

ゴルフクラブの音響・振動シミュレーション

松村 信宏

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻

平松 香梨

中島 和寛

岩原 光男

長松 昭男

法政大学工学部機械工学科

今日ゴルフクラブは規格により、飛距離の面では差別化が図れなくなった。そこで、音質の良さをゴルフクラブの一つの付加価値とする動きが生まれた。時間やコストを抑えつつ音質の良さを追及するには、設計段階で音を予測する方法が有効である。

本研究はその手法について、ドライバーをモデル化したチタン材質の中空円筒を題材にして行うものである。

1. 結論

本研究室ではゴルフクラブ、ドライバーの打撃音の音質向上に関する研究を行っている。2003年度は速度ポテンシャル法によって放射音を予測するFORTRANプログラムを作成し、NASTRANの固有値解析の結果を読みこんでドライバーの耳位置での音を計算できた⁽¹⁾。しかし放射音の予測結果と実験結果は、平板では一致するもののドライバーでは一致しなかった。2004年度はアイアンクラブについて研究を行い、表面速度と放射音を精度よく予測できた。

本研究はその手法について、ドライバーをモデル化したチタン材質の中空円筒を題材にして行うものである。具体的には実験モード解析と有限要素法による計算モード解析の結果を比較した。実験には新しくレーザー振動計を使用し、表面速度の実験と計算を比較した。その後、計算モード解析の固有値データを用いて音圧を予測し、実際の音圧と比較した。放射音予測プログラムの不備を修正し、多様な入力形式と出力形式に対応できるように改良した。

2. 固有値データを用いた音圧計算プログラム

音圧は、FORTRANプログラムにより求めた。フローチャートを図1に示す。NASTRANによって計算した固有値データを用い、各要素の表面速度、速度ポテンシャルを計算し、音圧を求めるものである。

これまでに、表面要素が3軸に垂直だと計算できない不具合があり、要素の法線ベクトルを計算する時の連立方程式解法に問題があることが分かって修正した。また、多様な入力方向、入力データ形式、出力データ形式にも対応できるようにする。

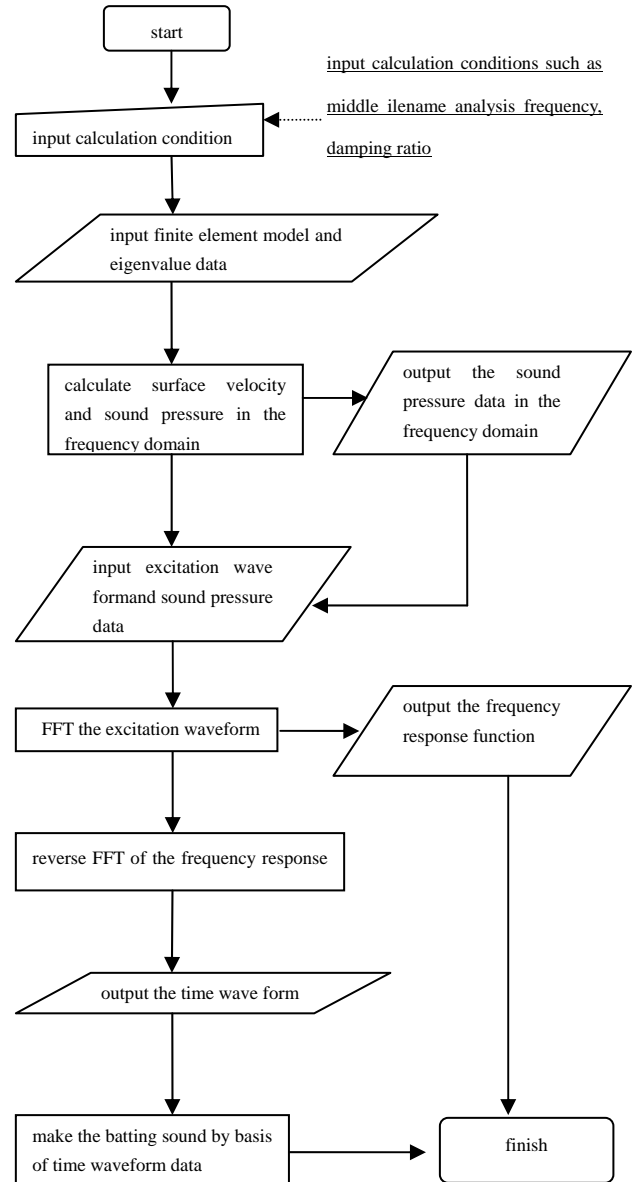


図1, プログラムフローチャート

3. 実験及び計算モード解析の詳細

10,000[Hz]以降は人間の耳にはあまり聞こえないことから、今回は解析する周波数領域を 10,000[Hz]までと定めた。

実験モード解析はモデルをインパルス・ハンマで加振し、5回の平均値を用いた。応答点には3軸加速度ピックアップを取り付け、FFT装置を用いて測定する。また、予備実験として1軸のレーザーの振動計による実験も行った。図2に実験の様子を、図3に実験モード解析モデルを示す。

計算モード解析はモデル作成にはAltair Hyper meshを、計算にはMSC/NASTRANを使用した。図4は有限要素法モデル、図5～11は有限要素法によるモード形状である。

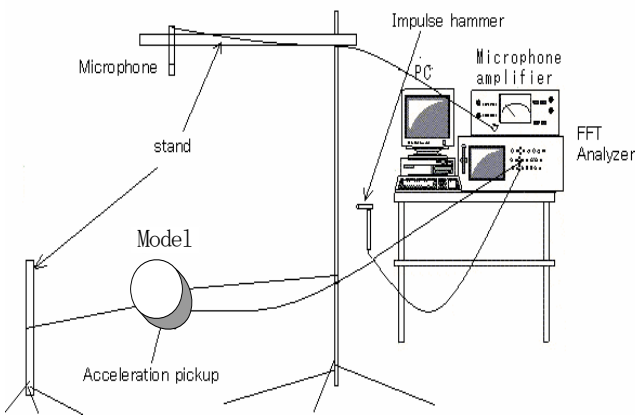


図2 実験装置

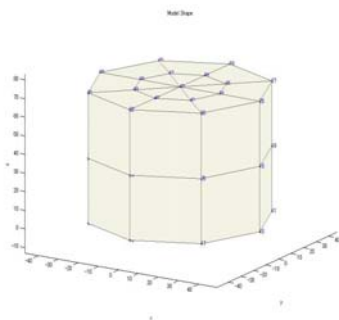


図3. 実験モード解析モデル

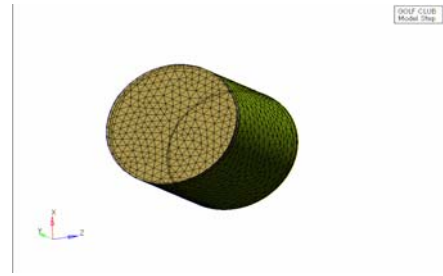


図4. 有限要素モデル

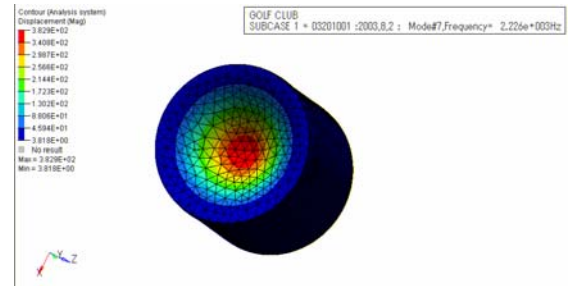


図5. 有限要素モデル第1次モード

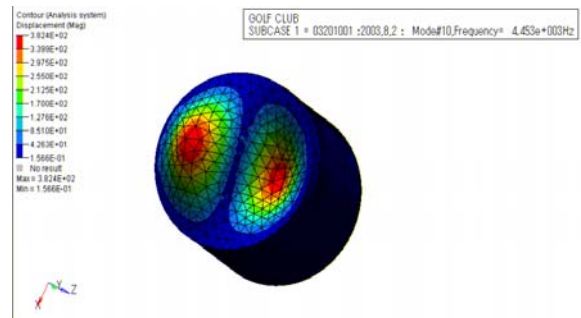


図6. 有限要素モデル第2次モード

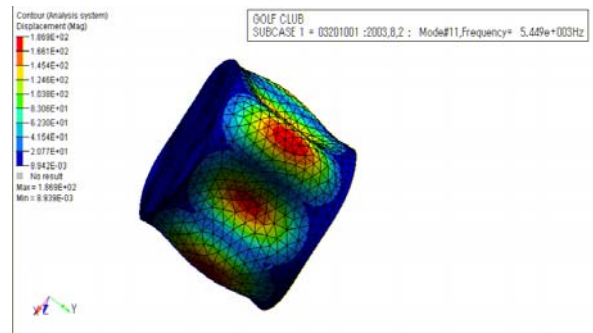


図7. 有限要素モデル第3次モード

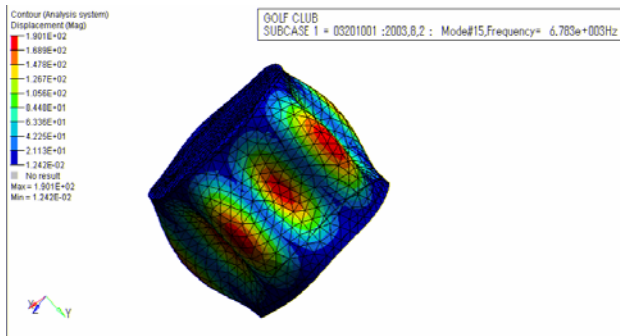


図 8. 有限要素モデル第4次モード

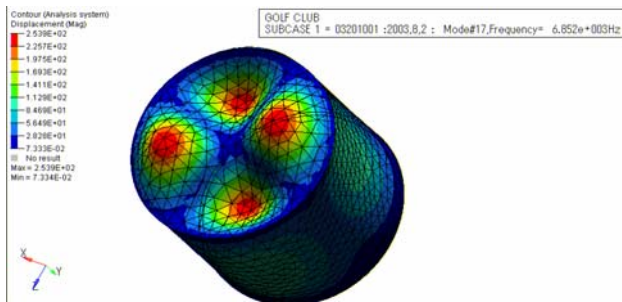


図 9. 有限要素モデル第5次モード

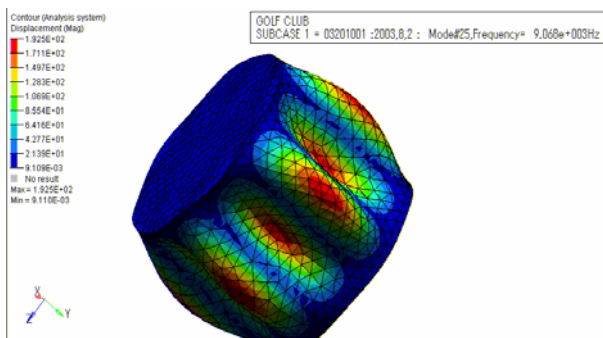


図 10. 有限要素モデル第6次モード

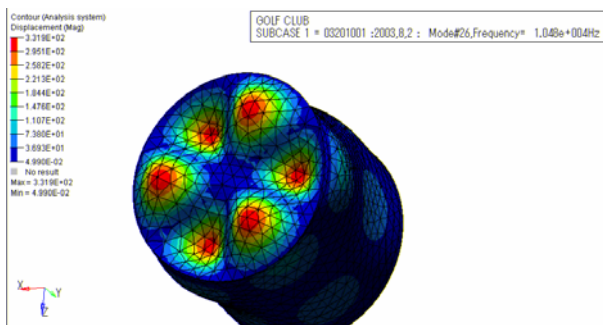


図 11. 有限要素モデル第7次モード

4. 結果の比較と考察

モード形状は、円筒と円板のモード形状を組み合わせたものであるといえる。4500[Hz]付近まではモデルの底部及び上部の円形の部分のみが単体の円板の低次モードと同様に振動する。その後はモデル側面の筒部分のみが単体の円筒の低次モードと同様に振動し、高周波部分では円筒と円板の高次モードが一度に混ざった形で現れる。実験解析の点数が少ないために、高次モードについては確認できないものの、低次モードに関してはモード形状も一致している事が確認できた。

図 12 は、Y 軸方向(二枚の円形部の中央を結んだ線の軸方向)の表面振動を比較したグラフである。5000[Hz]付近までは実験と計算の結果が比較的近くなったが、それ以外の部分では3軸ピックアップを用いた実験と計算の結果に差が出た。加速度ピックアップはそれ自体の重さがモデルにかかってしまう為、実験精度が落ちる傾向がある。しかし、非接触で計測できるレーザー振動計は、余計な質量をモデルに加えずに済むので、1軸であるが実験精度の向上が望める。

レーザー振動計を用いた実験結果は、3軸ピックアップより計算に近くなった。しかしながら、レーザー振動計を用いた場合でも、高周波領域ではピークの高さに差が出た。

図 13 は音圧における計算と実験結果を比較したグラフである。音圧については波形に似た部分はあるものの固有振動数のずれなどが生じた。

これらの理由としては、内部の空気が要素として含まれていないことが考えられる。内部の空気を要素に含めた場合空気共鳴が考慮されるので、より実際に近い状況になる。

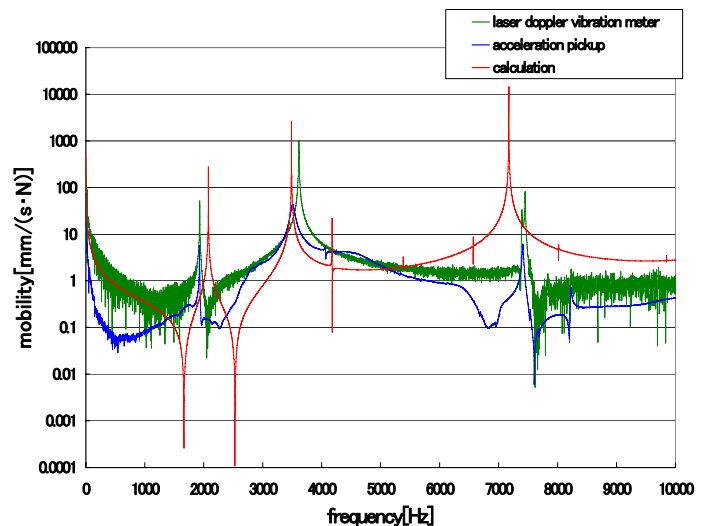


図 12. 表面速度の実験と計算による比較(y 軸方向)

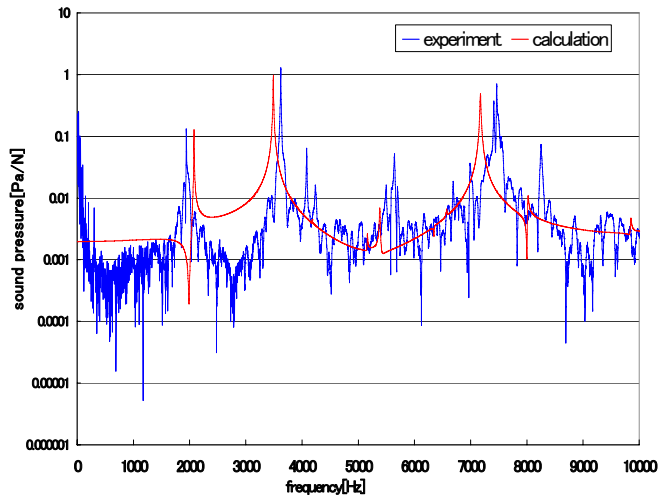


図 13. 音圧における計算と実験結果の比較

5. 結論

チタンモデルにおいては、実験解析と計算解析の結果の完璧な一致には至らなかった。表面振動と音圧における計算結果と実験結果の差の解消、空気共鳴の正確な再現が今後の課題である。

6. 参考文献

- 1) 松村信宏ほか, Sound and Vibration Simulation of the Golf Club, (2005), 法政大学計算科学研究センター
- 2) MSC NASTRAN 2001 日本語オンラインマニュアル, MSC Software, 2001
- 3) 長松昭男, モード解析入門, (1993), コロナ社
- 4) 鈴木浩平ほか, 機械工学のための振動・音響学, (2002), サイエンス社

キーワード

音響、振動、シミュレーション、実験モード解析、有限要素法、表面振動

Summary.

Sound and vibration simulation of the golf club

Nobuhiro Matsumura
Graduate School , Hosei University

Hirematsu Kaori Nakazima Kazuhiro
Department of mechanical engineering

Mitsuo Iwahara Akio Nagamatsu
Department of mechanical engineering

The golf club is not able to have differentiation in a carry by a standard today.

Therefore good sound quality became one of value-added of a golf club.

A method to predict a sound at a design stage is effective to investigate sound good quality without taking an expense. With a hollow cylinder of the titanium which modelled a driver, We studied the technique this time.

Keywords

Sound, Vibration, Simulation, Experimental mode analysis, Finite element method, Surface velocity.