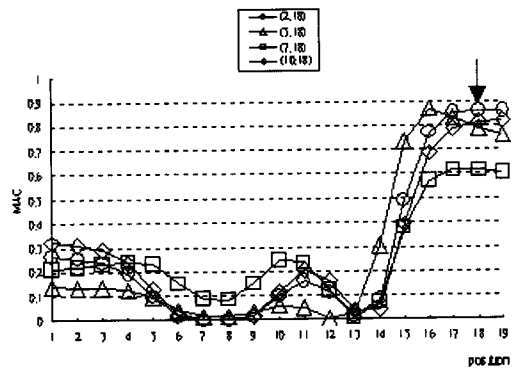


圖 54 壓電材料樑結構受衝擊外力之預測[75]



(a) 不同作用力位置



(b) 不同量測響應位置

圖 55 壓電材料樑結構受衝擊外力之作用位置預測 [75]



力預測研究發展。

四智慧型材料結構系統應用於破壞檢測

健康監測之目的在透過適當之感測器對結構系統作輸出響應之量測，以瞭解結構系統是否正常，就破壞檢測而言，Rytter[77]定義了結構損壞辨識(damage identification)四個層次：

- 層次 I：判定結構是否損壞。
- 層次 II：預測結構損壞位置 + 層次 I。
- 層次 III：預測結構損壞程度 + 層次 II。
- 層次 IV：預測結構損壞後之壽命 + 層次 III。

結構系統之健康監測或破壞檢測方法可概分兩類：

1. 基於信號分析：如 4-2 節所述，信號分析僅在瞭解系統之輸出響應，以圖 56 之正常與異常系統之輸入與輸出方塊圖作說明，由呈現異常之系統的輸出響應信號與正常系統之輸出響應進行比較分析可得知結構系統之健康狀

態，更進一步可由信號分析與處理技術可以達到破壞檢測之目的。

2. 基於系統分析：如 4-2 節所述，系統分析在瞭解系統之內涵有三個層次，包括物理參數、模態參數及頻率響應函數。如圖 56 所示，可藉由正常與異常系統之內涵改變情形，以判斷結構系統之健康狀態，再藉由系統內涵之變化特性可達到破壞檢測之目的。

王和梁[78]發展一套基於結構模態參數變化之結構缺陷位置預測模式，以一具缺陷懸臂樑為例如圖 57。首先以有限元素法探討分析有無缺陷懸臂樑之自然頻率及位移振型之變化特性，圖 58 為以有限元素分析所得之有無缺陷樑振型差圖，可看出峰值對應位置即為缺陷位置，並以實驗模態分析進行模型驗證。最後發展一缺陷位置自動預測程式，在已知有無缺陷

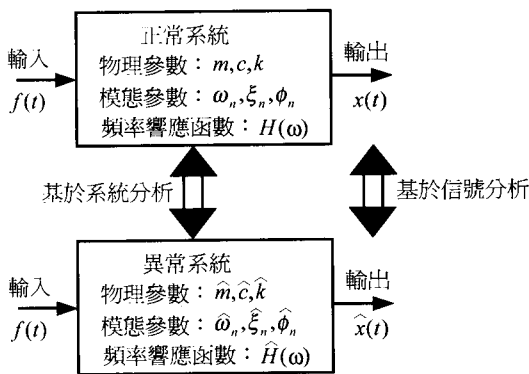
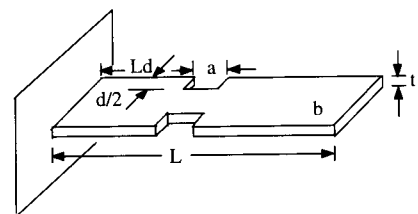
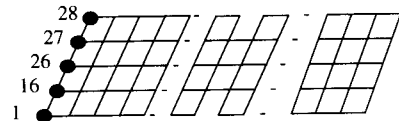


圖 56 健康監測與破壞檢測構想示意圖



(a) 雙邊缺陷懸臂樑之幾何模型



● fixed all DOF
(b) Shell63 元素之有限元素模型分割情形

圖 57 雙邊缺陷樑之幾何模型及有限元素分割情形 [78]



結構之自然頻率與位移振型的條件下，經由自然頻率變化差值百分比，以及位移振型差之比較分析，可求得結構缺陷指標，作為判斷結構缺陷所在，其程式架構流程圖分別如圖 59(a)及 (b)。結果顯示缺陷位置預測模式對不同缺陷寬度、深度、位置及多個缺陷時，均有很好的預測適應性，圖 60 為不同缺陷位置之理論預測結果，所發展的缺陷位置預測模式將可應用到其他類型結構。

王和梁[79]則以壓電轉換器取代傳統轉換器從事實驗模態分析，求得有、無缺陷懸臂樑結構之模態參數，圖 61 為壓電薄膜匹配壓電片之實驗儀器架構圖，並發展一套基於結構模態參數變化之結構缺陷預測模式，以一具缺陷懸臂樑為例如圖 62，經由自然頻率變化差值百分比，以及斜率差振型之比較分析，可求得結構缺陷指標，作為判斷結構缺陷存在情形。結果顯示以智慧型材料為感測器之缺陷位置預測模式對不同缺陷寬度、深度、位置及多個缺陷

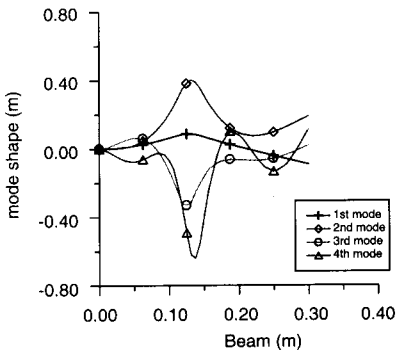
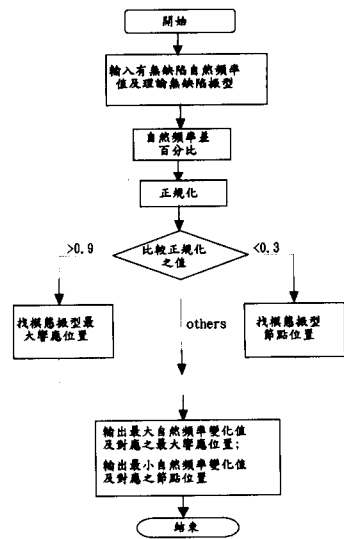
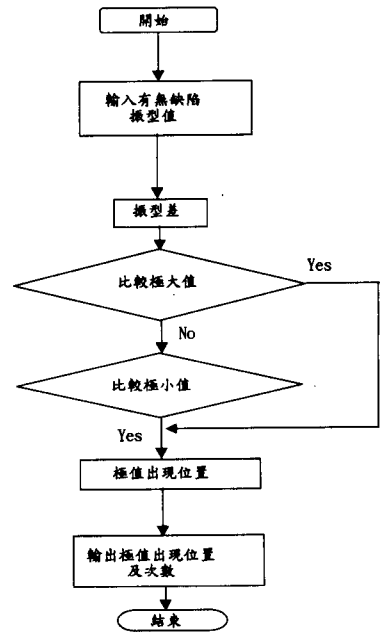


圖 58 Shell63 元素分析有無缺陷樑振型差圖[78]

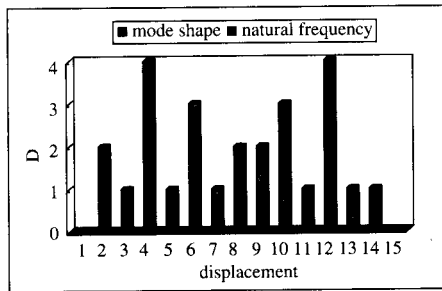


(a) 自然頻率變化特性之程式架構流程圖

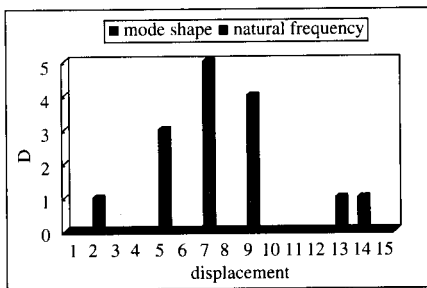


(b) 位移振刑差變化特性之程式架構流程圖

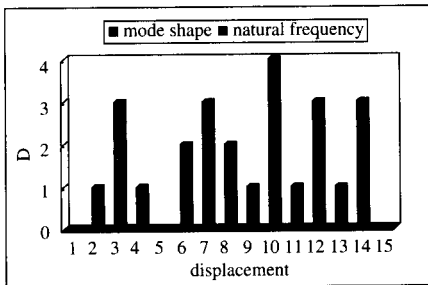
圖 59 程式架構流程圖[78]



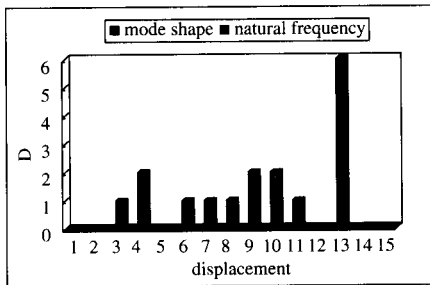
(a) 缺陷位置在第4點



(b) 缺陷位置在第7點



(c) 缺陷位置在第10點



(d) 缺陷位置在第13點

圖 60 不同缺陷位置預測結果[78]

時，均有良好之預測適應性；圖 63 為壓電薄膜匹配壓電片之缺陷位置實驗預測結果，由實驗量測也證明此預測方法的可行性，所發展的以智慧型材料結構為基礎之缺陷位置預測模式將可應用到其他類型結構。

王和曹[80]主要探討板結構之裂痕破壞檢測。首先由有限元素分析求得有或無裂縫破壞板結構之模態振型，探討不同裂縫深度、不同裂縫位置、兩裂縫同時發生及斜方向裂縫四種不同的破壞情形。再應用位移振型差法、位移

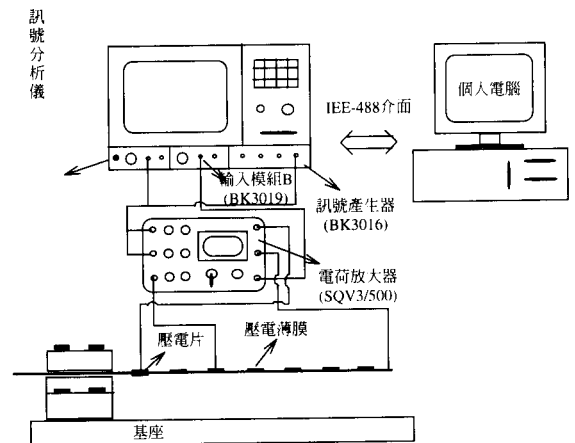


圖 61 壓電薄膜匹配壓電片之實驗儀器架構圖[79]

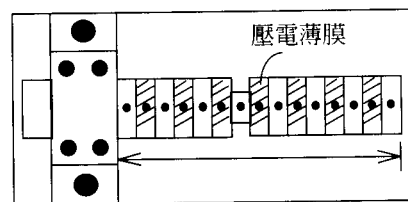


圖 62 懸臂樑模型分割情形[79]



振型差斜率法及應變能法三種破壞預測方法，發展出之自動破壞檢測程式，進而找出破壞的位置；文中也介紹為分積法並應用以求得振型之偏微分以得到破壞指標。表 3 顯示以位移振型差斜率法及應變能法於板結構之裂痕破壞位置理論分析預測結果，均能找到實際之破壞位置，若以位移振型差斜率法搭配應變能法則能得到最佳之預測結果，此結構破壞檢測方法未來將可結合智慧型材料結構從事結構如裂痕之檢測評估。

本節介紹了以結構振動特性為基礎的破壞檢測之理念，分別探討一維樑及二維板結構於缺陷或裂痕之非破壞檢測方法，由正常及異常結構之模態參數變化，可預測出結構之破壞位置，綜合如下：

1. 以有限元素分析搭配實驗模態分析，探討樑結構有缺陷產生時，結構在自然頻率及模態振型上變化特性，最後由探討得到之特性，發展一自動缺陷預測模式，預測缺陷發生之位置[78]。

2. 成功地驗證以壓電薄膜為感測器壓電片

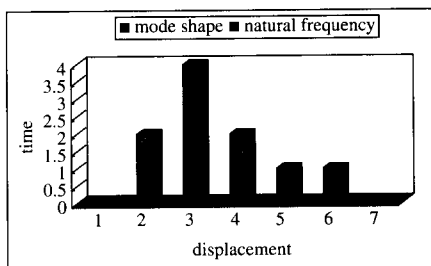


圖 63 壓電薄膜匹配壓電片之預測結果[79]

為驅動器，得到之自然頻率值及斜率差振型，將之代入自動缺陷預測軟體，能成功地找出缺陷可能發生位置[79]。

3. 以懸臂樑結構進行實驗，發展基於實模態分析之破壞預測方法，未來還可應用到如二維板[80]及其他形式結構之破壞診斷。

肆、未來發展

壓電材料結構為智慧型材料結構系統之一環，其發展與應用有其極大之潛力，以下僅就筆者之涉獵範疇提出個人看法[81]：

1. 智慧型材料驅動器與感測器之發展：包括，材料與製程技術、新形式設計，如結合機構設計之 X-frame，bimorph，thunder，C-block，rotary motor 等形狀之設計。

2. 智慧型材料結構系統之動態數學模型化，考慮耐久性、疲勞、以及可靠度之分析。

3. 電控系統整合：包括電能與機械能轉換，信號分析與處理。

4. 智慧型材料結構與系統之應用產業，諸如航空太空工業之飛機、衛星等；交通工具業之船艦、汽機車等；土木工業之建築物、橋樑等；電子相關產業之電腦及其週邊設備、與相關產品；以及微機電工業與奈米科技之應用。

5. 系統整合與實用化（商業化）牽涉到

6. 多重技術領域之結合，包括：主動控制模式、信號分析與處理、振動與噪音分析技術、阻尼與隔振技術、最佳化設計、破壞檢測



表 3 板結構之裂痕破壞位置理論分析預測結果[80]

case	C_y (cm)	x (cm)	$D_{ij,S}$	$D_{ij,B}$
A	4.8	7.2		
B	4.8	14.4		
C	4.8	21.6		
D	4.8	28.8		



技術、外力預測技術、健康監測技術等。

伍、結論

本文嘗試就筆者於近年從事於壓電智慧型材料結構系統之應用與發展做一概略性介紹[82]，主要研究經費承蒙國科會專題研究計畫之補助。就研究時程之發展來看，係由智慧型材料結構系統於主動結構振動與噪音控制(active structural vibration and acoustic control)之應用開始；其次，導入智慧型結構測試(smart structural testing, SST)理念，以壓電轉換器取代傳統轉換器進行傳統之實驗模態分析，也完成發展簡諧操作狀態下之模態測試技術；進而發展出以結構振動特性為基礎之破壞監測(damage detection)的非破壞試驗(non-destructive test, NDT)方法，也同時建立一套外力預測(force prediction)方法，可同時預測衝擊外力大小、時間歷程及作用位置，都與壓電智慧型材料結構系統做整合，未來將致力於智慧型材料結構系統之功能整合與實用化。

陸、參考文獻

1. Crawley, E. F. and de Luis, J., 1987, "Use of Piezoelectric Actuators as Elements of Intelligent Structures," *AIAA Journal*, Vol. 25, pp. 1373-1385.
2. Wang, B. T., and Rogers, C. A., 1991, "Modeling of Finite-Length Spatially Distributed Induced Strain Actuators for Laminate Beams and Plates," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 2, No. 1, pp. 38-58.
3. Wang, B. T., and Rogers, C. A., 1991, "Laminate Plate Theory for Spatially Distributed Induced Strain Actuators," *Journal of Composite Materials*, Vol. 25, No. 4, pp. 433-452.
4. Hubbard, J. E., 1987, "Distributed Sensors and Actuators for Vibration Control in Elastic Components," *Noise-Con 87*, Vol. pp. 407-412.
5. Lee, C. K. and Moon, F. C., 1990, "Modal Sensors/Actuators," *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 57, pp. 434-441.
6. Collins, S. A., Padilla, C. E., Notestine, R. J., von Flotow, A. H., Schmitz, E., and Ramey, M., 1992, "Design, Manufacture, and Application to Space Robotics of Distributed Piezoelectric Film Sensors," *Journal of Guidance Control*, Vol. 15, pp. 396-403.
7. Dimitriadis, E. K., Fuller, C. R., and Rogers, C. A., 1991, "Piezoelectric Actuators for Distributed Vibration Excitation of Thin Plates," *Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 113, No. 57, pp. 100-107.
8. Liang, C., Rogers, C. A., and Fuller, C. R., 1991, "Acoustic Transmission and Radiation Analysis of Adaptive Shape Memory Alloy Reinforced Laminated Plates," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 144, No. 3, pp. 475-482.
9. Clark, R.L. and Fuller, C. R., 1992, "Control of Sound Radiation with Adaptive Structures,"



- Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 2, No. 3, pp. 431-452.
10. Bailey, T. and Hubbard, J. E., 1986 "Distributed Piezoelectric-Polymer Active Vibration Control of a Cantilevered Beam," *Journal of Guidance Control*, Vol. 6, pp. 605-611.
 11. Clark, R.L. and Fuller, C. R., 1991, "Control of Sound Radiation with Adaptive Structures," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 2, pp.431-452.
 12. Clark, R.L. and Fuller, C.R., 1992, "Active Structural Acoustic Control with Adaptive Structures Including Wavenumber Con-siderations," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 2, pp. 431-452.
 13. Clark, R.L., Burdisso, R.A., and Fuller, C.R., 1992, "Design Approaches for Shaping Polyvinylidene Fluoride Sensors in Active Structural Acoustic Control (ASAC)," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 4, pp. 354-365.
 14. Wang, B. T., Fuller, C. R., and Dimitriadis, E. K., 1991, "Active Control of Structurally Radiated Noise Using Multiple Piezoelectric Actuators," *AIAA Journal*, Vol. 29, No. 11, pp. 1802-1809.
 15. Wang, B. T., Fuller, C. R., and Dimitriadis, E. K., 1991, "Active Control of Noise Transmission Through Rectangular Plates Using Multiple Piezoelectric or Point Force Actuators," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 90, No. 5, pp. 2820-2830.
 16. Wang, B. T., and Fuller, C. R., 1992, "Near-Field Pressure, Intensity, and Wave-Number Distributions for Active Structural Acoustic Control of Plate Radiation: Theoretical Analysis," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 92, No. 3, pp. 1489-1498.
 17. Wang, B. T., 1993, "A Feasible Study of Hybrid Structural Vibration Control," *Bulletin of National Pingtung Polytechnic Institute*, Vol. 2, pp. 9-27.
 18. Wang, B. T., Burdisso, R. A., and Fuller, C. R., 1994, "Optimal Placement of Piezoelectric Actuators for Active Structural Acoustic Control," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 5, No. 1, pp.67-77.
 19. Wang, B. T., and Fuller, C. R., 1994, "The Effect of Distributed or Discrete Pressure and Acceleration Sensors on Active Structural Acoustic Control Systems," *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 30-39.
 20. Wang, B. T., 1994, "The Performance of Accelerometers and PVDF Sensors in Active Structural Vibration Control," *Bulletin of National Pingtung Polytechnic Institute*, Vol. 3, pp. 81-92.
 21. Wang, B. T., 1994, "Hybrid Active and Passive Control for Structural Sound Radiation," *The Journal of the Acoustical Society of the Republic of China*, Vol. 2, No. 2, pp. 1-16.
 22. Wang, B. T., 1994, "The Performance of Accelerometers, Microphones and PVDF Sensors in Active Structural Acoustic Control,"



- The Chinese Journal of Mechanics, Vol. 10, No. 3, pp.191-199.
23. Wang, B. T., 1994, "Active Control of Far-Field Sound Radiation by a Beam Physical System Analysis," *Smart Materials and Structures*, Vol. 3, pp. 476-484.
 24. Wang, B. T., 1995, "Optimal Placement of Piezoceramic Transducers for Active Sound Radiation Control of Baffled Simply-Supported Beam," *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Vol. 16, No. 4, pp. 383-393.
 25. Wang, B. T., 1996, "Optimal Placement of Microphones and PZT Actuators for Far-Field Sound Radiation Control," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 99, No. 5, pp. 2975-2984.
 26. Sun, F. P., Liang, C., and Rogers, C. A., 1994, "Experimental Modal Testing Using Piezoceramic Patches as Collocated Sensor-Actuators," *Proceedings of the 1994 SEM Spring Conference and Exhibits*, pp. 871-879.
 27. Wang, B. T., 1996, "Characterization of Transfer Functions for Piezoceramic and Conventional Transducers," *Journal of Intelligent Material Structures and Systems*, Vol. 7, No. 4, pp. 390-398.
 28. Wang, B. T., 1998, "Structural Modal Testing with the Use of Various Forms of Actuators and Sensors," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.12, No.5, pp. 627-639.
 29. 王栢村, 曾文饒, 1996, 「壓電材料樑之靜態響應分析」, 技術學刊, 第十一卷, 第四期, 第 495-500 頁。
 30. Clark, R. L., Fuller, C. R., and Wicks, A. L., 1991, "Characterization of Multiple Piezoelectric Actuators for Structural Excitation," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 90, No. 1, pp.346-357.
 31. 王栢村, 呂世鑫, 劉健烽, 2002, 「壓電驅動模式於樑變形與應力分析之評估」, ANSYS 2002 台灣區用戶大會暨論文發表會, 屏東, 第 155-161 頁。
 32. 王栢村, 陳柏宏, 陳榮亮, 2003, 「壓電薄膜感應器於懸臂樑實驗模態分析之有限元素模型驗證」, 中華民國振動與噪音工程學會第十一屆學術研討會論文集, 第 80-88 頁。
 33. Wang, B. T., 1998, "The PVDF Based Wavenumber Domain Sensing Techniques for Active Sound Radiation of a Simply-Supported Beam," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 103, No. 4, pp. 1904-1915.
 34. Wang, B. T., 1997, "Optimal Location of PZT Actuator for the PVDF Based Wavenumber Sensing Approach in Active Sound Radiation Control," *Proceedings of ACTIVE-97*, pp. 719-732.
 35. Wang, B. T., 1996, "The Evaluation of Cost Functions for Active Sound Radiation Control of a Simply-Supported Beam," *Journal of Acoustical Society of Republic of China*, Vol. 4, No. 1, pp. 39-61.
 36. Ewins, D. J., 1986, *Modal Testing: Theory and Practice*, Research Studies Press Ltd., Letchworth, Hertfordshire, England.



37. Wang, B. T., and Wang, C. C., 1997, "Feasibility Analysis of Using Piezoceramic Transducers for Cantilever Beam Modal Testing," *Journal of Smart Materials and Structures*, Vol. 6, pp.106-116.
38. 王重杰, 王栢村, 1997, 「應用壓電驅動器於懸臂樑之實驗模態分析」, 技術學刊, 第十二卷, 第三期, 第 419-425 頁。
39. 王栢村, 陳榮亮, 2002, 「應用壓電薄膜感應器於結構之實驗模態分析」, 中華民國振動與噪音工程學會第十屆學術研討會論文集, 第 263-273 頁。
40. Wang, B. T., and Chen, R. L., 2000, "The Use of Piezoceramic Transducers for Smart Structural Testing," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, Vol. 11, No. 9, pp. 713-724.
41. 王栢村, 陳榮亮, 1998, 「應用壓電晶片感應器於簡支板之實驗模態分析」, 力學期刊, 第十四卷, 第二期, 第 147-154 頁。
42. Wang, B. T., and Wu, Y. H., 2002, "Mode Shape Prediction Model from ODS for Beam Structures," *Proceedings of the Nineteenth National Conference of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Hu-wei, pp. 427-434.
43. Wang, B. T., and Wu, Y. H., 2002, "Determination of Mode Shapes from ODS for Simply Supported Beam," *Proceedings of the International Symposium on Experimental Mechanics, The First Asian Conference on Experimental Mechanics, Taipei*, Paper No. A234.
44. 王栢村, 陳柏宏, 2003, 「簡諧操作狀態下之壓電樑模態振型測定」, 第二十屆機械工程研討會, 已投稿。
45. Wang, B. T., 2001, "Determination of Mode Shapes from the Operational Deflection Shape," *The 8th International Congress on Sound and Vibration*, pp. 1941-1948.
46. 王栢村, 胡華良, 2002, 「多自由度系統於簡諧激振狀態下之模態分析」, 中華民國振動與噪音工程學會第十屆學術研討會論文集, 第 253-262 頁。
47. Huang, H., Pan, J., and McCormick, P. G., 1997, "Prediction of Impact Forces in a Vibration Ball Mill Using an Inverse Technique," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 19, pp. 117-126.
48. Lim, T. W., and Pilkey, W. D., 1992, "A Solution to the Inverse Dynamics Problem for Lightly Damped Flexible Structures Using a Model Approach," *Computers and Structures*, Vol. 43, pp.53-59.
49. Bell, R. G., and Rodeman, R., 1988, "External force Estimation from Transient Response Data," *Proceedings of the 6th International Modal Analysis Conference*, pp. 588-593.
50. Busby, R., and Trujillo, M., 1987, "Solution of an Inverse Dynamic Problem," *Computers and Structures*, Vol. 25, pp. 109-117.
51. Doyle, J. F., 1984, "An Experimental Method for Determining the Dynamic Contact Law," *Experimental Mechanics*, Vol. 24, pp. 10-16.
52. Doyle, J. F., 1984, "Further Development in Determining the Dynamic Contact Law," *Experimental Mechanics*, Vol. 24, pp. 265-270.



53. Choi, K., and Chang, F. K., 1996, "Identification of Impact Force and Location Using Distributed Sensor," *AIAA Journal*, Vol. 34, pp. 136-143.
54. Fabunmi, J. A., 1986, "Effects of Structural Modes on Vibratory Force Determination by the Pseudoinverse Technique," *AIAA Journal*, Vol. 24, pp. 504-509.
55. Fabunmi, J. A., 1987, "Feasibility of Dynamic Load Determination From Measured Mobilities," *Proceedings of the 1987 SEM Conference on Experimental Mechanics*, pp. 805-850.
56. Han, M. C., and Wicks, A. L., 1990, "Force Determination With Slope and strain Response Measurement," *Proceedings of the 8th International Modal Analysis Conference*, pp. 365-372.
57. Hansen, M., and Starkey, J. M., 1990, "On Prediction and Improving the Condition of Modal-Model-Based Indirect Force Measurement Algorithms," *Proceedings of the 8th International Modal Analysis Conference*, pp. 115-120.
58. Hillary, B., and Ewins, D. J., 1984, "The Use of Strain Gauges in Force Determination and Frequency Response Function Measurement," *Proceedings of the 2nd International Modal Analysis Conference*, pp. 627-634.
59. Hollandsworth, P. E., and Busby, H. R., 1989, "Impact Force Identification Using the General Inverse Technique," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 8, pp. 315-322.
60. Doyle, J. F., 1987, "Determining the Contact Force During the Transverse Impact of Plates," *Experimental Mechanics*, Vol. 27, pp. 68-72.
61. Doyle, J. f., 1987, "Experimental Determining the Contact Force During the Transverse Impact of an Orthotropic Plate," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 118, pp. 441-448.
62. Elliott, K. B., Juang, J. N., and Robinson, J., 1988, "Force Prediction Using Singular-Value Decomposition," *Proceedings of the 6th International Modal Analysis Conference*, pp. 1582-1588.
63. Shin, E. S., 2000, "Real-Time Recovery of Impact Force Based on Finite Element," *Computer and Structures*, Vol. 76, pp.621-635.
64. Verhoeven, J., 1988, "Excitation Force Identification of Rotating Machines Using Operational Rotor/Stator Amplitude Data and Analytical Synthesized Transfer Function," *Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*, Vol. 110, pp. 307-314.
65. Vyas, N. S., and Wicks, A. L., 2001, "Reconstruction of Turbine Blade Forces from Response Data," *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 36, pp. 177-188.
66. Avitabile, P., Piergentili, F., and Lown, K., 1999, "Generation of Input Forcing Functions Through the Use of Measured Response and System Transfer Relations," *Proceedings of the 17th International Modal Analysis Conference*, pp.309-315.
67. Kim, Y. R., and Kim, K. J., 1997, "Indirect Input Identification by Modal technique,"



- Proceedings of the 15th International Modal Analysis Conference, pp.1263-1270.
68. Shaw, J., 2001, "Noniterative Solution of Inverse Problem by the Linear Least Square Method," Applied Mathematical Modelling, Vol. 25, pp. 683-686.
69. Yang, C. Y., 1996, "Solution of an Inverse Vibration Problem Using a Linear Least-Squares Error Method," Applied Mathematical Modelling, Vol. 20, pp. 785-788.
70. Wu, E., Tsai, T. D., and Tseng, L. H., 1998, "A Deconvolution Method for Force -Reconstruction in Rods Under Axial Impact," Journal of Acoustical Society America, Vol. 104, pp. 1418-1426.
71. Desanghere, G., and Snoeys, R., 1985, "Indirect Identification of Excitation Force by Modal Coordinate transformation," Proceedings of the 3rd International Modal Analysis Conference, pp. 309-315.
72. Wang, B. T., and Chui, T. S., 2003, "Determination of Unknown Impact Force Acting on Simply Supported Beam," Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 17, No. 3, pp. 683-704.
73. 王栢村, 吳德和, 吳建德, 1999, 「樑結構受衝擊力之外力預測」, 中國機械工程學會第 16 屆全國學術研討會論文集, 第 273-280 頁。
74. 王栢村, 吳德和, 陳重彰, 2002, 「懸臂樑結構系統之未知衝擊外力預測」, 技術學刊, 第 17 卷, 第 2 期, 第 181-192 頁。
75. 王栢村, 吳德和, 吳建德, 2000, 「智慧型材料結構系統應用於未知衝擊外力之預測」, 中國機械工程學會第 17 屆全國學術研討會論文集, 第三冊下集固力與設計, 第 907-914 頁。
76. Wang, B. T., 2002, "Prediction of Impact and Harmonic Forces Acting on Arbitrary Structure: Theoretical Formulation," Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 16, No. 6, pp. 935-953.
77. Rytter, A., 1993, Vibration Based Inspection of Civil Engineering Structures, Ph. D. Dissertation, Department of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University, Denmark.
78. 王栢村, 梁偉光, 2001, 「基於模態參數之結構缺陷預測」, 檢測科技, 第 18 卷, 第 6 期, 第 204-214 頁。
79. 王栢村, 梁偉光, 2000, 「應用智慧型材料結構系統於結構缺陷預測」, 中華民國振動與噪音工程學會第八屆學術研討會論文集, 第 65-73 頁。
80. 王栢村, 曹文昌, 2002, 「板結構之裂縫破壞檢測」, 中華民國第二十六屆全國力學會會議, 虎尾, 論文編號: J024。
81. 王栢村, 2000, 「智慧型材料結構國際研討會出席國際會議報告」, 科學發展月刊, 第 28 卷, 第 9 期, 第 721-723 頁。
82. <http://140.127.6.133/lab> 屏東科技大學振動噪音實驗室網頁。