

テニスラケットのスイートスポット

谷内, 雄太 / TANIUCHI, Yuta

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

55

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2014-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010369>

テニスラケットのスイートスポット

SWEET SPOT OF TENNIS RACKET

谷内雄太

Yuta TANIUCHI

指導教員 新井和吉

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程

Hitting with sweet spot, a spot which can hit most effective ball, is important for sports such as golf, baseball, and tennis. Generally, players can tell where it is using feelings, it is not determined theoretically. This study focuses on racket-ball collision phenomena and vibration characteristics to solve this problem using collision analysis and experimental modal analysis. This study also challenges to determine relationships between vibrational characteristics and racket performance such as power, spin and control.

Key Words : *experimental modal analysis, collision, tennis*

1. はじめに

テニスをプレイするとき、アマチュアからプロまで全ての選手に共通することがあり、それはできる限りスイートスポットで打ち続けるということだ。スイートスポットとは辞書によると“テニスやゴルフで、ボールを打った時に最も有効な打球を生む、ラケットやクラブヘッドの中心点”とある。テニスが趣味の著者の経験からも、スイートスポットで打ったとき最もボールをコントロールでき、さらに手や肘に対する負担も最小であることを感じる。ではその点の場所はいったいどこで、そこで打った際のボール・ラケットの挙動はどのようになっているのか。一般的にはガット面中央部と言われているが、プロ選手がサーブを打つ場合はラケット先端寄りであると言われている。また、テニスボールとラケットの衝突時の接触時間は 3ms とも言われ一瞬の現象であり、その解析は難しいが近年は振動解析や超高速カメラの普及により徐々に衝突現象についての説明が進んでいる。

本論文では実験モード解析と高速カメラによるビデオ分析等を用いテニスラケットのスイートスポットについて明らかにすることを試みる。打球感に影響する要素は固有振動数、振動の節、そして打撃の中心であるとされ、これらと反発係数・打球感を比較する。またスイートスポットを絶対座標から見た初速度最大となる点とする。

2. 実験対象

本研究では図 2 に示す 4 本のテニスラケットに対して各種実験を行う。これらは左から YONEX 社製

Nanospeed(初心者向け)、MIZUNO 社製 F-aero(中級者向け)、同じく MIZUNO 社製 Caliber (上級者向け)、そして BRIDGESTONE 社製 X-blade(上級者向け)である。一般的に初級者向けほど軽くてボールが良く飛び、上級者向けほど重くてボールが飛ばない。

ガットについて。これはラケット打球面を作る縦横に張ってある糸状の物のことである。条件をそろえるため全てのラケットに Babolat 社製 Brio130 を 54 ポンド (24.5kg)で張り上げる。



Fig.2 Rackets

3. 実験モード解析^[1]

ラケットを特殊なハンマーで加振しその応答を FFT 解析することでモード特性である固有振動数、固有モード形状、モード減衰比を求める。加振実験の時間波形応答を周波数波形に変換することでモードごとの固有振動数を図 3.1 のようにピーク値として表すことができる。なお川副ら^[2]の論文より打球に最も影響するのは 1 次モード

なので本研究でもそれに着目し分析する。

表 3.1 より初心者向けラケットが最も固有振動数が高く 191Hz となっており、次いで中級者向けが 28Hz, 上級者向けのラケットが約 50Hz 低い。

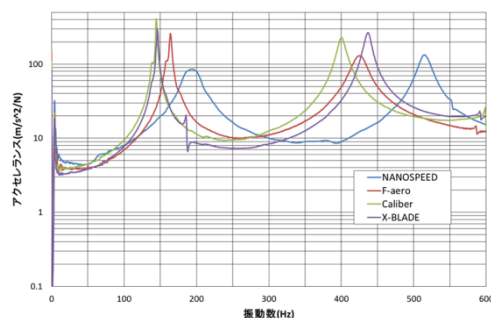


Fig.3.1 Natural frequency

Table3.1 Frequency

	固有振動数(Hz)
NANOSPEED	191
F-aero	163
Caliber	143
X-BLADE	145

さらにラケットの各点の振動を加振点位置ごとに位相差を考慮して合成することにより図 3.2 のようなモード形状を得る。どのラケットも似ている形状を示す。節の位置については後述する。

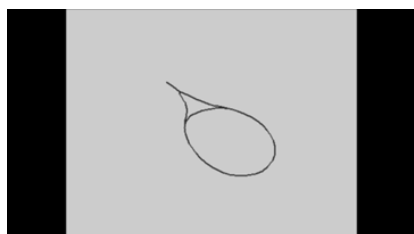


Fig.3.2 Modal Shape

そして表 3.2 にはモード減衰比を示す。Nanospeed が他のラケットと比べ 2 倍以上の減衰比を持つことが分かるが、上級者向けラケットほどこれが小さいわけでもなく明確な傾向は無い。

Table 3.2 Damping ratio

	モード減衰比(%)
NANOSPEED	1.57
F-aero	0.60
Caliber	0.66
X-BLADE	0.60

4. 打撃の中心^{[4][5]}

物体と物体が衝突する際、特に図 4.1 のようにボールと棒状の物体が衝突し棒に発生する並進運動と回転運動が打ち消し合い変位がゼロとなる点を打撃の中心(Center of Percussion, 以下 COP)という。テニスにおいてこの点で打

撃すると衝撃最小の点となり、スイートスポットに関係があると考えたのでこれを求める。

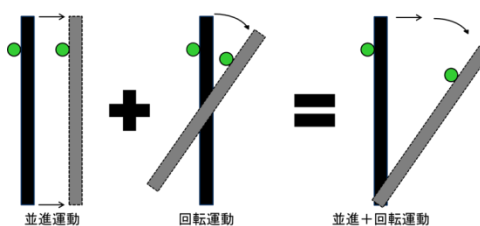


Fig.4.1 Center of collision

実験ではまず自動車業界で広く使われる 2 本吊り法^[3]で慣性モーメントを求める。図 4.2 のように 2 本の紐で両端を吊したラケットをねじり振り子運動させ、その周期から式 4 より慣性モーメントを得る。それをさらに式 (4.1)に代入し、COP を求める。得られた慣性モーメントを式(4.2)に代入すればグリップエンドから COP までの距離 R が得られる。これと重心、節の位置をまとめたものが図 4.3 および表 4 である。NANOSPEED のみ重心位置および COP がトップ寄りであり、その他のラケットはほぼ同じ位置にあることが分かる。また比較のためにスイートスポットの大まかな位置を青縦線で示す。モードの節か打撃の中心に位置すると思われたがそうではないことが分かる。

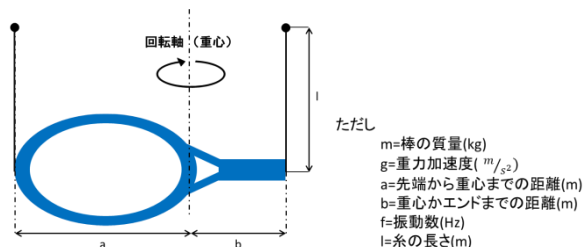


Fig.4.2 COP experiment

$$J = \frac{mgab}{4f^2l} \quad (4.1)$$

$$R = \frac{J}{m \times a} + a \quad (4.2)$$

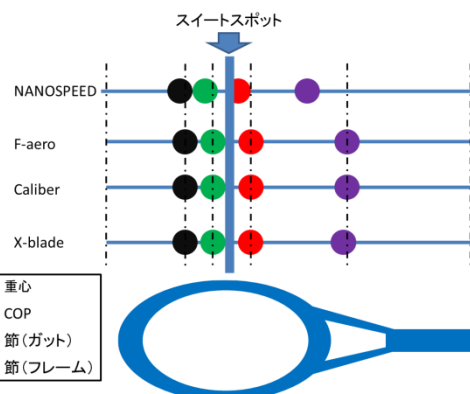


Fig.4.3 Nodes and COP placements

Table4 Distances from grip-end

ラケット名	グリップエンドからの距離(mm)				
	全長	重心	打撃の中心	振動の節 ガット	ラケット
NANOSPEED	692	368	488	537	577
F-aero	685.8	322	467	527	567
CALIBER	685.8	327	467	527	567
X-BLADE	685.8	311	458	525	566

5. 反発係数

アルミニウム棒とテニスボールによる2つの実験により反発係数を測定する。これらより得られる反発係数最大の点、実験モード解析により得られるモードの節、および重心の位置などを比較しスイートスポットについて考察する。

(1) アルミニウム棒

まずアルミニウム棒の実験について。図 5.1 のように棒をガットに落下させ、反発させる。その衝突直前・直後の棒の速度をレーザー速度計で計測し反発係数を測定する。ラケットは柔らかいスポンジ上に置いてある。

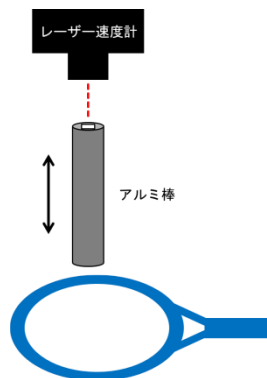


Fig.5.1 Velocity measurement

図 5.2 は横軸をヘッド先端から順にガットに番号をつけたものである。ラケットの速度をゼロと仮定した棒の反発係数を示している。ヘッド側ほど反発係数が低く、グリップ側ほど高くなっている。

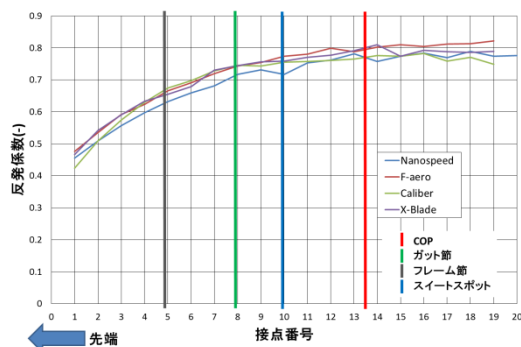


Fig.5.2 Aluminum restitution

一方実際にテニスをプレイする際は図 5.3 に示すよう

に体を重心回りに回転させて打球する（図はストロークを上から見た図）。図 5.4 ではそれを考慮し図 5.2 の反発係数に式 5 のようなスイング係数 S をかけたものである。

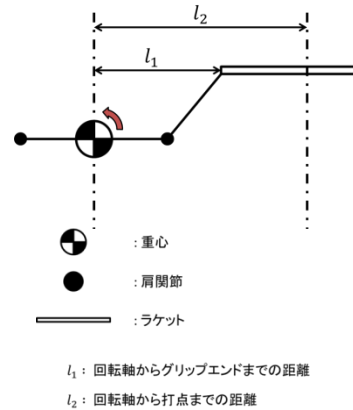


Fig.5.3 Swing

$$\text{スイング係数 } S = \frac{l_2}{l_1} \quad (5)$$

以上より導いた反発係数'を描いた図 5.4 に前述の COP, ガット・フレームの節の位置を示す。ガットの 1 次振動の節と COP の間の体感スイートスポット付近で反発係数最大となる。

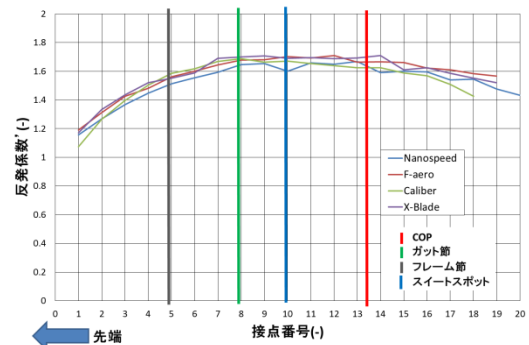


Fig.5.4 Swing restitution(AL)

(2) ボール

次にラケットにボールを衝突させる実験について述べる。本実験では図 5.5 のように圧縮窒素ガスによりボールを射出する装置を使用し、ラケットに衝突する瞬間を高速カメラ(6000fps)で撮影することで反発係数を測定する。ラケットは完全固定ではなく図 5.6 のようにグリップエンドを中心に回転する。ボールは 77~98km/h(20~27m/s)でラケットに衝突する。また実験時間が限られていたため計測点は 7 点とし、グラフ化の際にアルミニウム棒の実験の打点位置に換算している。

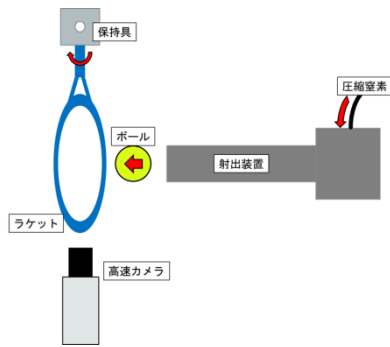


Fig.5.5 Gun and camera

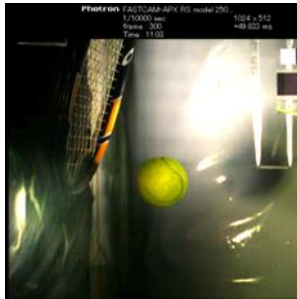


Fig.5.6 racket rotation

図 5.7 の実線はボールのみの反発速度の比から反発係数をグラフ化したものである。これにラケットの移動速度を加えると点線のようになる。Nanospeed において 10 点目がピークになっている。F-aero の 7 点目において反発係数の曲線がずれているのは衝突直前のボール速度が前の点より 20%, 後の点より 30%高かったためであると考えられる。

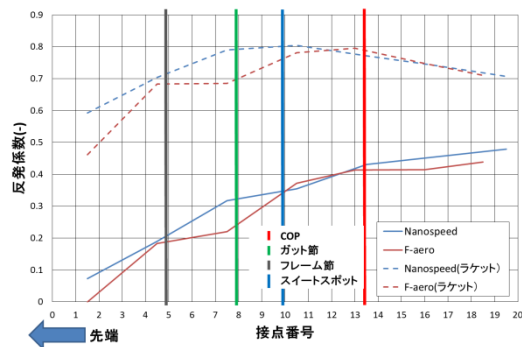


Fig.5.7 Ball restitution

さらに、前述のスイング係数 S を乗じることにより図 5.8 を得る。すると Nanospeed において反発速度が最大になる点がガットの節の位置に、つまりラケット上方へ移動する。

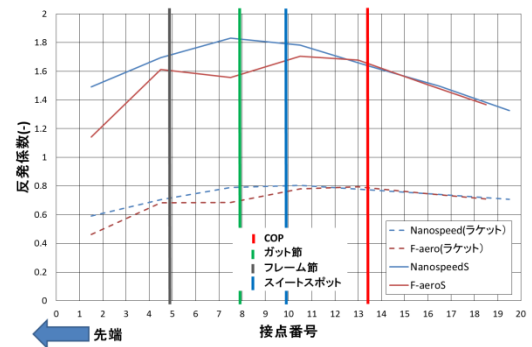


Fig.5.8 Swing restitution(ball)

6. 結論

ラケットの振動特性からは初級者向けラケットほど固有振動数が高く、上級者向けラケットでは低い。モード形状はほとんど変わらない。初級者向けラケットのモード減衰比が極端に高い。

アルミニウム棒の衝突実験より図 5.4 において体感スイートスポットの位置と反発速度最大になる点がガット面中央付近で一致する。これは COP とガットの 1 次振動の節の間にある。また初・上級者向けラケット間では反発係数に大きな差はないようである。一方ボールの衝突実験で得られる図 5.7 よりボール・ラケット双方の速度を考慮した場合も同様にガット面中央付近が反発最大になっている。これにスイング係数 S を乗じた図 5.8 においては反発速度最大の点がガットの節に移動している。これらより、以下のように結論づける。

- ・ ストロークのようにスイングするショットではガットの節付近で反発速度最大
- ・ ボレーのようなスイングをしないショットではガット中央部で反発速度最大

今後は実際にプレイする際に以上の現象が起こるか確認し、さらなる実験・シミュレーションを通して再現性を高めることを課題とする。

参考文献

- [1] 長松昭男, モード解析入門, 東京都: コロナ社, 1993
- [2] 川副嘉彦, 神田芳文, 機論, 59-563, C, (1993-7), 2122
- [3] 2 本吊り法による慣性モーメントの測定, www.tcp-ip.or.jp/~n01/math/physics/moment_of_inertial.pdf
- [4] 渡邊敬人, 岩原光男, 機論, 79-799, C, (2013-3)
- [5] 日本機械学会, 機械工学便覧 基礎編 $\alpha 2$ 機械力学, 日本機械学会, 2004