

34S 滑車でストリングスを支持したテニスラケットの 手に伝わる衝撃振動特性の予測と評価

Prediction and Estimation of Shock Vibrations of Handled Tennis Racket with Wheels Replacing Conventional Grommets on the Sides

正 川副嘉彦 (埼玉工大) 正 友末亮三 (安田女子大)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, 1690 Okabe, Saitama
Ryoso TOMOSUE, Yasuda Women's College

The lightweight racket with head-heavy configuration is recent tendency of high-tech rackets, increasing power with an increasing racket swing speed. Racket frames as light as 200 grams have appeared in the market. However, the predicted results showed that the lightest racket at present in the market has advantageous for racket head speed, but disadvantageous for coefficient of restitution, rebound power, and post-impact velocity for ground stroke, and it has also large shock vibrations at the racket handle compared to the ordinary super-light weight racket. This means a limit to the weight lightening of tennis racket from the viewpoint of performance. The engineers and racket designers at the racket companies seem to be under intense pressure to keep pumping out new and better technologies every year. This paper investigated the physical properties of a new type of racket appeared in the market with wheels replacing conventional grommets on the sides, 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. The result showed that the magnitude of shock vibration at the handle and the wrist joint with this new type racket is rather small compared to the conventional rackets due to the small vibration during impact. Rackets with wheels replacing conventional grommets on the sides might be expected to provide a comfortable feel during impact.

Key Words: Dynamics of Machinery, Sports Engineering, Impact, Tennis Racket, Wheels Replacing Conventional Grommets, Shock Vibration, Feel, Wrist Joint, Racket Handle, Performance Prediction

1. 緒言

ラケットの進歩がテニスのプレイ・スタイルを変えたと言われている。しかし、テニスは体験により修得するものだから主観的なものであり、ラケットが実際のプレーにどのように影響するかを客観的に評価することはきわめて難しい。一般にラケットに求められる基本的な性能は、パワー、コントロール、打球感といわれている。「玉離れが良い」、「ホールド感がある」、「面の安定性が良い」などの微妙な性能評価もある。最近の特長は軽量化であり、軽量化によりテニスラケットはパワーに関する性能を向上させてきたが、反発係数、反発特性、およびオフセンター・インパクトにおける手首関節の衝撃振動に関する軽量化の限界が明らかになった。一方、打球感の改善をめざした新しい発想・試みのラケットが次々と市販されるようになってきた⁽¹⁾。

本研究では、ストリングス周りのフレームの一部にグロメットの代わりにローラー(滑車)を取りつけたラケットの衝撃振動

伝達特性を予測する⁽²⁾⁻⁽¹⁴⁾。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・ハンドルと手首の衝撃振動波形を予測し、最軽量のラケットおよび反発性能にすぐれた平均的な軽量ラケットとの比較により打球感の評価を試みる。

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⁽²⁾⁻⁽¹⁴⁾

図1はプレイヤーがボールを打撃した瞬間に手に伝わる衝撃力を求めるためのモデルを示す。図2は手首関節の加速度予測位置を示す。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

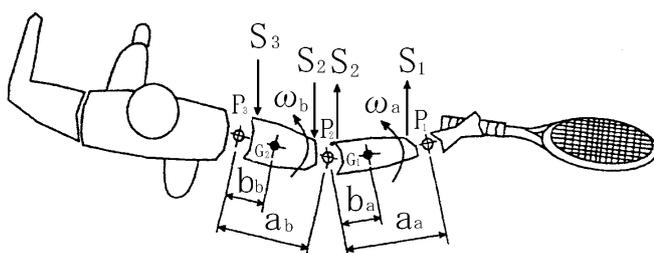


Fig.1 Model for the prediction of the shock force transmitted to the arm joint from a racket.

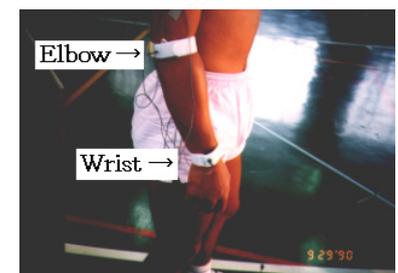
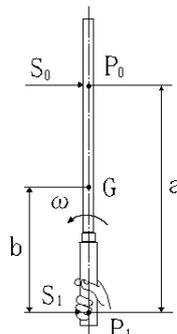


Fig.2 Location of wrist joint

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び衝撃加速度成分を求めることができる。手で支持したラケットの実験モード解析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。

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tring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3は, 手首の衝撃振動加速度の実測波形と予測波形の例と実打実験状況とを示す。

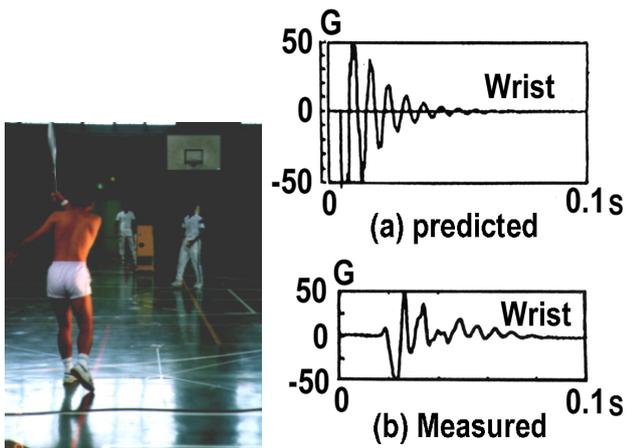


Fig.3 Predicted shock vibrations of a wrist joint compared with the experimental.

3. 宙づりラケットにボールが衝突したときのハンドル衝撃振動の比較

String面横の両サイドにグロメットの代わりにローラー(滑車)を取りつけた軽量ラケット Rollers 2.6 (Wilson 社製, ファン・タイプ, 張り上がり質量 268 g) ⁽¹⁾ の性能予測結果を市販の最軽量ラケット Prince Thunder Super Lite (TSL) (115 in², 224 g) および平均的な重量を持ち反発性能が優れている軽量型ラケット EOS120A (120 in², 292 g) の性能予測結果と比較する。

図4は, 宙づりラケットのハンドル(グリップ端から 70 mm)の衝撃振動の予測波形である。String面上の各打点位置を英数字の打点名称で示している⁽¹⁾。衝撃振動は, 衝撃加速度成分と4次までの振動加速度成分の和である。ボールとラケットの衝突速度は 30m/s である。図5は, 衝撃振動波形のピーク値(波形のmaximumとminimum差, 絶対値の和)の取り方を示す。図6は, 宙づりラケットのハンドル・衝撃振動予測波形のピーク値である。滑車でString面を支持したラケット Rollers 2.6 の衝撃振動はString面全体で小さい。図7は, String面の代表的な打撃位置でのインパクトの瞬間の(ハンドル)衝撃振動成分を分析したもので, (a)は衝撃成分, (b)はインパクトの瞬間の振動ピーク成分, (c)は衝撃成分と振動成分の和を示す。

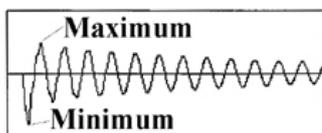


Fig.5 Peak-peak value.

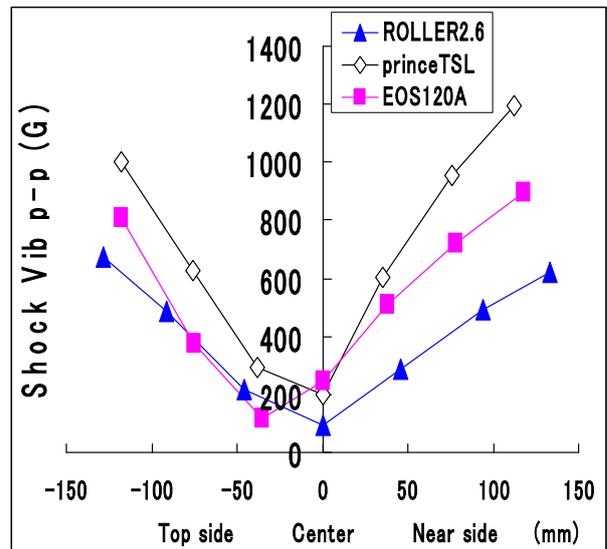
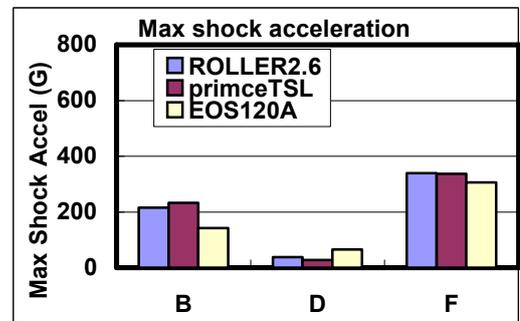
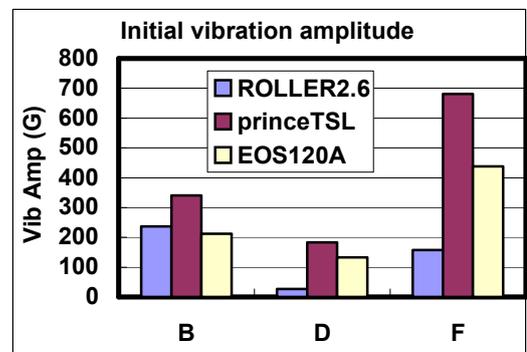


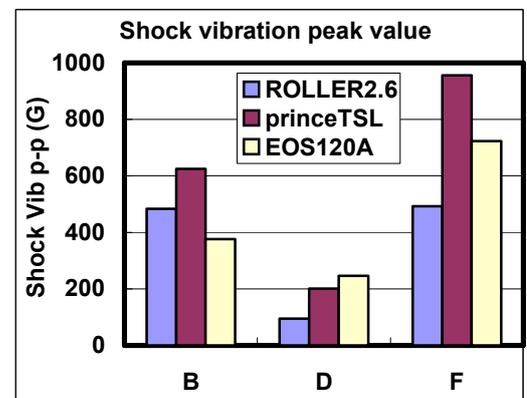
Fig.6 Predicted shock vibrations peak values at the handle of freely suspended rackets vs. impact locations of string face (impact velocity: 30 m/s).



(a) Shock component

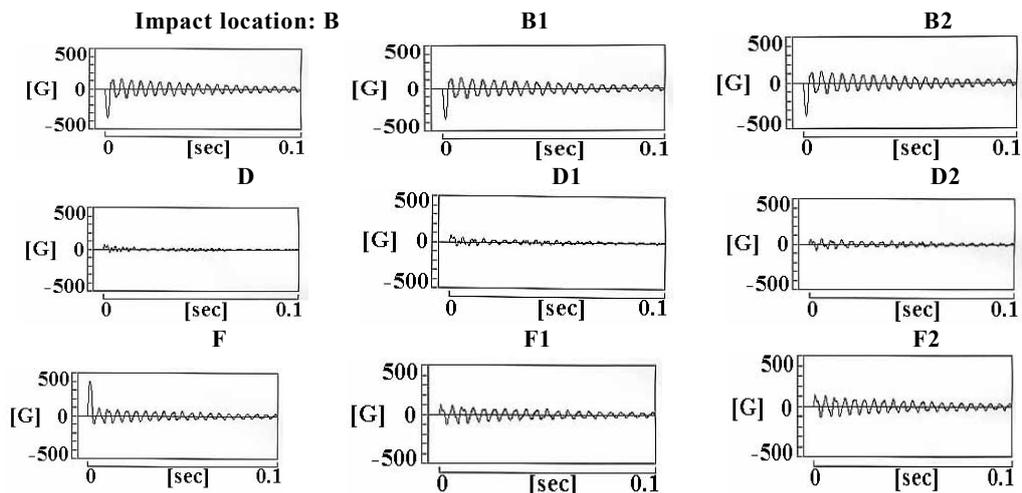


(b) Vibration component (peak value)

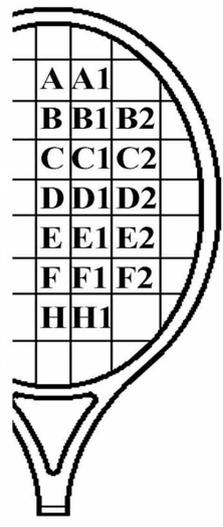
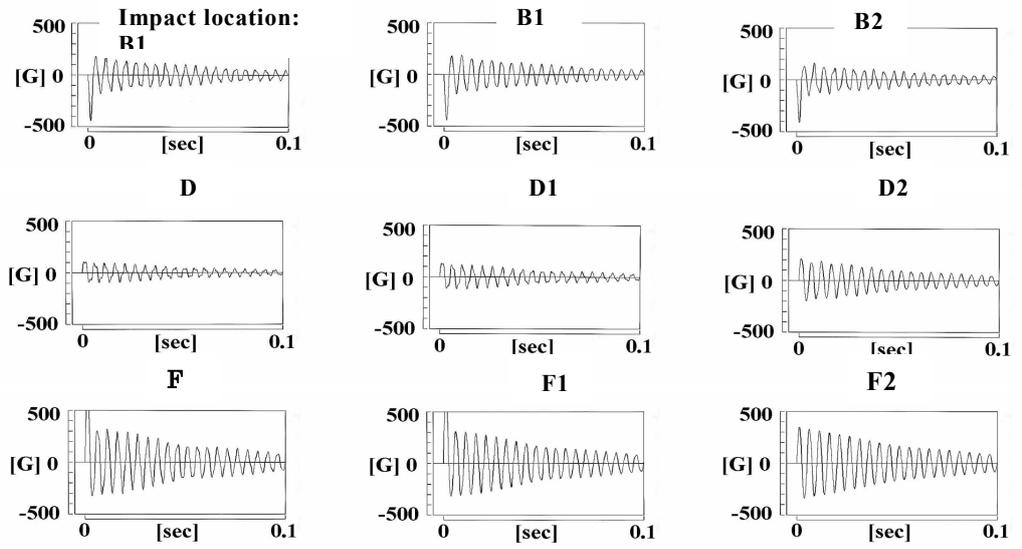


(c) Shock vibration (peak value)

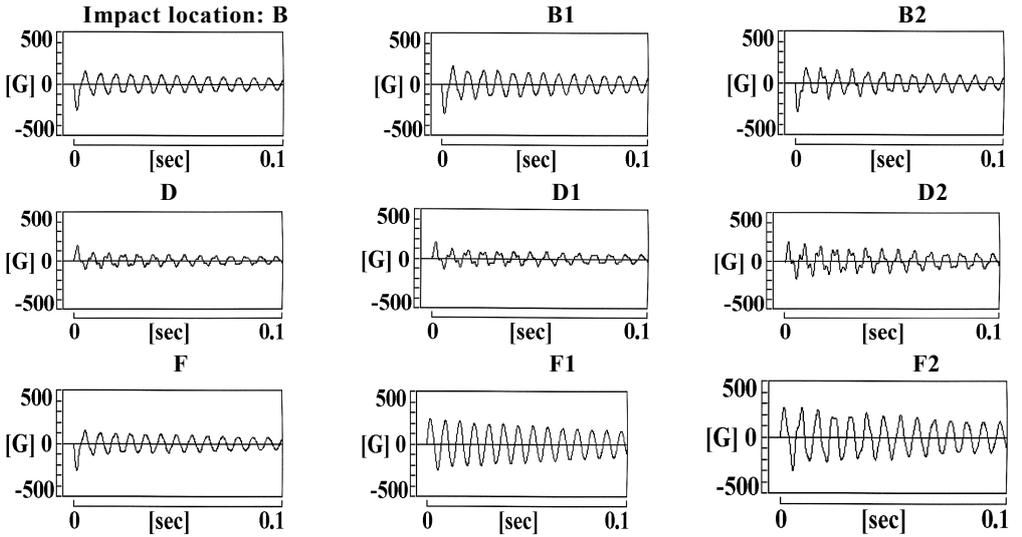
Fig.7 Predicted shock vibrations components at the handle of freely suspended rackets vs. impact locations.



(a) Racket Rollers 2.6



(b) Racket TSL



(c) Racket EOS120A

Fig.4 Predicted shock vibrations at the grip 70 mm from the grip end when a ball strikes the suspended racket (impact velocity: 30 m/s).

4. ラケットで打撃したときのハンドルの衝撃振動

図8は、グランド・ストロークで打撃したときのハンドル（グリップ端から70mmの位置）の衝撃振動予測波形のピーク値である。滑車でストリングスを支持したラケット Rollers 2.6 の衝撃振動はストリング面全体で小さい。

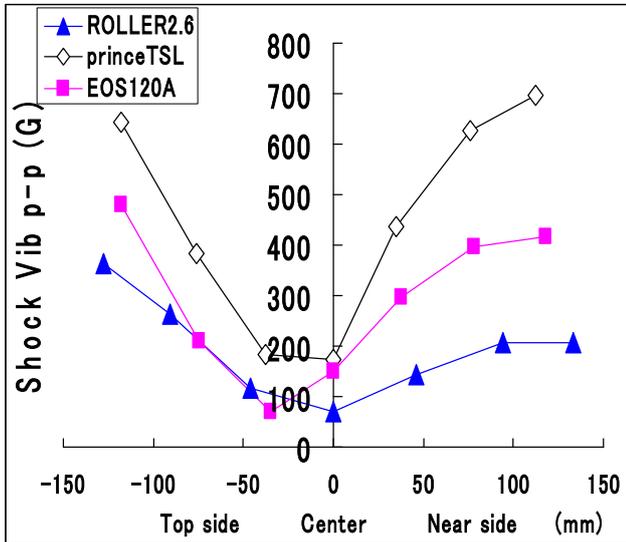
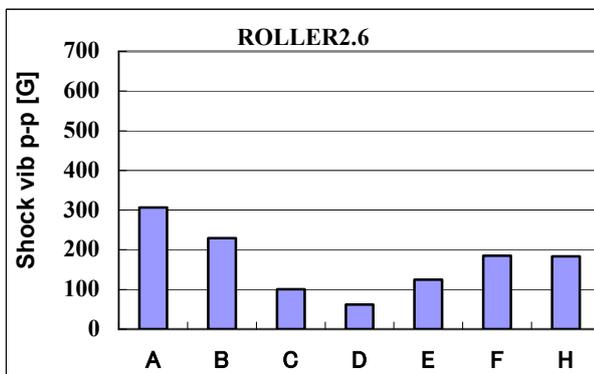
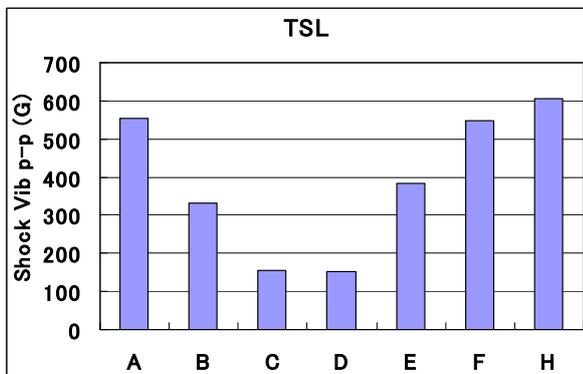


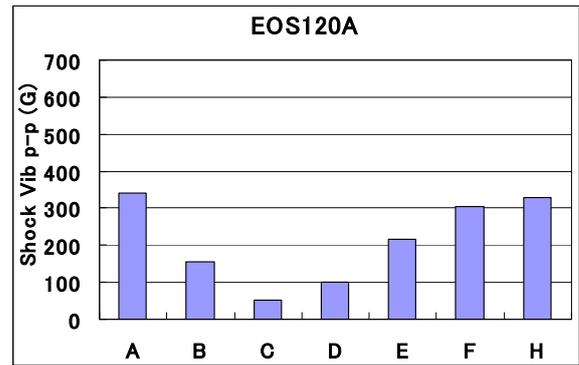
Fig.8 Predicted shock vibrations at the grip 70 mm from the grip end when hitting a ball with flat forehand drive (impact velocity: 30 m/s).



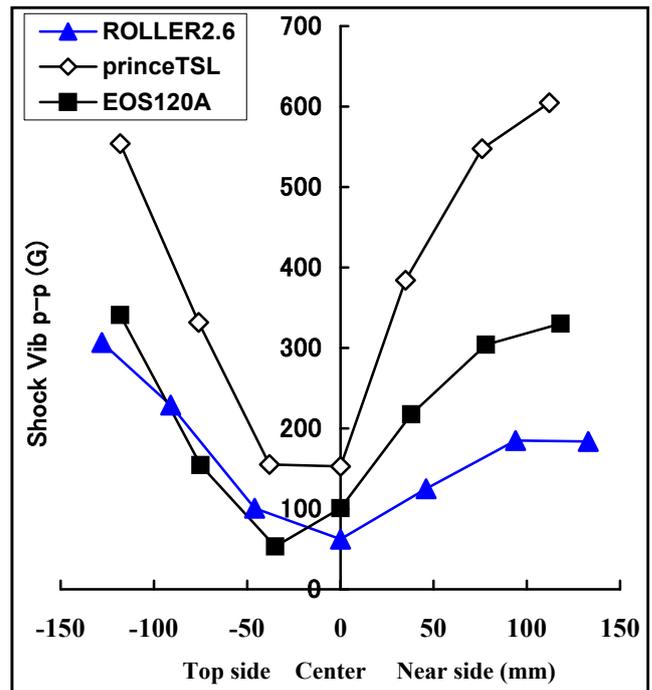
(a)



(b)



(c)



(d)

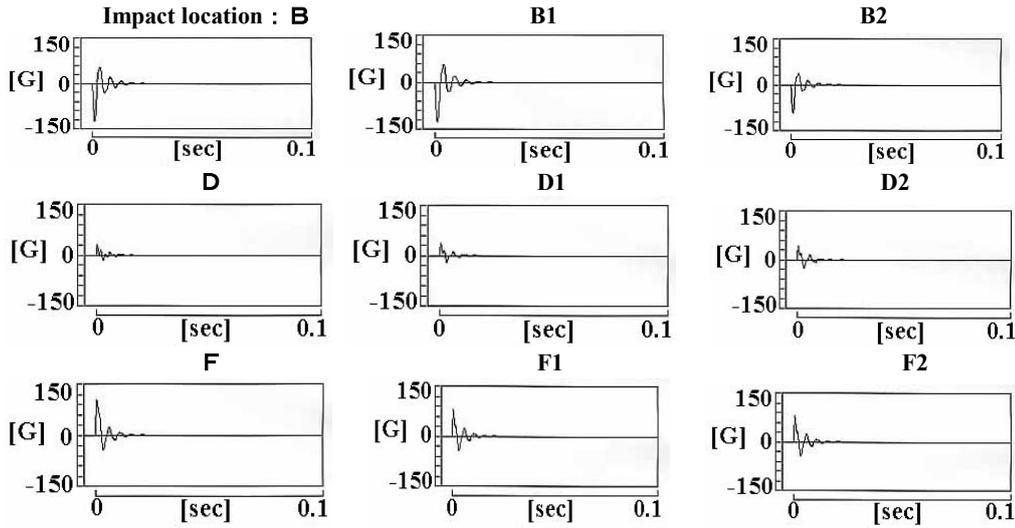
Fig.10 Predicted shock vibrations at the wrist joint when hitting a ball with flat forehand drive at the various impact locations of racket face (impact velocity: 30 m/s).

5. ラケットで打撃したときの手首関節の衝撃振動の予測

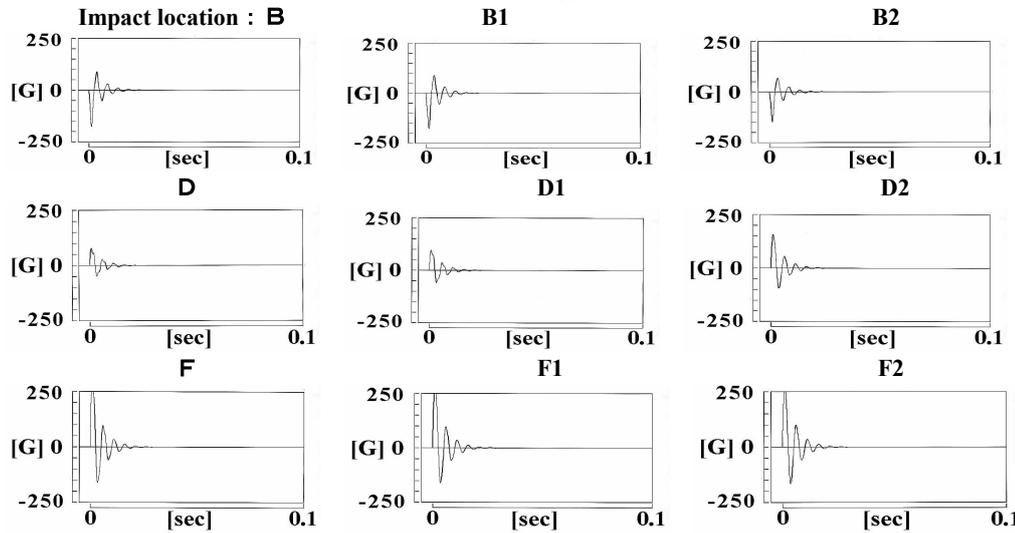
図9は、グランド・ストロークの場合のインパクトにおける手首関節の衝撃振動の予測波形の比較である(ボールとラケットの衝突速度は 30m/s)。

図10は、手首関節・衝撃振動予測波形のピーク値である。滑車でストリングスを支持したラケット Rollers 2.6 の衝撃振動はストリング面全体で小さい (Rollers 2.6の縦軸目盛が小さいことに注意)。

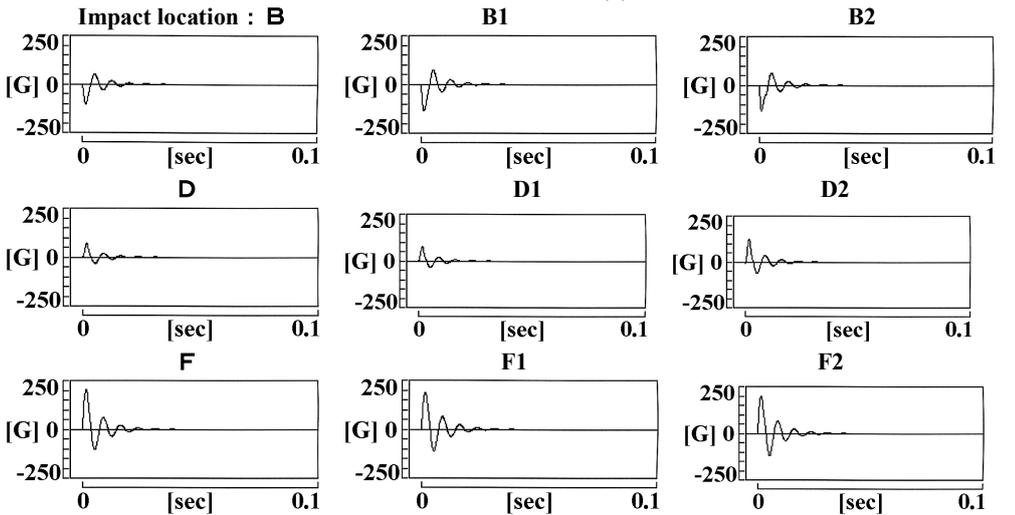
図11は、ストリング面の代表的な打撃位置でのインパクトの瞬間の手首関節・衝撃振動成分を分析したもので、(a)は衝撃成分、(b)はインパクトの瞬間の振動ピーク成分、(c)は衝撃成分と振動成分の和を示す。腕系の質量分布の影響により衝撃成分は小さい。腕系の減衰はインパクト直後の振動振幅ピーク値にはあまり効果がない。



(a) Racket Rollers 2.6



(b) Racket TSL



(c) Racket EOS120A

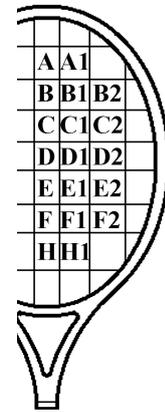
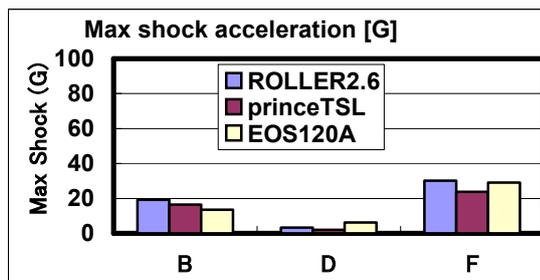
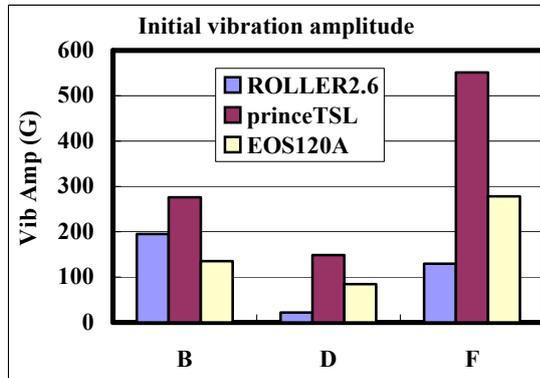


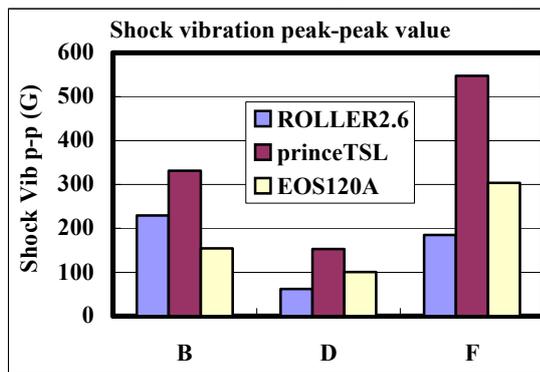
Fig.9 Predicted shock vibrations at the wrist joint when hitting a ball with flat forehand drive at the various impact locations of racket face (impact velocity: 30 m/s).



(a)



(b) Initial vibration amplitude(peak value) at impact



(c)

Fig.11 Predicted shock vibrations components at the wrist joint vs. representative impact locations of string face (impact velocity: 30 m/s).

5. 結論

滑車でストリングスを支持したラケットのインパクトにおける手首関節・衝撃振動の予測結果はストリング面全体で小さかった。インパクト直後の振動振幅ピーク値が小さいことによる。おわりに、図表作成にご協力いただいた埼玉工大・平成13年度4年生・江原将充および平成14年度・高橋一仁の両君に感謝する。なお、本研究の一部は平成13,14年度科学研究費基盤研究(C)、平成13,14,15年度科学研究費基盤研究(B)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

- (1) 川副嘉彦, 滑車でストリングスを支持したテニスラケットのパワーに関連する性能予測と評価, 機械学会ジョイントシンポジウム講演集, No.03-12, (2003), 掲載予定
- (2) 川副嘉彦, テニスラケットの動力学とコンピュータ援用設計(モード特性におよぼす諸因子の影響と設計への指針), 機論, C, 56-526(1990), 1511-1517.

- (3) 川副嘉彦・友末亮三, テニスのインパクトにおけるラケット・ハンドルと手首関節の振動, 日本機械学会論文集, 第59巻560号C編(1993), pp.1001-1008.
- (4) 川副嘉彦・友末亮三・吉成啓子, テニスのフォアハンド・ドライブにおけるラケット・ハンドルの衝撃振動のメカニズム, 日本機械学会・機械力学・計測制御講演論文集, Vol.A, No.96-5(I), (1996), pp.501-504.
- (5) 川副嘉彦・友末亮三・吉成啓子・F. Casolo, テニスのフォアハンド・ドライブにおけるラケット・グリップと手首関節の衝撃振動, 機械学会ジョイントシンポジウム講演集, No.97-34, (1997), 28-32.
- (6) 川副嘉彦・友末亮三・吉成啓子, テニスのインパクトにおけるラケット・グリップと手首関節の衝撃振動の予測(打球面サイズの異なる従来型質量バランス・ラケットの場合), 機械学会・機械力学計測制御講演集, No.98-8, Vol.B, pp.133-136.
- (7) 川副嘉彦・友末亮三・吉成啓子, テニスのインパクトにおけるラケット・グリップと手首関節の衝撃振動の予測(打球面サイズの異なる超軽量ラケットの場合), 日本機械学会・機械力学・計測制御講演論文集(Vol.B), No.98-8(I), (1998), pp.137-140.
- (8) Y. Kawazoe, R. Tomosue & A. Miura, Impact Shock Vibrations of the Wrist and the Elbow in the Tennis Forehand Drive: Remarks on the Measured Wave Forms Considering the Racket Physical Properties, Proc. of Int. Conf. on New Frontiers in Biomechanical Engineering (Edited by K. Tanishita & M. Sato), Japan Society of Mechanical Engineers, Tokyo, (1997), pp.285-288.
- (9) 川副嘉彦・荻原史浩, テニスにおける木製ラケットと複合材ラケットの性能予測(ラケットと手首関節の衝撃振動), 日本機械学会75期通常総会講演集, No.98-1(1998), 543-544.
- (10) Kawazoe Y. (2000). Mechanism of Tennis Racket Performance in terms of Feel. Theoretical and Applied Mechanics, Vol.49, pp.11-19.
- (11) Kawazoe, Y. & Yoshinari, K. (2000). Prediction of the Impact Shock Vibrations of the Player's Wrist Joint: Comparison between Two Super Large Sized Rackets with Different Frame Mass Distribution. In Tennis Science & Technology (Edited by Haake S. & Coe A.), pp.91-99. Blackwell Science.
- (12) Kawazoe, Y., Tomosue, R., Yoshinari, K. and Casolo, F. (2003). Prediction of the shock vibrations at the wrist joint with the new large ball compared to the conventional ball impacted to the tennis racket during forehand Stroke. In Tennis Science & Technology (Edited by S.Miller), pp.105-112. International Tennis Federation.
- (13) Y. Kawazoe, R. Tanahashi and F. Casolo, Experimental and theoretical criticism of the effectiveness of looser strings for the reduction of tennis elbow, In Tennis Science & Technology, (Edited by S.Miller), pp.61-69. International Tennis Federation.
- (14) Y. KAWAZOE and R.TANAHASHI, Sweet Spots Prediction in Terms of Feel with the Effect of Mass and Mass Distribution of a Tennis Racket, Sports Dynamics: Discovery and Application (Edited by Subic A. & Trivailo P., Alam F.), (2003), pp.57-62. RMIT University Publishing.