

バドミントンラケットの振動解析

VIBRATION ANALYSIS OF BADMINTON RACKETS

石井 伸幸¹⁾ 寺田 恭平¹⁾ 岩原 光男²⁾ 長松 昭男²⁾
Nobuyuki Ishii, Kyohei Terada, Mitsuo Iwahara, Akio Nagamatsu.

¹⁾ 法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程

²⁾ 法政大学理工学部機械工学科

The badminton can't be called the famous sports, but they are ones which hold large population of players. In comparison with the tennis rackets, the paper which researched the badminton rackets are few, and they are not so much studied. The research is carried out for the purpose to clarify the vibration phenomenon of badminton racket, it does experimental modal analysis on the badminton racket, and examining the vibration characteristics. We studied the differences of vibration characteristics of the 3 rackets.

Keyword : badminton racket, vibration, characteristics, analysis

1. 諸論

振動は我々にとって身近なものであり、人間に対して様々な影響を与える。それは多種多様であり、心地よく感じさせる振動もあれば、不快に感じさせる振動もある。機械では、振動が小さいことや心地よいことが付加価値とされるようになった。そのため、自動車などの輸送用機器やスポーツ用具は、発生する振動現象が人体に与える身体的・心理的影響を考慮することが必要不可欠である。

振動問題を解決するには、対象物の振動特性を正確に把握する必要がある。このためには有限要素法の理論的な解析とともに、振動実験である実験モード解析を実施することが必要である^{(1)~(3)}。

バドミントンラケットを紹介する。全長で 680mm 以内、幅は 230mm 以内と規定されている。カーボン繊維を中心に、複合素材としてチタン等の金属が使われている。後者は主にラケットヘッドのねじれを低減したり、重量バランスを調整したりする用途で用いられることが多い。木製→金属製→カーボン製と材質が軽量、高弾性化したことで、選手のフォームが肩を中心としたスイングから手首や指を使うものへと変化し、その結果、打球やゲーム展開が高速化した。また、ストリングを高テンション（張

りの強さ）で張れるようになった。従来の卵形のヘッドのラケットの他に、ヘッドの形状をやや四角型に成型し、中央部のストリングスが長い部分を増やすことで、スイートスポットと呼ばれる快適に打つことができる部分を広げたラケットが、各メーカーで製造されている。現在では、後者がむしろ主流となりつつある。近年、ナノテクノロジーやゴムメタルを採用した高反発、軽量のバドミントンラケットが登場してきている。

バドミントンは、多くの愛好者を抱えるというスポーツではあるが、その際に使用するバドミントンラケットにおいては、テニスラケットなどと比較してあまり深く研究されておらず、また振動特性もかなり違うため、解明されていない現象が多い。その為、実際の開発現場でも上級者による実打実験などによる官能評価に頼っているのが現実である。本研究は、このようなバドミントンラケットに実験モード解析と作成した FEM モデルに計算モード解析を施し、実際の打球感と振動特性との関係を明らかにするため、研究を行っている^{(4),(5)}。

2. 実験

2.1 実験対象

実験対象であるミズノ社製バドミントンラケットを図.1, 2 に, 諸元を表.1 に示す.

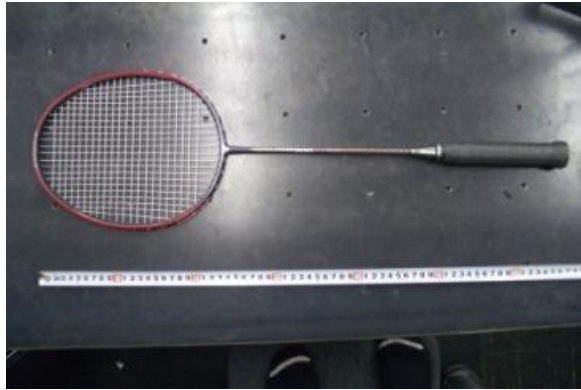


Fig.1 TETRACROSS500

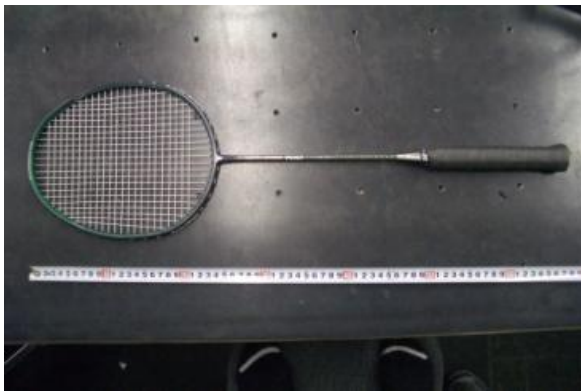


Fig.2 TETRACROSS700

Table.1 バドミントンラケット諸元

name	length(mm)	weight(g)	weight(g) tension 20	weight(g) tension 25
TC500	675	88.2	91.3	91.3
TC700	675	89.9	92.8	92.7

TETRACROSS500(以下 TC500) はコントロールを重視しつつ, しなりを使ったショットを打つのに適する. 後衛向きであると言える.

TETRACROSS700(以下 TC700)は, シャフトが硬くしなりが少ないため, ドライブ, プッシュなど, しなりを使わないショットを打つのに適する, 前衛向きであると言える.

材質に違いはないようだが, TC500 の方は 10mm シャフトが長くなっており, 性能差に影響していると考えられる.

2.2 実験手法

実験モード解析の手法について記す. 加振には打撃ハンマー(Impulse hammer)を用いた. 振動信号検出には加速度計(Acceleration Pick-up)を使用した. 信号処理は, 高速フーリエ変換(FFT)を主体とした種々の信号処理を行って周波数応答関数を得ることができる FFT 装置と, モード解析用 Matlab ソフトを用いた. 図.3, 4 に実験モード解析の流れと実験装置・風景を示す.

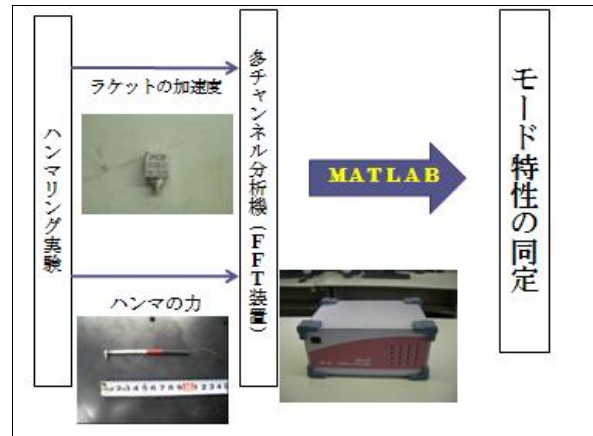


Fig.3 実験モード解析の流れ



Fig.4 実験風景

3. 実験結果

3.1 実験①

まず, バドミントンラケットのストリングテンション (張りの強さ) を変えたときの周波数応答関数を比較した. 図 5, 6 にガットのテンションによる固有振動数を, 表 2, 3 に示す.

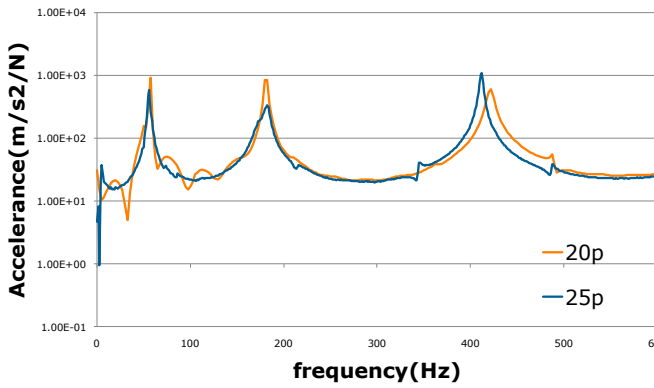


Fig.5 ガットのテンションによる周波数応答関数比較(TC500)

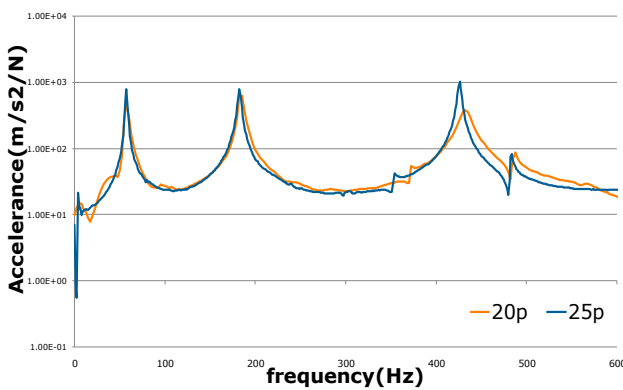


Fig.6 ガットのテンションによる周波数応答関数比較(TC700)

Table.2 ガットのテンションによる固有振動数 (TC500)

	1次	2次	3次	4次	5次
20lb (Hz)	57	181	344	423	485
25lb (Hz)	56	180	344	412	487
difference(%)	2.15	0.77		2.62	-0.45

Table.3 ガットのテンションによる固有振動数 (TC700)

	1次	2次	3次	4次	5次
20lb (Hz)	58	185	372	433	486
25lb (Hz)	57	182	354	427	483
difference(%)	0.8	1.57	4.76	1.52	0.54

手に感じることができる振動数の差は、それほど大きくないはずである。しかし上級者の中には、ストリングの変化による打撃性能の違いだけでなく、手に残る感触の善し悪しも感じとることができる人が多い。表.2や表.3より、テンションの違いによる固有振動数の差は5%未満であることから、上級者の多くはこのような小さな変化を指先から感じながらプレーしている可能性がある。

3.2 実験②

次にゴム支持ではなく、手持ち支持での実験を行った。

実験背景を説明する。これまでの研究では、ゴムによる2点支持による実験手法を用いてきたが、バドミントンラケットとは手で握って使用するものである。手で握ることによる振動の減衰などが考えられ、果たして実際に反映する実験が行えているのだろうか、と考えた。以下にゴム支持と手持ち支持での比較実験の結果を示す。

なお実験②より、図.7、表4のヨネックス社製バドミントンラケットである NANOSPEED8000 を追加した。



Fig.7 NANOSPEED8000

Table.4 NANOSPEED8000 諸元

name	length(mm)	weight(g)
NANO SPEED8000	674	89.1

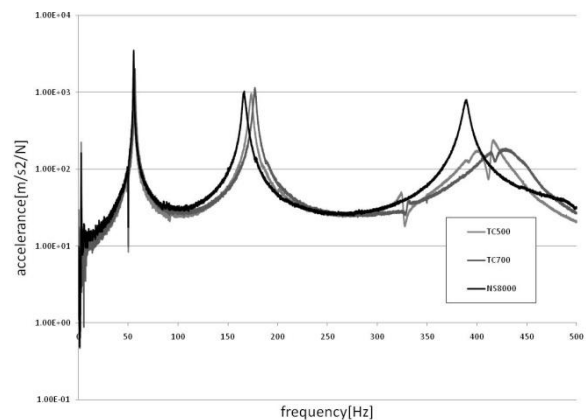


Fig.8 ゴム支持による周波数応答関数比較

図8はゴム支持で3本のラケットを比較した結果である。3本のラケット間でアクセラランスの差はあまり見られない。またピークの傾きが鋭く、減衰があまりない様子が伺える。

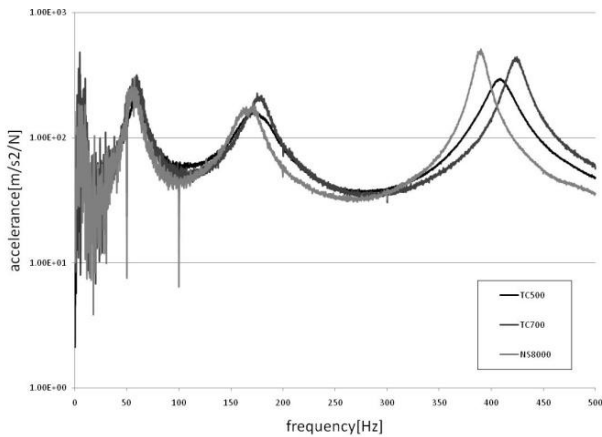


Fig.9 手持ち支持による周波数応答関数比較

次に手持ち支持で3本のラケットを比較した結果が図9である。固有振動数の差はあまりないが、ピークの傾きがなだらかになり、大きく減衰がしている様子が伺える。

Table.5 支持方法の違いによる固有振動数比較

	支持方法	TC500	TC700	NS8000
1次固有振動数 (Hz)	ゴム支持	55.3	56.5	55.4
	手持ち支持	58	55	57
	差(%)	-4.66	2.73	-2.81
Acceleration(m/Ns ²)	ゴム支持	2330	1960	3290
	手持ち支持	186	260	260
	差(%)	1153	654	1165

手持ち支持により減衰が非常に大きくなり、アクセラランスが著しく下がり、固有振動数のピークがはっきりしなくなり分かりづらくはなったが、1次固有振動数はほとんど変化がなかった。手持ち支持で実験しても、あまり大きな周波数応答関数の変化は見られなかったことより、ゴム支持での実験の信頼性を確認することができた。

3.3 実験③

次に計算モード解析を行うため、TC500の有限要素モデルを作成した。接点数 68351、要素数 252635である。今回はTC500でのみ解析を行った。理由としては今までの実験で、ラケット間での性能差がほとんどなかったからである。

高い振動数は手にあまり大きくは感じないため、1次固有振動数、もしくはその付近のピークがバドミントンラケットの打球感を決定していると考えられる。

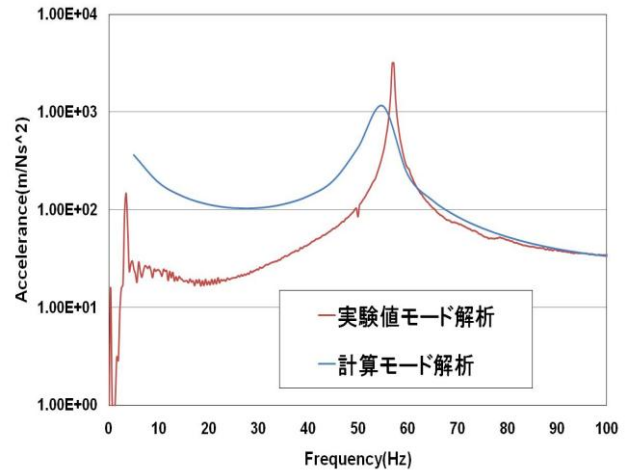


Fig.10 理論モード解析と実験モード解析比較

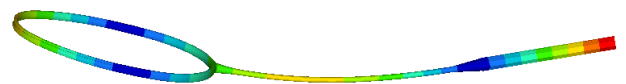


Fig.11 TC500の面外1次曲げ形状 (54Hz 付近)

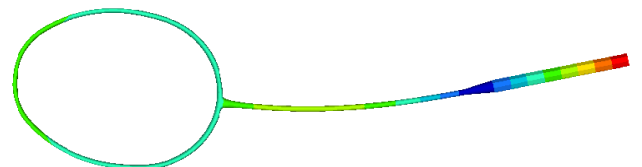


Fig.12 TC500の面内1次曲げ形状 (49Hz 付近)

図.11 で示した TC500 の 54Hz 付近のモード形状はきれいな面外 1 次曲げ形状となっていることが分かる。注目すべきは図.12 で示した TC500 の 49Hz 付近の面内曲げ形状である。1 次曲げ形状には変わらないが、バドミントンラケットのスイング方向とは違う方向に曲がっている。しかし図.10 には、49Hz 付近の面内曲げ形状のモードを示すピークがあるにはあるが、わかりづらい。これは加振方向と振動方向が垂直なため、アクセラランスが大きくならなかったと考えられる。そこで、ラケット面に対して 45 度方向から加振した、周波数応答関数を図 13 に示す。

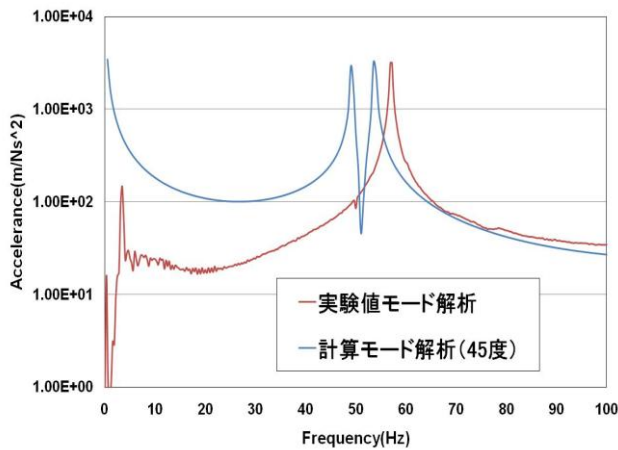


Fig.13 実験モード解析と計算モード解析(45度)の周波数応答関数比較(TC500)

49Hz 付近の面内曲げ形状のモードを示すピークをはっきりとらえることに成功した。

3.4 高速度ビデオカメラでの映像

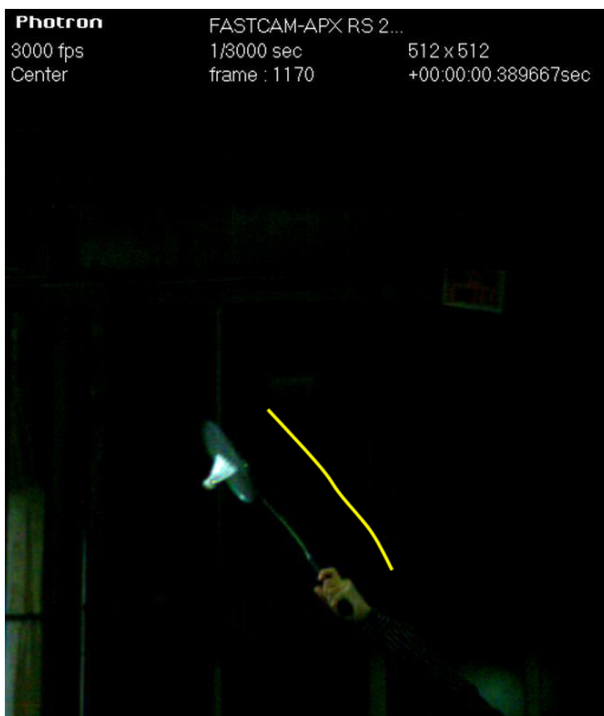


Fig.14 スマッシュのインパクト直後

図 14 より，面外 1 次曲げ形状が確認できる。

4. 考察

まず挙げなければいけないことは，バドミントンラケットは非常に繊細なスポーツ用具である，ということである。僅かな固有振動数の違いにより，プレーヤーが受ける打球感が変わるからである。同銘柄のラケットでも，個体差は大きいのではないかと思われる。今回はスイング方向ではない 1 次曲げ形状を発見することができたが，他にもねじり形状などが入っている可能性も高く，まだまだ研究の余地があると思われる。

ゴム支持と手持ち支持による 1 次固有振動数の差は微小であったが，2 次固有振動数以降での差は，1 次固有振動数の差よりも大きくなってしまふ。しかもアクセラランスが著しく下がり，ピークが分かりづらくなってしまふという事実はあるものの，手持ち支持の方が現実の使用法に最も近い実験法である。

5. 結論

- ・ ガットのテンションの差での固有振動数変化は 5%程度である。
- ・ ゴム支持でも、手持ち支持でも固有振動数はほとんど変化がなかった。
- ・ 通常のスイング方向ではなく、面内の 1 次曲げ形状を確認できた。
- ・ 打つ瞬間のバドミントンラケットの面外 1 次曲げモードを確認できた。

参考文献

- [1] 長松昭男, "モード解析入門", コロナ社, 1993.
- [2] 長松昭男, "モード解析", 培風館, 1985.
- [3] 青木弘, 長松昭男, "新編工業力学", 養賢堂, 1979.
- [4] 後藤裕太, 寺田恭平, 他 2 名, モード解析によるバドミントンラケットの振動特性, 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告(Web) JST, U0131A ISSN : 1882-7594
- [5] 寺田恭平, 金松祐介, 他 3 名, 実験モード解析によるバドミントンラケットの振動特性, 日本機械学会スポーツ工学シンポジウム・シンポジウムヒューマン・ダイナミクス講演論文集 JST 資料番号 : L1198A, Vol.2007, Page.31-34 (2007.11.13)