

## 基於良好聲音之不同高爾夫球具特性分析

王栢村<sup>1</sup>、丁國基<sup>2</sup>、黃裕仁<sup>3</sup>、陳詠升<sup>3</sup>

1 國立屏東科技大學 機械工程系 教授

2 國立屏東科技大學 機械工程系 研究生

3 大田精密工業股份有限公司研發中心

E-mail:wangbt@mail.npust.edu.tw

### 摘要

本文乃對目前市售公認擊球好聽與四支不同擊球聲音之高爾夫球具進行擊球聲音特性探討。首先至空曠草地以麥克風為感測器量測實際擊球之聲音，將所得之聲音線性頻譜進行分析，同時亦轉換為1/3八音頻帶模擬人耳聽覺之感受，以期了解不同高爾夫球具擊球聲音之差異，進而對好聽擊球聲音之高爾夫球具以分別觀察高爾夫球頭結構振動與衝擊音之關連性及高爾夫球具結構振動與衝擊音之關連性，再進一步對室外實際揮桿擊球聲音與室內球具衝擊音及振動模態做關聯性探討，以掌握好聽擊球聲音之高爾夫球具振動模態與擊球聲音特性關聯性。其結果得知好聽擊球聲音之高爾夫球具其聲音頻譜峰值頻率相當明顯且高頻之振動模態呈現明朗化。本文所分析之結果可作為爾後好聽擊球聲音高爾夫球具設計參考指標之一。

**關鍵詞：**線性頻譜、1/3八音頻帶、振動模態

### 1. 前言

目前市售高爾夫球具其種類眾多，包括木桿、鐵桿與推桿三種，其中木桿為第一次擊球即開球使用，因此擊球力道也相對較大，其目的在於使球飛行深遠，而木桿之樣式繁多，消費者選購時除球具外型，擊球性能、舒適度與聲音品質也是選擇重點之一，因此各家廠商無不花費大量之時間與金錢研發具良好擊球性能與聲音悅耳之球具，以供消費者選擇。

而擊球聲音與振動有著緊密之關係，於此相關研究與應用方面，在王等人[1]對一高爾夫球頭素片進行實驗模態分析結合最佳化求得球頭之機械性質進一步對球頭做模型驗證，接著探討聲音與振動模態之關連性，結果發現在打擊面、頂面及底面，三個面之振動模態皆有與聲音較大之關連性。王等人[2]進行球頭及球桿聲音量測探討球頭與球具聲音關聯性以及室內與室外球具擊球聲音之差異，最終發現由於室內敲擊力與室外不同導致室內擊球聲音較低且發現所研究之高爾夫球桿於球頭與球具在振動及聲音兩方面曲線圖皆很相似表示此球桿不因球頭組桿後受到振動及聲音的影響。王等人[3]利用理論有限元素分析與實驗模態分析對球頭結構進行模型驗證，並且透過聲音量測結果得到球頭聲音與振動之關係，藉此由球桿振動特性來改善球桿的聲音品質。王等人[4]對5種不同高爾夫球桿進行室外擊球聲音量測，將所量測到之聲音頻譜以樂音的角度進行差異性探討，而由分析結果推測擊球聲音頻譜較高之峰值比例在2、1.5個全音之球桿有較佳之擊球聲響。而康等人[5]結合儀器對不同樂器進行聲音頻譜分析定義出好

聽聲音基準，並進行實際擊球擷取擊球聲響頻譜圖與理論進行比較評估，建立起聲音頻譜特性與聲音品質之關係。翁與康[6]對不同1號木桿利用聲音量測做頻譜及音質分析發現較大振幅的峰值稱為基音，基音的數目和強弱則影響到聲音的音色，最後再藉由模擬方法，得到結構設計對於音響性質改變的影響。Roberts *et al.*[7]將擊球聲響分為分成五種特性，利用主觀評客觀兩種方式進行分析，探討五種擊球聲響特性之關聯性。

有關其他振動與聲音關聯性分析在樂器方面則有Bundesanstalt *et al.* [8]以一般之木琴片為基準，分別對兩種不同下邊形狀木琴進行振動模態與聲音輻射之關聯性比較，從中可得知兩種木琴結構不同對聲音音階比之差異。Ricardo[9]針對三種吉他於不同材質製成共鳴箱前板發音之高頻區域做比較，認為在高頻或更高頻區域的發散對共鳴箱的音色具有影響。王與林[10]對鐵琴片進行振動模態與敲擊聲音關聯性，得知第一振動模態為鐵琴片之主頻率，同時也掌握聲音線性頻譜與振動模態對應之關係。

本文目的在於掌握好聽擊球聲音之高爾夫球具擊球聲音特性，並進一步了解此球具之振動特性與擊球聲音關聯性，以建立爾後設計好聽擊球之高爾夫球具之參考依據之一。

### 2. 實驗步驟與方法

圖1為高爾夫球具圖，其編號A~E為實驗五支高爾夫球具，目前市售之高爾夫球具擊球聲音至今仍是難以掌握的領域，因而對五支高爾夫球具應用圖2之實驗分析流程圖進行實際擊球聲音與振動特性量測量測，其中編號A為市售公認好聽擊球聲音之高爾夫球具，經由室外擊球聲音量測，以聲音線性頻譜與1/3八音頻帶探討編號A與其他四支高爾夫球具之差異，進而對其做一完整振動與擊球聲音特性分析，同時亦希望藉此分析結果對爾後高爾夫球具設計有一參考之價值。

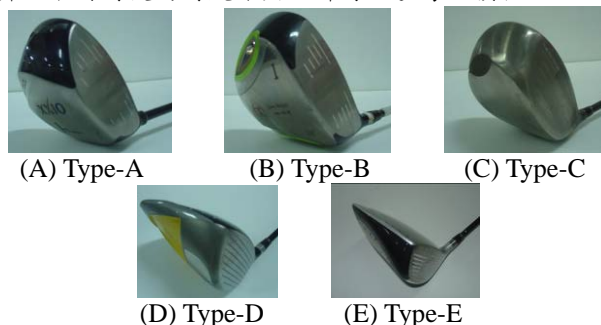


圖1 高爾夫球具圖

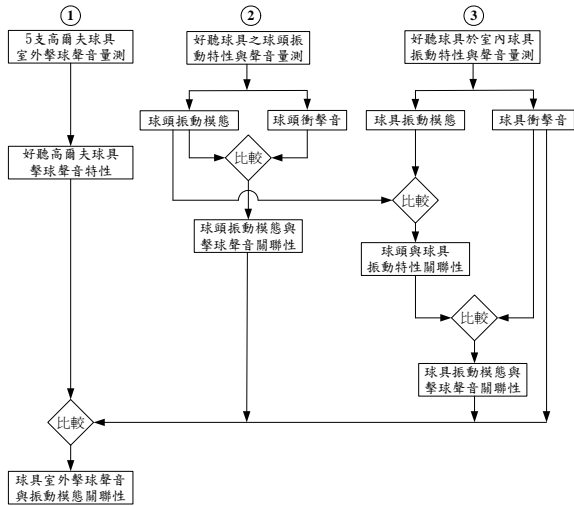


圖 2 高爾夫球具實驗分析流程圖

### 3. 高爾夫球具室外擊球聲音量測

圖 3(a)為室外擊球聲音量測示意圖，室外擊球聲音量測時以麥克風為感測器架設距地面垂直高度 1.5m 投影點與高爾夫球水平距離 0.6m 處，經實際揮桿後將打擊面中心點圖 3(b)量測訊號透過頻譜分析儀，轉快速傅立葉運算可得到自身功率頻譜密度函(autospectrum)，此即為高爾夫球具室外擊球聲音之線性頻譜，同時轉為 1/3 八音頻帶，其目地主要在於了解不同高爾夫球具衝擊音之差異。

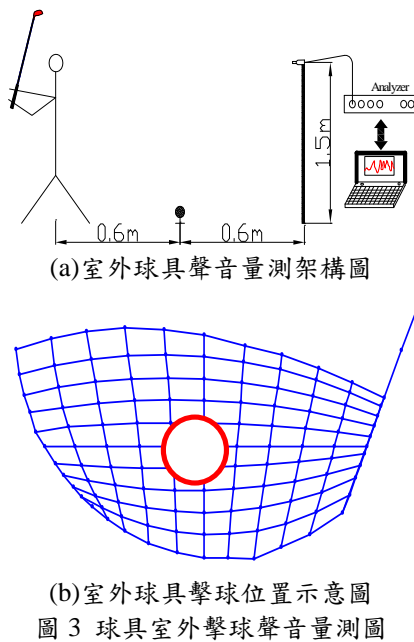


圖 3 球具室外擊球聲音量測圖

#### 3.1 室外擊球聲音量測結果與討論

經室外實際擊球量測後，將所得到聲音線性頻譜與轉換之 1/3 八音頻帶，彙整為表 1 不同高爾夫球具之線性頻譜與 1/3 八音頻帶對照表與表 2 不同高爾夫球具擊球聲音頻率進行以下之討論：

1. 表 1 之線性頻譜皆為打擊面中心位置擊球之曲線並基於±15dB 為可聽範圍下選取峰值頻率，且由於人耳聽覺並非呈現性比例關係，故轉換為 1/3 八音

頻帶並以 A 加權模擬人耳聽覺感受，以觀察不同高爾夫球具擊球聲音之差異。

2. 而由表 1 線性頻譜中，可看出 Type-A 球具其峰值頻率明顯且呈現比例關係，相較於其他四支球具峰值頻率則無固定比例，因而可推測出 Type-A 球具擊球聲音悅耳乃是因聲音峰值頻率呈現比例關係。
3. 就 5 支球具幾何形狀來看，Type-A、Type-B、Type-C 形狀相似，其主要發聲之基音約在 3900Hz 左右之峰值頻率，而 Type-D 與 Type-E 球具屬於寬扁型，其主要聲音皆來自 1700Hz 與 2000Hz 左右之峰值頻率，由此可推測若球頭為此寬扁類型，擊球聲音主要來源會以 2000Hz 以下之頻率所主導。
4. 表 1 各球具 1/3 八音頻帶比較中，得知 Type-D 與 Type-E 於 1600Hz、2000Hz 兩頻帶有較高音量分佈，其餘 3 支球具音量分佈以 3150Hz、4000Hz、5000Hz 三頻帶較高。
5. 而由表 2 各球具擊球音壓來看，各球具室外擊球聲音最大值介於 81.57~84dB 之間，顯示揮桿擊球之穩定性高，因此所得到之擊球訊息具有相當高之可靠性。
6. 表 2 之 Type-A 球具頻率比中 3921.9Hz 為基音，其餘泛音與基音之頻率比依序為 1.27、1.44、1.62、1.79，其兩兩相差在 0.17~0.18 間，更顯示出 Type-A 高爾夫球具具擊球好聽之聲音特性。

表 1 不同高爾夫球具之線性頻譜與 1/3 八音頻帶對照表

| Type | 線性頻譜 | 1/3 八音頻帶 |
|------|------|----------|
| A    |      |          |
| B    |      |          |
| C    |      |          |
| D    |      |          |
| E    |      |          |

表 2 不同高爾夫球具擊球聲音頻率表

| Type   | Freq.(Hz) | dB    | 頻率比  | Type   | Freq.(Hz) | dB    | 頻率比  |
|--------|-----------|-------|------|--------|-----------|-------|------|
| A      | 3921.9    | 84.03 | —    | C      | 3987.5    | 84.51 | —    |
|        | 4981.3    | 71.29 | 1.27 |        | 5371.9    | 75.71 | 1.35 |
|        | 5675.0    | 70.45 | 1.44 |        | 8034.4    | 74.86 | 2.01 |
|        | 6371.9    | 71.48 | 1.62 |        | 8165.6    | 75.81 | 2.05 |
|        | 7028.1    | 68.61 | 1.79 |        | 1740.6    | 85.66 | —    |
| B      | 7868.8    | 73.67 | 2.01 | 2043.8 | 80.20     | 1.17  |      |
|        | 3962.5    | 82.34 | —    | 1706.3 | 82.94     | —     |      |
|        | 4137.5    | 76.13 | 1.04 | 1996.9 | 81.93     | 1.17  |      |
|        | 4421.9    | 79.27 | 1.12 |        |           |       |      |
|        | 5700.0    | 72.57 | 1.44 |        |           |       |      |
|        | 6571.9    | 70.25 | 1.66 |        |           |       |      |
|        | 8009.4    | 71.60 | 2.02 |        |           |       |      |
| 8446.9 | 72.69     | 2.13  |      |        |           |       |      |
| 9646.9 | 70.47     | 2.43  |      |        |           |       |      |

#### 4. 好聽擊球聲音高爾夫球具之特性分析

由室外擊球量測分析結果已得知 Type-A 好聽擊球聲音高爾夫球具擊球聲音特性，並進一步探討擊球聲音發聲之部位，因此分別對球頭振動與聲音、球具振動與聲音及球具室外擊球聲音與振動特性及室內聲音關聯性分析，以掌握好聽擊球聲音高爾夫球具做一完整振動與擊球聲音特性分析。

##### 4.1 球頭振動特性與聲音量測

為得知 Type-A 打擊面、頂蓋及底蓋之振動模態特性因此於打擊面、頂蓋與底蓋三面各規劃如圖 4 之 121 實驗量測點，因此共量測 363 點，圖 5(a) 為高爾夫球頭實驗架構，使用棉線懸吊模擬自由邊界，以加速度計作為感測器固定於打擊面同時架設麥克風於球頭頂蓋 60° 角距離 0.1m 處，再以圖 5(b) 衝擊錘與高爾夫球頭兩種衝擊錘為激振器對球頭圖 5(c) 之中心位置進行敲擊進行激振，透過頻譜分析儀將量測振動訊號由快速傅立葉轉換可得到頻率響應函數與自身功率頻譜密度函數 (autospectrum)，即為高爾夫球頭衝擊音之線性頻譜，最後利用曲線嵌合軟體求得球頭模態參數，即自然頻率、模態振型與阻尼比。

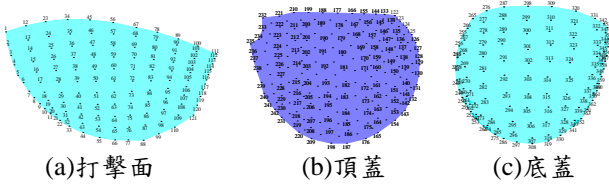


圖 4 球頭敲擊點規劃示意圖



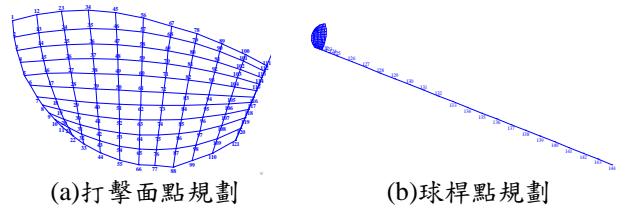
圖 5 球頭振動模態與聲音量測架構圖

##### 4.2 球具振動特性與聲音量測

在得到球頭之特性後，也對 Type-A 高爾夫球具進行實驗模態分析，整體規劃點分為球頭打擊面 121 個規劃點、球桿與握把處有 20 個規劃點、球頭與球桿接合處有 3 個規劃點，因此高爾夫球具總計 144 個規劃點，如圖 6 所示，並以衝擊錘為激振器進行實驗模態分析，

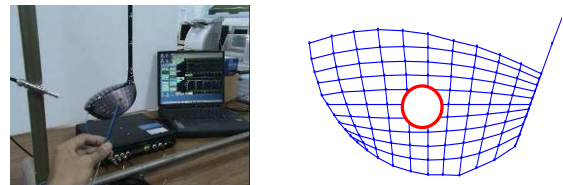
圖 7(a) 為高爾夫球具實驗架構圖，利用衝擊錘激振球頭結構，加速度計為感測器，以棉線懸吊模擬自由邊界，當感測器接收到訊號，透過頻譜分析儀快速傅立葉轉換可得到高爾夫球具之頻率響應函數，並與球頭頻率響應函數進行比對，以確認球具點數規劃適當性，最後利用曲線嵌合軟體取得高爾夫球具之模態參數，即自然頻率、模態振型及阻尼比。

於量測高爾夫球具振動訊號同時也架設麥克風，架設於球頭頂蓋 60° 角距離 0.1m 處做為感知器，同時應用與球頭量測相同之鋼質與高爾夫球頭兩種衝擊錘為激振器對球頭打擊面圖 7(b) 之中心位置進行敲擊，量測擊球聲音訊號經由頻譜分析儀做快速傅立葉轉換，可得到自身功率頻譜密度函數 (autospectrum)，此即為高爾夫球頭衝擊音之線性頻譜。



(a) 打擊面點規劃 (b) 球桿點規劃

圖 6 高爾夫球具敲擊點規劃示意圖



(a) 球具實驗架構圖 (b) 聲音敲擊位置

圖 7 球具振動模態與聲音量測架構圖

#### 4.3 結果與討論

為了掌握好聽擊球聲音高爾夫球具特性，首先對高爾夫球頭振動模態與聲音關聯性做一探討，進而對球頭與球具振動特性做比較，以了解兩者振動特性之差異，再進一步探討球具振動模態與聲音關聯性，最後針對室外擊球聲音與球具振動模態進行了解，以掌握此高爾夫球具之特性。

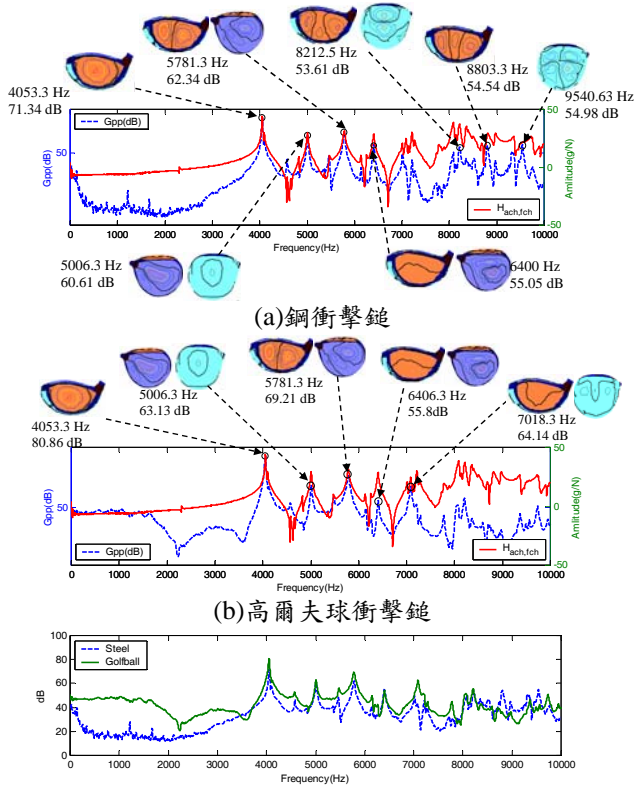
##### 4.3.1 球頭振動特性與擊球聲音關聯性

經由球頭實驗量測，將其特性彙整為圖 8 球頭振動與聲音線性頻譜比較及表 3 高爾夫球頭振動與聲音頻率對應表，討論如下：

1. 圖 8(a) 實線為球頭為頻率響應函數，虛線為鋼質衝擊錘敲擊之聲音線性頻譜，兩條曲線在峰值頻率有完整對應，其發聲頻寬涵蓋 4000Hz~10000Hz，而振動模態包含打擊面、頂蓋與底蓋三個面，其中又以打擊面 (1,1) 模態所激發出聲響最大，達到 71.34dB。
2. 以高爾夫球衝擊頭所量得之聲音線性頻譜於圖 8(b) 可看出，與振動頻率響應函數比對中，其發聲頻寬涵蓋 4000Hz~8000Hz 之間，而振動模態同樣包含打擊面、頂蓋與底蓋三個面，其中又以打擊面 (1,1) 模態所激發出聲響最大，達到 80.86dB。
3. 對鋼質及高爾夫球衝擊頭進行衝擊聲音線性頻譜比較，圖 8(c) 可看出兩條曲線在發生之峰值頻率皆相當明顯，而鋼質衝擊錘可激發出 8000Hz 以上之

聲音。

- 由表 3 可看出兩種衝擊頭所激發聲音皆與振動模態相互對應，都涵蓋打擊面、頂蓋與底蓋三個面模態，其中在 4000Hz~6400Hz 頻率之間兩種衝擊頭所激發出聲音之模態相同，整體而言高爾夫球衝擊頭衝擊聲響平均高出 3~11dB。



(c)鋼頭與高爾夫球衝擊頭聲音線性頻譜比較圖  
圖 5-8 球頭振動與聲音線性頻譜比較圖

表 3 高爾夫球頭振動與聲音頻率對應表

| 物理意義       | 振動頻率       | 高爾夫球衝擊頭 |       | 物理意義       | 振動頻率       | 鋼衝擊頭    |       |
|------------|------------|---------|-------|------------|------------|---------|-------|
|            |            | 聲音頻率    | dB 值  |            |            | 聲音頻率    | dB 值  |
| Face (1,1) | E02 4053.9 | 4053.3  | 80.86 | Face (1,1) | E02 4053.9 | 4053.1  | 69.72 |
| Crown(2,1) | E07 5007.9 | 5006.2  | 63.13 | Crown(2,1) | E07 5007.9 | 5006.2  | 60.6  |
| Sole (1,1) | E10 5782.2 | 5781.3  | 69.21 | Sole (1,1) | E10 5782.2 | 5778.1  | 58.61 |
| Face (2,1) | E14 6402.4 | 6406.3  | 55.8  | Face (2,1) | E14 6402.4 | 6400    | 55.05 |
| Crown(3,1) | E15 7015.3 | 7018.3  | 64.14 | Crown(3,1) | E15 7015.3 | 7018.3  | 64.14 |
| Face (3,1) | E26 8207.5 | 8212.5  | 53.61 | Face (3,1) | E26 8207.5 | 8212.5  | 53.61 |
| Sole (3,1) | E34 8798.2 | 8803.3  | 54.54 | Sole (3,1) | E34 8798.2 | 8803.3  | 54.54 |
|            | E40 9539.3 | 9540.63 | 54.98 | Sole (2,2) | E40 9539.3 | 9540.63 | 54.98 |

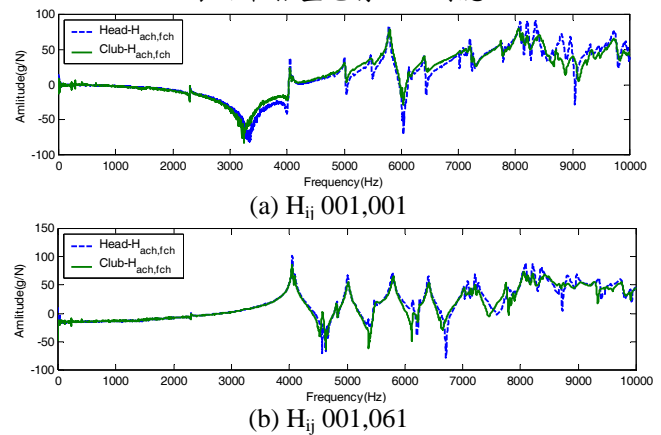
### 4.3.2 球頭與球具振動特性關聯性分析

在得知球頭振動模態與擊球聲音之關聯性後，對球具進行聲音進行振動模態與擊球聲音探討前，須先了解球頭與球具兩者振動特性之差異，以確認影響球具實驗點數規劃適當性與擊球聲音之部位，將兩者之振動特性整理成圖 5-9 球具與球頭頻率響應比對圖與表 4 高爾夫球頭與球具振動頻率及模態保證指標(MAC)對應表，討論如下：

- 圖 9 球具與球頭頻率響應比對中，球頭與球具頻率響應函數兩條曲線於同點與不同點幾乎重疊，顯示

球頭不因組桿後有重大變化，即球頭與球具振動特性相似。

- 而在自然頻率比對可由表 4 高爾夫球頭與球具振動頻率及模態保證指標(MAC)對應中可發現，球頭與球具自然頻率誤差大多在±0.4%以內，其中球具 4048.6Hz、5016.2Hz、5793.5Hz、6414.5Hz、7031.3Hz 擊球聲音主要來源之峰值頻率與球頭頻率誤差更是在±0.2%以內，顯示在自然頻率可說是幾乎完全對應。
- 從模態振型來看，球具 E01~E15 為球桿模態故無法與球頭相對應，而與球頭自然頻率對應之模態，其模態振型保證指標(MAC)值對應大都在 0.82~0.99 之間，其中與聲音相互對應之 4048.6Hz、5016.2Hz、5793.5Hz、6414.5Hz、7031.3Hz 頻率 MAC 值都在 0.85 以上，表示在振型也有一致對應。



(b)  $H_{ij}$  001,061  
圖 9 球具與球頭頻率響應函數比對圖

表 5-5 高爾夫球頭與球具振動頻率及模態保證指標(MAC)對應表

| Head Mode | Head Freq.(Hz) | Club |           | Err%  | MAC   | Head Mode | Club Mode | Club Freq.(Hz) | Err%   | MAC   |       |
|-----------|----------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|----------------|--------|-------|-------|
|           |                | Mode | Freq.(Hz) |       |       |           |           |                |        |       |       |
| 01        | 2305.3         | 16   | 2301.6    | -0.16 | 0.926 | 21        | 7774.2    | 35             | 7747.5 | -0.34 | 0.929 |
| 02        | 4053.9         | 17   | 4048.6    | -0.13 | 0.994 | 22        | 7900.0    | 37             | 7882   | -0.23 | 0.847 |
| 03        | 4094.3         | 18   | 4087.9    | -0.16 | 0.953 | 24        | 8086.1    | 38             | 8056.9 | -0.36 | 0.538 |
| 04        | 4576.4         | 19   | 4574.3    | -0.05 | 0.828 | 25        | 8136.2    | 39             | 8123.2 | -0.16 | 0.69  |
| 05        | 4666.0         | 20   | 4658.4    | -0.16 | 0.841 | 26        | 8207.5    | 40             | 8206.2 | -0.02 | 0.942 |
| 06        | 4831.3         | 21   | 4820.8    | -0.22 | 0.932 | 27        | 8351.8    | 41             | 8363.5 | 0.14  | 0.952 |
| 07        | 5007.9         | 22   | 5016.2    | 0.17  | 0.993 | 29        | 8494.5    | 43             | 8475.9 | -0.22 | 0.835 |
| 09        | 5471.4         | 23   | 5487      | 0.29  | 0.826 | 31        | 8593.4    | 44             | 8579.2 | -0.17 | 0.712 |
| 10        | 5782.2         | 25   | 5795.3    | 0.23  | 0.82  | 32        | 8657.5    | 45             | 8651.8 | -0.07 | 0.62  |
| 12        | 6190.0         | 26   | 6198.2    | 0.13  | 0.954 | 34        | 8798.2    | 46             | 8740.2 | -0.66 | 0.762 |
| 14        | 6402.4         | 28   | 6414.5    | 0.19  | 0.98  | 35        | 8964.7    | 48             | 9004.5 | 0.44  | 0.92  |
| 15        | 7015.3         | 30   | 7031.3    | 0.23  | 0.822 | 37        | 9314.6    | 49             | 9300.2 | -0.15 | 0.562 |
| 16        | 7088.6         | 31   | 7103.5    | 0.21  | 0.939 | 39        | 9467.9    | 50             | 9449.5 | -0.19 | 0.562 |
| 17        | 7147.0         | 32   | 7137.8    | -0.13 | 0.776 | 43        | 9754.9    | 51             | 9748.8 | -0.06 | 0.7   |
| 18        | 7212.6         | 33   | 7209      | -0.05 | 0.987 | 44        | 9942.5    | 53             | 9925.2 | -0.17 | 0.51  |
| 19        | 7264.2         | 34   | 7258.3    | -0.08 | 0.905 | 45        | 9973.3    | 54             | 9979.6 | 0.06  | 0.48  |

### 4.3.3 球具振動模態與室內擊球聲音關聯性

由上一小節得知可將球頭之振動模態視為此球具振動模態後，將其量測到之聲音特性與振動模態應用球頭與球具聲音與振動關聯性分析模組彙整成圖 10 球具振動與聲音線性頻譜比較圖與表 5 高爾夫球具振動與聲音頻率對應表，進行以下討論：

- 圖 10(a)為以鋼衝擊頭所量得之頻率響應曲線與聲音線性頻譜，其聲音頻率涵蓋範圍於 4000Hz~8200

Hz，其振動模態與球頭相同，同樣包含打擊面、頂蓋與底蓋三個面，其中以打擊面(1,1)模態所激發出聲響最大，達到 57.75dB。

- 以高爾夫球衝擊頭所量得之聲音線性頻譜於圖 5(b) 可看出其發聲頻寬涵蓋 4000Hz~6400Hz 之間，除 5018.8Hz 涵蓋底蓋(1,1)模態其餘 4043.8 Hz、5787.5 Hz、6412.5 Hz 所發出之聲響皆由打擊面與頂蓋振動模態所產生，又以打擊面(1,1)模態所激發出 67.57dB 之聲響最大。
- 綜合兩種衝擊鉞所激發出聲音線性頻譜由圖 10 (c) 來看，皆以 4050Hz 左右頻率為基音，其餘人耳可聽到之泛音峰值頻率皆呈現明朗化與一定比例之關係，與室外擊球聲音特性相似。

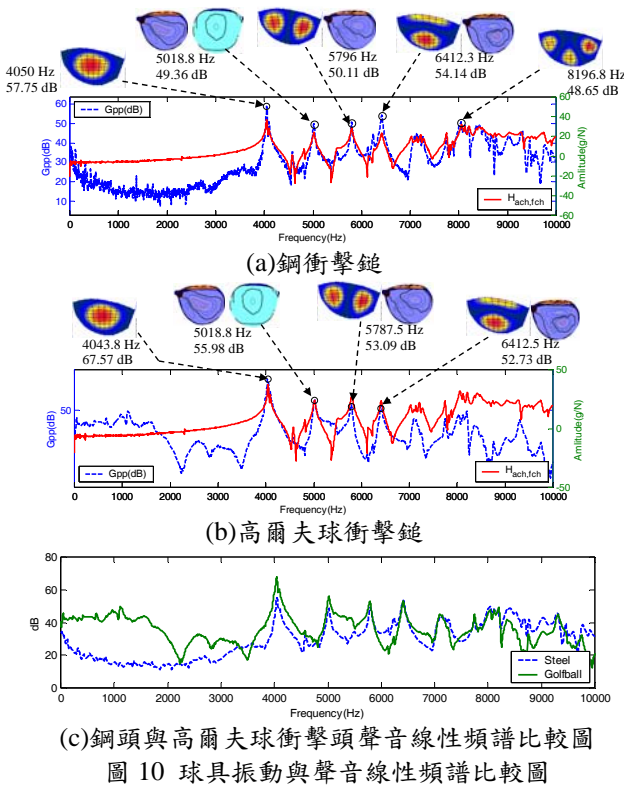


圖 10 球具振動與聲音線性頻譜比較圖

#### 4.3.4 球具室外擊球聲音與振動模態及室內聲音關聯性

由以上之討論可了解室內球具敲擊聲音與振動特性分析，因此可進一步對室外擊球聲音與球具振動及室內聲音做一比較，將其整理成圖 11 球具振動與室外擊球聲音線性頻譜比較圖與圖 12 球具室內擊球與室外擊球聲音線性頻譜比較圖做一探討，討論如下：

- 圖 11 之聲音線性頻譜與頻率響應函數比對中，看出其峰值頻率略向前偏移約 100Hz，乃因室外擊球為手握邊界而室內振動量測為自由邊界，因而造成此現象產生。
- 而由圖 11 可看出室外擊球主要聲音來源同樣來自打擊面、頂蓋與底蓋三個面振動模態，涵蓋頻率範圍在 3900Hz~8000Hz 之間，其中又以 3921.9Hz 打擊面(1,1)模態所激發出聲響最大，達到 84.03dB。

- 以高爾夫球衝擊頭敲擊之聲音與室外擊球聲音進行比較，由圖 12 可看出兩條曲線有一致性，但由於不同邊界條件下敲擊球具使得室外擊球聲音峰值頻率向前偏移 50 Hz~100Hz，且整體峰值皆大於室內敲擊聲壓約 15~20dB。

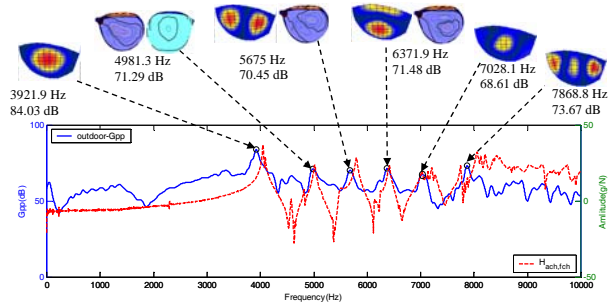


圖 11 高爾夫球具振動與室外擊球聲音線性頻譜比較圖

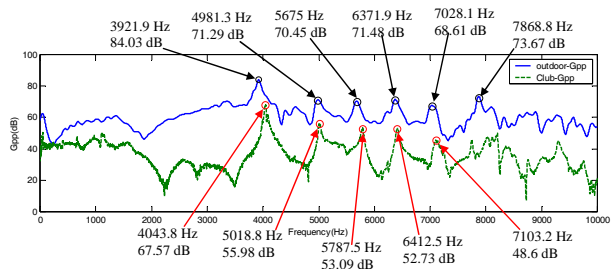


圖 12 高爾夫球衝擊鉞敲擊聲音與室外擊球聲音線性頻譜比較圖

## 5. 結論

本文分別進行室外不同高爾夫球具擊球聲音並探討好聽擊球聲音之特性與其球具之完整振動與擊球聲音特性分析，有以下幾點結論：

- 本文所建立高爾夫球具特性分析步驟有助於不同球具進行分析時做為一標準作業流程，而所分析之結果也可作為爾後設計好聽擊球聲音高爾夫球具參考之一，爾後更可結合有限元素分析建構等效數學模型進行虛擬測試，以減少樣品製作次數。
- 由室外擊球所得之聲音線性頻譜，掌握好聽擊球聲音高爾夫球具其發聲之基音與泛音峰值頻率皆明朗化且具比例之關係。
- 本文進行實驗時首先掌握球頭振動特性分析進而對球具做振動分析，可縮短球具實驗之點數與時間，而分析之結果得知好聽擊球聲音高爾夫球具其球頭與球具振動特性相似，即自然頻率與模態振型對應佳，因此可將球頭振動模態視為球具之振動模態，且 5000Hz 以上高頻之頂蓋與底蓋振動模態仍相當明朗。
- 球具於室內利用自製高爾夫球衝擊鉞，敲擊所激發出聲音線性頻譜與室外實際擊球之聲音線性頻譜，在整體而言有一致趨勢，爾後可用此方法進行室內敲擊聲音量測，應可大致掌握室外擊球之聲音特性。
- 好聽擊球聲音高爾夫球具室內敲擊與室外擊球聲音特性相似，其擊球聲音基音皆為打擊面(1,1)模態，其餘泛音包含打擊面、頂蓋與底蓋三個面不同

模態所激發。

## 6. 致謝

本研究承蒙97年度教育部產學園區計畫及大田精密工業股份有限公司提供研究經費，特此誌謝。

## 7. 參考文獻

1. 王栢村，陳又毓，許燕吉，高毓廷，黃裕仁，謝佳雄，2007，「高爾夫球頭聲音與振動模態關聯性探討」，2007『屏東科技大學』暨『北京科技大學』第二屆學術交流研討會，屏東，論文編號：C006。
2. 王栢村，陳又毓，高毓廷，黃裕仁，陳詠升，2007，「高爾夫球具擊球聲音與振動模態關聯性探討」，第十六屆中華民國振動與噪音工程學術研討會，台北，論文編號：048。
3. 王栢村，林昆正，徐川洋，2003，「高爾夫球頭振動與聲音相關聯性之探討」，中華民國音響學會第十六屆學術研討會論文集，台北，第212-219頁。
4. 王栢村，李建興，許燕吉，高毓廷，謝佳雄，2006，「不同高爾夫球桿擊球之音頻特性分析」，中華民國音響學會第十九屆學術研討會論文，台南，第67-73頁。
5. 康原，溫柏青，鍾文仁，張永鵬，王俊傑，2003，「高爾夫球木桿頭力學與音響」，中華民國第二十屆機械工程研討會論文集，台北，第1009-1016頁。
6. 翁焜煌，康淵，2005，「高爾夫1號木桿頭打擊聲響品質之頻譜分析研究」，大專高爾夫學刊，第三期，第26-39頁。
7. Roberts, J. R., Jones, R., Mansfield, N. J., and Rothberg, S. J., 2005, "Evaluation of Impact Sound on the Feel of a Golf Shot," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 287, pp. 651-666.
8. Bundesanstalt, P. T., Braunschweig, and Germany, 1995, "Practical Tuning of Xylophone Bars and Resonators," *Applied Acoustics*, Vol. 46, pp. 103-127.
9. Ricardo, R.B., 2002, "Vibration Measurement in the Classical Guitar," *Applied Acoustics*, Vol. 62, pp. 311-322.
10. 王栢村，林怡馨，2007，「鐵琴片振動特性與聲音關聯性之探討」，中華民國音響學會第十九屆學術研討會，台北，論文編號：C5。

## Characteristic Analysis on Base Good

### Sound in Different Golf Clubs

Bor-Tsuen Wang<sup>1</sup>, Kuo-Chi Ting<sup>2</sup>,

Yu-Ren Huang<sup>3</sup>, Yung-Sheng Chen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor

<sup>2</sup>Graduate student

<sup>1,2</sup>Department of Mechanical Engineering

National

Pingtung University of Science and

Technology

<sup>3</sup>Engineer

<sup>3</sup>O-TA Precision Industry Co., Ltd



中華民國振動與噪音工程學會

Chinese Society of Sound and Vibration

## ABSTRACT

This paper aims to discuss present market recognition good impact sound and another four golf clubs to character the sound properties. First, the golf clubs were measured actual sound by microphone in open space, and obtained sound linear spectrum, furthermore transferred 1/3 octave band to simulation human's hearing and understand impact sound in different golf clubs. It's also observing correlated study between vibration modes and impact sound of golf head and golf club. Finally, to realize the club vibration modes and impact sound correlated study between outdoor impact sound with indoor hit sound and vibration modes. Result shows that the peak resonances frequencies and high frequencies vibration modes of the club are obviously and clearly. This analysis result can be index for future golf club designed..

**Keywords:** linear spectrum、1/3 octave band、vibration mode