

高爾夫球桿動態揮桿模擬

徐元展, 陳正哲, 丁羽辰, 利建良
復盛股份有限公司

摘要

台灣高爾夫球的產業發展由早年的OEM轉變成為與客戶共同開發的ODM的階段, 高爾夫球頭設計最終的表現在於對球路的影響。本論文由材料性質出發, 考量碳纖複合材料、超彈性球體等性質, 分別對高爾夫球桿整體的組成元件, 球頭、球、桿身等作驗證, 進而組合起來以Abaqus/Explicit 做一整個揮擊的動態揮桿模擬。結果可以用來比較出球速度的變化以及球的旋轉量(Spin)趨勢變化, 未來可以提供給球頭、桿身設計作參考。

關鍵字: 有限元素分析、高爾夫球桿、動態揮桿、模態分析

ABSTRACT

The golf industry in Taiwan is converted from OEM to ODM. The final target of golf club design is to know the effect of the trajectory of ball. To reach this object, this paper begins with material properties study. The material properties of shaft and golf ball, carbon fiber composites and rubber, are considered into the FEA model construction. After the static property of each part is confirmed, the Abaqus/Explicit is used to simulate the motion of golf club swing. Comparing the simulation results of ball speed and spin, the ball speed is close with the result of golf robot test, and the trend variation of ball spin is similar to robot test. Therefore, this simulation method could be used to aid the design of golf club head and shaft.

Keywords: Finite element analysis, golf club, Swing dynamics, Modal Analysis

一、緒論

近二十年來台灣為高爾夫球產業的製造重鎮, 而產業的發展漸漸的由早年的純粹代工走向與客戶協同開發產品, 一支能揮出一個好球的球桿其決定的因素除了選手本身的技術外, 在於球頭、球桿的設計、搭配, 會直接影響揮擊出去的距離以及準確度。

因此除了製程技術的繼續精進以達到節省成本的目的, 能進一步提供新的球頭設計概念以幫助客戶提升其產品的價值, 為復盛公司努力的目標。復盛於 2005 年引進 Abaqus 作為 CAE 主要分析軟體, 並與軟體商合作開發球頭、球桿的功能性評估模擬手法, 高爾夫球桿動態揮桿模擬為其中之一。

二、文獻回顧

高爾夫球桿揮擊歷程的狀態會影響到擊球距離的距離、高度及偏移等。高球大廠

Callaway 在球桿上裝設許多感測器來量測球桿的揮杆型態[4], 分析球桿在揮擊過程中的應變、加速以及軸向旋轉的狀況。

以實驗的方式量測揮擊的狀況不免會影響到球桿的重量、剛性等機械性質, 而且必須有實際的球頭、球感才能測試。因此利用有限元素分析(FEA)模擬球桿的特性來輔助球頭與球桿的設計為一不錯的選擇。P. Swider 等人 [1]模擬整支球桿的自然頻率來評估球桿的性能, 其中球桿所使用的複合材料的異向性材料性質皆設定到模擬元素中。Braunwart[2]的論文中比較實驗與模擬的球桿模態測試, 證明模擬的 FEA 模型可以正確的描述球桿的靜態性質, 而論文中進一步對球桿的揮動做模擬。Friswell 等人[3]也是做相似的研究。

Iwatsubo 等人以有限元素法建構球頭與球的有限元素模型, 分析球頭慣性矩以及球頭重心深度對出球的速度、旋轉量的影響性[5]。其高爾夫球使用橡膠性質(rubber property)、球頭使用殼元素(Shell element)

材質設定在彈性範圍內。

三、分析架構

由文獻回顧所整理出要分析整個高爾夫球桿揮擊的狀態，需要分別對球、球頭、球桿的材料特性加以驗證，更進一步驗證揮擊與碰撞，如圖 1 所示，才能建立較可信的有限元素分析模型，表 1 為各項特性驗證所使用的手法。

四、結果分析

表 2 為 Type A 球桿所使用的碳纖維材料性質，依照這些材料性質設定到球桿上做振動頻率、Torque 以及 K.P. 模擬。與實際測試時的誤差如表 3 所示，測試 Type A、B 的球桿都在 5% 內。

球與球頭的碰撞驗證以反彈係數(COR)作調整，調整球的性質去逼近實驗數值如圖 6 所示。

揮桿組成所需的材料設定都驗證之後，即將其組合起來模擬如圖 2 機械手臂測試的揮擊效果。機械手臂可以提供一穩定的揮擊狀態，用以輔助評估球頭、球桿設計的功能。若能以 CAE 模擬其測試情形，則可以在球頭在設計階段即可評估其特性，也可以改變球頭的幾何、配重等參數，探討其影響。

表 4 為不同的揮竿速度模擬與實驗的彈道比對結果，球桿的速度以及出球的速度與實驗皆很相近，趨勢也相同如圖 7 所示，而會影響到球路彈道的 back spin 與 side spin 則誤差較高，如圖 8、9 所示，期趨勢仍然相似，可以先用來探討對彈道的影響趨勢。

五、結論與未來展望

本文從材料性質開始，先驗證球桿的靜態性質，進一步模擬整支高爾夫球桿的揮擊動作。材料性質利用模態分析的方法找出異向性的碳纖維材料實際的機械彈性性質，設定至球桿上，而得到與實驗相符之球桿靜態特性。

動態揮桿模擬所得的出球速度與實際測試相符，而球的旋轉(spin)的誤差較大，這個需要考量量測的準確度以及模擬碰撞

時球與球頭介面的狀態，在未來的模擬手法發展上，需要繼續加以探討。

六、參考文獻

- [1] P. Swider, G. Ferraris, B. Vincent, Salomon S.A." Theoretical And Experimental Dynamic Behavior Of A Golf Club Made Of Composite Material," Modal Analysis: the International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis, Vol. 9, No. 1, 1994, pp.57-69
- [2] Paul R. Braunwart," Experimental and Analytical Examination of Golf Club Dynamics,
- [3] M.I. Friswell, J.E. Mottershead, M.G. Smart," Dynamic Models Of Golf Clubs," Sports Engineering, Vol. 1, Iss. 1, 2002, pp.41-50
- [4] N. Lee, M. Erickson, P. Chervený," Measurement of the Behavior of a Golf Club During the Golf Swing," Science and Golf IV: proceedings of the World Scientific Congress of Golf, 2002, pp.374-386
- [5] T. Iwatsubo, S. Kawamura, K. Furuichi, T. Yamaguchi," Influence of Characteristics of Golf Club Head on Release Velocity and Spin Velocity of Golf Ball after Impact," Science and Golf IV: proceedings of the World Scientific Congress of Golf, 2002, pp.410-425
- [6] Ian C. Kenny, Eric S. Wallace, Desmond Brown, Steve R. Otto," Validation of a Full-Body Computer Simulation of the Golf Drive for Clubs of Differing Length," Engineering of Sport Six, 2006, pp.11-16

七、表格

	材料性質	球桿物性	球、球頭物性	揮桿
Input	碳纖維板材	碳纖維材料性質	橡膠性質、金屬機械性質	Shaft, head, ball and robot model
Output	E1, E2, G1, G2	頻率、torque、K.P.	COR、模態頻率	Launch speed, spin, angle
手法	頻譜分析實驗 + CAE 迭代	靜態 CAE 模擬	COR 迭代、球頭模態分析	揮擊模擬

表 1. 模擬各階段驗證

表 2. 碳纖維材料模擬迭代所得之材料性質

球桿型號	Type A	Type B
幾何建構	鐵芯 pattern	鐵芯 pattern
材料方向性	有方向性	有方向性
材料參數	以實驗所得	以實驗所得
Frequency 誤差	+4.1%	+1.1%
Torque 誤差	+2.01%	+4.9%
K.P.誤差	+1.8%	+3.8%

表 3. 球桿特性驗證



圖 2 機械手臂

		Club Speed (mph)	Ball Speed (mph)	Launch Angle	Back Spin (rpm)	Side Spin (rpm)
90mph	Robot Test	90	132	13.2	3170	357 S
	CAE Results	86.8	126.1	9.74	4875	2411 S
100mph	Robot Test	99	147	11.1	2806	20 H
	CAE Results	99.1	147.2	7.03	4255	1141 S
110mph	Robot Test	110	156	13.1	3787	245 H
	CAE Results	106	154.5	10.7	5929	505.9 S

表 4. 揮桿結果驗證

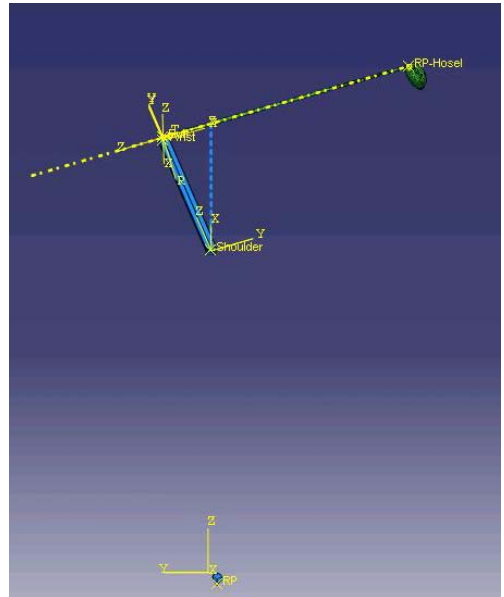


圖 5. 揮桿 FEA 模型

八、圖片



圖 1 動態揮桿模擬組成

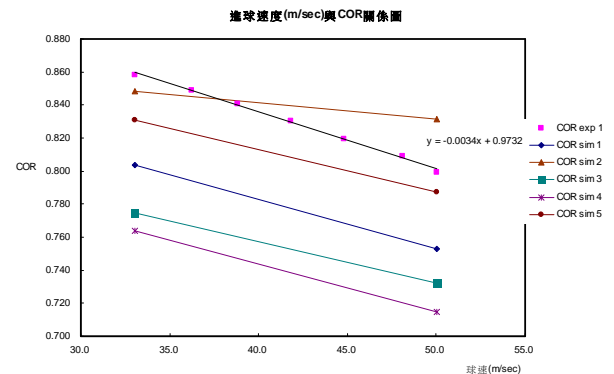


圖 6. 球與球頭碰撞 COR 驗證

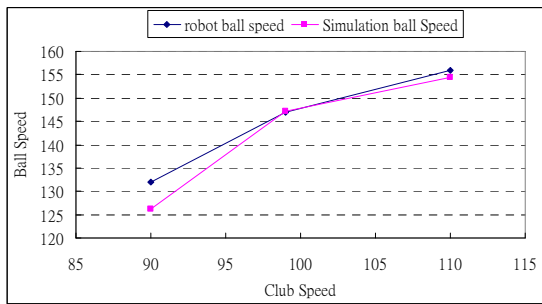


圖 7. Ball Speed 比對

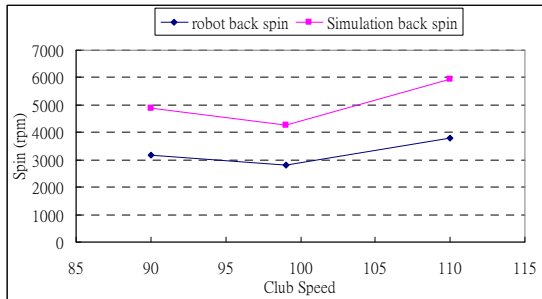


圖 8. Back Spin 比對

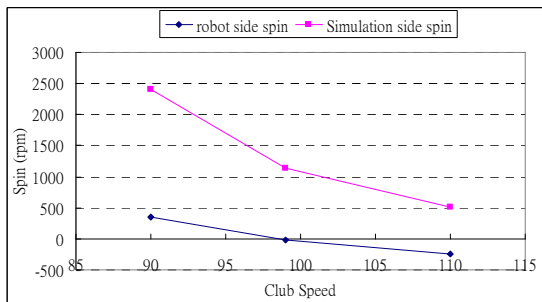


圖 9. Side Spin 比對