

テニスのインパクトにおける木製ラケットと 超軽量・高剛性ラケットの性能予測 (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)

Performance Prediction of Tennis Rackets with Materials of
the Wood and the Super-light/High Rigidity
(Mechanism of the Difference in terms of the Shock Vibrations of
a Racket Grip and a Player's Wrist Joint in Tennis Impact)

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 unclarified 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 wooden conventional weight balanced racket and a super light/high rigidity racket, predicting racket performance in terms of the impact shock vibrations of racket handle and the player's wrist joint. The predicted results could explain the mechanism of difference in performance between the wooden racket and the super-light racket.

Key Words: Dynamics of Machinery, Sports Engineering, Tennis Racket, Impact, Shock Vibration, Coefficient of Restitution, Vibration Mode, Node, Center of Percussion, Wrist Joint, Racket Handle, Performance Prediction, Wooden Racket, Super light Racket

1. 緒言

テニスラケットのグリップの衝撃振動は、打球感に直接影響するとともに、テニス肘などの傷害とも関連する。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も未解明である。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⁾。標準的なフェース面積(100 in²)の超軽量/高剛性ラケットと木製ラケットの物理特性を実験的に調べ、両者の性能の違いのメカニズムを明らかにする。

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 S_3 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 S_0 、プレイヤーの手首関節 P_1 、肘関節 P_2 、肩関節 P_3 に作用する力をそれぞれ S_1 、 S_2 、 S_3 とすると、手首関節、肘関節、肩関節の衝撃力成分およ

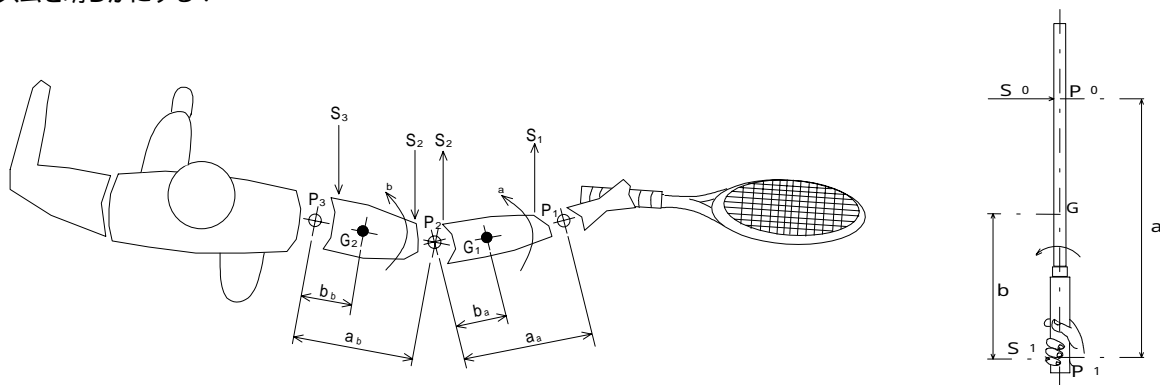


Fig.1 Impact model for the prediction of the shock force transmitted to the arm joint from a racket.

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、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⁽⁹⁾。

図2は、手首関節の加速度予測位置、図3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。

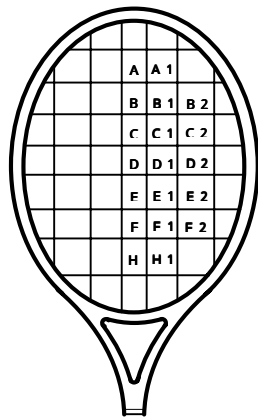
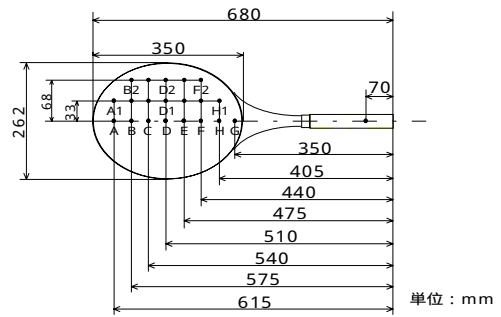
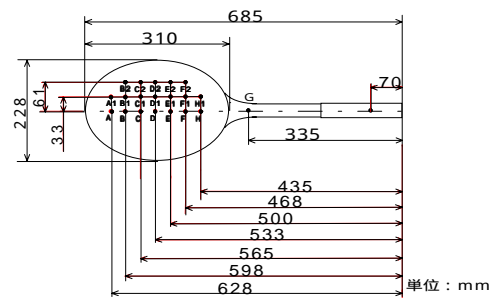


Fig.2 Location of Wrist joint

Fig.3 Hitting location



EOS100



WILSON

Fig.4 Racket geometry with impact locations

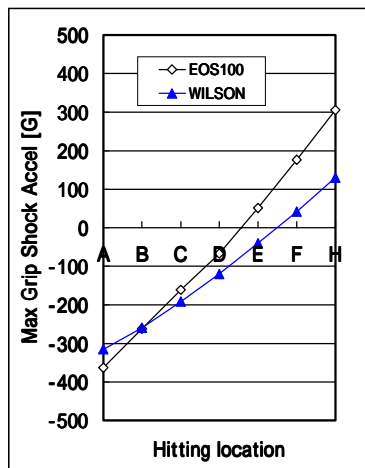


Fig.5 Predicted maximum shock acceleration at the grip of freely suspended racket.

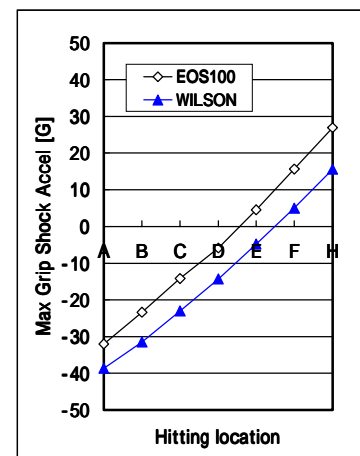


Fig.6 Predicted maximum shock acceleration at the grip of hand-held racket.

図4は、超軽量ラケット EOS100 と木製ラケット WILSON の幾何学的形状と打点を示す。

図5と図6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 An_v の予測値であり、図5は宙ぶりラケット（ラケット単体）の場合、図6はラケット・腕系の場合である。ボールとの衝突速度は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、宙ぶ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

EOS100の衝撃中心は、ラケット面のほぼ中心Dと打点Eの中間にある(中心から根元側20 mm)。木製ラケット WILSON の衝撃中心は、さら根元側EとFの間にある。

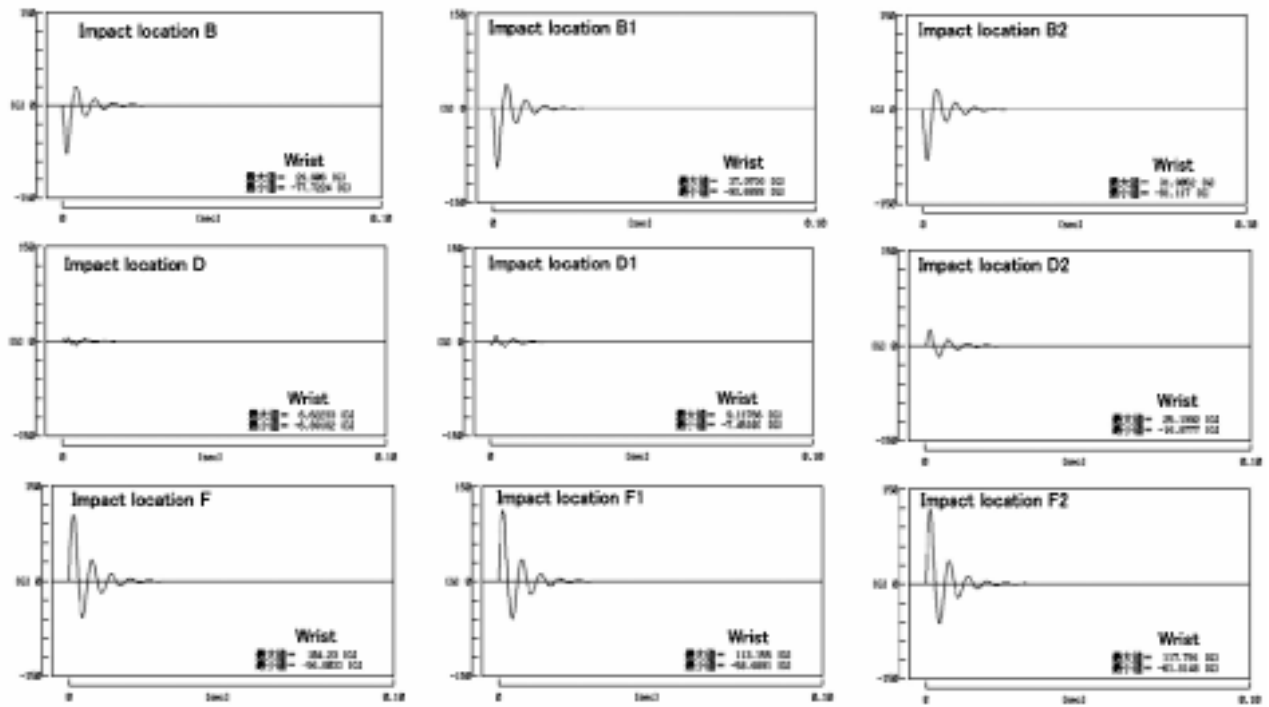
3 ラケットとボールが衝突したときのグリップ および手首関節の衝撃振動の比較

超軽量タイプと木製のラケットについて、宙ぶり状態のラケット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）および手首関節の衝撃振動加速度波形を予測した。ラケット面先端側では、木製ラケットは衝撃・振動成分とも超軽量ラケット

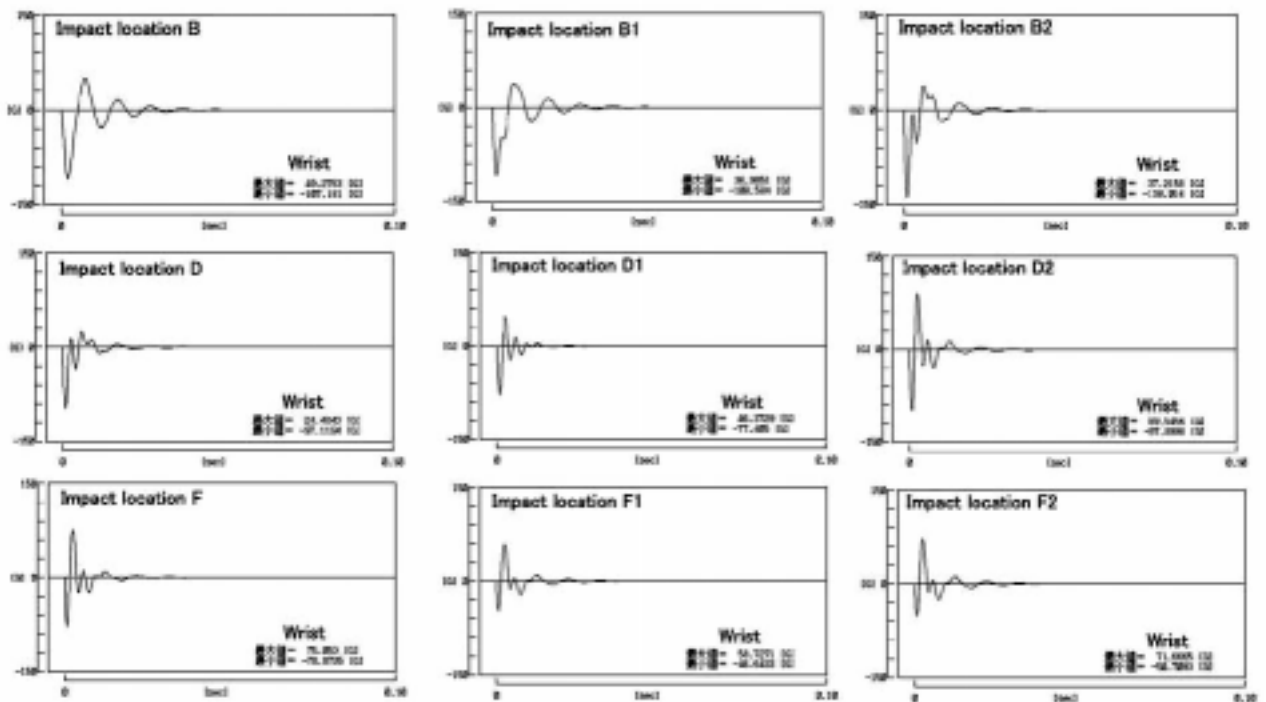
トに比べ大きい．根元側では衝撃・振動成分とも超軽量ラケットの方が大きい．

図7は、手で支持したラケットとボールが衝突する場合の手首関節の予測結果である．ボールとラケットの衝突速度は 30 m/s 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を大きく効いている．手首関節の衝撃振動は、木製ラケットは先端側打撃で大きく、超軽量タイプのラケットは



(a) Racket EOS100



(b) Racket Wilson(Wood)

Fig.7 Predicted waveform of the shock vibrations of the player's wrist joint.(Impact velocity: 30 m/s).

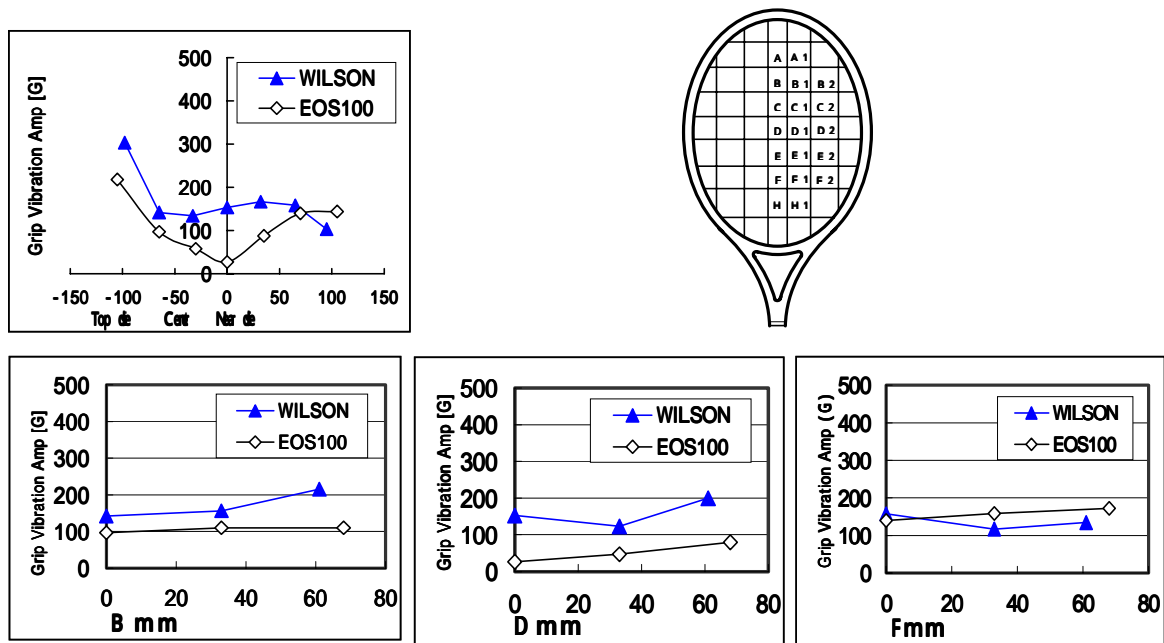


Fig.8 Summation of the predicted grip vibration amplitude considering 4vibration mode component.

根元側打撃で大きい。

図8は、グリップ位置における4つの振動モード成分の初期加速度振幅の和と打点の関係を示す。超軽量 EOS100 は、木製ラケット WILSON に比べて、中心から先端側で小さいが、極端な根元側ではやや大きい。

4. 結論

超軽量の宙づりラケットのグリップ部の衝撃振動は、木製ラケット比べて、ラケット面先端寄りの衝突では、インパクトの瞬間のピーク値には大きな違いはない。ラケット面中心より根元側での打撃では、超軽量タイプの方がインパクトの瞬間のピーク値が大きい。これは、衝撃成分がかなり大きいためである。残留振動の振幅もやや大きめである。ラケット面中心での衝突では木製ラケットのグリップ衝撃振動が大きい。

手首関節の衝撃振動に関しては、超軽量ラケットは、木製ラケットに比べて、インパクトの瞬間のピーク値がラケット面先端寄りの衝突では小さく、根元よりの衝突では大きい。インパクトの瞬間には手の減衰の影響は小さく、衝撃成分の影響が大きいこと

を示している。

図表作成にご協力いただいた埼玉工大・平成10年度4年生飯島淳一君に深謝する。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))の援助を受けてなされたものであることを付記する。

文献

- (1) 川副・友未・吉成・Casolo, 振動工学講義集, 97-34(1997), pp.28-32.
- (2) 川副嘉彦, 計算工学講義集, 3-1(1998), pp.295-298.
- (3) 川副・友未・吉成, D&D'98 講義集, pp.133-140.
- (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・友未・吉成, 機論, 96-51(1996), pp.501-504.