

高爾夫球具擊球聲音與振動模態關聯性探討

王栢村¹、陳又毓²、高毓廷³、黃裕仁³、陳詠升³

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

本文主要探討高爾夫球桿擊球聲音與球桿之振動模態之間的關聯性，首先分別對單一高爾夫球頭與完整高爾夫球具進行實驗模態分析，分別得到球頭與球具之振動模態，進而觀察高爾夫球頭與高爾夫球具振動模態之關連性，在進行實驗模態分析的同時，順道量測室內高爾夫球頭與高爾夫球具之衝擊音，觀察室內高爾夫球頭與高爾夫球具衝擊音之關連性，進而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，最後進行室外實際揮桿擊球聲音之量測，將室外實際揮桿擊球聲音分別對室內球頭與室內球具衝擊音及振動模態做關聯性探討，在高爾夫球頭與高爾夫球具對應振動模態中，發現兩者之頻率誤差皆在±20Hz內，而從聲音頻譜圖發現室內高爾夫球頭與高爾夫球具衝擊音有極大之關連性，而室外高爾夫球具擊球聲音頻譜圖與室內高爾夫球頭及高爾夫球具衝擊在聲音大之頻率也有所關連性，往後能藉由本篇所作之結果，作為後續基於聲音品質指標之變更設計之參考依據。

關鍵字：有限元素分析，實驗模態分析，振動模態，聲音頻譜。

1. 前言

高爾夫球向來都是一項熱門的運動，熱愛此項運動的人也逐年增加，對於球具的品質要求也是越來越注重，為了因應市場的需求，高爾夫球具的性能也發展的越來越人性化，在種種的需求下，開發一種新式球具所要消耗的是大量的設計時間及耗材成本，因此研究者逐漸以電腦模擬實際球具的方式去縮短開發的時間及成本。

結合有限元素分析(Finite Element Analysis, FEA)與實驗模態分析(Experimental Modal Analysis, EMA)方法之應用方面，Wang and Wu [1]主要是探討不同邊界高爾夫球木桿之振動特性與模態特性，結合有限元素分析與實驗模態分析驗證三種不同邊界下之高爾夫球木桿，得到等效數學模型，並進一步比較不同邊界下對於擊球狀態之影響。Gibson and Wen [2]主要是結合理論模態分析與實驗模態分析，模擬自由邊界以探討三種不同複合材料平板之特性，分別為Isotropic aluminum、orthotropic E-glass/Derekane Vinylester及highly orthotropic graphite/epoxy materials，分別用尼龍

細線懸吊結構及結構下墊海棉墊來模擬自由邊界，並比較兩者的差異性，以衝擊錘為激振器，壓電加速度計為感應器進行實驗。利用半能量帶寬法(half power bandwidth technique)取得系統之損失因子(loss factor)，即為系統之阻尼。結果發現以尼龍細線懸吊之實驗所得損失因子比較接近理論所得的值。

Merkel and Tom [3]採用有限元素分析與實驗模態分析對四種不同型號之高爾夫球桿進行分析，並說明四種球桿動態特性的相異之處。發現多數模態振型之節線接近於甜蜜區，因此可作為球桿、球頭設計之參考依據，同時也探討擊球點於甜蜜區與非甜蜜區，握把、球頭之振動頻率響應，以瞭解揮桿過程之能量損失情形，阻尼元素影響球桿的主要頻率介於750至2500 Hz之間，好的擊球能量在低頻的bending mode，而不好的則是介於300至3000Hz之間。Friswell et al.[4]利用有限元素與實驗模態分析對高爾夫球桿進行分析，並對其動態模型的結果進行比較，也從量測到的資料來評估球桿的剛性與球頭之慣性特性，進而對理論模型進行改善。

Cheong et al.[5]使用四種不同機械特徵對球桿進行實驗量測，並利用有限元素軟體經由收斂性分析得到球桿性能評估與驗證，未來可依此等效數學模型投入未來球桿製造開發過程之參考依據，因而減少研發時間與提高生產效能。尹和盧[6]應用有限元素法探討高爾夫球頭與高爾夫球碰撞之恢復係數(COR)，並以實驗所得到的結果進行模型驗證。使用ANSYS/Structural及ANSYS/LS-DYNA分別對USGA制定的鈦合金校正圓板及不同幾何尺寸的校正鈦板作恢復係數模擬，將測試板換成球頭並對Structural及LS-DYNA分析的結果比較其差異性，結果顯示Structural模組計算時間比LS-DYNA來得長，不過整體上無論是用標準試片還是球頭，其誤差都在低於1.5%。

在擊球聲音品質方面，王等人[7]對一高爾夫木桿球頭進行有限元素分析與實驗模態分析進行模型驗證，以確認等效數學模型，在進行實驗模態量測同時，擷取球頭聲音信號，進而探討球頭聲音與振動特性之關聯性。Hocknell et al.[8]利用非接觸式之雷射振動儀對空心球頭之三種曲面進行實驗模態分析，同時進行有限元素分析得到模態參數，與實驗進行量測數據比對，得到模態特性，進一步探討球頭中心擊球與非中心擊球所產生之加速度與頻譜，從中觀察球頭模態與聲音之關聯性。

Roberts et al.[9]結合主觀資料量測及客觀資料量測，針對高爾夫擊球聲音與感覺之關聯性探討，主觀量測中，定義高爾夫擊球聲音特性並提出五種問題，利用問卷方式以皮爾森法進行分析，客觀量測中，在室外進行實際擊球，以噪音計做為感測器量測，最後比較主觀及客觀量測之數據，得到高爾夫擊球聲音特性之量化。王和黃[10]主要探討敲擊三種不同球頭高爾夫球桿的聲音，利用感覺噪音級(PNL)、語言干擾位準(SIL)、優先語言干擾位準(PSIL)、響度級(LL)來比較其聲音的特性與品質的差異。

翁和康[11]針對九種不同廠牌之1號木桿球頭之擊球聲音，利用擊球聲音頻譜與人耳聽覺判別擊球聲音品質，以建立球頭擊球好聽與否之鑑別方法。Wicks et al.[12]比較高爾夫桿鍛造球頭(Forged Heads)與鑄造球頭(Cast Heads)對擊球感覺差異性之探討，進行實驗模態分析與球頭聲音頻譜量測，藉此定義高爾夫擊球感覺指標。

在擊球振動品質方面，王和黃[13]經由實驗模態分析所得有握把與無握把高爾夫球桿之模態參數，包含自然頻率、阻尼比及振型，來探討握把對三種高爾夫桿之影響。Roberts et al.[14]結合主觀量測資料與客觀量測資料以探討高爾夫球擊球的感覺，主觀量測分為五種擊球感覺特性以皮爾森法分析，客觀量測中，在室外進行實際擊球，以加速度計為感測器量測，最後比較主觀及客觀量測之數據，得到高爾夫擊球振動特性之量化。

本文目的是要了解高爾夫球具揮桿擊球時所產生之振動與聲音關聯性，因此針對高爾夫球頭與高爾夫球具進行實驗模態分析與擊球之聲音量測，圖1為高爾夫球具擊球聲音與振動模態關聯性探討之流程圖。

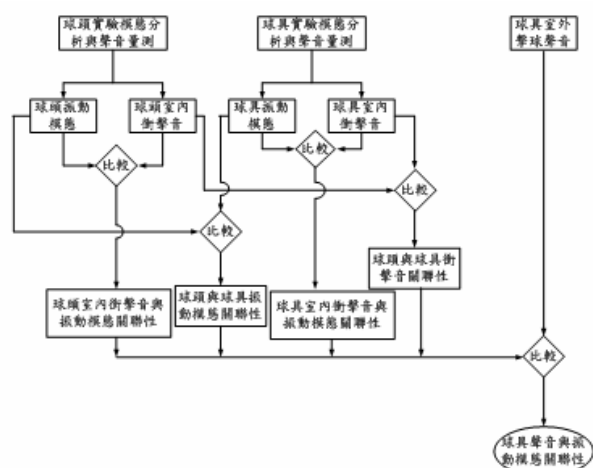


圖 1.高爾夫球具擊球聲音與振動模態關聯性探討之流程圖

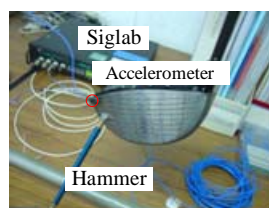
2. 實驗方法與步驟

本文針對高爾夫球具擊球聲音與振動模態之關聯性探討，因此對高爾夫球頭與高爾夫球具進行實驗，其中包括實驗模態分析與擊球聲音量測。

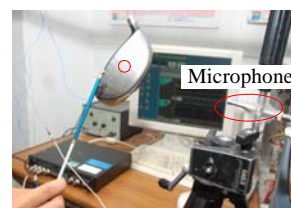
2.1球頭實驗模態分析與聲音量測

為了解高爾夫球頭結構之振動模態與衝擊音，必須進行以下量測實驗：

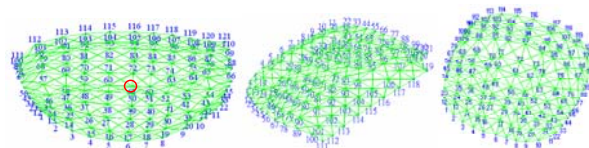
- (1) 首先將進行實驗模態分析，圖2(a)為實驗架構示意圖，衝擊錘為激振器，加速度計為感測器，以固定加速度，計移動衝擊錘之方式進行量測，當感測器接收到訊號，透過頻譜分析儀快速傅立葉轉換可得到頻率響應函數，利用曲線嵌合軟體可取得高爾夫球頭結構之振動參數，其中包括自然頻率、模態振型與阻尼比。
- (2) 做實驗模態分析同時也量測敲擊高爾夫球頭之衝擊音，如圖2(b)為室內高爾夫球頭衝擊音量測示意圖，以衝擊錘為激振器，麥克風為感測器，其中以移動衝擊錘分別對打擊面、頂蓋及底蓋進行敲擊，而固定麥克風於距離高爾夫球頭打擊面中心點0.2m處如圖2(c)，進行打擊面、頂蓋與底蓋衝擊音之量測，量得訊號透過頻譜分析儀經快速傅立葉轉換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)實驗架構示意圖



(b)球頭衝擊音量測圖

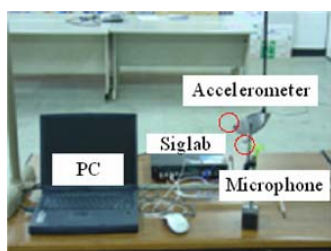


(c)打擊面、頂蓋、底蓋實驗規劃點

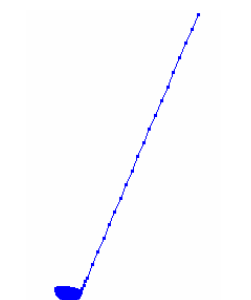
圖2. 球頭振動模態與聲音量測架構示意圖

2.2球具實驗模態分析與聲音量測

在了解單獨球頭之振動模態與擊球聲音之間的關係後，接著進行高爾夫球具結構之振動模態與擊球聲音之探討，首先進行實驗模態分析，圖3為球具振動模態與聲音量測架構示意圖，衝擊錘為激振器，加速度計為感測器，以固定加速度計，移動衝擊錘之方式進行量測，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頻率響應函數，利用曲線嵌合軟體可取得高爾夫球頭結構之振動模態，在做實驗模態分析同時也量測敲擊球頭之衝擊音，將感測器改為麥克風，以固定麥克風距離高爾夫球具打擊面中心點0.2m，移動衝擊錘之方式進行室內高爾夫球具衝擊音之量測，透過頻譜分析儀經快速傅立葉轉換得到自身功率頻譜密度函數(autospectrum)，此即為高爾夫球具衝擊音之線性頻譜。



(a)球具實驗量測架構圖



(b)球具量測點示意圖

圖 3.球具振動模態與聲音量測架構示意圖

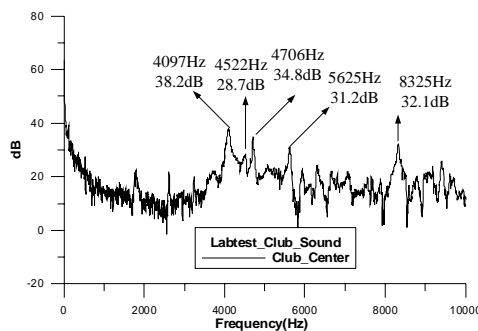


圖6.球具室內衝擊音線性頻譜圖

2.3球具室外擊球聲音量測

在了解室內高爾夫球頭與高爾夫球具之衝擊音後，接著就會針對室內實際揮桿擊球聲音進行量測與分析，圖4為麥克風架設示意圖，以麥克風為感測器，分別放置於離地面高度1m與1.5m位置進行聲音量測，高爾夫球擺於離麥克風投射點0.6m處，量得實際擊球聲音訊號後，透過頻譜分析儀經快速傅立葉轉換，得到自身功率頻譜密度函數(autospectrum)，此即為室外實際揮桿之聲音線性頻譜。



圖 4.室外擊球聲音量測示意圖

3. 結果與討論

球具聲音特性分析

圖5是球具室內衝擊音量測點示意圖，以衝擊錘敲擊球具打擊面中心點量得室內球具衝擊音，圖6是球具室內衝擊音線性頻譜圖，可得知在4097Hz頻率下有較大之聲音38.2dB，此外，基於最高音±10dB為可聽到聲音之範圍，分別有4706Hz的34.8dB、4522Hz的28.7dB、5625Hz的31.2dB與8325Hz的32.1dB，故初步得知主控球具聲音的頻率介於4000Hz~8500Hz。

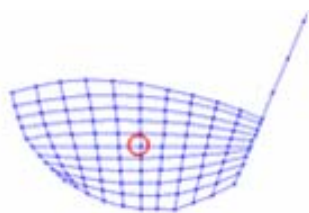


圖5.球具室內衝擊音量測點示意圖

球具室外擊球聲音

在室外實際揮桿擊球聲音部分，量測位置距地面高度分別為1.5m與1.0m，圖7球具室外擊球聲音線性頻譜圖，討論如下：

- (1) 圖中兩條重疊之線性頻譜分別為距地面高度1.5m與1.0m所量測之聲音線性頻譜，可觀察出此球具最高音90.6dB之頻率為1718.3Hz主導此球具之擊球聲音，而基於最高音±10dB為可聽到聲音之範圍，在1718.3Hz下之聲音內沒有任何頻率，因此推判此球具為單一頻率主導擊球聲音。
- (2) 在圖中下面一條線性頻譜為距地面高度1.5m之聲音頻譜值減掉距地面高度1.0m之聲音頻譜值，可以看出其值誤差大部份在±10dB內，代表著量測位置高度上的不同，不會影響球具激發出聲音頻率的趨勢。
- (3) 聲音高的頻率與球頭頂蓋的頻率有關聯性，初步推判主控球具之聲音，極為球頭頂蓋。

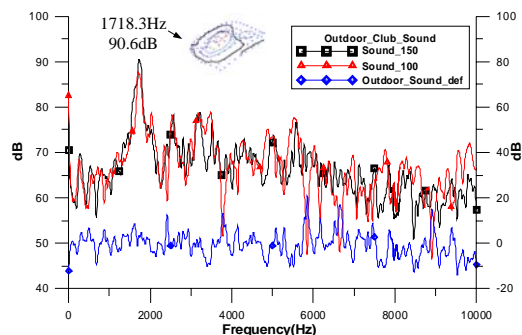


圖7球具室外擊球聲音線性頻譜圖

球具室內衝擊音與室外擊球聲音關聯性

在得知高爾夫球具室內衝擊音與室外擊球聲音特性後，將兩者之聲音線性頻譜重疊起來做比較，如圖8具室內與室外聲音線性頻譜圖，討論如下：

- (1) 聲音頻譜趨於平穩沒有太大的起伏，是由於在室內進行聲音量測所使用的衝擊錘為鋼頭，其硬度較高，因而激出平穩的線性頻譜，相對的室外量測是以實際擊球激出聲音，而球的硬度較低，因此激出來的聲音線性頻譜會有明顯的聲音落差。
- (2) 高爾夫球具室內量測之衝擊音遠低於室外擊

球聲音，由於室內使用衝擊錘敲擊球具的力道較小，而室外實際擊球的力道相當大，因此室內衝擊音相較於室外實際擊球聲音明顯低很多。

- (3) 高爾夫球具室內衝擊音高之頻率與室外實際擊球聲音高之頻率的比較，由於室內聲音量測之力道很小，所激出之聲音為打擊面主控之聲音，介於4000~8500Hz之間，而室外擊球聲音施予力道較大，因此激出打擊面以外之主控音，如頂蓋之主控音。

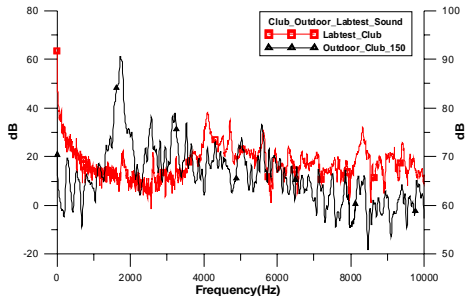
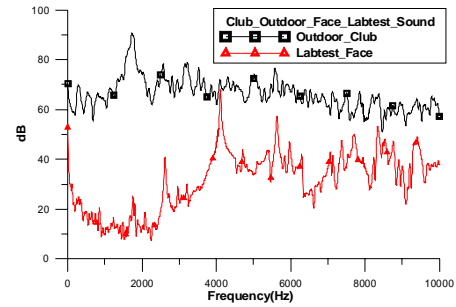


圖8球具室內衝擊音與球具室外擊球聲音線性頻譜圖

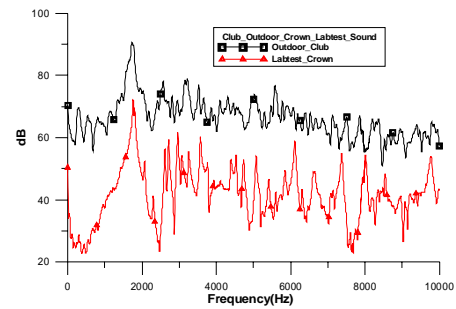
球具室外擊球聲音與球頭室內衝擊音之關聯性

探討過高爾夫球具室內衝擊音與球具室外擊球聲音關聯性後，接著所要了解的是高爾夫球具室外實際擊球與高爾夫球頭是內衝擊音之關連性，如圖9高爾夫球具室外擊球聲音與高爾夫球頭室內衝擊音比對圖，討論如下：

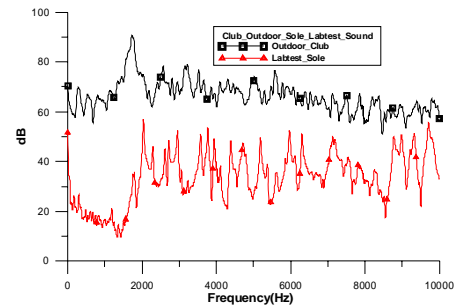
- (1) 在圖9(a)高爾夫球具室外擊球聲音與室內高爾夫球頭打擊面衝擊音比對圖中，室內球頭打擊面激出最高音之頻率為4109Hz，雖然與球具室外擊球聲音有對應到，但此頻率在室外擊球聲音卻不是很明顯的高音，不過在頻率5581.3Hz時，室內高爾夫球頭打擊面衝擊音與球具室外擊球聲音之頻率有對應且皆有較高的聲音，因此高爾夫球頭打擊面在頻率5581.3Hz下有影響高爾夫球具擊球聲音之要件。
- (2) 在圖9(b)高爾夫球具室外擊球聲音與室內高爾夫球頭頂蓋衝擊音比對圖中，前幾個高音之頻率1718.3Hz、2575Hz、3156.3Hz、3525Hz及5581.3Hz中，無論是室內高爾夫球頭頂蓋衝擊音及高爾夫球具室外實際擊球聲音，皆有高音的關係在，得知1718.3Hz、2575Hz、3156.3Hz、3525Hz及5581.3Hz為主導高爾夫球具擊球聲音之頻率。
- (3) 在圖9(c)高爾夫球具室外擊球聲音與室內球頭底蓋衝擊音比對圖中，室外擊球聲音較高之頻率與底蓋衝擊音沒有相關之對應，所以高爾夫球頭底蓋影響球具擊球聲音大小關聯性不大。



(a)球具室外擊球聲音與室內球頭打擊面衝擊音比對圖



(b)球具室外擊球聲音與室內球頭頂蓋衝擊音比對圖



(c)室外擊球聲音與室內球頭底蓋衝擊音比對圖

圖9. 球具室外擊球聲音與球頭室內衝擊音比對圖

球具室內衝擊音與球頭室內衝擊音之關聯性

探討過高爾夫球具室外擊球聲音與高爾夫球頭室內衝擊音之關聯性後，接著探討高爾夫球具室內衝擊音與高爾夫球頭室內衝擊音之關聯性，圖10為高爾夫球具室內衝擊音與室內高爾夫球頭打擊面衝擊音比對圖，討論如下：

- (1) 在圖10高爾夫球具室內衝擊音與室內高爾夫球頭打擊面衝擊音比對圖中，高爾夫球具室內衝擊音高之頻率4096.7Hz、4521.8Hz、5625Hz與8325Hz分別與室內高爾夫球頭打擊面衝擊音高之頻率4109.4Hz、4518.7Hz、5628.1Hz與8340.6Hz皆有對應。
- (2) 高爾夫球具室內衝擊音與室內高爾夫球頭打擊面衝擊音之高音頻率誤差在±20Hz內，得知高爾夫球頭在加上高爾夫球桿之後，對於聲音頻率的影響不大，是由於高爾夫球頭頂蓋與球桿皆為碳纖維材料之因素。

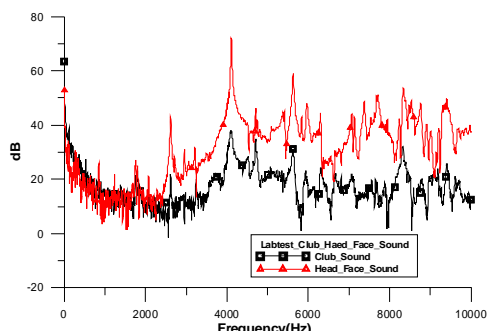


圖10.球具室內衝擊音與室內球頭打擊面衝擊音比對圖

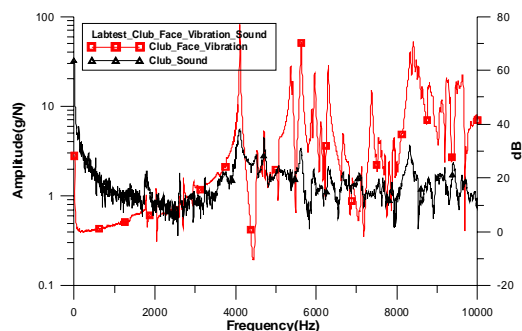


圖12.室內球具衝擊音與球頭振動模態之比對圖

3.2 球具擊球聲音與振動模態關聯性探討

在了解高爾夫球具聲音特性後，緊接著針對高爾夫球具擊球聲音與球具之結構振動之關聯性探討。

室內球具振動與室內球頭振動特性之關聯性

本節探討室內高爾夫球具與室內高爾夫球頭振動線性頻譜之間的差異性，圖11是室內高爾夫球具與室內高爾夫球頭振動線性頻譜比對圖，討論如下：

- (1) 室內高爾夫球具與室內高爾夫球頭之振動頻率非常接近，頻率誤差皆在 $\pm 10\text{Hz}$ 內相當於 $\pm 1\%$ 內，這和以前的經驗球具與高爾夫球頭之頻率誤差在 $\pm 200\text{Hz}$ 相當於 $\pm 6\%$ 有所不同。
- (2) 由於本文探討之高爾夫球頭頂蓋為碳纖維材料，不同以往整顆高爾夫球頭為鈦材質，因此高爾夫球頭之振動模態與接上球桿之球具振動模態頻率誤差於 $\pm 1\%$ 內，代表著此高爾夫球頭之振動模態特性能視為球具之振動模態特性。

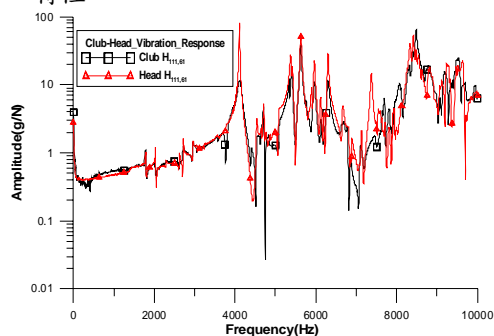


圖11.室內球具振動與球頭振動線性頻譜比對圖

球具室內衝擊音與球頭振動模態之關聯性

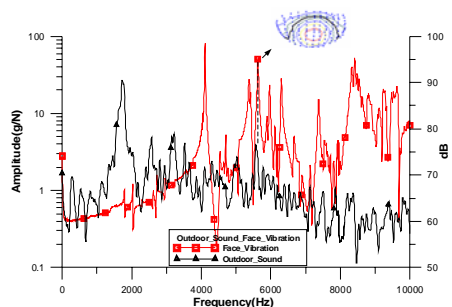
得知此高爾夫球頭之振動模態可以視為此球具之振動模態後，接著探討室內球具衝擊音與高爾夫球頭振動模態之關聯性，如圖12，討論如下：

- (1) 室內高爾夫球具衝擊音之高音頻率與高爾夫球頭振動模態頻率皆有對應，因此在室內所量測之球具衝擊音，能以高爾夫球頭之振動模態去預測擊球聲音之頻率與高低。

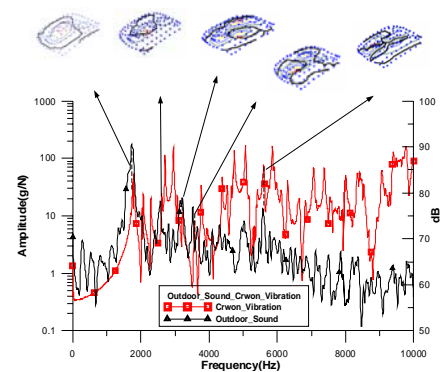
球具室外擊球聲音與球頭振動模態之關聯性

為了清楚了解揮桿之聲音是由高爾夫球頭哪一部份主導，圖13是球具室外擊球聲音與室內球頭振動線性頻譜比對圖，討論如下：

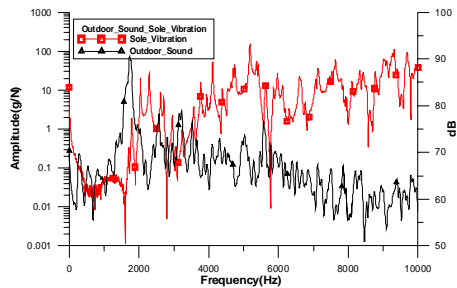
- (1) 在圖13(a)高爾夫球具室外擊球聲音與高爾夫球頭打擊面振動比對圖中，聲音高之頻率與打擊面振動頻率的關連性很明顯沒太大之關係，唯有在頻率 5581.3Hz 有較高之聲音與打擊面的振動模態有所對應。
- (2) 在圖13(b)高爾夫球具室外擊球聲音與高爾夫球頭頂蓋振動比對圖中，由於聲音最高之頻率 1718.3Hz 與高爾夫球頭頂蓋振動模態有所對應，且其他高音之部分，頻率 2575Hz 、 3156Hz 、 3525Hz 與 5581.3Hz 皆與高爾夫球頭頂蓋振動模態相對應，因此擊球聲音高之頻率明顯與頂蓋振動模態有所關聯。
- (3) 在圖13(c)室外擊球聲音與高爾夫球頭底蓋振動比對圖中，則沒有明顯之高音頻率對應，因此擊球聲音高之頻率與頂蓋振動模態沒有太大之關聯性。



(a) 室外擊球聲音與球頭打擊面振動比對圖



(b) 室外擊球聲音與球頭頂蓋振動比對圖



(c) 室外擊球聲音與球頭底蓋振動比對圖

圖13.球具室外擊球聲音與球頭振動線性頻譜比對圖

4. 結論

在室外高爾夫球具擊球聲音與室內高爾夫球頭振動模態關聯性探討中，結論如下：

- (1) 本文所量測之高爾夫球頭不同以往材料皆為鈦材料，頂蓋以碳纖維材料建構，因此得到之球具模態特性與高爾夫球頭模態特性對應性高，頻率誤差皆在±1%內。
- (2) 得知高爾夫球頭頂蓋主導揮桿擊球聲音，與過去的經驗打擊面為主導聲音之觀念有所不同，或許是以前的球頭材料只有鈦較為單純，而此篇所探討之高爾夫球頭是由頂蓋碳纖維與其他部位為鈦構成，對於往後基於良好聲音品質之設計變更，會朝著更改高爾夫球頭頂蓋之結構特性為方向。

5. 致謝

本研究承蒙96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。

6. 參考文獻

1. 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.
2. Gibson, R. F., and Wen, Y. F., 1993, "Evaluation of Boundary Condition for a Composite Plate Vibration Test," *Proceeding of the Spring Conference on Experimental Mechanics*, Detroit, pp.19-27.
3. Merkel, R. C., and Tom, B., 1999, "Dynamic Characterization and Comparison of Golf Clubs," *Proceedings of the 17th International Modal Analysis Conference*, pp. 513-517.
4. Friswell, M. I., Smart, M. G., and Mottershead, J. E., 1997, "Updating Finite Element Models of Golf Clubs," *Proceedings of the 15th International Modal Analysis Conference*, Vol. 1, pp. 155-161.
5. Cheong, S. K., Kang, K. W., and Jeong, S. K., 2006, "Evaluation of the Mechanical Performance of Golf Shafts," *Engineering Failure Analysis*, Vol. 13, pp. 464-473.
6. 尹春和，盧廷鉅，2003，「應用有限元素法於高爾

夫球頭恢復係數之分析」，2003台灣地區ANSYS用戶應用論文集，斗南，第43-49頁。

7. 王栢村，林昆正，徐川洋，2003，「高爾夫球頭振動與聲音關聯性之探討」，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。
8. Hocknell, A., Mitchell, S. R., Jones, P., and Rothberg, S. J., 1998, "Hollow Golf Club Head Modal Characteristics: Determination and Impact Applications," *Experimental Mechanics*, Vol. 38, pp. 140-146.
9. 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.
10. 王栢村，黃瑞光，2000，「不同球頭之高爾夫球桿聲音品質分析」，中華民國音響學會第十三屆學術研討會論文集，台南，A47-54。
11. 翁焜煌，康淵，2003，「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。
12. Wicks, A. L., Knight, C. E., and Neighbors J., 1993, "The Comparison of Forged Heads to Cast Heads for Golf," *The 12th Proceedings of the International Modal Analysis Conference*, Vol. 2, pp. 1797-1802.
13. 王栢村，黃瑞光，2000，「握把對高爾夫球桿振動特性影響之分析」，中華民國力學學會第24屆學術研討會論文集，桃園，J109-116。
14. Roberts, J. R., Jones, R., Mansfield, N. J., and Rothberg, S. J., 2005, "Evaluation of Vibrotactile Sensations in the 'Feel' of a Golf Shot," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 285, pp. 303-319.

Correlation Study between Hitting Sound and Vibration Modes of a Golf Club

Bor-Tsuen Wang¹, Y-Y Chen², Yu-Ting Gao³,
Yu-Ren Huang³, Yong-Sheng Chen³
Department of Mechanical Engineering of
Science and Technology National Pingtung
University
O-TA Precision Industry Co., Ltd
1 Professor
2 Graduate student
3 Engineer

Abstract

This Paper aims to discuss the hitting sound of a golf club and its relations to the vibration modal characteristics. First, a golf club and the club head only are, respectively, performed experimental modal analysis (EMA) to determine and compare their structural modal properties. The sound spectra of the golf club are also recorded in EMA to study the indoor sound emission. The Outdoor sound emission of the golf club in practical

swing condition is also measured and compared with the indoor sound and golf club structural modes. Results show that the swing impact sound of the golf club has the strong correlations with the crown modes of the golf club head. The peak resources of the swing impact sound are well identified and useful for design modification in considering the golf club sound quality.

Keywords: finite element analysis, experimental modal analysis, vibration mode, sound spectrum

