

熱可塑性テニスラケットの手首関節衝撃振動改善効果

Estimation of the Improvement of the Shock vibrations at the wrist joint using the Thermoplastic Composite Tennis Racket

○川副 嘉彦 (埼玉工大)

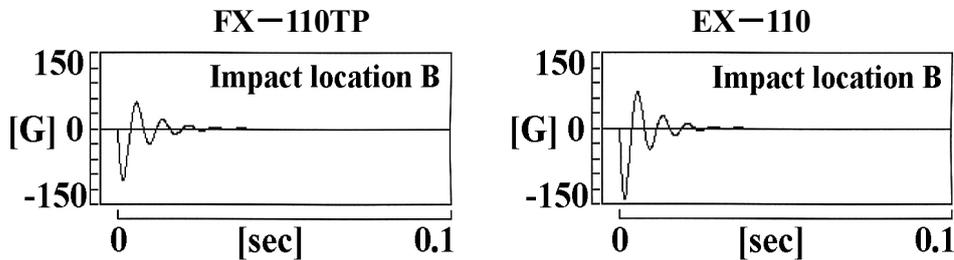
Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Okabe-machi, Saitama

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 unknown points regarding the relationship between the performance estimated by a player and the physical properties of a tennis racket. It is said that the racket, which adopted the thermoplastics composite, has a high vibration damping and a soft feeling during impact. This paper has predicted the performance of the thermoplastic composite tennis racket comparing with the normal composite in terms of the impact shock vibrations of player's wrist joint, which might be related to the feel or comfort. 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 two types of rackets. The result shows that the shock vibration of the thermoplastics composite racket is smaller during impact and has a wider sweet area in terms of feel than the normal composite one.

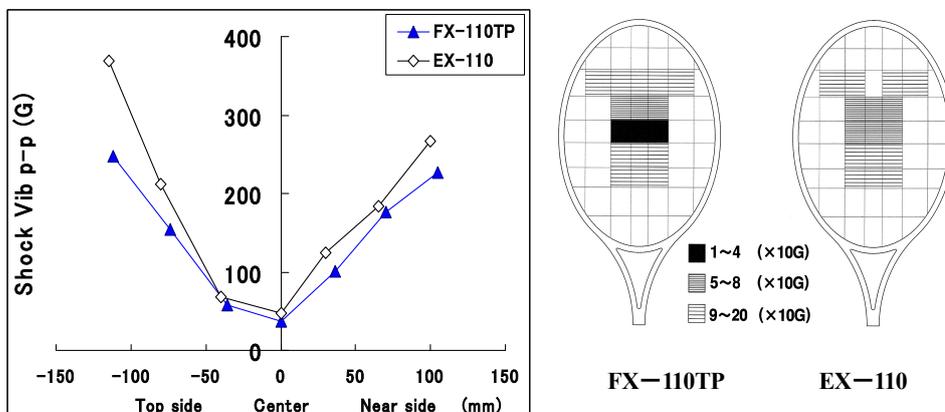
Key Words: Dynamics, Sports Engineering, Tennis Racket, Thermoplastic Composite, Impact, Coefficient of restitution, Feel Prediction of performance

振動減衰性が高くソフトな打球感が得られるといわれている熱可塑性樹脂サーモプラスチックを採用したテニスラケット FX-110TP について、実験的同等に基づく衝突解析によりラケット・グリップおよびプレイヤーの手首関節の衝撃振動を予測し、打球感の評価を試みた。ラケット・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。

熱可塑性ラケットのインパクトにおける手首関節の衝撃振動は、従来型ラケット EX-110 に比べて、衝撃成分には大きな違いはないが、振動成分が小さい。インパクトの瞬間に手首に伝わる衝撃振動のピーク値は、両ラケットともラケット面中心での衝突で最も低い値を示し、ラケット面全面で熱可塑性ラケットの方が低い値を示した。



(a) Predicted shock vibrations at the wrist joint (Impact location : Top side B)



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

Fig.9 Predicted shock vibrations at the wrist joint.

1. 緒言

現状では、テニスラケットの性能は経験の深いテスターやプレイヤーの感覚に基づいて評価される。一般プレイヤーにとっては、ボールを実際に打ってみてはじめて性能がわかるというのが現実である。しかも、ラケットの性能はプレイの状況により異なるので、カタログなどに記載されているラケット性能とユーザーによる経験的性能評価とが必ずしも一致しないという声もよく聞かれる。

本論文では、振動減衰性が高くソフトな打球感が得られるといわれている熱可塑性樹脂サーモプラスチックを採用したテニスラケット⁽¹⁾の衝撃振動性能の客観的な予測を試みる。ラケット・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。熱可塑性複合材ラケットと従来型重量バランスの複合材ラケット（従来重量バランス型と呼ぶ）について、実験的同定に基づく衝突解析⁽²⁾⁻⁽¹²⁾によりラケット・グリップおよびプレイヤーの手首関節の衝撃振動を予測し、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

テニスプレイヤーがボールを打撃した瞬間の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（図1）、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⁽¹²⁾。

手で支持したラケットの実験モード解析⁽²⁾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⁽²⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

男子上級プレイヤーがフォアハンド・グランド・ストロークにおいてラケットでボールを打撃したときの手首関節の予測波形は、手で支持したラケットの実験モード解析結果⁽²⁾および実打実験における加速度実測波形から同定した減衰を用いて、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までを考慮すると実測加速度波形にかなり一致する⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

図2は手首関節の加速度予測位置を示し、図3はラケット・ストリングス面上の打点位置につけた打点名称を示す。

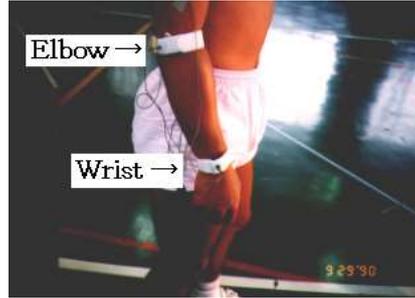


Fig.2 Location of Wrist joint

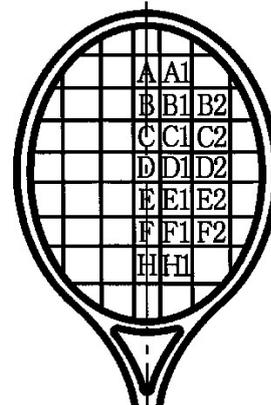


Fig.3 Hitting locations.

Table1 Physical properties

Racket	FX-110TP	EX-110
Total length	685 mm	685 mm
Face area	705 cm ²	705 cm ²
Mass	341 g	366 g
Center of gravity from grip end	314 mm	325 mm
Moment of inertia I_{Gy} about Y axis	36.3 gm ²	40.7 gm ²
Moment of inertia I_{Gx} about X axis	1.40 gm ²	1.68 gm ²
1st frequency	127 Hz	132 Hz
Strings tension	55 lb	53 lb

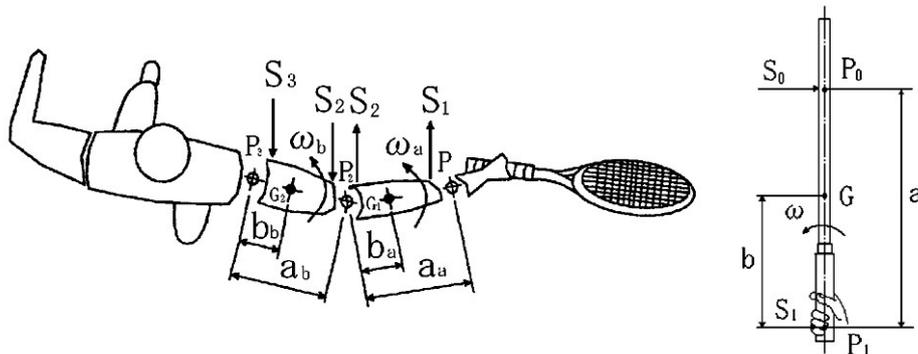


Fig.1 Impact model for the prediction of the shock force transmitted to the arm joint from a racket.

3. ラケットの物理特性

熱可塑性ラケット FX-110TP と従来重量バランス型ラケット EX-110 の仕様および物理特性を表 1 に示す。打球面積は公称 110in² (ラージサイズ) である。質量はストリングスの質量を含み、 I_{GY} は重心 (バランス点) まわりの慣性モーメント、 I_{GX} は長手方向軸周りの慣性モーメントである。FX-110TP の質量および慣性モーメントは PROTO-EX-110 に比べてやや

小さめである。ラケットの基本モード (2 節曲げ) 振動数は、熱可塑性ラケット FX-110TP が 127 Hz、従来重量バランス型ラケット EX-110 が 132 Hz であり、両ラケットとも振動数の低い方からフレームの 2 節曲げ、2 節ねじり、3 節曲げ、ストリングスの膜の振動モードである。

図 4 は、打撃力と加速度応答実測データから求めたラケット単体の伝達関数 (コンプライアンス) を示す。

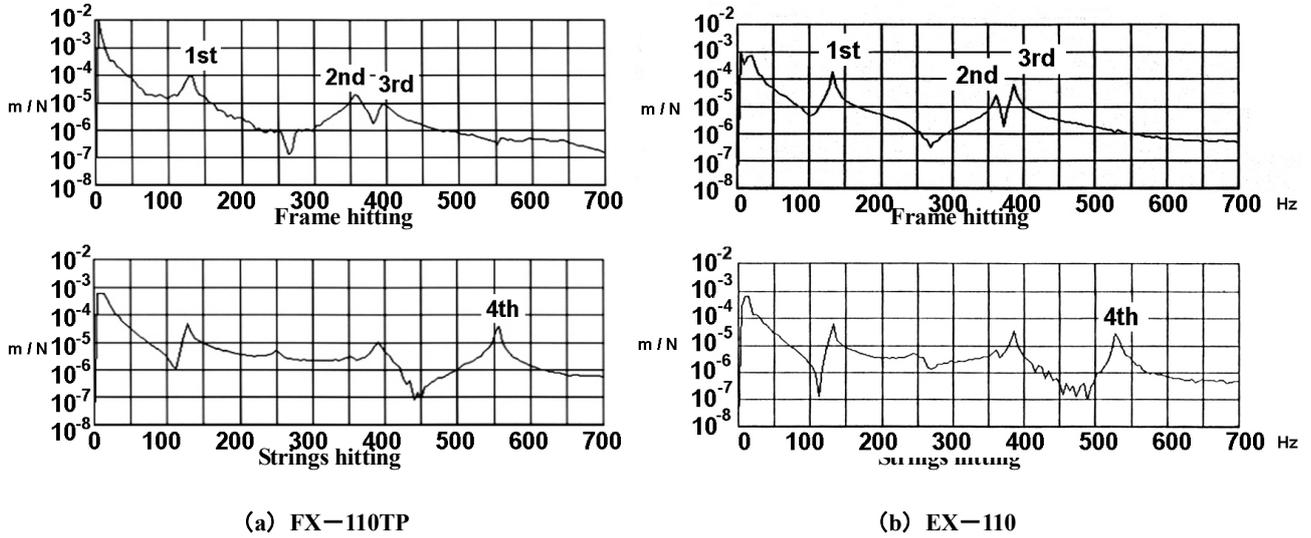


Fig. 4 Frequency response function of racket

4. インパクトにおけるラケットと手首関節の衝撃振動

図 5 は、ストリングス面上の先端側から根元側の各打点で衝突したときのラケット・グリップ部 (グリップ端から 70 mm) の最大衝撃加速度 A_{nv} の予測値であり、腕系の等価質量を考慮している。ボールとラケットの衝突速度は 30m/s である。両ラケットの衝撃成分はほとんど等しい。また、両ラケットとも衝撃中心はラケット面のほぼ中心にある。グリップ位置に付加した腕系の等価質量 $M_H = 1.0 \text{ kg}$ がグリップ最大衝撃加速度を大きく低減させる。

図 6 は、ボールがラケット面の中心を外れて衝突したときのラケットの初期加速度振幅成分の予測例であり、上からフレームの 2 節曲げ、2 節ねじり、3 節曲げ、ストリングス面膜振動 1 次の成分を示す。

図 7 は、グリップ位置における 1 次~4 次の 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。全体的に熱可塑性ラケット FX-110TP の方が従来重量バランス型ラケット EX-110 に較べて振動が小さく、ラケット面中心付近では大きな差はないが、ラケット面先端側で差異が著しい。振動が最も小さい打点は熱可塑性ラケット FX-110TP では D 打点 (ラケット面中心)、従来重量バランス型ラケット EX-110 では C 打点 (やや先端寄り) である。

図 8 は、ラケット・グリップ部の衝撃振動加速度の予測波形である。グリップ位置はグリップ端から 70 mm の位置であり、ボールとラケットの衝突速度は 30 m/s である。

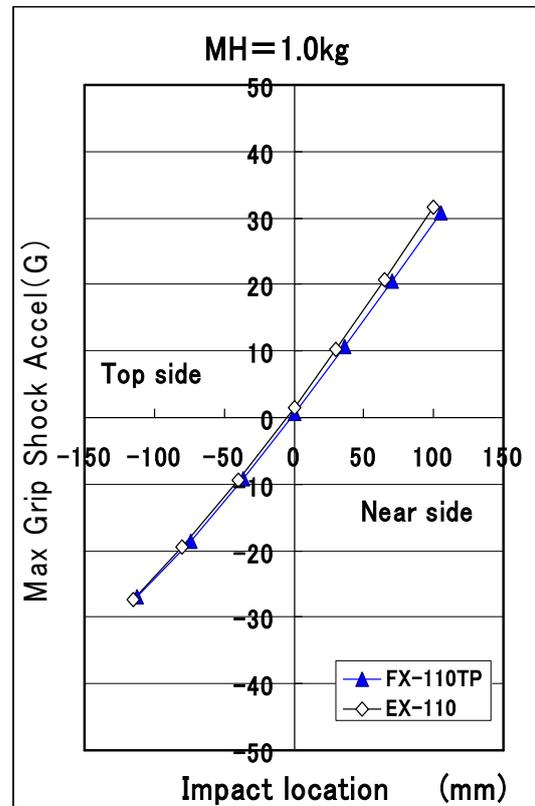
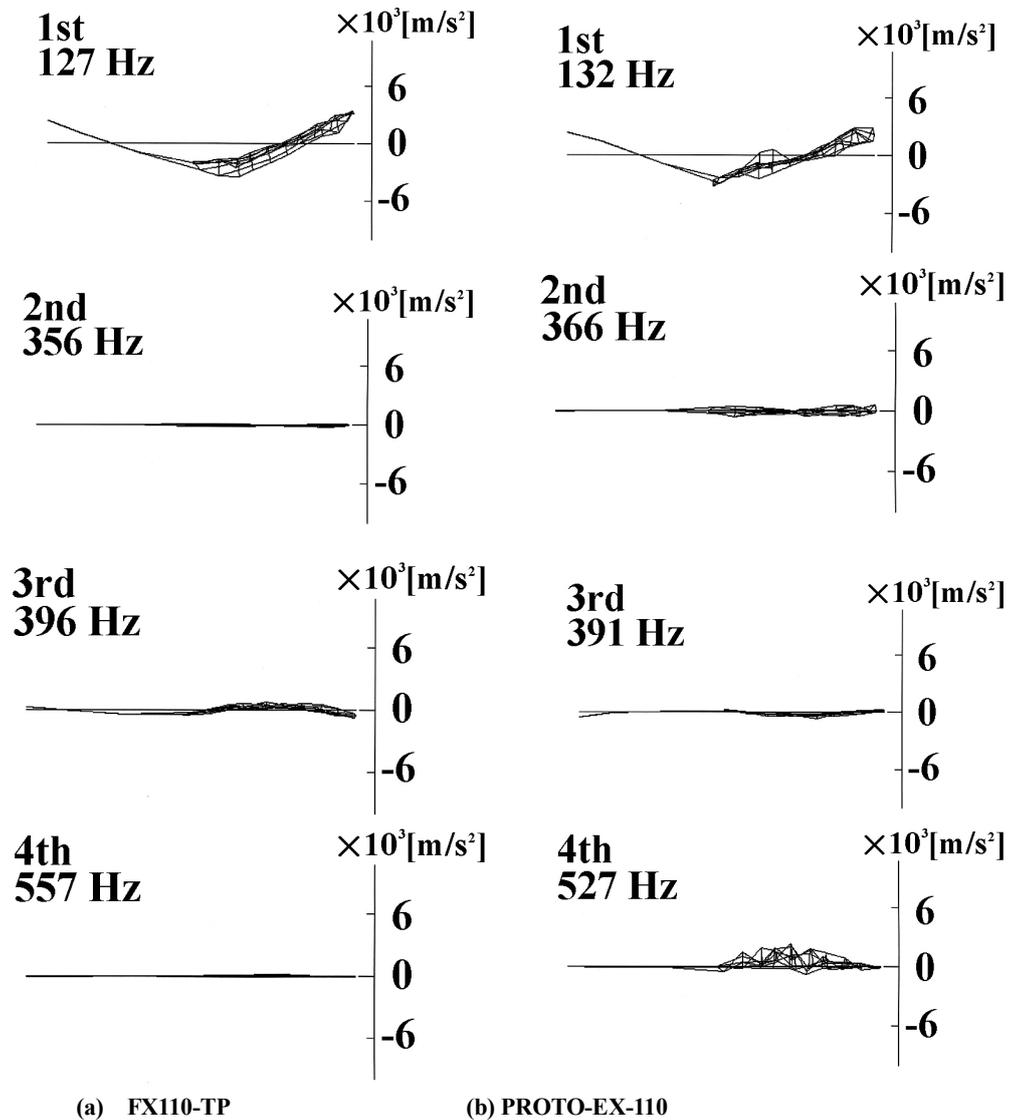


Fig.5 Predicted Maximum shock acceleration at the grip of rackets.



(a) FX110-TP (b) PROTO-EX-110
 Fig.6 Predicted initial amplitude components of racket vibrations
 when a ball strikes off-center of a racket face (Impact location: B, 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、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9(a)は、先端側打点Bで衝突した場合の手首関節の加速度波形である。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。

図9(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(図10の最大値・最小値の差)とスイートエリアである。全体的に熱可塑性ラケットFX-110TP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。

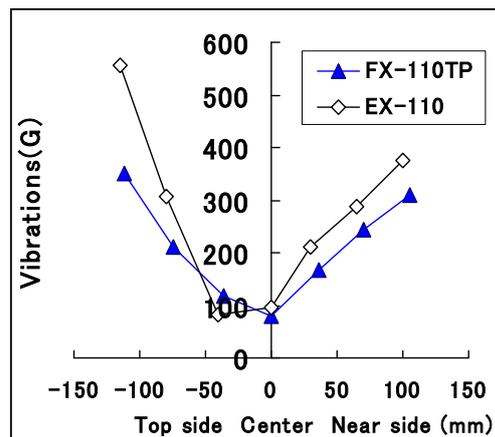


Fig.7 Summation of the predicted grip vibration amplitude considering 4 vibration mode components.

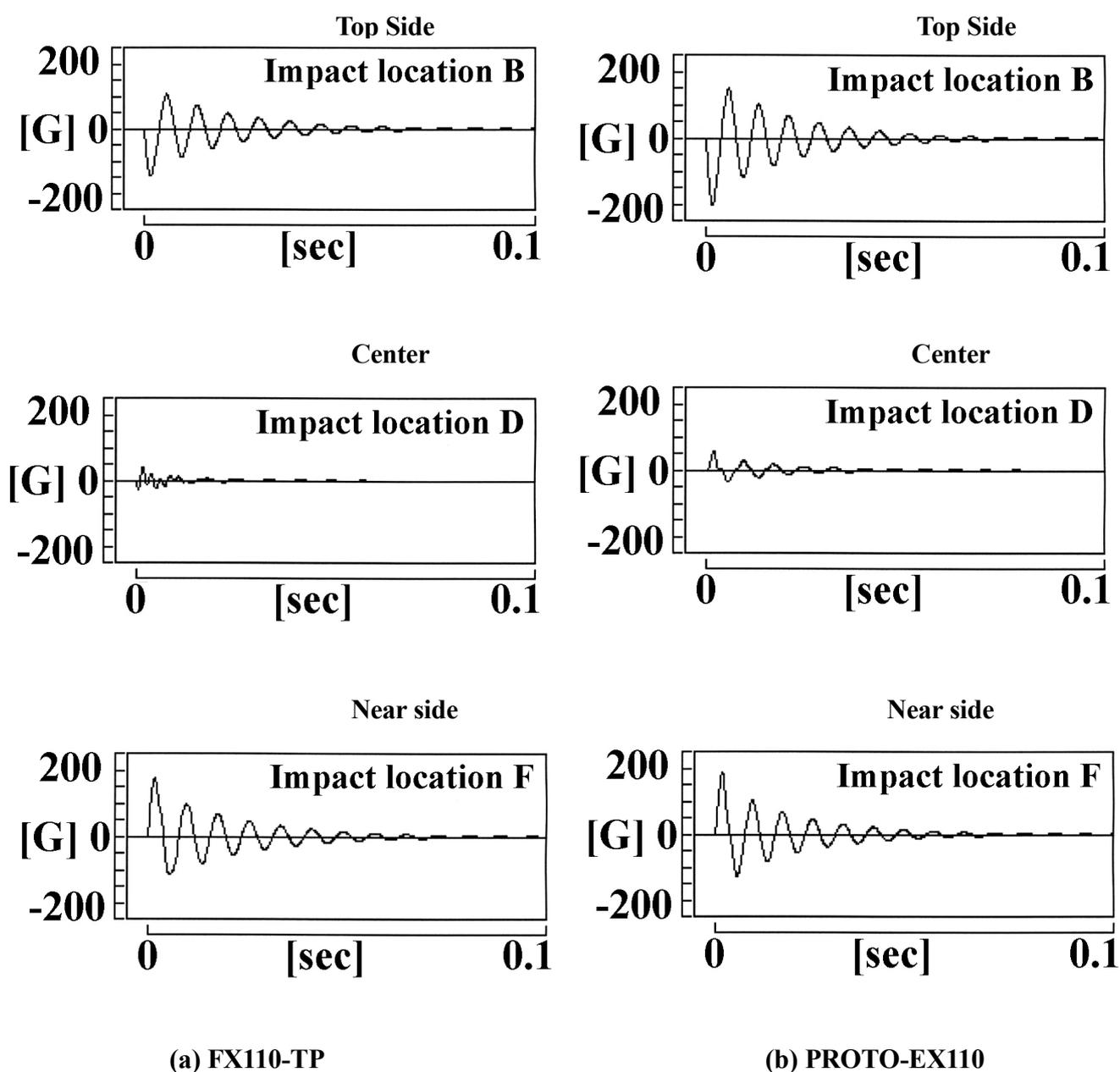


Fig.8 Predicted waveform of the shock vibrations at the grip of the rackets
(impact velocity: 30 m/s).

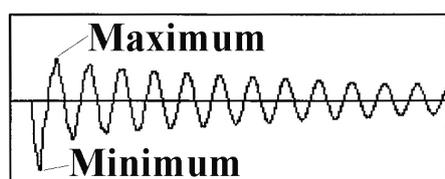
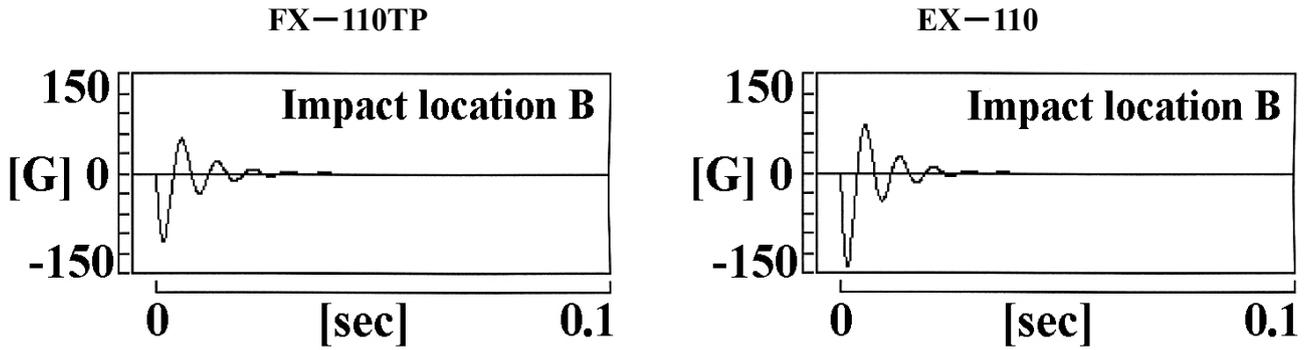


Fig.10 Peak- peak value of the wave form.

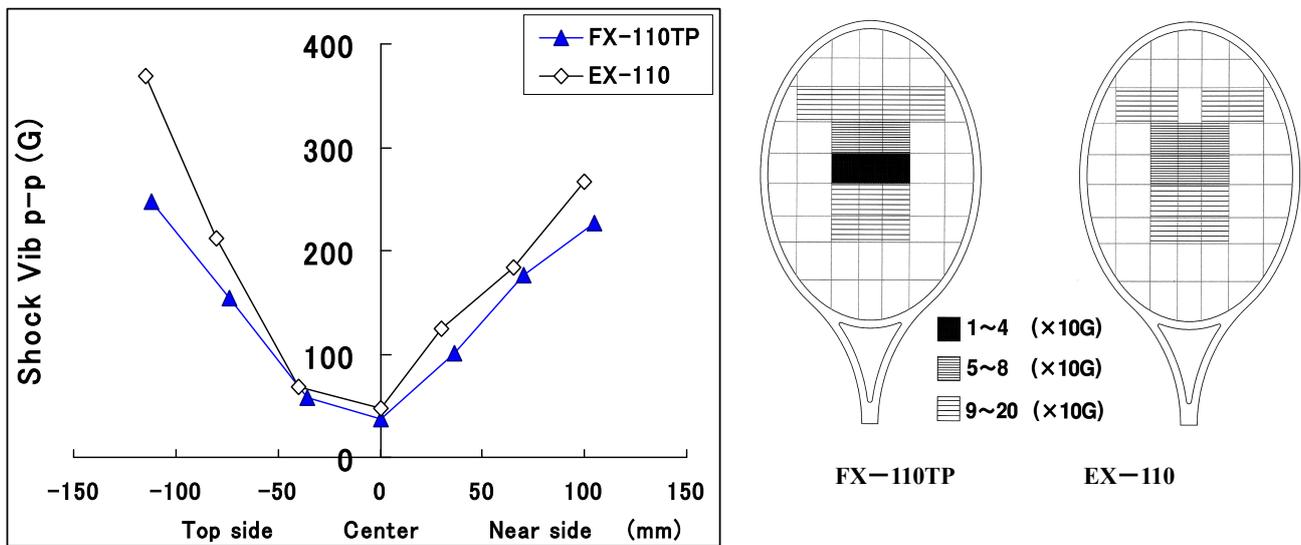
6. 結論

振動減衰性が高くソフトな打球感が得られるといわれている熱可塑性樹脂サーモプラスチックを採用したテニスラケットについて、実験的同定に基づく衝突解析によりラケット・グリップおよびプレイヤーの手首関節の衝撃振動を予測し、打球感の評価を試みた。ラケット・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。

熱可塑性ラケットのインパクトにおける手首関節の衝撃振動は、従来型ラケットにくらべて、衝撃成分には大きな違いはないが、振動成分が小さい。インパクトの瞬間に手首に伝わる衝撃振動のピーク値は、両ラケットともラケット面中心での衝突で最も低い値を示し、ラケット面全面で熱可塑性ラケットの方が低い値を示した。



(a) Predicted shock vibrations at the wrist joint (Impact location : Top side B)



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

Fig.9 predicted shock vibrations at the wrist joint.

おわりに、図表作成にご助力いただいた埼玉工大・平成12年度4年生大野浩行君に深謝する。なお、本研究の一部は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) Muroi, K. & Shimizu, Y., Proc. 5th Japan International SAMPE Symposium, (1997), pp.1317-1322.
- (2) 川副・友末・吉成・Casolo, 第7回工学シンポジウム講演論文集,97-34(1997), pp.28-32.
- (3) 川副嘉彦, 計算工学講演論文集, 3-1(1998), pp.295-298.
- (4) 川副・友末・吉成, 日本機械学会・機械力学計測制御講演論文集, No. 98-8, Vol.B, pp. 133-136.
- (5) 川副嘉彦, 機論, 56-526, C(1990), pp.1511-1517.
- (6) 川副嘉彦, 機論, 58-552, C(1992), pp.2467-2474.
- (7) 川副嘉彦, 機論, 59-558, C(1993), pp.521-528.
- (8) 川副嘉彦, 機論, 59-562, C(1993), pp.1678-1685.
- (9) Casolo, F. et al.:Meccanica 26(1991), pp.67 - 73.
- (10) 川副嘉彦, 機論, 61-584, C(1995), pp.1300-1307.
- (11) 川副・友末・吉成, 機講論, No.96-5, Vol.A(1996), pp.501-504.
- (12) Kawazoe, Y., Theoretical & Applied Mechanics, Vol.49, (2000), pp.11-19.