

高爾夫球木桿頭之肋結構分析

學生：黃鴻文、李秀容、郭志明

指導老師：王柏村

國立屏東科技大學

機械工程系

摘要

本文的主旨針對高爾夫球桿打擊面強度為其中重要的因素之一，就此點來探討打擊面強度的改善，主要分析以打擊面背部加肋的方式分為三個部份來探討。肋結構的分析以有限元素套裝軟體 ANSYS 來進行，探討有限元素的最佳架構模型，進而討論打擊面背部有無加肋影響的比較；肋結構的最佳化設計以品質工程中的田口法來進行，分析時以肋的寬度、高度及擊球速度為設計參數，探討在靜力破壞、疲勞破壞及變形量時的狀況。最後就分析結果提出改善打擊面強度設計的建議及未來研究的方向。

一、引言

高爾夫球運動引進國內也有一段時間了，因為結合健身、休閒、技術、耐心培養等好處，而想要打好高爾夫球，就要有良好的球具，一套好的球具就足以影響球技的發揮，甚至影響到揮桿時是否會造成運動傷害，所以球具的製造在高爾夫球界受到相當大的重視，也因此擁有相當高的利潤。台灣近年來在高爾夫球具的製造也有不少業界投入了相當大的資本，目的就是在國內開創另一項產業以提升國際競爭力。

由於國內對於高爾夫球桿頭設計分析的文獻發表並不多，許多的設計參數及方法大多由國外廠商提出，由歐美及日本為主，而我國則從事代工生產為主，其因各家廠商都各自發展為商業利益而使球桿

頭的設計成為商業機密，雖然國內亦有廠商從事設計，但僅只有少數，大多集中在探討動態模擬分析、材料上的改進且以現有的產品作探討，對於前瞻性的探討就更少。

目前國內的在相關文獻上，唐偉森〔1〕從金屬桿頭之動力特性及其結構特性著手，以參數分析的方法求出金屬木桿頭之較佳厚度分佈，並探討打擊面後具有補強結構之桿頭，使得設計出的桿頭具有最大的擊球距離，合理的強度與質量，在製造生產上一別於傳統的塑性加工方法提出常用在生產航空零組件的超塑性成形與擴散結合的技術應用在高爾夫球桿頭的製造。黎煥生〔2〕以材料為 SUS630 不銹鋼的球桿頭來探討不同的揮桿速度及不同打擊點時，桿頭打擊面所受應力的大小、變形量的大小及求飛行的速度與飛行角度。胡弘昇〔3〕的動態模擬分析中，利用有限元素法來模擬球桿頭與球之間的碰撞情形以探討球桿頭的受力狀況、擊球情形。許國洲〔4〕，傳承超塑性成形的研究，因為桿頭外圍的重量分佈會影響到打擊效果，而利用逆向工程的方法來探討桿頭厚度的分佈以滿足要求。陳崇熙〔5〕對於複材高爾夫球桿以實驗模態分析的方法，探討各球桿的一維振動問題，實驗量測的資料與懸臂樑模型的特性作比較，和實際量到的自然頻率之間的比較，以及模態的觀察，得知桿身的長度、桿重對自然頻率的影響，而質量集中的桿頭則使得球桿的低頻有顯著的增加。

高爾夫球頭的設計中球頭的強度為一重要的考量，而打擊面的設計即為重要的一環，因此就要探討

打擊面的應力分佈及應變情況，但打擊面的幾何形狀若固定一旦想要增加球頭的強度則所能改變的地方就變少了，可在打擊面背部加肋以達到目的，因此對於肋的分析就顯示出其重要性，且如何分析就要深入研究。本文主旨在於探討高爾夫球木桿頭的應力分析以期能提供部份資料作為國內廠商的設計參考。

二、研究內容與方法

本研究主要在探討高爾夫球木桿頭打擊面背部加肋的影響及肋的最佳化設計，因此，在探討時主要分為兩部分，首先為針對可能架構的有限元素模型，決定一種較可靠的方式，並比較打擊面背部有無加肋的影響，再由所決定的有限元素模型用田口法作肋的最佳化參數設計。

2-1 高爾夫球木桿頭之結構分析

(一) 問題定義

一高爾夫球木桿頭擊球時產生在桿頭打擊面的反作用力假設為 1N，其幾何形狀如圖 1 所示，材料性質及各部位尺寸如表 1 所示。

(二) 分析目標

假設球桿頭靜態受力不考慮到振動的影響，探討不同外位置力作用在打擊面上如圖 2 所示時的應力分佈與變形量，並比較球桿頭有無加肋的影響。

(三) 有限元素模型

A. 元素形式與模型架構

不考慮球桿頭背部及打擊面的弧度及傾角，將打擊面模擬成厚度均一之不規則形狀的平面結構，幾何形狀架構採用實體模型法中的由上而下 (Bottom-Up) 方式，打擊面用殼元素來架構，肋則分別用四種方式來架構 (如表 2 所示)。Model 1 為打擊面採用樑元素無加肋，Mode2 為肋用樑元素來架構，Model3 為傳統的架構方式，其肋用殼元素架構，其

高度為 5mm，Model 4 為肋用殼元素，肋的高度為 6.5mm，Model 5 為肋用殼元素加樑元素，樑元素主要用來作力傳遞的功能，所以其楊氏係數大於殼元素的 10 次方；打擊面之有限元素模形分割如圖 3。

B. 位移限制與外力負荷

因為打擊面為不規則形狀，且沒有對稱，在位移限制上將整個打擊面的邊界上元素的節點自由度設為零；肋則將兩端的自由度設為零。打擊面所受的作用力為 Z 方向垂直打擊面的單位力 1N，並分佈在五個節點上，探討時將作用力的作用位置如圖 2 所示，共有 1~17 個不同的作用位置，其中 1~9 位置位置在肋結構上。

2-2 田口法分析

田口法 [6] (Taguchi Method) 或說田口品質工程是由田口玄一博士所倡導的。是一實驗設計 (Experimental Design) 的方法，但具實際的應用性，而非以困難的統計為歸依；田口方法的主要工具為直交表和信雜比 (Signal-to-noise ratio)，強調的重點是在產品或製程設計時就考慮品質的問題，亦即如何降低產品績效的變異。

由於高爾夫球木桿頭之肋的參數乃為多變數，因此，可用田口法來求出肋的最佳化設計參數，並以在位置 2、3、13、14、16、17 (如圖 2 所示) 的應力值與變形量為目標函數，分析時目標函數採望小特性來觀察。

(一) 問題定義

假設一高爾夫球木桿頭其重量為 200g，受到一衝擊力 F 作用，設計參數取肋的寬度 W、高度 H 及擊球速度 V，以田口法探討各參數對打擊面變形、應力之影響。

(二) 架構衝擊力方程式

設球桿重量為 m 在單位時間下受一衝擊力 F ，其擊球速度為 V ，由動量與衝量的關係得到下列的方程式：

$$F = m * V \quad (1)$$

(三) 定義田口法最佳化問題

以等效應力 S_{eq} 、最大主應力 S_1 及側向變形量 U_2 為目標函數，以寬度 W 、高度 H 及擊球速度 V 作為設計變數，其目標函數的加權值分配如表 3 所示其最佳化的問題定義如下所示：

A. 目標函數

等效應力： $\Phi_1 = \omega_2 S_2 + \omega_3 S_3 + \omega_{13} S_{13} + \omega_{14} S_{14} + \omega_{16} S_{16} + \omega_{17} S_{17}$ (2)

最大應力： $\Phi_2 = \omega_2 S_2 + \omega_3 S_3 + \omega_{13} S_{13} + \omega_{14} S_{14} + \omega_{16} S_{16} + \omega_{17} S_{17}$ (3)

側向變形量： $\Phi_3 = \omega_2 U_2 + \omega_3 U_3 + \omega_{13} U_{13} + \omega_{14} U_{14} + \omega_{16} U_{16} + \omega_{17} U_{17}$ (4)

其中 ω 代表加權值。

B. 設計變數： W 、 H 、 V

(四) 定義田口法分析方法

因為希望打擊面的應力及變形量愈小愈好，所以目標函數的信雜比採望小特性，定義如下：

$$\eta = -10 \log_{10} (\Phi^2) \quad (5)$$

實驗水準如表 4 所示，直交表選擇 $L_4 (2^3)$ 如表 5 所示。

三、結果與討論

本文之高爾夫球木桿頭之肋結構分析，主要是探討打擊面背部之肋結構的最佳設計參數以增加打擊面的強度。分析時主要分為兩部份來探討，(1) 高爾夫木桿頭之結構分析，(2) 田口法最佳化設計。

3.1 結構分析之探討

此部份在分析時用五種模型來探討，以決定最佳的模型架構方式，並比較打擊面背部有無加肋的影響。

(一) 肋結構的模型探討

A. Model 2 與 Model 3 之比較 (如表 6)

當力作用在肋上時，就等效應力而言，Model 2 的應力值比 Model 3 小，其差異在 13%~27%。就最大主應力而言 Model 2 的應力值比 Model 3 小，其差異在 13%~27%。就側向變形量而言，當力作用在上方的肋其 Model 2 的變形量比 Model 3 小，其差異在 2%~7%，但當力作用在中間或下方時，其 Model 2 的變形量比 Model 3 大其差異很小約為 0%~3%。

當力作用非在肋上時，就等效應力而言，Model 2 的應力值比 Model 3 小，其差異在 1%~6%。就最大主應力而言 Model 2 的應力值比 Model 3 小，其差異在 3%~9%。就側向變形量而言，Model 2 的變形量比 Model 3 小，其差異為 0%~4%。

綜合以上所述，縱觀之下 Model 2 的等效應力、最大主應力及側向變形量皆比 Model 3 小，就變形量而言，兩模型分析結果接近，在架構上 Model 2 比 Model 3 容易，但 Model 3 就顯得較為保守。

B. Model 3 與 Model 4 之比較 (如表 7)

當力作用在肋上時，就等效應力而言，Model 3 的應力值比 Model 4 大，其差異在 8%左右，就最大主應力而言 Model 3 的應力值比 Model 4 大其差異在 8%左右，就側向變形量而言，Model 3 的變形量比 Model 4 大其差異為 12%~14%。

當力作用非在肋上時，就等效應力而言，Model 3 的應力值比 Model 4 大，其差異在 3%左右，就最大主應力而言 Model 3 的應力值比 Model 4 大其差異在 4%~9%，就側向變形量而言，Model 3 的變形量比 Model 4 大其差異為 7%~10%。

綜合以上兩點，縱觀之下 Model 3 的等效應力、最大主應力及側向變形量與 Model 4 差異不大，但 Model 3 為較保守。

C. Model 4 與 Model 5 之比較 (如表 8)

當力作用在肋上時，就等效應力而言，Model 4 的應力值比 Model 5 小，其差異在 3%~28%，就最大主應力而言，Model 4 的應力值比 Model 5 小，其差異在 3%~28%，就側向變形量而言，Model 4 的變形量比 Model 5 大，其差異為 6.5% 左右。

當力作用非在肋上時，就等效應力而言，Model 4 的應力值比 Model 5 大，其差異在 1% 左右，就最大主應力而言 Model 4 的應力值比 Model 5 大，其差異在 3% 左右，就側向變形量而言，Model 4 的變形量比 Model 5 大，其差異為 3%~5%。

綜合以上，就側向變形量而言，其 Model 4 皆比 Model 5 大；就應力而言，當作用在肋上時其 Model 4 比 Model 5 小，但當作用非在肋上時其 Model 4 比 Model 5 大。

D. Model 3 與 Model 5 之比較 (如表 9)

當力作用在肋上時，就等效應力而言，Model 3 的應力值比 Model 5 小，其差異在 2%~21%，就最大主應力而言 Model 3 的應力值比 Model 5 小，其差異在 2%~21%，就側向變形量而言，Model 3 的變形量比 Model 5 大，其差異為 22%~28%。

當力作用非在肋上時，就等效應力而言，Model 3 的應力值比 Model 5 大，其差異在 2%~7%，就最大主應力而言 Model 3 的應力值比 Model 5 大，其差異在 5%~12%，就側向變形量而言，Model 3 的變形量比 Model 5 大，其差異為 10%~19%。

綜合以上，就側向變形量而言，其 Model 4 皆比 Model 5 大；就應力而言，當作用在肋上時其 Model 3 比 Model 5 小，但當作用非在肋上時其 Model 3 比 Model 5 大。

E. Model 2~Model 5 之綜合比較

由以上 A、B、C、D 四項之比較結果整理出表 10，從表所得的資訊可知，以 Model 3 來架構模型容易且所得的數據較為保守，可用來模擬肋的形式，最後決定選擇 Model 3 來作為打擊面有無加肋影響的比較及田口法最佳化設計的實驗模型。

(二) 打擊面有無加肋之比較 (如表 11)

就等效應力而言，其 Model 3 的應力值比 Model 1 皆小，尤在位置 2 處的 26.4% 改善最大，而當力作用在肋上時可改善 4%~26%，而當力非作用在肋上時可改善 4%~10%。

就最大主應力而言，其應力值在位置 2、3、5、6、8 即打擊面偏中下方時 Model 3 比 Model 1 大但其差異在 2%~5% 不是很大，其餘的改善狀況為 4%~15%。

就側向變形量而言，其 Model 3 的值皆比 Model 1 小為 15%~28% 的改善，表示當力作用在打擊面時因有助的支撐及部份力的吸收而使其變形量變小。

就整體而言，當打擊面背部有加肋時其應力可有 4%~15% 的改善，其側向變形量可有 15%~28% 的改善，由此可知打擊面加肋可改善其強度。

3-2 田口法最佳化設計結果

此部份為採用田口法分析來探討肋的寬度、高度及擊球速度對於高爾夫球木桿頭打擊面的影響，探討時以等效應力 (Seqv) 來討論靜力破壞，最大主應力 (S1) 來討論疲勞破壞，及以 Z 方向的位移來探討變形狀況。

就靜力破壞而言，分析結果由於各 Case 的圖形相似，因此以圖 4 中所示的 Case1 及 Case2 來比較，從圖中可知，四個圖形中折線的趨勢滿接近，所以加權值的改變對靜力破壞沒有影響。在同一圖中可觀察到，肋的寬度及厚度愈大愈好，因為愈大表示肋的面

積慣性矩愈大，所能承受的應力愈大；就擊球速度來說，由圖中所示，速度愈小愈佳，此點可從衝擊力方程式可印證；又圖中三條線的斜率以擊球速率最大，肋的高度次之，肋的厚度最小。因此，相較於肋之高度、寬度擊球的速度對於打擊面的靜力破壞較為重要。

就疲勞破壞而言，由於 Case2、3、4 相似，因此，由圖 5 中四個圖來比較；縱觀之下，比較三個設計參數的斜率，以擊球速率最大，肋的高度次之，而肋的寬度最小，因此可知，以擊球速率影響疲勞破壞最大；以同 Case 來比較，實驗二中擊球速率的斜率大於實驗一的斜率，而實驗一中肋的寬度及高度的斜率大於實驗二的斜率，由此可知，擊球速率以愈小愈好，而肋的寬度及高度以愈大愈佳。

就側向變形量而言，由於 Case2、3、4 相似，因此，由圖 6 中四個圖來比較；縱觀之下，比較三個設計參數的斜率，以擊球速率最大，肋的高度及寬度相當接近，因此可知，以擊球速率影響變形量最大；以相同 Case 來比較，實驗二中擊球速率的斜率大於實驗一的斜率，而實驗一中肋的寬度及高度的斜率大於實驗二的斜率，由此可知，擊球速率以愈小愈好，而肋的寬度及高度以愈大愈佳。

綜合以上所述，在靜力破壞、疲勞破壞及側向變形量中以擊球速率的影響最大，肋的高度次之，肋的寬度最小；各設計參數中，擊球速率以愈小愈好，而肋的寬度和高度則愈大愈佳。

四、結論

本文以高爾夫球木桿頭之肋結構為主題，探討打擊面背部加肋時的最佳有限元素模型及比較有無加肋的影響，並探討肋的最佳化設計，綜合各項分析結果得到以下的結論：

1. 就肋結構的有限元素模型架構以 Model 3 架構容易，分析結果所得的資料較為保守而為較佳的模型架構方式，而雖然 Model 5 的理念較接近實際狀況但因模型架構複雜且求解時間較慢。

而相較於 Model 3 就較為不理想。

2. 就打擊面背部有無加肋比較，當打擊面有加肋時確實可改善打擊面的強度。
3. 就田口法最佳化設計而言，擊球速率為最大的影響因素，而擊球速率則愈小愈好，因此，當選手在揮桿擊球時對於擊球速率的掌控要相關注意；上述的參數主要是由選手控制的，而對於高爾夫球產業則對於肋的寬度及高度要作控制，由分析結果得知，肋的寬度及厚度以愈大愈佳，而高度的重要性又比寬度重要。

本文就最後結果提出幾項建議：

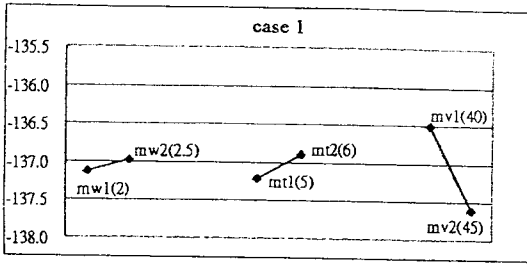
1. 由於本文的研究以 2D 的方式做探討，為了使結果更接近實際形式，因此建議在架構模型時元素可選用 Solid 元素，並考慮打擊面的厚度、傾角及面引角，將模型模擬成 3D 的方式。
2. 就最佳化設計而言，由於擊球速率愈小愈好，肋的寬度及高度則愈大愈佳，因此可針對此方向做參數最佳值的探討。

五、致謝

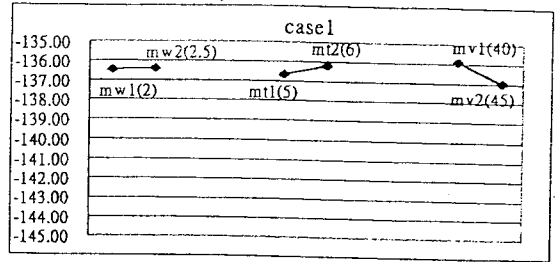
感謝王柏村老師在實物專題製作這一年以來對於專題的指導及問題的解決，使本組對於研究開發有更深一層的認知。感謝大田精密鑄造公司的蘇先生及職員在參訪期間提供完整的高爾夫球具資訊，使本組在專題進行中針對高爾夫球桿頭有充份的概念。最後感謝本組組員的合作及系上同學及老師的鼓勵才得以使本組專題能順利完成，最後致上最高感謝。

六、參考文獻

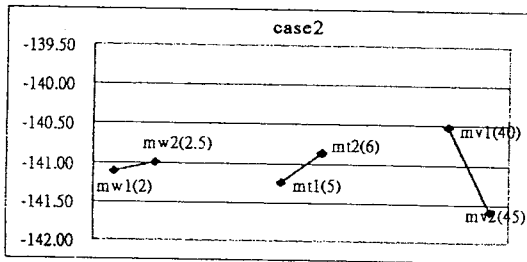
1. 唐偉森、鄭榮和，1994，「高爾夫球頭之超塑性成形設計與製作」，國立台灣大學機械工程研究所碩



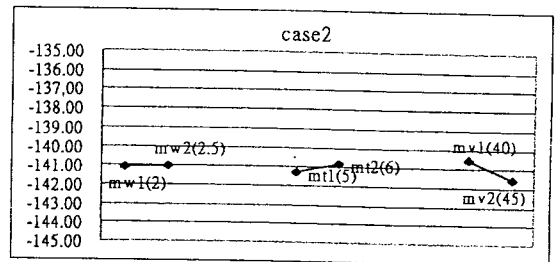
(a) 實驗一：case1



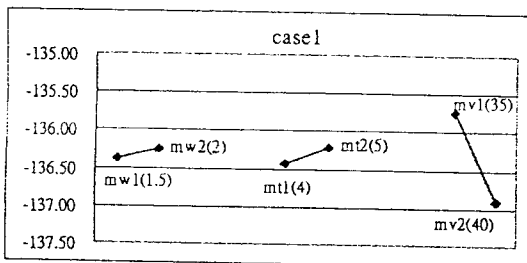
(a) 實驗一：case1



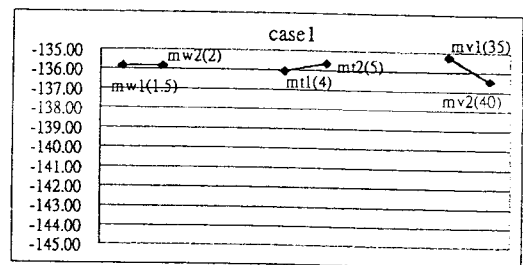
(b) 實驗一：case2



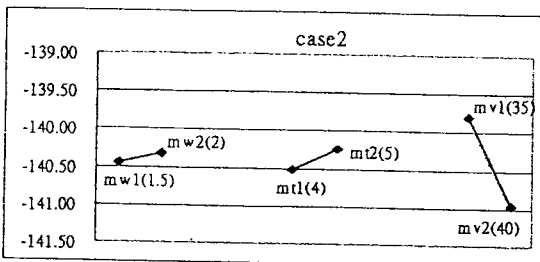
(b) 實驗一：case2



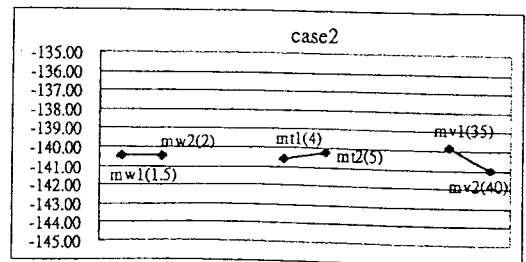
(c) 實驗二：case1



(c) 實驗二：case1



(d) 實驗二：case2



(d) 實驗二：case2

圖 4 田口法分析結果 (等效應力)

圖 5 田口法分析結果 (最大主應力)

士論文。

2. 黎煥生、吳學鑑，1994，「高爾夫球桿頭與球之碰撞分析及球桿頭之設計」，國立中山大學機械工程研究所碩士論文。

2. 胡弘昇、吳學鑑，1995，「高爾夫球具之動態模擬分析」，國立中山大學機械工程研究所碩士論文。

3. 許國洲、鄭榮和，1996，「高爾夫球桿頭製作與初始外形之逆向設計」，國立台灣大學機械工程研究所碩士論文。

4. 陳崇熙、景鴻鑫，1997，「複材高爾夫球桿組之動態特性」，國立成功大學航空太空工程研究所碩士論文。

5. 陳興忠、王柏村，1998，「田口法應用於最佳化設計問題」，國立屏東科技大學學報，第七卷，第一期，第13-20頁。

表 1 材料性質及各部位尺寸

材料	鋼
打擊面厚度	3 mm
肋的高度	5mm
肋的寬度	2mm
楊氏係數	210Gpa
蒲松比	0.3

表 2 元素形式與模型架構理念

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
打擊面無加肋，用殼元素架構	打擊面用殼元素架構，肋用樑元素架構	打擊面用殼元素架構，肋用殼元素架構，肋的高度為 A=H	打擊面用殼元素架構，肋用殼元素架構，肋的高度為 B=H+T/2	打擊面用殼元素架構，肋用殼元素架構，肋的寬度為 a=H-T/2	打擊面用殼元素架構，肋用殼元素架構，肋的寬度為 b=H
					樑元素是用來作力傳遞的效果 A=T/2 B=H
	T: 打擊面厚度 H: 肋之高度 W: 肋之寬度				

表 3 加權值分配表

	ω_2	ω_3	ω_{13}	ω_{14}	ω_{16}	ω_{17}
Case1	1	1	1	1	1	1
Case2	3	3	1	1	1	1
Case3	4	2	1	1	1	1
Case4	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

表 4 實驗水準表

(a) 實驗一

設計參數	W	H	V
水準 1	2	5	40
水準 2	2.5	6	45

(b) 實驗二

設計參數	W	H	V
水準 1	1.5	4	35
水準 2	2	5	40

表 5 直交表 $L_4(2^3)$

(a) 實驗一

設計參數	W	H	V
實驗 1	2	5	40
實驗 2	2	6	45
實驗 3	2.5	5	45
實驗 4	2.5	6	40

(b) 實驗二

設計參數	W	H	V
實驗 1	1.5	4	35
實驗 2	1.5	5	40
實驗 3	2	4	40
實驗 4	2	5	35

表 6 Model 2 與 Model 3 之比較

(a) Seqv, 等效應力

Model 2	111956	136327	106939	143885	131031	
Model 3	143036	144365	147567	149228	151465	
差異百分比	21.7%	5.56%	27.5%	3.58%	13.5%	
161574	133476	157677	117809	155081	112562	128022
161725	137748	158619	125954	156336	138348	127996
0.09%	3.10%	0.59%	6.47%	0.80%	18.6%	-0.02%
	116248	145333	108783	141496	115167	
	137952	147426	127604	143700	134735	
	15.7%	1.42%	14.7%	1.53%	14.5%	

表 6 Model 2 與 Model 3 之比較 (續)

(b) S1, 最大主應力

Model 2	126207	153779	120525	162297	126923	
Model 3	161247	162790	166272	168288	170803	
差異百分比	21.7%	5.54%	27.5%	3.56%	25.7%	
138406	93271	103176	101447	108293	101093	145005
137614	122805	127578	141819	118439	137768	144977
-0.58%	24.0%	19.1%	28.5%	8.57%	26.6%	-0.02%
	126204	128650	112751	133501	129759	
	155621	135585	143870	142054	151989	
	18.9%	5.11%	21.6%	6.02%	14.6%	

(c) Uz, Z 方向變形量

Model 2	-0.807e-8	-0.737e-8	-0.683e-8	-0.679e-8	-0.520e-8	
Model 3	-0.825e-8	-0.768e-8	-0.719e-8	-0.703e-8	-0.560e-8	
差異百分比	2.18%	4.04%	5.01%	3.41%	7.14%	
-0.104e-7	-0.147e-7	-0.157e-7	-0.149e-7	-0.143e-7	-0.114e-7	-0.723e-8
-0.103e-7	-0.141e-7	-0.154e-7	-0.144e-7	-0.143e-7	-0.112e-7	-0.724e-8
-0.97%	-0.04%	-1.95%	-3.47%	0.00%	-1.78%	0.14%
	-0.105e-7	-0.121e-7	-0.124e-7	-0.110e-7	-0.793e-8	
	-0.104e-7	-0.121e-7	-0.120e-7	-0.111e-7	-0.795e-8	
	-0.96%	0.00%	-3.33%	0.90%	0.25%	

表 7 Model 3 與 Model 4 之比較

(a) Seqv, 等效應力

Model 3	143036	144365	147567	149228	151465	
Model 4	132430	136858	135075	143759	140960	
差異百分比	7.4%	5.2%	8.4%	3.7%	7.0%	
161725	137748	158619	125954	156336	138348	127996
161291	125386	153305	115102	152349	126293	127575
0.3%	9.0%	3.4%	8.6%	2.6%	8.7%	0.33%
	137952	147426	127604	143700	134738	
	126990	144227	118058	141608	125935	
	7.9%	2.2%	7.5%	1.5%	6.5%	

(b) S1, 最大主應力

Model 3	161247	162790	166272	168288	170803	
Model 4	149281	154345	152174	162137	158929	
差異百分比	7.4%	5.2%	8.5%	3.7%	7.0%	
137614	122805	127578	141819	118439	137768	144977
135026	115194	115635	129627	108140	126927	144500
2%	6%	9.4%	8.6%	8.7%	7.9%	0.33%
	155621	135585	143870	142054	151989	
	143276	124603	133127	132926	142078	
	8%	8.1%	7.5%	6.4%	6.5%	

(c) Uz, Z 方向變形量

Model 3	-0.825e-8	-0.768e-8	-0.719e-8	-0.703e-8	-0.560e-8	
Model 4	-0.719e-8	-0.714e-8	-0.617e-8	-0.656e-8	-0.492e-8	
差異百分比	12.8%	7.0%	14.2%	6.7%	12.1%	
-0.103e-7	-0.141e-7	-0.154e-7	-0.144e-7	-0.143e-7	-0.112e-7	-0.724e-8
-0.999e-8	-0.121e-7	-0.135e-7	-0.121e-7	-0.128e-7	-0.961e-8	-0.716e-8
3.0%	14.2%	12.3%	16.0%	10.5%	14.2%	1.1%
	-0.104e-7	-0.121e-7	-0.120e-7	-0.111e-7	-0.795e-8	
	-0.909e-8	-0.109e-7	-0.103e-7	-0.102e-7	-0.692e-8	
	12.6%	9.9%	14.2%	8.1%	13.0%	

表 8 Model 4 與 Model 5 之比較

(a) Seqv, 等效應力

Model 5	146309	133712	187921	141021	173076	
Model 4	132430	136858	135075	143759	140960	
差異百分比	9.49%	2.30%	28.12%	1.90%	18.56%	
161209	120908	151825	148584	151178	140870	127380
161291	125386	153305	115102	152349	126293	127575
0.05%	3.57%	0.97%	22.53%	0.77%	10.35%	0.15%
	130850	143051	122187	140762	133827	
	126990	144227	118058	141608	125935	
	2.95%	0.82%	3.38%	0.60%	5.90%	

(b) S1, 最大主應力

Model 5	164616	150810	211414	159061	194510	
Model 4	149281	154345	152174	162137	158929	
差異百分比	9.32%	2.29%	28.0%	1.90%	18.29%	
134062	121332	140726	167397	125750	158543	144280
135026	115194	115635	129627	108140	126927	144500
0.71%	5.06%	17.83%	22.56%	14.00%	19.94%	0.15%
	147700	120662	137832	129241	151098	
	143276	124603	133127	132926	142078	
	3.00%	3.16%	3.41%	2.77%	5.97%	

(c) Uz, Z 方向變形量

Model 5	-0.673e-8	-0.674e-8	-0.576e-8	-0.635e-8	-0.457e-8	
Model 4	-0.719e-8	-0.714e-8	-0.617e-8	-0.656e-8	-0.492e-8	
差異百分比	6.40%	5.60%	6.65%	3.20%	7.11%	
-0.987e-8	-0.113e-7	-0.129e-7	-0.112e-7	-0.123e-7	-0.894e-8	-0.713e-8
-0.999e-8	-0.121e-7	-0.135e-7	-0.121e-7	-0.128e-7	-0.961e-8	-0.716e-8
1.20%	6.61%	4.44%	7.44%	3.91%	7.00%	0.42%
	-0.855e-8	-0.104e-7	-0.955e-8	-0.985e-8	-0.646e-8	
	-0.909e-8	-0.109e-7	-0.103e-7	-0.102e-7	-0.692e-8	
	5.94%	4.59%	7.28%	3.43%	6.65%	

表 9 Model 3 與 Model 5 之比較

(a) Seqv, 等效應力

Model 3	143036	144365	147567	149228	151465	
Model 5	146309	133712	187921	141021	173076	
差異百分比	2.24%	-7.97%	-21.5%	-5.82%	12.5%	
161725	137748	158619	125954	156336	138348	127996
161209	120908	151825	148584	151178	140870	127380
0.23%	9.42%	3.71%	20.71%	2.52%	6.98%	-0.48%
	137952	147426	127604	143700	134738	
	130850	143051	122187	140762	133827	
	-5.43%	-3.05%	-4.43%	-2.09%	-0.68%	

(b) S1, 最大主應力

Model 3	161247	162790	166272	168288	170803	
Model 5	164616	150810	211414	159061	194510	
差異百分比	2.05%	-7.94%	21.4%	-5.81%	12.1%	
137614	122805	127578	141819	118439	137768	144977
134062	121332	140726	167397	125750	158543	144280
-2.65%	-1.21%	9.34%	15.3%	5.81%	13.1%	-0.48%
	155621	135585	143870	142054	151989	
	147700	120662	137832	129241	151098	
	-5.36%	-12.4%	-4.38%	-9.91%	-0.59%	

表 9 Model 3 與 Model 5 之比較 (續)

(c) Uz, Z 方向變形量

Model 3	-0.825e-8	-0.768e-8	-0.719e-8	-0.703e-8	-0.560e-8	
Model 5	-0.673e-8	-0.674e-8	-0.576e-8	-0.635e-8	-0.457e-8	
差異百分比	-22.6%	-13.9%	-24.8%	-10.7%	-22.5%	
0.103e-7	-0.141e-7	-0.154e-7	-0.144e-7	-0.143e-7	-0.112e-7	-0.724e-8
-0.987e-8	-0.113e-7	-0.129e-7	-0.112e-7	-0.123e-7	-0.894e-8	-0.713e-8
-4.36%	-24.8%	-19.4%	-28.6%	-16.3%	-25.3%	-1.54%
	-0.104e-7	-0.121e-7	-0.120e-7	-0.111e-7	-0.795e-8	
	-0.855e-8	-0.104e-7	-0.955e-8	-0.985e-8	-0.646e-8	
	-21.6%	-16.3%	-25.7%	-12.7%	-23.1%	

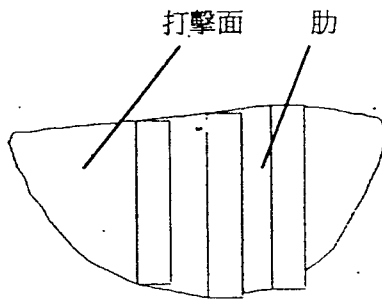


圖 1 高爾夫球木桿頭之幾何形狀

表 10 各形式的差異比較

	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
模型架構	易	易	易	繁
難易度				
元素總數	1470	1560	1560	1653
求解時間	143 sec	151 sec	152 sec	178 sec
資料狀況	較不接近 實際狀況	較保守	保守	較接近實 際狀況

表 11 Model 3 與 Model 1 之比較

(a) Seqv, 等效應力

Model 3	143036	144365	147567	149228	151465	
Model 1	149303	161512	168265	162664	163824	
差異百分比	4.2%	10.6%	12.3%	8.3%	7.5%	
161725	137748	158619	125954	156336	138348	127996
162746	173548	172947	171109	166932	174722	129122
0.63%	20.6%	8.3%	26.4%	6.3%	20.8%	0.87%
	137952	147426	127604	143700	134738	
	151665	155707	158340	149062	150498	
	9.1%	5.3%	19.4%	3.6%	10.5%	

(b) S1, 最大應力

Model 3	161247	162790	166272	168288	170803	
Model 1	168310	182076	189854	183408	184798	
差異百分比	4.2%	10.6%	12.4%	8.2%	7.6%	
137614	122805	127578	141819	118439	137768	144977
144111	117043	136502	140872	136172	132538	146250
4.5%	-4.9%	6.5%	-0.67%	13.0%	-3.9%	0.87%
	155621	135585	143870	142054	151989	
	152117	158741	139997	161443	163056	
	-2.3%	14.6%	-2.8%	12.0%	6.8%	

(c) Uz, Z 方向變形量

Model 3	-0.825e-8	-0.768e-8	-0.719e-8	-0.703e-8	-0.560e-8	
Model 1	-0.107e-7	-0.937e-8	-0.950e-8	-0.829e-8	-0.719e-8	
差異百分比	22.9%	18.0%	24.3%	15.2%	22.1%	
0.103e-7	-0.141e-7	-0.154e-7	-0.144e-7	-0.143e-7	-0.112e-7	-0.724e-8
0.111e-7	-0.193e-7	-0.202e-7	-0.202e-7	-0.179e-7	-0.151e-7	-0.742e-8
7.2%	26.9%	23.8%	28.7%	20.1%	25.8%	2.42%
	-0.104e-7	-0.121e-7	-0.120e-7	-0.111e-7	-0.795e-8	
	-0.137e-7	-0.153e-7	-0.165e-7	-0.135e-7	-0.105e-7	
	24.1%	20.9%	27.3%	17.8%	24.0%	

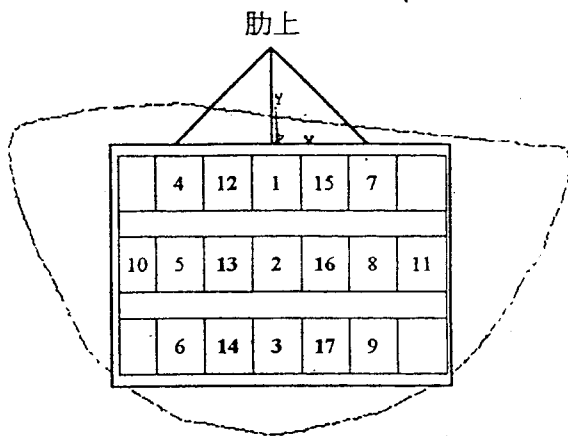


圖 2 作用力位置分配圖

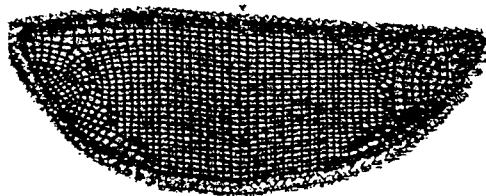


圖 3 有限元素模型分割圖

Rib Structural Analysis of Golf Wood Head

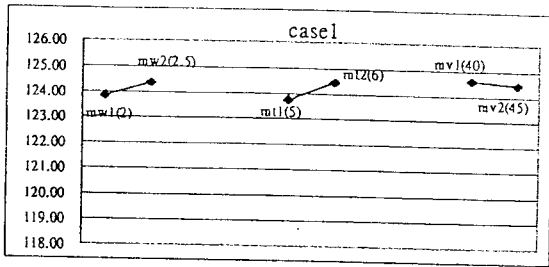
Hong-Wen Huang · Xiu-Rong Li and Zhi-Mung Guo

Bor-Tsuen Wang

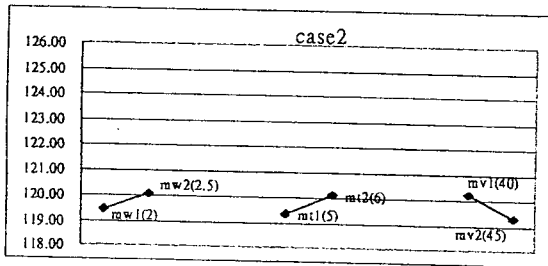
Department of Mechanical Engineering
National Ping-Dong University of Science and
Technology

ABSTRACT

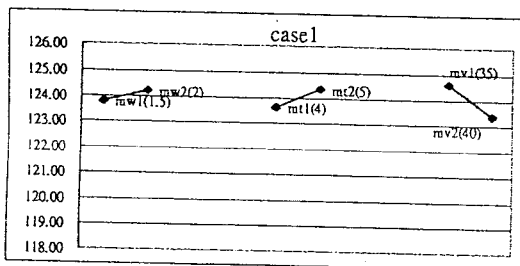
This work presents the structural analysis of golf wood head, which is reinforced with ribs. The analysis is divided into three parts. First, the rib structural analysis via finite element method is discussed. Various types of finite element models are constructed and analyzed to show their suitability. Second, the golf wood head with and without ribs subjected to the impact force is also studied and compared. Third, with the application of Taguchi method, the effects of rib width, rib height and impact velocity on the strength of wood head, in terms of static failure, fatigue failure and deformation, are studied. Finally, the improvement of golf head design is proposed as well as the future work.



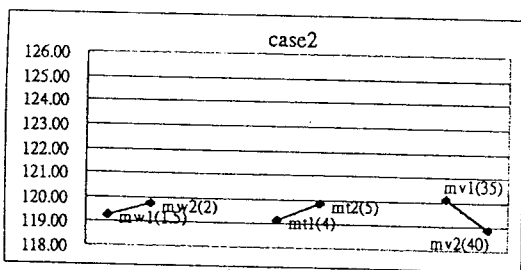
(a) 實驗一：case1



(b) 實驗一 case2



(c) 實驗二：case1



(d) 實驗二：case2

圖 6 田口法分析結果 (側向變形量)