法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-04

ゴルフクラブの振動・音響シミュレーション

渡利, 将雄 / 御法川, 学 / 長松, 昭男 / 岩原, 光男 / 岩佐, 幸紀 / IWASA, Kouki / NAGAMATU, Akio / MINORIKAWA, Manabu / IWAHARA, Mituo / WATARI, Masao

(出版者 / Publisher)
法政大学計算科学研究センター
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学計算科学研究センター研究報告 / Bulletin of Computational Science Research Center, Hosei University
(巻 / Volume)
17
(開始ページ / Start Page)
31
(終了ページ / End Page)
35
(発行年 / Year)
2004-03-22
(URL)
https://doi.org/10.15002/00025002

ゴルフクラブの振動・音響シミュレーション

岩佐　幸紀　　渡利　将雄
法政大学工学部機械工学科

岩原　光男　　長松　昭男　　御法川　学
法政大学工学部機械工学科

身の回りにある製品というものは振動現象を利用して商品化されているものがある。ゴルフを気持ちよくするにはゴルフクラブのスイング音、ボールとの衝突音が製品化に問われるところである。そこで今回研究課題として取り上げるのは後者である。実験、シミュレーション、ミズノの算出値の同定をした上で衝突音を設計段階である程度予測し向上へと FORTRAN で音響プログラムを作成し実験の音と比較した。

1. 緒言

ゴルフヘッドの衝突時に生じる現象を実験モード解析と有限要素法で同定を行なった。製品開発で問題とされる時間やコスト削減を改善するため，その結果を利用し設計段階で音の予測をしようとサウンドプログラムを作成し実験データと比較をした。

2. モード形状の実験とシミュレーションとの同定

2.1. 実験モード解析および音圧計測

ゴルフヘッドを図 1 のように MATLAB を用い接点数 90 にメッシュ分割し，インパルス・ハンマを用いた打撃加振，加速度ピックアップを打撃面に固定，ハンマを各店に移動し, FFT 装置を用いて応答を得る加振点移動で行った。打撃試験は 5 回平均で行い，3 軸加速度ピックアップによって 3 方向の応答を測定した。

また音圧測定は，マイクと FFT 装置を使い測定した。はじめに基準音としてピストンホーンのデータを計測した上で、ある点を打撃した時発生する音圧について測定した。マイクの設置位置はヘッドの上部と耳の聞く位置 1m35cm に設けた。

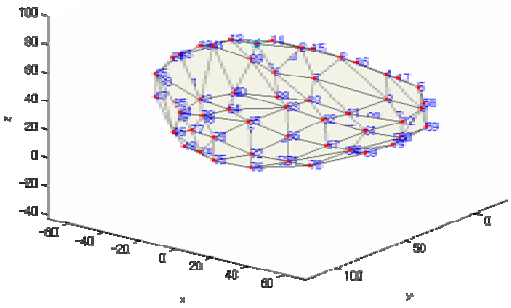

図 1. 実験モード解析に用いたモデル

2.1.有限要素法によるモード解析

ゴルフヘッドを接点数、要素数にメッシュ分割した FEM モデルを図 2 に示す。モデル作成には Altair Hyper mesh を使用し，計算には MSC/NASTRAN を使用した。計算データ範囲は 5000Hz まで行い NASTRAN の結果ファイルを開いてモードの形状について各モードでどのような違いが生まれるのか調べた。

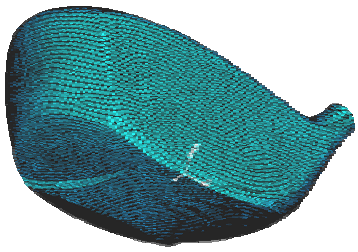

図 2. ゴルフヘッドの FEM

2.3. 実験と計算との比較

表 1.に第 5 次モードまでの各モードが現れる周波数を示す。この結果はかなり良いデータにまとまり誤差が 5 パーセントの範囲に収まった。モードの形状比較は図 3～12 で示す。

形状変化から調べても同じような変化を得えられた。

表 1.各モードの固有振動数

	固有振動数	
mode No.	実験値	計算値
1	2577	2583
2	3256	3287
3	3372	3416
4	3650	3599
5	4054	4284

表 2.実測値と計算結果の重量比較

実測値	188.7g	
立体要素、 2 次元要素	190.4g	1.009
板要素	165.5g	0.877
ミズノモデル	194.4g	1.03

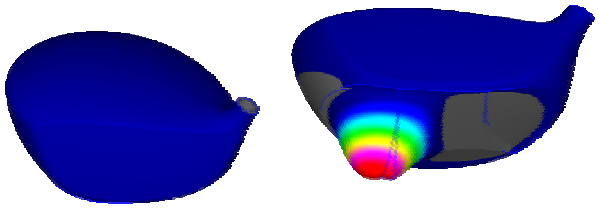

図 3．第一モード形状(シミュレーション)

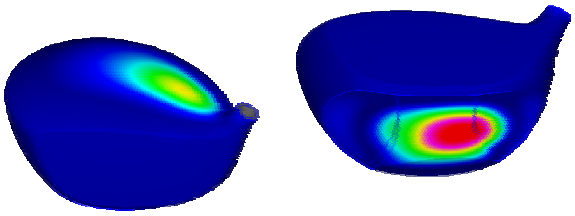

図 4．第二モード形状(シミュレーション)

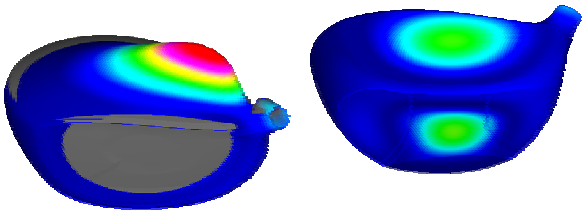

図 5．第三モード形状(シミュレーション)

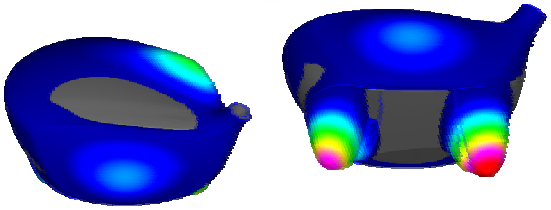

図 6．第四モード形状(シミュレーション)

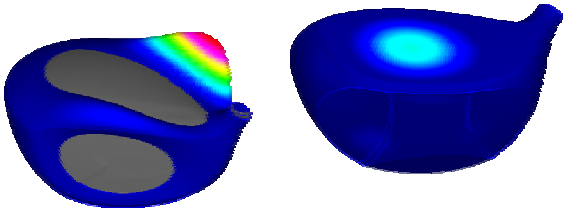

図 7．第五モード形状(シミュレーション)

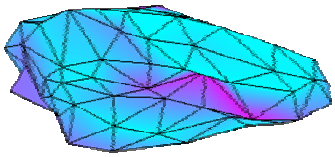

図 8．第一モード形状(実験)

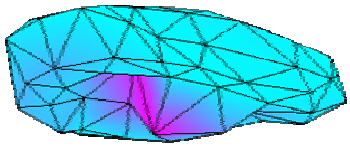

図 9．第二モード形状(実験)

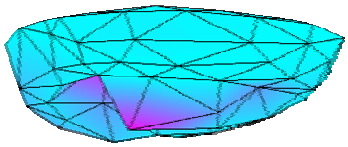

図 10．第三モード形状(実験)

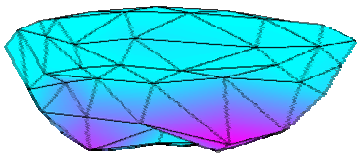

図 11．第四モード形状(実験)

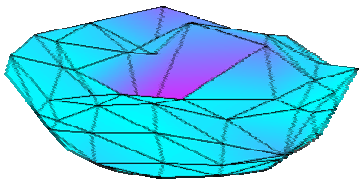

図 12．第五モード形状(実験)

3．音圧計算による音響シミュレーション

3.1．理論式による音圧計算

NASTRAN によって計算した固有値データを用いて，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た。計算機プログラムは，FORTRAN を使用して作成した。その過程を図 13 に示す。

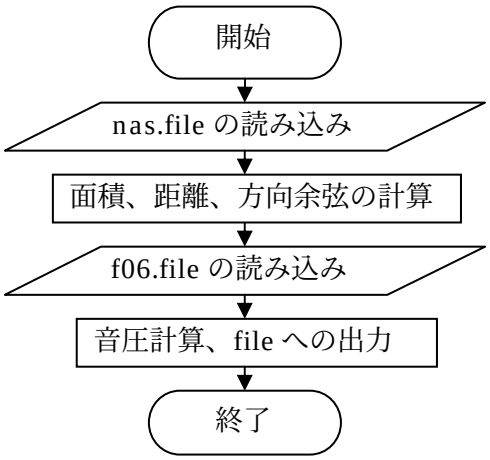

図 13．音圧プログラムの流れ

3.2 音圧計算に用いた理論式

音圧計算プログラムには式(1),(2)を用いて行う。ここで $\dot{\zeta}_0$ は表面速度，k は波数である。実験データと NASTRAN の結果ファイルから各要素の方向余弦,面積,観測地までの距離を求め以下の式を使って行った。

速度ポテンシャル:φ

$$\phi = \frac{1}{2\pi}\int\int_s \frac{\dot{\zeta}_0}{r} e^{j(\omega t - kr)} ds$$

音圧：P

$$P = \rho\frac{\partial\phi}{\partial t} = j\omega\rho\frac{S}{4\pi r}e^{j(\omega t - kr)}$$

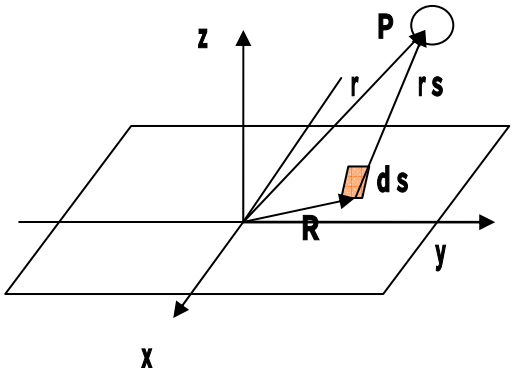

図 14．平板の観測例

4．実験と音響シミュレーションの比較と，考察

図 14.はヘッドの上部の中心のある 1 点の実験と計算での表面速度を求めたものである。4000Hz 付近まではピークの位置が一致したが 4000Hz 以降ではピークの位置がずれてしまった。

図 15.は計算による表面速度の二乗平均と音圧のスペクトルを比較したものである。ピークの周波数の位置はそれぞれ一致しているが、大きさが比例していない。それは音圧計算時に設定した聞く位置から、ヘッドの見える位置の面からしか音圧を計算していないためである。例えば、4200Hz 付近では表面速度の二乗平均が大きいピークを出しているのに対し、音圧では大きく出ていない。これはこのモードが　ヘッドの下が大きく振動するモードのためである。

図 16 は、測定結果と計算結果による音圧の比較である。4000Hz 付近まではピークの位置がある程度一致しているが音圧の値が大きくずれている。また 4600Hz 付近で測定値ではピークが大きく出ているのに対し、計算ではあまり出ていない。4600Hz 付近ではヘッド下の面で大きく振動している。音圧の測定ではこの音を拾っているのにたいし、計算ではヘッドの下の面の音を計算していないため、ピークが大きく出ないのであると思う。

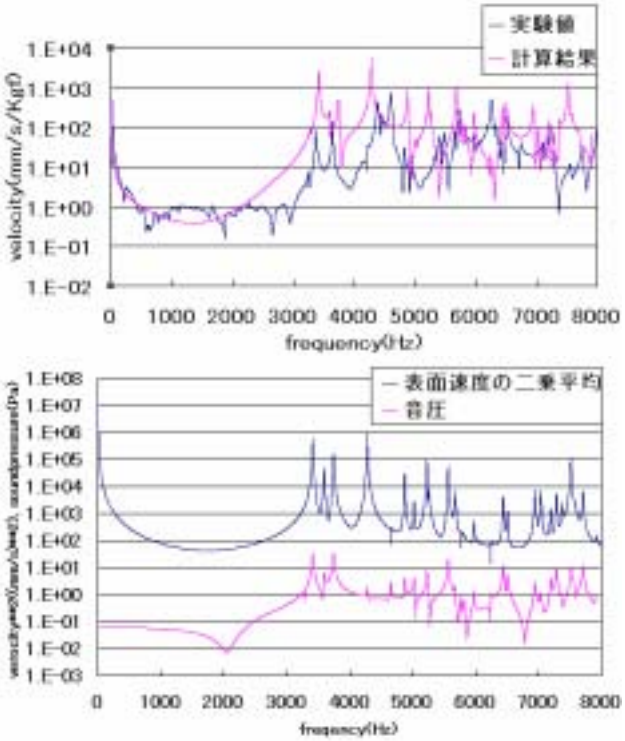

図 15．計算結果による表面速度の二乗平均と音圧についてのスペクトル比較

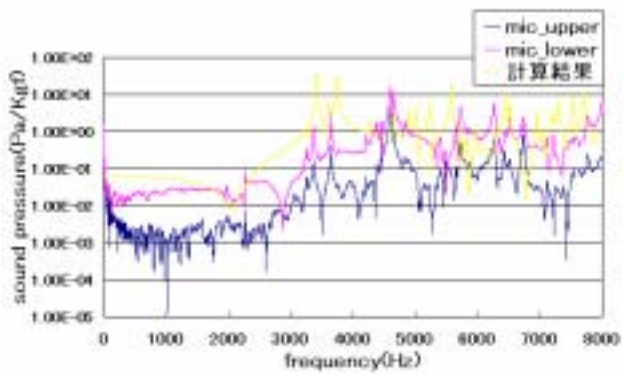

図 16．実験，計算の比較(音圧)

5.結論

1. 固有モードの形状が、有限要素法によってモデル化し計算したものと、実験により求めた物とが約 5%の範囲で一致した。
2. 4000Hz 付近までは、表面速度と音圧はある程度同じ形を見せたが、それ以降では大幅にずれてしまった。
3. 今後の課題として表面速度の計算方法の改良を行い、4000Hz 以降の高周波で一致するようにしたい。また、音圧計算では、反射音や回り込み音についても計算できるように改良し、測定結果と計算結果が合うようにしたい。

参考文献

[1] 長松昭男、"モード解析入門"、コロナ、1999 年 7 月.
[2] 三好俊郎、"有限要素法入門"、培風館、2002 年.
[3] 戸川隼人、"ザ・FORTRAN90/95"、サイエンス社、1999 年.

キーワード.

振動、音響、シミュレーション、実験モード解析、有限要素法、音圧

Summary.

Vibration And The Sound Simulation Of A Golf Clab

Kouki Iwasa　Masao Watari
Department of Architecture, Hosei University

Mituo Iwahara　Akio Nagamatu　Manabu Minorikawa
Department of Architecture, Hosei University

The product in personal appearance has some which are commercialized using the vibration phenomenon. Commercial production is just going to become problem about the swing sound of a golf club, and collision with a ball by that a feeling improves golf. Then, it is the latter which is taken up as a research subject this time. The experiment, the simulation, and the calculation value of Mizuno were identified. Collision sound was predicted to some extent in the design stage on it and to improvement the sound program which was created in FORTRAN compared with the sound of an experiment.

Keywords.

Vibration, Sound, Simulation, Experiment Modal Analysis, Finite Element Method, Sound Pressure