

# モード解析によるソフトテニスラケットの振動特性

山口 尉良

法政大学工学部機械工学科長松研究室

後藤 裕太

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻長松研究室

岩原 光男 長松 昭男

法政大学工学部機械工学科

本研究はソフトテニスラケットに関する研究である。一般的な硬式ラケットについてはいくつかの研究が進んでいる<sup>2)</sup>。しかし、軟式テニスラケットについてはあまり研究がなされていない。本研究では軟式テニスラケットをモード解析し<sup>1)</sup>、その特性を調査した。

## 1. 緒言

ソフトテニス現在世界でも普及しつつあるスポーツである。しかし、硬式テニス比べて一般的ではなく、用具についても研究がなされていない。本研究ではソフトテニスラケットについてモード解析を行い、その特性を調べるとともに実際に求められる構造に最適化手法を適用する目的で研究を開始した。

## 2. 実験モード解析

### 2.1 実験方法

図1に実験に使用した2本のラケットを示す。今回使用したラケットは実際に市販されているソフトテニスラケットを2社(A社 B社)から1本ずつ選んだ。表1に各ラケットの諸元を示す。



Fig.1. Two tennis racket to use for an experiment

Table1.

	weight(g)	full length(mm)	length of pleat long(mm)	length of pleat short(mm)
A	295	690	310	225
B	269	700	320	230

ハンマリング試験は、加速度ピックアップを1点に固定しインパルスハンマで1点ずつ移動して叩き、FFTアナライザを用いて周波数応答関数を得るという多点加振・単点応答という形で行った。

### 2.2 実験結果

図2に2本のラケットの実験モード解析による周波数応答関数を示す。図ではA社B社とも700Hz付近まで同じような関数になっていることが見て取れる。重量においてはA社の方がB社より重くなっているためB社の方が剛性において低いのではないかと考えられる。次式でその関係式を示す。 $f$  は固有周波数、 $k$  は剛性、 $m$  は質量を示す。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

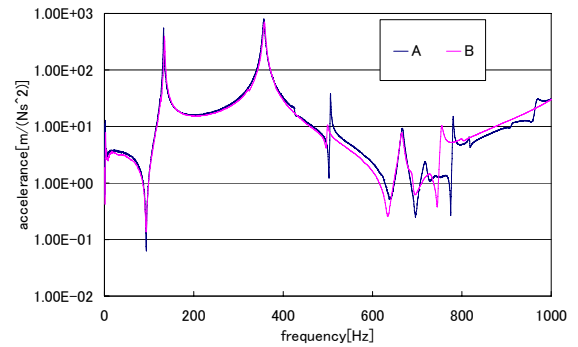


Fig.2. Frequency response function of a racket

## 3. 実打実験

### 3.1 実験方法

実験モード解析において使用したラケットを使用し、グリップエンドに加速度ピックアップを装着し実際に使用する状況とほぼ同じ状態で、実験を行った。実打は熟練者が行い、実際に使われるような打ち方5種 (flat・cut・slice・drive・frame) を測定した。実打時に起きた振動をFFTアナライザを使用して信号処理を行い、グラフ化した。

### 3.2 実験結果

図3にA社, 図4にB社の周波数-加速度の図を表すラケットの実際に打つ位置は打ち方によって差が出てしまうために厳密ではないがガット面を滑らすような打ち方(cut ,slice ,drive)では1次固有モード付近における加速度が小さくなっている。

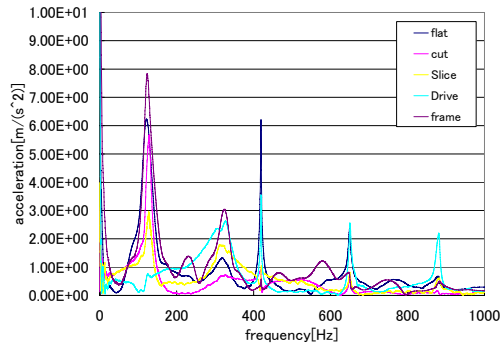


Fig.3.frequency-accelartion of A

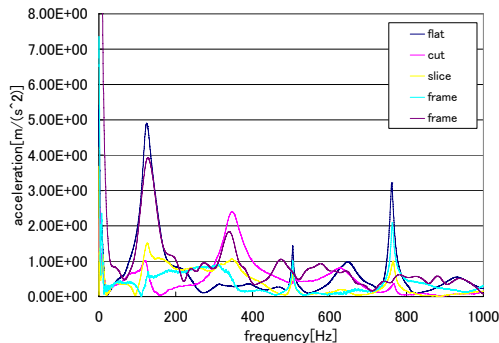


Fig.4.frequency-accelartion of B

### 3.3 フレームの広がり

今回の実験モード解析では今までわかっていた1次曲げモードの固有周波数付近に異なる形状の固有モード形状が現れた. この現れた固有モードの固有周波数と1次曲げモードの固有周波数の比較を表2に示す。

Table.2. Comparison of expanse and bending.

	expanse(Hz)	bending(Hz)	difference(%)
A	123.7	124	0.24
B	122	125	2.40

ここでの固有周波数の差は2%ほどしかない. また,固有モード形状はフレームが広がりガット部が伸び縮みをするようなモード形状になっている. これはガット部に及ぼす影響がとても大きな固有モード形状と思われる。

### 4.計算モード解析

#### 4.1 計算モード解析方法

現在のソフトテニスラケットの制作では経験則に基づく改良が主となっていて CAD を用いた製造を行っていない. 今回は A 社から実際の製造モデルに極めて似通った CAD データと材料の内容を提供して頂いてモデル化

を試行した.

計算モード解析では Altair Hyper Works によって CAD データより有限要素モデルを作成し, MSC/NASTRAN によって計算を行った.

図5に計算モード解析で用いた有限要素モデルを示す. 節点数は7333点, 要素数は14644個である。



Fig.5. finite element model

### 4.2 計算モード解析結果

表2に計算モード解析での固有周波数と実験モード解析での固有周波数をまとめる。

Table.2. Comparison of natural frequency

	calculation(Hz)	experiment(Hz)	error(%)
1	174	133	-30.83
2	341	357	4.48
3	500	506	1.19

ここでは1次固有周波数で30%以上の大きなずれが生じてしまっている. 原因としては実際のラケットの重量が294g, 計算では483gとなってしまうことやグリップ部の構成部材が含まれていないこと, 実際の厚みがわからないことなどが挙げられる。

### 5. 結論

1. 今回用いた2つのソフトテニスラケットの周波数応答関数は650Hzまでほぼ一致した. これは重量が大きく違うが, 剛性を高いことにより固有周波数が一致したものであると考えられる。
2. 実打実験では打ち方により加速度に大きな差が出たので設計をする上では打ち方を考慮する必要がある。
3. フレームが広がるような固有モード形状が新たに見つかったがこれはガット部に大きな影響を与えると考えられる. また, 打球時のラケットの振動に大きな影響を及ぼすと考えられる。
4. 今回は計算モード解析と実際の固有周波数が大きくずれてしまった. 今後は厚みや材料などを再検討し, 計算が実際の状態に合うようにしていきたい. 図6に今後の計算モード解析の流れを示す。

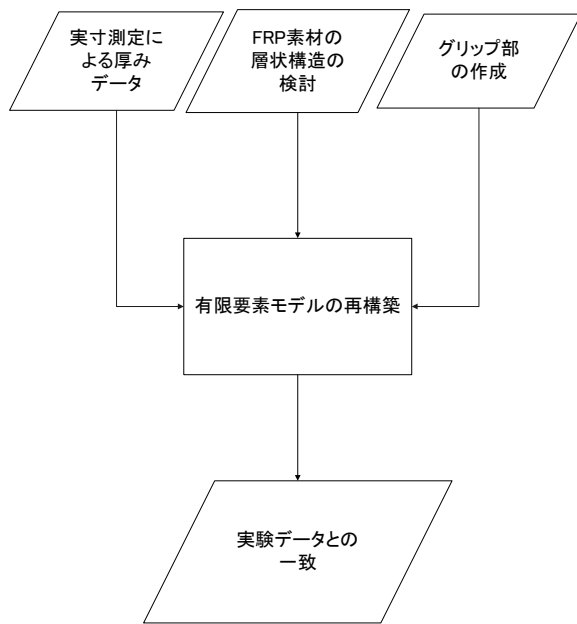


Fig.6. Study in future.

参考文献

- 1) 長松昭男, 「モード解析入門」, 1993年, コロナ社.
- 2) 鈴木芳・ほか3名, 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告, 18, 49-53, 2005
- 3) 大館淳・ほか3名, 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告, 18, 55-60, 2005

キーワード.

ソフトテニス、振動、モード解析

-----

Summary.

**A vibration characteristic of  
a rubber-ball tennis racket by mode analysis**

Yasumi Yamaguchi  
Department of Mechanical Engineering, Hosei University

Yuta Goto  
Graduate school of Engineering, Hosei University

Mitsuo Iwahara Akio Nagamatsu  
Graduate school of Engineering, Hosei University

This study is a study about a soft tennis racket. Some studies advance about a general racket. However, a study is not made about a rubber-ball tennis racket. A mode analyzed a rubber-ball tennis racket in this study and investigated the characteristic.

Keywords.

Soft tennis, vibration, mode analysis