

2010 The 4th Cross-Strait Technology, Humanity Education and Academy-Industry Cooperation Conference, NCUT, Taichung, Taiwan, Dec. 2, 2010

2010  
第四屆

# 海峽兩岸科技與人文教育 暨產學合作研討會

## 論文集

工程科技應用領域  
人文創意應用領域

- 主辦單位  
國立勤益科技大學
- 承辦單位  
國立勤益科技大學 人文創意學院
- 協辦單位  
大陸常州工學院  
財團法人張明王國秀文教基金會  
國立勤益科技大學 研究發展處

2010 第四屆海峽兩岸科技與人文教育暨產學合作研討會

論文集

工程科技應用領域  
人文創意應用領域



國立勤益科技大學  
National Chin-Yi University of Technology



常州工學院  
CHANGZHOU INSTITUTE OF TECHNOLOGY

國立勤益科技大學  
411台中縣太平市中山路一段215巷35號  
<http://the2010.ncut.edu.tw/>  
TEL:04-2392-4505



# 目 錄

|               |    |
|---------------|----|
| 序言 .....      | 1  |
| 籌備委員名單 .....  | 2  |
| 議程表 .....     | 4  |
| 與會人員名單.....   | 13 |
| 工程科技應用領域..... | 工i |
| 人文創意應用領域..... | 文i |

# 2010 第四屆海峽兩岸科技與人文教育暨產學合作研討會

2010 The 4th Cross-Strait Technology, Humanity Education and Academy-Industry  
Cooperation Conference, NCUT, Taichung, Taiwan, Dec. 2, 2010

## 議程表

| 時間              | 議程   |                    |  |          |
|-----------------|--|--------------------|--|----------|
| 08:20~<br>08:50 | 報到(Registration)   |                    |  |          |
| 08:50~<br>09:00 | 開幕/來賓致詞(Opening Ceremony)  |                    |  |          |
| 09:00~<br>09:50 | <p>專題演講(Keynote Speech)</p> <p>常州工學院藝術與設計學院院長<br/>秦佳教授</p> <p>政企校聯動，產學研結合—談創意品牌人才的培養</p> |                    |  |          |
| 09:50~<br>10:10 | <p>茶敘時間(Refreshment / Coffee Break)</p> <p>海報展示</p>                                      |                    |  |          |
| 10:20~<br>12:20 | 技術論文發表(一) Technical Session 1  |                    |  |          |
|                 | 主題   | 工程科技應用領域           | 電子電機與資訊科技應用<br>領域                            | 人文創意應用領域 |
|                 | 主持人  | 林金雄 陳聰嘉<br>黃建民 吳友烈 | 張蓺英 游正義<br>卜文正 蔡政道<br>謝韶徽 林光浩<br>林基源 江茂綸 林學儀 | 劉淑爾      |
| 12:20~<br>13:20 | <p>午休用餐時間(Lunch break)</p> <p>地點：E529</p>  |                    |  |          |
| 13:30~<br>15:20 | 技術論文發表(二) Technical Session 2  |                    |  |          |
|                 | 主題   | 工程科技應用領域           | 電子電機與資訊科技應用<br>領域                            | 人文創意應用領域 |
|                 | 主持人  | 林金雄 陳聰嘉<br>黃建民 吳友烈 | 張蓺英 游正義<br>卜文正 蔡政道<br>謝韶徽 林光浩<br>林基源 江茂綸 林學儀 | 劉淑爾      |

# 2010 第四屆海峽兩岸科技與人文教育暨產學合作研討會

2010 The 4th Cross-Strait Technology, Humanity Education and Academy-Industry Cooperation Conference, NCUT, Taichung, Taiwan, Dec. 2, 2010

## 工程科技應用領域

### 主題：精密機械

| 日期                 | 時間          | 議程                   |                    |   |
|--------------------|-------------|----------------------|--------------------|---|
| 2010/12/2          | 08:20~10:10 | 報到                   |                    |   |
|                    |             | 開幕儀式                 |                    |   |
|                    |             | 專題演講                 |                    |   |
|                    |             | 茶敘時間                 |                    |   |
| 組別                 | 時間          | 主持人：林金雄 陳聰嘉          |                    |   |
|                    |             | 編號                   | 作者                 | 題目  |
| 精密機械<br>(工程館 E418) | 10:20~12:20 | CAM002               | 陳聰嘉 謝德聖            | 角度 U 形引伸製程回彈現象之分析   |
|                    |             | CAM004               | 林金雄 陳威秀<br>吳好嬋     | 奈米光觸媒在奈米孔洞之特性研究   |
|                    |             | CAM005               | 陳聰嘉 黃炫彰            | 圓管材方形化製程之有限元素分析   |
|                    |             | CAM006               | 黃姝香                | On the pathwise uniqueness for an inverse hyperbolic sine Poisson equation<br>(反雙曲正弦布阿松方程軌跡的唯一) |
|                    |             | CAM007               | 劉榮貴 蔡明義            | 以推/拉力值為品質指標來研究不同球厚、線弧長度及高度對鐳線封裝製程之影響  |
|                    |             | CAM008               | 林金雄 郭益辰<br>陳威秀     | 高科技精密冷凍運輸密閉空間之改良研究  |
|                    |             | CAM009               | 林金雄 吳純仁<br>陳茹婷 陳威秀 | 鈦合金在陽極處理之變色研究   |
|                    |             | CAM0010              | 王栢村 吳祥瑞<br>黃裕仁 陳詠升 | 高爾夫球具於不同邊界下之模態特性比較  |
|                    |             | 討論時間                 |                    |   |
|                    | 12:20~13:00 | 午休用餐時間 (Lunch Break) |                    |   |

# 高爾夫球具於不同邊界下之模態特性比較

王栢村\* 吳祥瑞\*\* 黃裕仁\*\*\* 陳詠升\*\*\*\*

## 摘要

高爾夫球具於揮擊時的衝擊聲音為業界有興趣之議題，而且發現高爾夫球具的結構模態參數與球具衝擊聲音有很大的關聯性，本文將探討高爾夫球具之模態參數，包含手握邊界與自由邊界進行模態參數比較，以傳統的實驗模態分析步驟，求得球具結構的頻率響應函數進而擷取結構之模態參數，包含自然頻率、模態振型、阻尼比，並進行自由邊界與手握邊界的頻率響應函數作互相比較，並探討其結構模態特性的關係與差異，可觀察到高爾夫球具在手握邊界的自然頻率比自由邊界的自然頻率略低，因為來自手握邊界的影響，同時手握邊界的阻尼效應也比自由邊界更顯著，並進一步比較高爾夫球具的衝擊聲音頻譜以及自由邊界與手握邊界的頻率響應函數可發現，高爾夫球具在手握邊界的模態特性比自由邊界更相近於聲音頻譜響應。本文呈現了高爾夫球具的衝擊聲音以及高爾夫球具的振動響應之關聯性，特別觀察到與手握邊界的吻合性，未來可以建立理論分析有限元素模型，並與高爾夫球具結構在手握邊界下的實驗結果進行模型驗證。

**關鍵字：**高爾夫球具、手握邊界、實驗模態分析、聲音頻譜

---

\* 國立屏東科技大學機械工程系教授

\*\* 國立屏東科技大學機械工程系研究生

\*\*\* 大田精密工業股份有限公司研發中心

\*\*\*\* 大田精密工業股份有限公司研發中心

## 壹、前言

高爾夫球這項運動成爲現代民眾喜歡的運動項目之一，爲了在球場上有好成績，人們對球具的品質要求也越來越講究，以現代開發新式球具技術能製造出高品質的球具並非難事，以電腦輔助設計下減少了時間與成本，但對現代人而言高爾夫球具必須包含打擊性能佳及揮桿的舒適度甚至擊球聲音等，都是選購球具的參考因素。

在高爾夫球具開發與研究上有許多相關文獻，而本文與丁<sup>①</sup>完成自由邊界高爾夫球具之模態參數進行比較，王與黃<sup>②</sup>對一高爾夫球鐵桿，建構三種不同元素之有限元素模型進行模態分析，求取三種模態參數並對實驗模態分析作比較驗證，便可利用簡諧響應分析與實驗模態分析求取之頻率響應函數進行比較驗證。王和吳<sup>③</sup>、<sup>⑩</sup>主要對高爾夫球桿及單獨球頭分別進行有限元素分析，將所得之模態參數，進行比較及關聯性之探討以了解其振動特性，且在握把處設定三種不同邊界條件，自由、固定、彈簧等邊界進行分析，預期找出不同邊界對模態參數之影響和各邊界間之關聯性。王與黃<sup>④</sup>對三種不同球頭之高爾夫球具進行有限元素分析與實驗模態分析以進行模型驗證後進一步定義球具之振動品質並了解有無握把之振動特性，分析結果得知三種球具之模態振型以振型累加值越小推測擊球舒適度會較佳。王等人<sup>⑤</sup>對一碳纖維高爾夫球桿以立體元素使用三種不同材料模型建立球桿有限元素模型，同時結合自由邊界與固定邊界之實驗模態分析進行最佳化分析，分析結果發現相同模態振型在固定邊界下之自然頻率皆比自由邊界高，阻尼也較自由邊界大而三種不同材料模型中得知等向性材料自然頻率誤差最大以非等向性材質誤差最小。

Swider and Ferraris<sup>⑪</sup>進行理論與動態實驗模態分析，以模擬人握住球桿的方式，使用一激振器產生隨機激振，量測球桿模態振型，結果發現扭轉模態對擊球者擊球性能與舒適性造成重大的影響。Teu *et al.* <sup>⑫</sup>主要結合雙由拉角運算法(dual Euler angle algorithm)則與實際揮桿量測來針對高爾夫球具揮桿進行動態分析，理論分析過程將人體揮桿打擊姿勢視爲多連桿機構，利用雙由拉角運算法則將所有節點運動分解成三個軸向之旋轉與平移運動，進而進行運算；實驗量測部分則取與理論分析相對應之點規劃，以電測角計(electrogoniometer)進行實際揮桿量測，除了於各節點速度、角速度有良好對應曲線外，尚可繪出擊球揮桿之軌跡，有助於未來對球桿擊球品質之模擬分析，更可針對任何球具有更進一步之應用分析。

王等人<sup>⑦</sup>對三種不同厚度之高爾夫球頭進行實驗模態分析，以求取模態振動特性，觀察這三種球頭結構變更時，對聲音峰值頻率與對應聲音大小差異影響，進而探討不同結構厚度之球頭衝擊聲音與振動模態的關聯性。邱<sup>⑧</sup>本文主要以實驗模態分析對高爾夫球具，在組桿前與組桿後進行聲音模態分析，以探討高爾夫球具有無組桿對聲音特性之差異。王等人<sup>⑨</sup>主要對不同之高爾夫球桿進行擊球聲音測試，量測其不同球桿擊球時之聲音頻譜，並利用套裝軟體進行運算取得 1/3 八音頻帶頻譜及 1/1 八音頻帶頻譜，最後套入室內噪音評估指標進行綜合比較，以瞭解不同高爾夫球桿擊球音頻之特性。

本文針對高爾夫球具於手握邊界與自由邊界狀況進行實驗模態分析，以求得球具的模態參數，包括自然頻率、模態振型、阻尼比，並作進一步的比較，找出兩種不同邊界所對應的模態，並由量測到的頻率響應函數(frequency response function, FRF)與高爾夫球

具室外擊球聲音線性頻譜進行比較以了解其關聯性。未來可以應用手握邊界之實驗數據，建構手握邊界下之有限元素模型，以完成手握邊界之高爾夫球具模型驗證。

## 貳、高爾夫球具之實驗模態分析方法與步驟

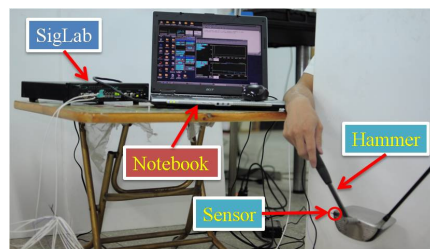
本文取如圖 1 之高爾夫球具，整支球具由球頭與球桿組成，其球頭材質為 Ti64 經過不同處理建構而成，球桿的部分皆為碳纖維複合材料，最後將球頭與球桿結合為一支完整的高爾夫球具，為了解高爾夫球具在實際手握球桿時之振動模態特性，以實驗模態分析探討手握邊界條件下之振動模態影響，以其了解實際握桿之球桿振動模態特性。針對手握邊界之高爾夫球具進行實驗模態分析主要步驟，包含驅動器及感測器選擇、量測結構規劃點之頻率響應函數(frequency response function, FRF)與檢視、進行曲線嵌合或稱模態參數擷取、最後為 EMA 測試結果評估。

圖 2(a) 為實驗之儀器架設圖，包括衝擊鎚(PCB-086C03)、單軸向加速度規(8732A500)、頻譜分析儀(SigLab)及手提式電腦，本文是移動衝擊鎚敲擊每點位置，而固定單軸向加速度規進行實驗，利用衝擊鎚激振球具結構，量測頻寬設為 5000Hz，加速度計為感測器，以實際用手握住球桿模擬手握邊界，當感測器收到訊號，透過頻譜分析儀快速傅立葉轉換可得到高爾夫球具之頻率響應函數，利用曲線嵌合軟體可取得高爾夫球具之模態參數，包含自然頻率、模態振型及阻尼比。

圖 3 為高爾夫球具量測點規劃，整體規劃分為球頭打擊面 16 個規劃點 圖 3 (a)、球桿 swing 方向有 16 個規劃點圖 3 (b)、球頭與球桿接合處有 3 個規劃點，因此高爾夫球具總計為 35 個規劃點。



圖 1 高爾夫球具之實際照片



(a)量測設備示意圖



(b) 高爾夫球具之量測示意圖



(c) 實際手握示意圖

圖 2 OM210 高爾夫球具實驗量測示意圖

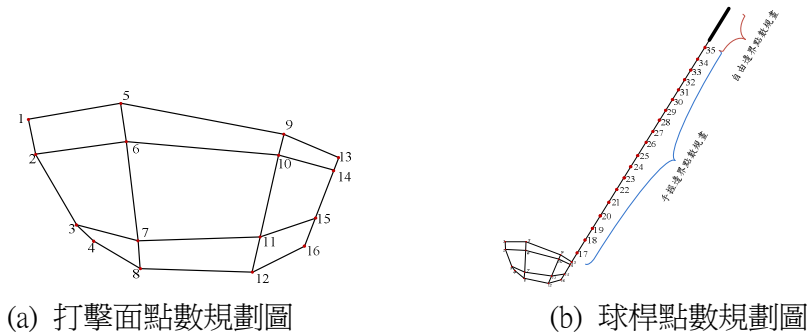


圖 3 高爾夫球具點數規劃圖

### 參、 結果與討論

本節將探討手握與自由邊界高爾夫球具振動特性比較，並探討高爾夫球具擊球聲音與兩種邊界狀態之關聯性探討。

#### 一、 手握邊界與自由邊界高爾夫球具振動特性探討

本文對一高爾夫球具進行實驗模態分析，由實驗所得頻率響應函數(FRF)如圖 4 做一探討，而圖 5 為手握邊界與自由邊界之頻率響應函數比較，綜合討論如下：

- (一) 由圖 4(a)為同點而圖 4(b)為不同點之球具頻率響應函數，圖中有兩條曲線，Experimental 為實驗 FRF、Synthesized 為曲線嵌合之 FRF 幾乎重疊，表示曲線嵌合(Curve fitting)所得到之模態參數及自然頻率與模態振型具有良好之準確性。
- (二) 圖 5 為手握邊界與自由邊界之頻率響應函數比較圖，圖中實線為自由邊界的 FRF、虛線為手握邊界的 FRF，由圖 5(a)中可以觀察到，手握邊界與自由邊界的峰值(peak)都有明顯的對應，不過手握邊界在 1500Hz 以前沒有峰值(peak)頻率出現，原因可能是模態都為碳纖維球桿的單獨模態，故在球頭打擊面並無顯示其模態，此點可由圖 5(b)不同點之頻率響應函數圖得到驗證。

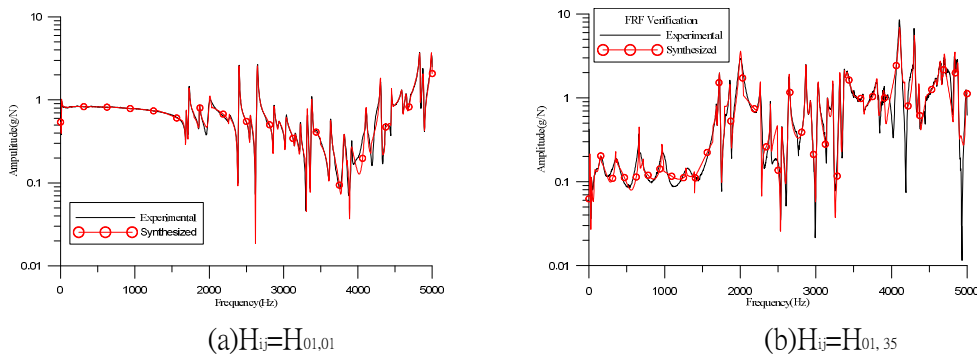


圖 4 手握邊界頻率響應函數圖



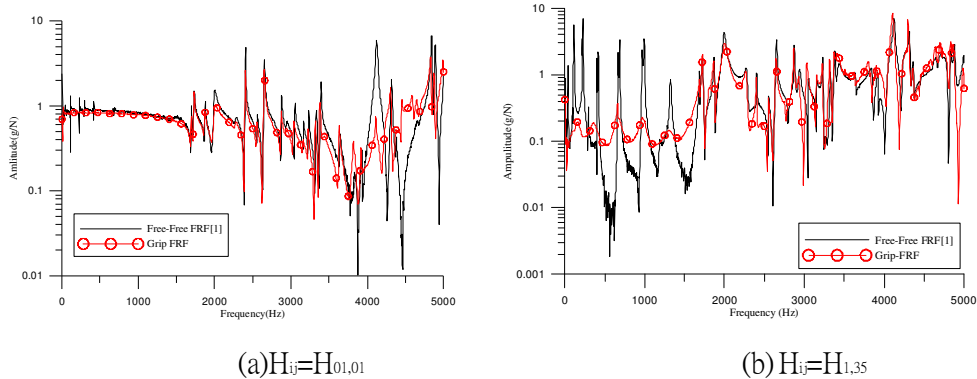


圖 5 高爾夫球具手握邊界與自由邊界頻率響應函數圖比較

為進一步探討比較手握與自由邊界高爾夫球具之振動模態特性，以自由邊界的模態參數做為基準，將自由邊界與手握邊界模態參數彙整成表 1 為高爾夫球具不同邊界自然頻率與模態保證指標(MAC)比較表，表 2 為高爾夫球具不同邊界之模態振型比較，表 3 為高爾夫球具自由邊界與手握邊界之阻尼比比較表，綜合討論如下：

- (一) 由表 1 可看出，模態特性相關之手握邊界高爾夫球具的自然頻率普遍都比自由邊界時小，除了 1325Hz 升高 5.387%，以及 1993.5Hz 與 4608.9Hz 略大，因此，可推論因為手握球具之邊界效應使得球具結構自然頻率降低。
- (二) 模態振型方面，可以由表 2 現象自由邊界與手握邊界之模態振型有一致性，在模態振型保證指標(MAC)大都在 0.5 與 0.6 之間，顯示模態振型有大致對應性，表示振動模態特性相似，由於手握邊界的量測點數比自由邊界的點數少，導致有些模態不會很明顯的被激發出來，所以造成模態保證指標值較低。
- (三) 由表 3 可得知，球具在手握邊界的累加平均阻尼比值比自由邊界大，由此可知手握邊界會消散握把邊界能量，使得阻尼比增加，可知手握也有減振之效果。

## 二、高爾夫球具擊球聲音與結構振動特性關連性探討

由於高爾夫球具之擊球聲音也是選購球具的重要因素，本節探討高爾夫球具在室外實際揮桿之擊球聲音頻譜特性，並與手握以及自由邊界的高爾夫球具頻率響應函數，進行比較分析，圖 6 為高爾夫球具擊球聲音頻譜與兩種邊界 FRF 比較，而表 4 為高爾夫球具擊球聲音峰值頻率與兩種邊界之自然頻率比較表，討論如下：

- (一) 圖 6(a)及(b)為手握邊界頻率響應函數與球具聲音線性頻譜，可以觀察出兩條曲線的趨勢，手握邊界由衝擊鎚敲擊後，可得知鋼質衝擊鎚敲擊時與球頭接觸時間短，能激發出較高的頻率，相反的由高爾夫球敲擊球頭接觸時間長，使得低頻頻率被激發出較高之聲響。
- (二) 圖 6(c)為自由邊界頻率響應函數與球具聲音線性頻譜比較，可觀察到自由邊界之峰值頻率僅少數與球具線性頻率有對應，從表 4 可看出在手握邊界 FRF 下與球具量測聲音頻譜有明顯的對應，兩者頻率誤差不超過±3%，相

對的在自由邊界的 FRF 與球具量測聲音頻譜只有少數峰值對應，由這點可得知，手握邊界下的振動頻率與球具聲音有可靠的關連性。

表 1 高爾夫球具不同邊界模態參數比較表

| 高爾夫球具模態參數比較表 |          |         |      |          |         |        |       |
|--------------|----------|---------|------|----------|---------|--------|-------|
| Free-free[1] |          |         | Grip |          |         | Err%   | MAC   |
| mode         | Freq(Hz) | Damp(%) | mode | Freq(Hz) | Damp(%) |        |       |
| 6            | 666.5    | 0.158   | 4    | 664.87   | 0.394   | -0.245 | 0.555 |
| 10           | 1325.3   | 0.531   | 8    | 1396.7   | 0.022   | 5.387  | 0.556 |
| 11           | 1688.4   | 0.18    | 10   | 1688.3   | 0.236   | -0.006 | 0.536 |
| 12           | 1726.9   | 0.417   | 11   | 1725.7   | 0.351   | -0.069 | 0.572 |
| 13           | 1869.1   | 0.229   | 12   | 1866.9   | 0.368   | -0.118 | 0.544 |
| 14           | 1993.5   | 0.81    | 13   | 2004.5   | 0.745   | 0.552  | 0.595 |
| 15           | 2280.3   | 0.85    | 14   | 2266.1   | 0.213   | -0.623 | 0.574 |
| 17           | 2551.8   | 0.099   | 16   | 2548.9   | 0.224   | -0.114 | 0.425 |
| 18           | 2650.5   | 0.17    | 17   | 2645.7   | 0.234   | -0.181 | 0.476 |
| 19           | 2877.1   | 0.162   | 18   | 2867.7   | 0.217   | -0.327 | 0.581 |
| 20           | 2939.2   | 0.227   | 19   | 2929.3   | 0.395   | -0.337 | 0.566 |
| 21           | 3048.5   | 0.165   | 20   | 3028.4   | 0.287   | -0.659 | 0.483 |
| 22           | 3153.4   | 0.158   | 21   | 3152.3   | 0.253   | -0.035 | 0.528 |
| 23           | 3231     | 0.09    | 22   | 3224.7   | 0.145   | -0.195 | 0.495 |
| 24           | 3325.5   | 0.156   | 23   | 3317.1   | 0.109   | -0.253 | 0.516 |
| 25           | 3385.5   | 0.177   | 24   | 3376.4   | 0.217   | -0.269 | 0.452 |
| 27           | 3840.7   | 0.047   | 29   | 3829.8   | 0.185   | -0.284 | 0.320 |
| 28           | 3916.4   | 0.105   | 30   | 3902.4   | 0.404   | -0.357 | 0.309 |
| 31           | 4318.1   | 0.16    | 32   | 4303.4   | 0.162   | -0.340 | 0.337 |
| 32           | 4366.4   | 0.116   | 33   | 4362.5   | 0.142   | -0.089 | 0.333 |
| 34           | 4608.9   | 0.244   | 36   | 4646.4   | 0.334   | 0.814  | 0.284 |
| 36           | 4720.5   | 0.146   | 37   | 4696.2   | 0.192   | -0.515 | 0.369 |
| 38           | 4881.4   | 0.139   | 38   | 4833.9   | 0.154   | -0.973 | 0.209 |

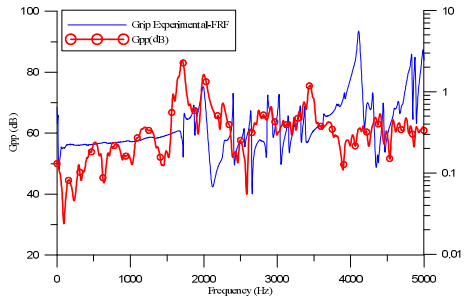
表 2 高爾夫球具不同邊界模態振型比較表

| Free-free-EMA[1]       |            | Grip-EMA               |            | Err % | MAC  |
|------------------------|------------|------------------------|------------|-------|------|
| mode                   | Mode Shape | mode                   | Mode Shape |       |      |
| E-06<br>666.5<br>(Hz)  |            | E-04<br>664.87<br>(Hz) |            | -0.24 | 0.55 |
| E-12<br>1726.9<br>(Hz) |            | E-11<br>1725.7<br>(Hz) |            | -0.06 | 0.57 |
| E-14<br>1993.5<br>(Hz) |            | E-13<br>2004.5<br>(Hz) |            | 0.551 | 0.59 |
| E-15<br>2280.3<br>(Hz) |            | E-14<br>2266.1<br>(Hz) |            | -0.62 | 0.57 |
| E-19<br>2877.1<br>(Hz) |            | E-18<br>2867.7<br>(Hz) |            | -0.32 | 0.58 |
| E-20<br>2939.2<br>(Hz) |            | E-19<br>2929.3<br>(Hz) |            | -0.33 | 0.56 |

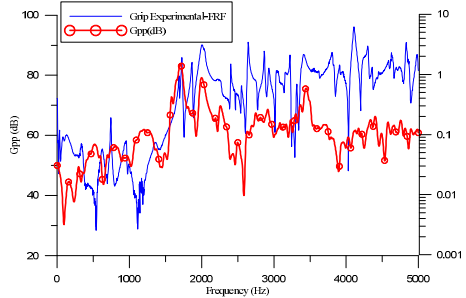
表 3 高爾夫球具手握邊界與自由邊界之阻尼比

高爾夫球具於不同邊界下之模態特性比較

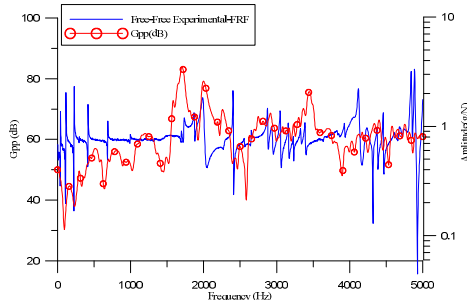
| Free-Free[1] |                  |  | Grip |                  |   |
|--------------|------------------|--|------|------------------|---|
| Mode         | Damping ratio(%) | Accumulative averaged damping ratios (%) | Mode | Damping ratio(%) | Accumulative averaged damping ratios(%) |
| 1            | 0.029            | 0.0287                                   | 1    | 22.456           | 22.456                                  |
| 2            | 0.077            | 0.0527                                   | 2    | 10.838           | 16.647                                  |
| 3            | 0.422            | 0.2375                                   | 3    | 1.349            | 8.998                                   |
| 4            | 0.199            | 0.2183                                   | 4    | 0.394            | 4.696                                   |
| 5            | 0.102            | 0.1602                                   | 5    | 0.022            | 2.359                                   |
| 6            | 0.158            | 0.1591                                   | 6    | 0.105            | 1.232                                   |
| 7            | 0.156            | 0.1576                                   | 7    | 0.167            | 0.699                                   |
| 8            | 0.312            | 0.2349                                   | 8    | 0.235            | 0.467                                   |
| 9            | 0.338            | 0.2864                                   | 9    | 0.123            | 0.295                                   |
| 10           | 0.531            | 0.4085                                   | 10   | 0.236            | 0.266                                   |
| 11           | 0.181            | 0.2947                                   | 11   | 0.351            | 0.308                                   |
| 12           | 0.417            | 0.3558                                   | 12   | 0.368            | 0.338                                   |
| 13           | 0.229            | 0.2926                                   | 13   | 0.745            | 0.541                                   |
| 14           | 0.812            | 0.5525                                   | 14   | 0.213            | 0.377                                   |
| 15           | 0.850            | 0.7012                                   | 15   | 0.151            | 0.264                                   |
| 16           | 0.099            | 0.4002                                   | 16   | 0.224            | 0.244                                   |
| 17           | 0.135            | 0.2678                                   | 17   | 0.234            | 0.239                                   |
| 18           | 0.170            | 0.2188                                   | 18   | 0.217            | 0.228                                   |
| 19           | 0.162            | 0.1904                                   | 19   | 0.395            | 0.311                                   |
| 20           | 0.227            | 0.2088                                   | 20   | 0.287            | 0.299                                   |
| 21           | 0.165            | 0.1870                                   | 21   | 0.253            | 0.276                                   |
| 22           | 0.159            | 0.1728                                   | 22   | 0.145            | 0.210                                   |
| 23           | 0.091            | 0.1318                                   | 23   | 0.109            | 0.160                                   |
| 24           | 0.156            | 0.1441                                   | 24   | 0.217            | 0.188                                   |
| 25           | 0.178            | 0.1609                                   | 25   | 0.742            | 0.465                                   |
| 26           | 0.082            | 0.1214                                   | 26   | 0.193            | 0.329                                   |
| 27           | 0.047            | 0.0840                                   | 27   | 0.019            | 0.174                                   |
| 28           | 0.105            | 0.0946                                   | 28   | 0.347            | 0.260                                   |
| 29           | 0.267            | 0.1807                                   | 29   | 0.185            | 0.223                                   |
| 30           | 0.584            | 0.3821                                   | 30   | 0.404            | 0.313                                   |
| 31           | 0.160            | 0.2712                                   | 31   | 0.281            | 0.297                                   |
| 32           | 0.116            | 0.1934                                   | 32   | 0.162            | 0.229                                   |
| 33           | 0.074            | 0.1336                                   | 33   | 0.142            | 0.186                                   |
| 34           | 0.244            | 0.1885                                   | 34   | 0.072            | 0.129                                   |
| 35           | 0.176            | 0.1825                                   | 35   | 0.312            | 0.220                                   |
| 36           | 0.146            | 0.1642                                   | 36   | 0.334            | 0.277                                   |
| 37           | 0.126            | 0.1452                                   | 37   | 0.192            | 0.234                                   |
| 38           | 0.139            | 0.1421                                   | 38   | 0.154            | 0.194                                   |
| 39           | 0.108            | 0.1252                                   | 39   | 0.146            | 0.170                                   |
| 40           | 0.151            | 0.1381                                   | 40   | 0.176            | 0.173                                   |



(a)  $H_{ij}=H_{1,10}$ (手握邊界)



(b)  $H_{ij}=H_{1,34}$ (手握邊界)



(c)  $H_{ij}=H_{1,10}$ (自由邊界)

圖 6 高爾夫球具擊球聲音頻譜與兩種邊界 FRF 比較

表 4 高爾夫球具敲擊聲音與結構振動特性對應表

| Gpp.[1]   | Free-FRF[1] | Err(%) | Grip-FRF  | Err(%) |
|-----------|-------------|--------|-----------|--------|
| Frequency | Frequency   |        | Frequency |        |
| 1687.5    | 1734.375    | 2.70%  | 1725.7    | 2.20%  |
| 1981.25   | 1984.375    | 0.20%  | 1968.75   | -0.60% |
| 2484.38   | -           | -      | 2400      | -3.50% |
| 2734.38   | -           | -      | 2628.125  | -4.00% |
| 2896.88   | 2925        | 1.00%  | 2868.75   | -1.00% |
| 3065.63   | -           | -      | 3018.75   | -1.60% |
| 3168.75   | 3156.25     | -0.40% | 3140.625  | -0.90% |
| 3284.38   | 3321.875    | 1.10%  | 3296.875  | 0.40%  |
| 3425      | 3387.5      | -1.10% | 3356.25   | -2.00% |

## 肆、 結論

本文是以實驗模態分析對高爾夫球具之手握邊界與自由邊界進行振動模態特性分析比較，得知兩種不同邊界狀態之高爾夫球具其模態振型與自然頻率具有相近的對應性，但是手握邊界的自然頻率普遍上都比自由邊界低，主要是來自手握效應。又手握球具時，所得到的結構模態阻尼比均高於自由邊界，顯示手握效應也會有間接吸收球具振動能量的效果，所以增大了手握邊界狀態的阻尼效果。本文也探討高爾夫球具擊球聲音與兩種邊界條件下球具頻率響應函數之比較，可得知高爾夫球在手握邊界的頻譜與振動模態特性，比自由邊界較相近於擊球聲音特性，由此可知於球具擊球聲音之模擬分析，有必要考慮手握邊界之效應，因此建構手握邊界下的有限元素分析模型將是未來研究重點，而本文所得到的手握邊界高爾夫球具實驗數據，可做為未來分析模型的模型驗證參考。

## 參考文獻

- ①. 丁國基，〈高爾夫球具聲音預測與實驗量測之分析整合系統模組開發〉（屏東：國立屏東科技大學機械工程系研究所碩士論文，2008.06），頁 30~46。
- ②. 王栢村，黃瑞光，〈高爾夫球桿振動模態參數之測定〉（新竹：中華民國力學學會第二十三屆全國力學會議論文集，1999），第 457-464 頁。
- ③. 王栢村，吳國禎，〈高爾夫球木桿之模態分析〉（新竹：第十二屆中華民國振動與噪音工程學術研討會，1999），第 58-63 頁。
- ④. 王栢村，黃瑞光，〈不同球頭之高爾夫球桿振動特性及品質之探討〉（屏東：中華民國振動與噪音工程學會第八屆學術研討會，2000），第 209-216 頁。
- ⑤. 王栢村，廖學任，李建興，〈不同材料模型於碳纖桿之機械性質探討〉（彰化：中華民國振動與噪音工程學會第十三屆學術研討會，2005），論文編號 E3。
- ⑥. 王栢村，洪研庭，劉文全，〈不同材料模型於碳纖桿之機械性質探討〉（台北：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，2003），第 63-69 頁。
- ⑦. 王栢村，丁國基，張年華，王文志，謝嘉展，黃裕仁，陳詠升，〈不同結構厚度之振動模態與聲音關聯性探討〉（彰化：中國機械工程學會『第二十五屆全國學術研討會』，2008），論文編號：csme25-1044。
- ⑧. 邱武耀，鐘志邦，洪研庭，林建瑋，〈高爾夫球木桿組桿前後之聲音特性探討〉（彰化：第十三屆中華民國振動與噪音工程學術研討會，2005），論文編號：C14。
- ⑨. 王栢村，李建興，許燕吉，高毓廷，謝佳雄，〈不同高爾夫球桿擊球之音頻特性分析〉（台南：中華民國音響學會第十六屆學術研討會論文集，2005），第 67-73 頁。
- ⑩. Wang, B. T., and Wu, G. Z., 2005, "Modal Properties of Golf Club Wood Driver in Different Boundary Conditions," *The 13th National Conference on the Society Sound and Vibration*, Changhua, C10.
- ⑪. Swider, P., Ferraris, G., and Vincent, B., 1994, "Theoretical and Experimental Dynamic Behavior of a Golf Made of Composite Material," *The International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, Vol. 9, pp. 57-69.
- ⑫. Teu, K. K., Kim, W., Fuss, F. K., and Tan, J., 2006, "The Analysis of Golf Swing as a Kinematic Chain Using Dual Euler Angle Algorithm," *Journal of Biomechanics*, Vol. 39, pp.1227-1238.