重量および重量配分の異なるラージサイズ· テニスラケットの打球感に関連する性能予測

Performance Prediction of Large Face Size Tennis Rackets with Different Mass and Mass Distribution in Terms of Feel

正 川副嘉彦(埼玉工大)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology,1690 Fusaiji, Okabe, Saitama

At the current stage, the terms used in describing the performance of a tennis racket are based on the feeling of an experienced tester or a player. However, the optimum racket depends on the physical and technical levels of each user. Accordingly, there are a number of unclear points regarding the relationship between the performance estimated by a player and the physical properties of a tennis racket. This paper investigates the physical properties of a conventional weight balanced racket and a super light racket with large face area, predicting racket performance in terms of the impact shock vibrations of player's wrist joint, which might be related to the feel. It is based on the experimental identification of the racket-arm dynamics and the simple nonlinear impact analysis, clarifying the mechanism of a difference in performance between the large sized conventional and the super light racket. The result shows that the shock vibration of the super light racket is smaller during impact and has a wider sweet area in terms of feel than the conventional one.

Key Words: Dynamics of Machinery, Sports Engineering, Tennis Racket, Feel, Impact, Shock Vibration, Vibration Mode, Node, Center of Percussion, Wrist Joint, Racket Handle, Performance Prediction, Conventional Weight Balanced Racket, Super light Racket, Large size Racket

<u>1. 緒 言</u>

テニスラケットの打球感はグリップおよび手首の衝撃振動と密接に関係するはずであり, 腕系の衝撃振動はテニス 肘などの傷害にも関連する.しかし、ラケットの物理特性と の関係には不明な点が多く, 腕系に伝達されるメカニズム は未解明である.本論文では、実験的に同定したラケット・ 腕系とボールの特性に基づく衝突解析により, ボールを打 撃したときのラケット・グリップと手首の衝撃振動を予測す る⁽¹⁾⁻⁽⁸⁾. ラージサイズとよばれるフェース面積(打球面 面積)110in²のラケットについて、最近の超軽量型(283g, 超軽量グリップ・ライト型)と従来の重量バランス型(365g) の打球感の違いのメカニズムを探る.

2. インパクトにおけるラケットと手首関節の衝撃 振動の予測法



図1は、手首関節の加速度予測位置、図2は、ストリングス 面上の打点位置につけた打点名称を示す、図3は、テニスプ レイヤーがボールを打撃した瞬間を示す、ラケットと手首



Fig.2 Location of Wrist joint



Fig.1 Impact model for the prediction of the shock force transmitted to the arm joint from a racket.

Fig.3 Hitting location

日本機械学会[No.00-38]シンポジウム講演論文集 pp.225-229

['00-11-9~11, 高知市, ジョイント・シンポジウム2000(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)]



(a) Experiment where a male player hits flat forehand drive.



Fig.4 Experimental situation and shock vibrations at the wrist joint.

Table 1 Specification and physical properties

	1 3	1 1
Racket	EOS110	EX-110
Total length	685 mm	685 mm
Face area	705 cm ²	705 cm ²
Mass	283 g	366 g
Center of gravity from grip end	361 mm	325 mm
Moment of inertia <i>I</i> _{ar} about Y axis	35.9 gm ²	40.7 gm ²
Moment of inertia <i>I</i> _{GY} about X axis	0.99 gm ²	1.68 gm ²
1st frequency	176 Hz	132 Hz
String tension	50 lb	45 lb

関節の衝撃振動波形を剛体運動成分と振動成分との合成に より導く. 腕系の衝撃振動はインパクトの瞬間には重力や筋 力は衝突力にくらべて小さいとし, 腕関節はピン結合として 扱い, ハンドルの握りの位置と手首関節の位置の距離を無視 し, 肩関節に作用する力 Saは肩関節の速度には影響しない と仮定し, ボールとストリングスに作用する衝突力を So, プレイヤーの手首関節 P1, 肘関節 P2, 肩関節 P3に作用す る力をそれぞれ S1, S2, S3とすると, 手首関節, 肘関節, 肩関節の衝撃力成分および衝撃加速度成分を求めることが できる⁽⁴⁾.

手で支持したラケットの実験モード解析⁽¹⁾ および実打実 験の加速度実測波形から減衰を同定することにより, ラケッ ト面上の任意の打点でボールと衝突したときのラケットの 握りの位置の振動加速度成分を求めることができる⁽⁴⁾.

フォアハンド・グランド・ストロークにおいてラケットで 打撃したときの手首関節の実測加速度波形と予測波形は、衝 撃成分とフレーム振動の2節曲げ、3節曲げ、2節ねじり、



Fig.5 Predicted Maximum shock acceleration at the grip of rackets.

日本機械学会[No.00-38]シンポジウム講演論文集 pp.225-229

[' 00-11-9~11, 高知市, ジョイント・シンポジウム2000(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)]

ストリングス面振動1次の4つの振動モード成分を考慮す るとかなり一致する. 図4は、実打実験状況および手首の 衝撃振動加速度の実測波形と予測波形を示す⁽⁹⁾. 表1は超軽量型EOS110 と従来型EX-110の仕様である.

図5は、ストリングス面上の先端側打点Aから根元側打点 Hの各打点で衝突したときのグリップ部(グリップ端から 70 mm)の最大衝撃加速度Anvの予測値であり、図5(a)は 宙づりラケット(ラケット単体)の場合,図5(b)はラケッ ト・腕系の場合である.ボールとラケットの衝突速度は30m /sである.グリップ位置に付加した腕系の等価質量がグリッ プ最大衝撃加速度に大きく影響する.また、宙づりラケット の場合も腕系の等価質量を付加した場合も、衝撃が零になる 打点は同じ位置にある.超軽量ラケットEOS110の衝撃中心は、 ラケット面のほぼ中心Dと根元側打点Eの中間にある. 従来重量バランス型ラケットEX-110の衝撃中心はほぼ中心 に近い.

ー方,実験モード解析により同定したラケットの振動モー ド特性は図6のようになる. 基本曲げ振動数は, E0S110が176Hz, EX-110が132Hzである.



(a) EOS110 (283g) (b) EX-110 (366g)



図7は、1次~4次の振動モード成分の波形とそれらを足し 合わせた振動加速度波形である。衝突位置はラケットの先端 側B打点である。

図8は、1次~4次の振動成分の足し合わせの(初期)最大振幅値を示す、全体的に超軽量ラケットEOS110の方が振動は小さい、振動が最も小さい打点は超軽量ラケットEOS110ではD

打点,従来重量バランス型ラケットEX-110ではC打点である.

3. 宙づりラケットにボールが衝突したときの グリップ衝撃振動の比較

図9は、超軽量型と従来重量バランス型ラケットについて、 宙づり状態のラケットの先端側打点Bにボールを衝突させ たときのグリップ部(グリップ端から70 mm)の衝撃振動加 速度の予測波形(a)、インパクトの瞬間の衝撃振動ピーク値 と打点の関係(b)、およびスイートエリアである、ボールと ラケットの衝突速度は 30 m/s である、全体的に超軽量ラ



(b) Summation of vibration mode components

Fig.7 Vibration components at the grip 70 mm from grip end (Impact location : Top side B)

ケットEOS110の衝撃振動が小さい. 衝撃振動が最も小さい打 点は両者とも打点D(ラケット面中心)である.

<u>4. ラケットで打撃したときの手首関節の衝撃振動</u> の予測

図10は、手で支持したラケットとボールが30m/sで衝突し たときの手首関節の衝撃振動の予測結果である.図10(a)は、 先端側打点Bおよび根元側打点Eで衝突した場合の手首関 節の加速度波形例である.腕系の等価質量が衝撃力成分を低 減し、手の減衰が残留振動成分の低減に大きく効いている.

日本機械学会[No.00-38]シンポジウム講演論文集 pp.225-229

^{[&#}x27; 00-11-9~11, 高知市, ジョイント・シンポジウム2000(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)]

図10(b)は、インパクトの瞬間における手首衝撃振動のピーク値と打点の関係を示す.図10(c)は、ラケットの先端側打 点Bにボールを衝突させたときのグリップ部(グリップ端から70mm)の衝撃振動加速度の予測波形(a)、インパクトの瞬間の衝撃振動ピーク値と打点の関係(b)、およびピーク値が 小さいという意味でのスイートエリアである.ボールとラケットの衝突速度は30m/sである.全体的に超軽量ラケットE0 S110の衝撃振動が小さい.衝撃振動のピーク値が最も小さい 打点は両者とも打点D(ラケット面中心)である.

図11は、ラケット面の長手方向軸上において、手首の衝撃 振動のピーク値が100[G]以下である領域を示している. 超軽 量型ラケットEOS110の方が従来重量バランス型より、衝撃振 動加速度のピーク値に関するスイートエリアは広く、従来重 量バランス型ラケットEX-110のスイートエリアがラケット 面の中心付近から先端側寄りに存在するのに対して、超軽量 型はラケット面の中心付近からやや根元側の方に広い.



(a) Vibration components at the grip



(b) Sweet area with Vibration components at the grip



(a) Shock vibrations at the grip (Impact location:



(b) Shock vibrations at the grip vs. impact locations (Impact velocity: 30m/s)



- (c) Predicted sweet area with shock vibrations peak value at the grip of freely-suspended racket.
- Fig.9 Predicted shock vibrations at the grip 70 mm from grip end of suspended racket.

日本機械学会[No.00-38]シンポジウム講演論文集 pp.225-229

['00-11-9~11, 高知市, ジョイント・シンポジウム2000(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)]

Fig.8 Summation of the predicted grip vibration amplitude considering 4 vibration mode components.



Impact location : Near side E

(a) Predicted shock vibrations at the wrist joint (Impact location : Top side and Nwar side off-center)



(b) Shock vibrations peak value at the wrist vs. impact locations (Impact velocity : 30m/s)



(c) Predicted sweet area with shock vibrations peak value at the wrist joint.

Fig.10 predicted shock vibrations at the wrist joint.



Fig.11 Predicted sweet area along the longitudinal axis With shock vibrations at the wrist

<u>5. 結論</u>

ラージサイズと呼ばれるフェース面積110 in² のラケット について、最近の超軽量型と従来重量バランス型のインパ クトにおけるグリップおよび手首関節の衝撃振動の違いの メカニズムを明らかにした.

- (1)オフセンターでのインパクトにおける手首関節の衝撃 振動は、グリップをしっかり握っている場合は超軽量 型と従来型の衝撃成分はほとんど等しいということに なり、振動成分は超軽量型の方がむしろ小さい.
- (2) インパクトの瞬間における衝撃振動加速度のピーク値は、両タイプのラケットとも、宙づりの状態のラケットのグリップ部も手首関節も、ラケット面の中心での 衝突で最も低い値を示した。
- (3)手首に伝わる衝撃振動のインパクトの瞬間のピーク値 が小さいという意味のスイートエリアは超軽量型の方 が広く、従来重量バランス型のスイートエリアがラケ ット面の中心付近から先端側寄りに存在するのに対し て、超軽量型はラケット面の中心付近からやや根元側 の方に広い。

おわりに、図表作成にご助力いただいた埼玉工大・平成1 0年度4年生 飯島淳一,平成11年度 伊藤達則・米山寛行, および平成12年度 大野浩行・北村和浩の諸君に深謝する. なお、本研究の一部は平成8,9,10年度文部省科学研究費 基盤研究(B)の援助および埼玉工業大学ハイテクリサーチセ ンターの援助によって行われたことを付記する.

文献

- 川副·友末·吉成·Casolo, スポ-ツ工学シンポジウム 講論集, 97-34 (1997), pp. 28-32.
- (2) 川副嘉彦, 計算工学講論集, 3-1(1998), pp. 295-298.
- (3) 川副・友末・吉成、機械学会・機械力学計測制御講論集, No. 98-8, Vol. B, pp. 133-136.
- (4) 川副嘉彦:機論, 56-526(1990), pp. 1511-1517.
- (5) 川副嘉彦:機論, 58-552(1992), pp. 2467-2474,
- (6) 川副嘉彦:機論, 59-558(1993), pp. 521-528,
- (7) 川副嘉彦:機論, 59-562(1993), pp. 1678-1685,
- (8) Casolo, F. et al. : Meccanica 26 (1991), pp. 67-73,
- (9) 川副嘉彦, 機論, 61-584, pp. 1300-1307, 1995
- (10) 川副·友末·吉成, 機講論, 96-51 (1996), pp. 501-504.
- (11) Kawazoe, y., Theoretical & Applied Mechanics, Vol. 49, (2000), pp. 11-19