

握把對高爾夫球桿振動特性影響之分析

王栢村¹ 黃瑞光²

摘 要

本文主要目的在探討握把對三種高爾夫球桿之影響。經由實驗模態分析求得有握把高爾夫球桿與無握把高爾夫球桿之模態參數，包括自然頻率、阻尼比及振型。比較有握把高爾夫球桿與無握把高爾夫球桿之模態參數，探討有握把與無握把高爾夫球桿之差異性，及握把對高爾夫球桿振動特性之影響程度。由本文發現握把使得高爾夫球桿自然頻率的降低、節點位置的改變、阻尼比的改變及握把處能量的減少等，因此握把之設計對球桿振動特性有相當大的影響。

(關鍵詞：高爾夫球桿、握把、實驗模態分析)

前 言

高爾夫球桿是由握把、球桿及球頭所組合而成的一種運動器材，每一個別零件皆會影響到高爾夫球桿品質好壞。而影響球桿品質之因素相當多，如造型、感觀、外表、材質、品牌、擊球聲音、握把感覺等非技術性主觀因素，或如球桿長度、重量、強度、以及球頭重量、體積、重心、慣性距、強度、甜蜜區等技術性客觀因素。

而球桿振動特性分析與品質分析已逐漸受到製造廠商的重視，國內外也有相關的文獻探討。Wicks et al. [5]也應用振動模態分析技術，由球桿之振動模態、聲音模態及結構阻尼，來探討比較鑄造與鍛造球頭之差異性。Merkel and Blough [3]則應用模態分析技術得到球頭之模態振型，發現多數模態振型之節線(nodal line)多座落接近於所謂甜蜜區，因此可作為球桿球頭設計之參考依據，同時也探討擊球點在甜蜜區與非甜蜜區，握把、球頭之振動頻率響應，以瞭解揮擊過程之能量損失情形。Wicks et al. [4]也以衝擊錘作用於球頭，並量測握把處之加速度，以得到頻率響應函數，再擷取球頭之模態振型，也得到如Merkel and Blough [3]之類似結論。王栢村和黃瑞光[2]探討三種相同握把及碳纖維球桿而不同球頭高爾夫球桿振動特性與定義高爾夫球桿品質之判斷依據。分別對相同握把及碳纖維球桿而不同球頭之完整高爾夫球桿進行實驗模態分析及有限元素分析，由所得之模態參數來判斷球桿品質之可

行性以及有限元素模型之適用性。邱佑宗[1]以向量化分析動力學分析高爾夫球與球頭撞擊行為，以空氣動力學計算球於空氣中飛行之軌跡，以射程與球頭能量之角度界定高爾夫球頭甜蜜區之位置。

本文即藉由有握把與無握把高爾夫球桿之實驗模態分析求得有握把高爾夫球桿與無握把高爾夫球桿之模態參數，包括自然頻率、阻尼比及振型，並比較有握把高爾夫球桿與無握把高爾夫球桿之模態參數及握把處能量等，探討有握把與無握把高爾夫球桿之差異性，及握把對高爾夫球桿振動特性所造成之影響。

問題定義與分析目標

一、問題定義：

本文採用大田精密股份有限公司所提供之三種不同球頭(大田精密股份有限公司代號為 i1364、w0072 及 i0035)之高爾夫球桿，包括有握把與無握把為相同碳纖維球桿之 5 號鐵桿，採用 free-free 邊界情況來進行實驗模態分析。模擬 free-free 邊界情況方式是以兩條橡皮筋所組合之彈性繩支撐球桿於支撐架上。

二、分析目標：

以實驗模態分析方法求取有握把與無握把高爾夫球桿之模態參數，將有握把與無握把高爾夫球桿之模態參數進行比較，包括自然頻率、振型、阻尼比，分析

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
(90年2月28日收稿，90年4月27日接受)

有握把與無握把高爾夫球桿模態參數及握把處能量之差異。藉由差異來探討握把對高爾夫球桿之振動特性之影響。

實驗模態分析

本文的實驗架構情形如圖一所示，先將衝擊鎚用導線接於訊號分析儀之 A 輸入模組，再將加速度計用導線經過電荷放大器接於訊號分析儀之 B 輸入模組，再透過 IEE-488 介面將訊號分析儀與個人電腦相連接。其實驗的動作原理為，利用衝擊鎚對高爾夫球桿激振，利用加速度計作感測器，量取結構之響應訊號，經過電壓放大器將訊號傳入雙頻道訊號分析儀，由訊號分析儀對輸入之訊號作快速傅立葉轉換，求得高爾夫球桿的頻率響應函數和關聯性函數，最後再將所得到的頻率響應函數傳入 CADA-PC 軟體作曲線嵌合 (curve fitting) 工作，則可得到球桿模態參數，即自然頻率、阻尼比和振型等。本實驗所使用之實驗儀器及其型號如表一。

實驗過程中，首先須完成 BK 3550 訊號分析儀設定，頻寬設為 0~800Hz，解析條數為 800 條，本實驗驅動器因使用衝擊鎚，所以加 Transient 加權函數，在感測器之加速度響應加 Exponential 加權函數。

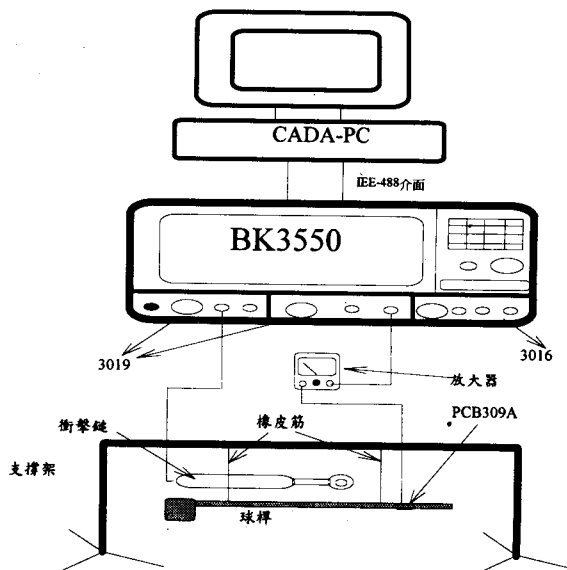
實驗模態分析之方式是固定衝擊鎚敲擊的位置移動加速度計。以固定敲擊在高爾夫球桿劃分的 12 個測試點如圖二所示中的第 11 點，而移動加速度計在高爾夫球桿上的每一測試點，由量測出的響應經由訊號放大器傳入訊號分析儀作分析，即可得到 12 組頻率響應函數，再將頻率響應函數傳入 CADA-PC 軟體作曲線嵌合，可求取高爾夫球桿的模態參數。並分別對 droop 及 swing 平面進行模態測試。

結果與討論

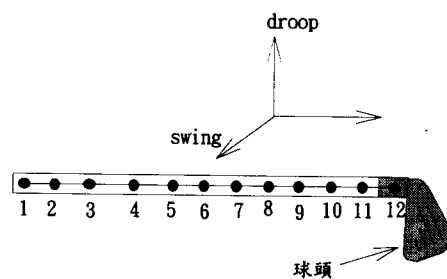
本文之結果與討論將就實驗模態分析所得有握把與無握把高爾夫球桿之模態參數，包括自然頻率、阻尼比、振型及握把處能量等作比較與討論，藉由這些資料的分析，來探討握把對高爾夫球桿振動特性之影響，並歸納出一些具體的結果，作為高爾夫球振動分析的參考與應用。

一、自然頻率：由表二觀察可知有握把之高爾夫球桿其自然頻率皆比無握把高爾夫球桿低，在 i1364 方面無握把之自然頻率在 54.88Hz 至 388.46 Hz 之間，加上握把後降至 45.66 Hz 至 317.72 Hz 之間。在 w0072 方面無握把之自然頻率在 53 Hz 至 385.78

Hz 之間，加上握把後降至 44.36 Hz 至 314.59 Hz 之間。在 i0035 方面無握把之自然頻率在 53.4 Hz 至 375.756 Hz 之間，加上握把後降至 44.45 Hz 至 316.65 Hz 之間。各桿降低率在 14%-19% 之間，分析應是由於加上握把使得結構重量增加造成結構自然頻率下降。



圖一 模態實驗架構圖



swing：揮桿方向
droop：與揮桿垂直之方向

圖二 無握把高爾夫球桿分割圖

表一 使用之儀器一覽表

儀器名稱	型號
雙頻道訊號分析儀	BK 3550
衝擊鎚	BK 8202
加速度計	PCB 309A
加速度計之電荷放大器	PCB 480E09
曲線嵌合軟體	LMS CADA-PC

握把對高爾夫球桿振動特性影響之分析

表二 I1364 W0072 與 i0035 無握把與有握把高爾夫球桿實驗模態分析所得自然頻率之比較

Mode	I1364			W0072			i0035			平面
	有握把 (Hz)	無握把 (Hz)	降低率 (%)	有握把 (Hz)	無握把 (Hz)	降低率 (%)	有握把 (Hz)	無握把 (Hz)	降低率 (%)	
1	45.66	54.88	16.80	44.36	53	16.30	44.45	53.4	16.76	Droop
2	52.82	64.37	17.94	54	64.49	16.27	54	64	15.62	Swing
3	132	154.7	14.68	125.8	147.4	14.69	127.4	151.3	15.83	Droop
4	162	197	17.76	164.5	195.9	16.06	163.5	191.4	14.59	Swing
5	266.5	324.2	17.80	262.7	318.8	17.57	265.4	324.7	18.28	Droop
6	317.7	388.5	18.21	314.6	385.8	18.45	316.7	375.8	15.72	Swing

表三 I1364 W0072 與 i0035 有握把與無握把修正後之阻尼比

Mode	i1364(%)			w0072(%)			i0035(%)			平面
	有握把	無握把	增加率 (%)	有握把	無握把	增加率 (%)	有握把	無握把	增加率 (%)	
1	0.877	0.642	36.60	0.893	0.698	27.93	1.165	0.825	41.07	Droop
2	0.974	0.92	5.869	0.266	0.706	-62.32	0.456	0.220	106.8	Swing
3	0.267	0.496	-46.16	0.437	0.509	-14.14	0.353	0.629	-43.88	Droop
4	0.152	0.210	-27.69	0.277	0.299	-7.357	0.565	0.222	153.8	Swing
5	0.251	0.296	-15.20	0.307	0.393	-21.88	0.379	0.476	-20.46	Droop
6	0.293	0.183	60.10	0.311	0.232	34.05	0.302	0.218	38.08	Swing

表四 有握把與無握把三種球桿實驗所得握把處能量

Mode	i1364			w0072			i0035		
	有握把	無握把	減少率	有握把	無握把	減少率	有握把	無握把	減少率
1	0.5844	2.5066	76.685	0.5446	2.0672	73.655	0.480	1.7926	73.223
2	1.2559	1.5835	20.688	1.1015	1.4724	25.190	1.079	1.4943	27.792
3	0.3046	0.5665	46.231	0.3575	0.6318	43.415	0.340	0.5054	32.726
4	0.2718	0.3442	21.034	0.3312	0.3938	15.896	0.178	0.2308	22.877
5	0.2033	0.316	35.664	0.1892	0.3605	47.52	0.186	0.3113	40.251
6	0.1048	0.1267	17.284	0.1202	0.1618	25.711	0.146	0.1723	15.264
Droop方向和	1.0924	3.3891	67.77	1.091	3.0596	64.341	1.006	2.6094	61.447
swing方向和	1.6325	2.0544	20.536	1.553	2.0281	23.426	1.403	1.8974	26.057
總和	2.7249	5.4435	49.944	2.6444	5.0876	47.871	2.41	4.5068	46.525

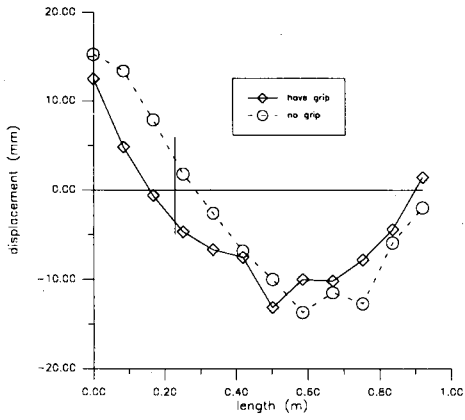
二、阻尼：由表三觀察得：

(一) 在 i1364 阻尼比只有第 1、2、6 個模態增加，第 3、4、5 個模態則呈現阻尼比降低的現象。W0072 阻尼比則有只第 1、6 個模態增加，其餘第 2、3、4、5 個模態則呈現降低的現象。i0035 阻尼比則有第 1、2、4、6 個模態增加，第 3、5 個模態則呈現降低的現象。所以握把對球桿之阻尼比沒有提供呈現一致性的增加。

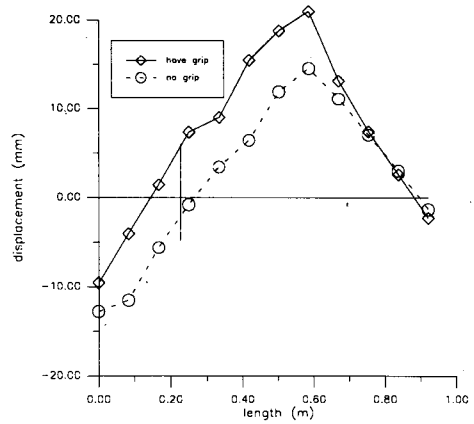
(二) 在各桿最大增加率方面，i1364 方面以第六個模態阻尼比增加最多，增加 60.1

%，其次為第一個模態，阻尼增加 36.6%。在 w0072 方面以第六個模態阻尼比增加最多，增加 34.05%，其次為第一個模態，阻尼增加 27.93%。在 i0035 方面以第四個模態阻尼比增加最多，增加 153.8%，其次為第二個模態，阻尼增加 106.8%。

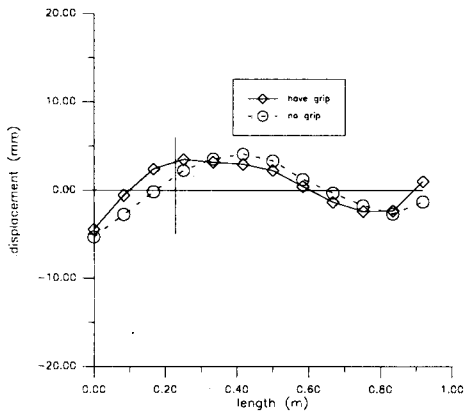
三、振型：由圖三-圖八有握把與無握把球桿振型圖比較可發現加上握把後使得握把處能量變小，且第一個模態之阻尼對 droop 及 swing 方向第 1 個振型影響最明顯。其餘則由能量數字來表達會較明確。



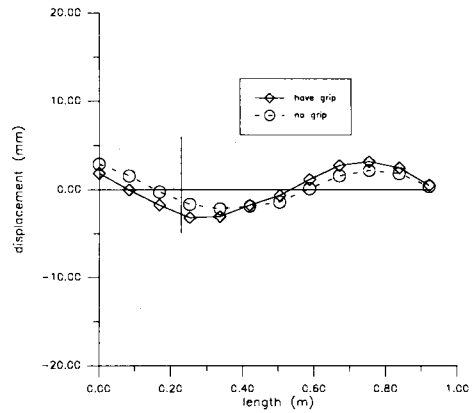
(a)第 1 個振型



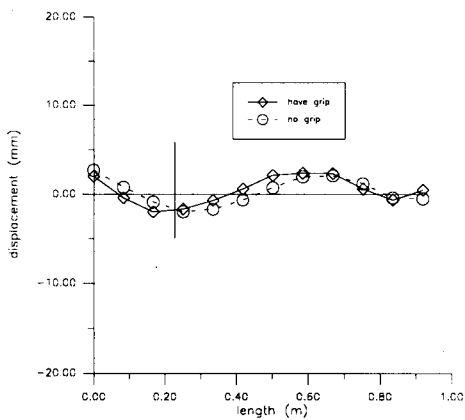
(a)第 1 個振型



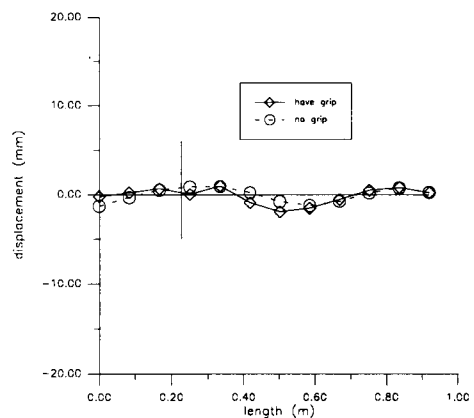
(b)第 2 個振型



(b)第 2 個振型



(c)第 3 個振型

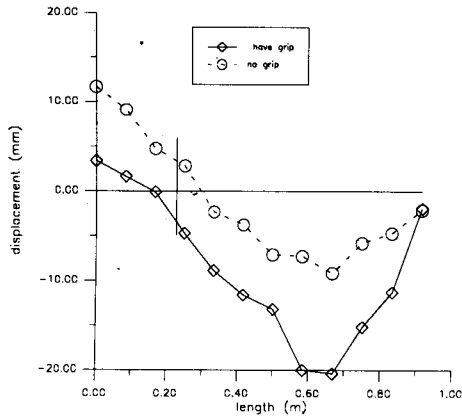


(c)第 3 個振型

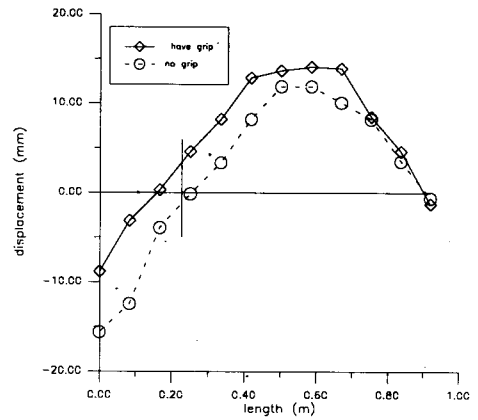
圖三 i1364 有握把與無握把 droop 方向之振型比較

圖四 i1364 有握把與無握把 swing 方向之振型比較

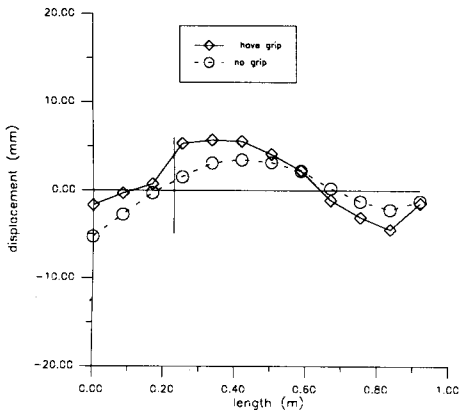
握把對高爾夫球桿振動特性影響之分析



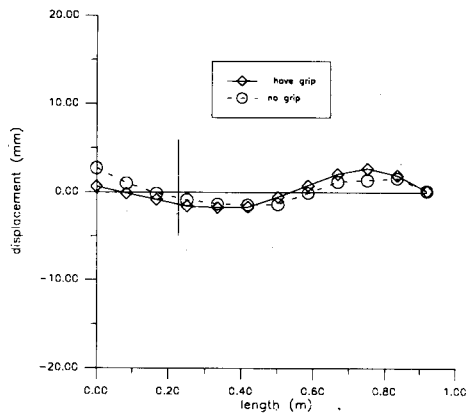
(a)第 1 個振型



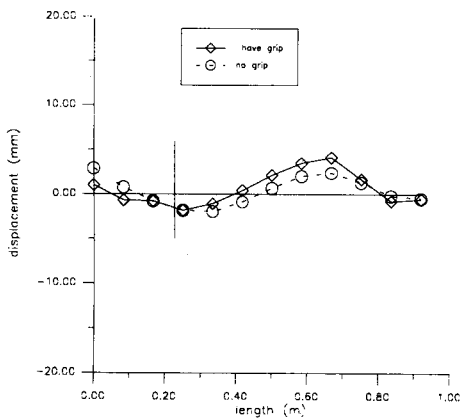
(a)第 1 個振型



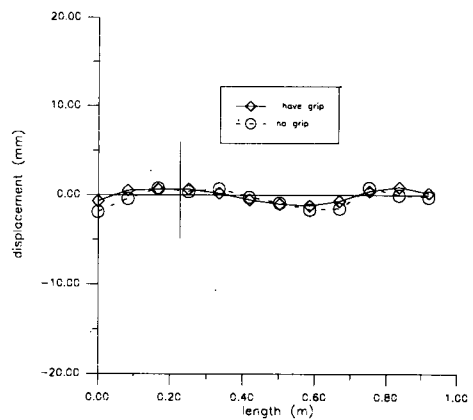
(b)第 2 個振型



(b)第 2 個振型



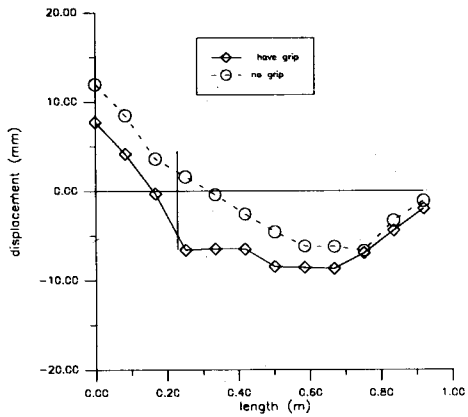
(c)第 3 個振型



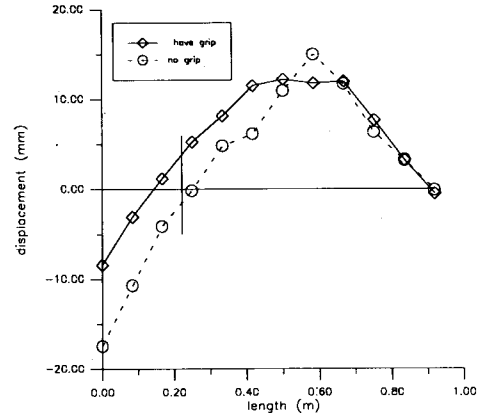
(c)第 3 個振型

圖五 i0035 有握把與無握把 droop 方向之振型比較

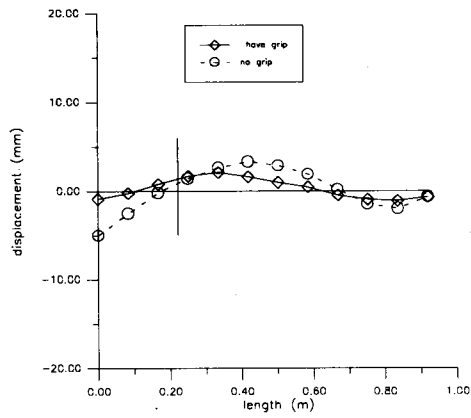
圖六 i0035 有握把與無握把 swing 方向之振型比較



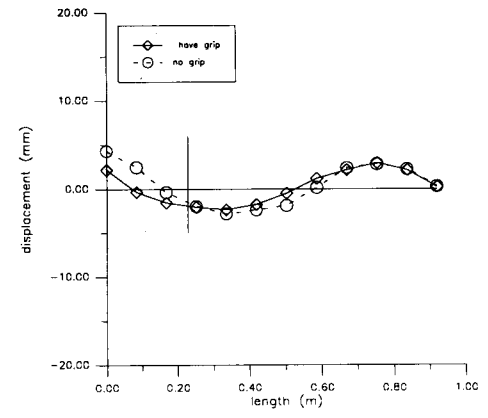
(a)第 1 個振型



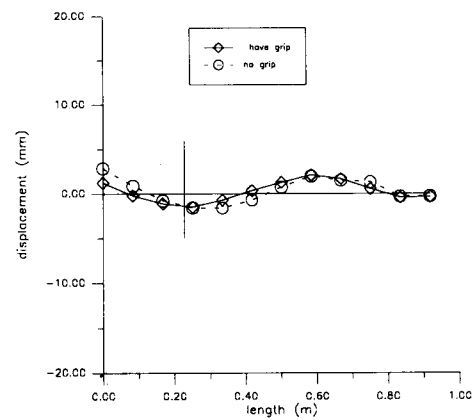
(a)第 1 個振型



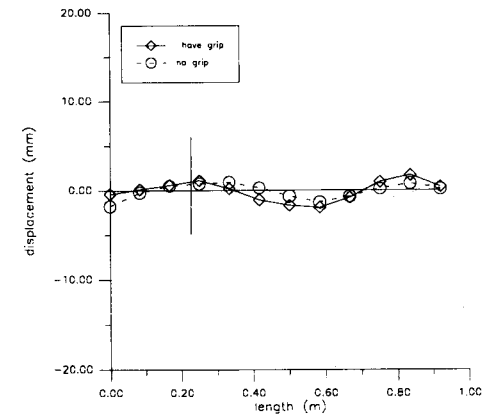
(b)第 2 個振型



(b)第 2 個振型



(c)第 3 個振型



(c)第 3 個振型

圖七 w0072 有握把與無握把 droop 方向之振型比較

圖八 w0072 有握把與無握把 swing 方向之振型比較

另握把對於高爾夫球桿節點位置也有影響，由圖三-圖八有握把與無握把球桿振型圖比較可發現，三支球桿 droop 與 swing 方向第一個振型在未加握把時其節點位置皆落於握把位置外，但加上握把後節點位置則明顯落在握把處。且由圖三-圖八亦可發現握把有使握把處節點往左移的現象。

四、握把處能量：從表四發現握把分別對高爾夫球桿 i1364 減少了 49.944% 的能量，使 i1364 握把處能量從 5.4435 降到 2.7249。對 w0072 則減少了 47.871% 使 w0072 握把處能量從 5.0876 降到 2.6521。對 i0035 減少了 46.525% 的能量使 i0035 握把處能量從 4.5068 降到 2.41。因此握把幾乎使每支球桿皆減少了將近 50% 的能量，使得握把處的能量變小。所以可明確知道握把對球桿之能量之減少提供相當大的作用，對球桿之品質有相當大的影響。

就個別的模態來看發現不論 i1364、w0072 或是 i0035 握把對第一個模態的影響最大，在第一個模態分別對三支球桿各減少了 76.685%、73.655% 及 73.223% 的能量。

另再分別從 droop 及 swing 方向來觀察表四，由表四觀察到 i1364 在 droop 方向無握把時之能量為 3.3891，加上握把後能量減少到 1.0924，減少了 67.77%，swing 方向則只減少了 20.536%。w0072 在 droop 方向無握把時之能量為 3.0596，加上握把後能量減少到 1.091，減少了 64.34%，swing 方向則只減少了 23.426%。i0035 在 droop 方向無握把時之能量為 2.6094，加上握把後能量減少到 1.006，減少了 61.447%，swing 方向則只減少了 26.057%。可發現握把對 droop 方向之影響較大。且 droop 方向的第一、二、三個模態的能量減少率分別皆大於 swing 方向的第一、二、三個模態。

五、綜合討論

- (一) 由以上分析中可知道握把對高爾夫球桿提供了重量、阻尼比等使得自然頻率下降、節點位置的改變及握把處能量的變小等。
- (二) 各球桿阻尼比之增加率並沒有呈現在一定的範圍或趨勢內，其可能原因為握把之材料性質所造成的影響。
- (三) 握把對球桿之阻尼比沒有提供呈現一致性的增加，其可能的原因是握把與球桿接合所造成之影響，此點仍須進一步分析。

- (四) 握把對球桿 droop 方向的能量有較大的影響，其原因可能是握把之材料性質為非等向性材料所造成之結果，此點仍須進一步釐清。

結 論

本文探討握把對三種不同球頭高爾夫球桿振動特性與球桿品質之影響。藉比較由實驗模態分析所求得有握把與無握把高爾夫球桿之模態參數包括振型、阻尼及自然頻率以及握把處能量，發現握把對球桿之振動特性有相當大的影響，包括自然頻率的降低、節點位置的改變、阻尼比的改變等。在本文的分析中無握把高爾夫球桿再裝上握把後，模態振型握把處節點位置皆往左移，且第一個模態振型握把處節點位置則由握把處外移到握把處內。而握把處能量則減少將近 50% 的能量，因此握把的性能對高爾夫球桿的振動特性影響很大。

由於本文是以實驗為主，且由本文分析得知握把對高爾夫球桿的振動特性有一定的影響程度，因此未來應更進一步建立完整球桿之有限元素模型就握把的特性如楊氏係數等材料性質進行更深入的研究。

致 謝

本研究承蒙屏東內埔工業區大田精密工業股份有限公司提供球桿及相關技術資料以及部份經費資助，特此致謝。

參考文獻

1. 邱佑宗，1998，「高爾夫球甜蜜區計算」，*中華民國力學會第二十二屆全國力學會論文集(二)*，台南市，第 395-400 頁。
2. 王柏村、黃瑞光，2000，「不同球頭之高爾夫球桿振動特性及品質之探討」，*中華民國振動與噪音工程學會第八屆學術研討會*，第 209-216 頁。
3. Merkel, R., C., and Blough, T., 1998, "Dynamic Characterization and Comparison of Golf Clubs," *Proceeding of The 17th International Modal Analysis Conference*, Vol. 1, pp. 513-517.
4. Wicks, A. L., Knight, C. E., Braunwart, P., and Neighbors, J., 1993, "Identification of The 'Sweet Spot' for Golf Clubs," *Proceeding of The 12th International Modal Analysis Conference*, Vol. 2, pp. 1803-1806.
5. Wicks, A. L., Knight, C. E., Braunwart, P., and Neighbors, J., 1993, "The Comparison of Forged Heads to Cast Heads for Golf Clubs," *Proceeding of the 12th International Modal Analysis Conference*, Vol. 2, pp. 1797-1802.

The Analysis of Grip for Effect of Vibration Characteristics of Golf Clubs

Bor-Tsuen Wang¹ Jui-Kuang Huang²

ABSTRACT

This paper discusses the effect of grip for three types of golf clubs. The modal parameters of with grip and without grip of golf clubs are obtained via experimental modal analysis (EMA). This work studied the difference of modal parameters and the effect of grip on vibration characteristics of golf club. The results show the grip causes the decrease of natural frequency, the vibration of nodal point and damping ratio. The energy near the grip is also greatly reduced. Therefore, the grip of golf club has fairly effect on vibration characteristics of golf club.

(Keyword: golf club, grip, experimental modal analysis)

-
1. Professor, Department of Mechanical Engineering, National Pingtung University of Science and Technology.
 2. Graduate student, Department of Mechanical Engineering, National Pingtung University of Science and Technology.
(Received on February 28, 2001. Accepted on April 27, 2001.)