

## ゴルフクラブにおけるボール実打撃力の実験的推定法に関する研究

三枝 洋文<sup>\*1</sup>, 大石 久己<sup>\*2</sup>, 神田 直樹<sup>\*1</sup>  
三枝 宏<sup>\*3</sup>, 小野 一則<sup>\*3</sup>, 北崎 剛史<sup>\*3</sup>

### A Study on an Experimental Estimated Method of Real Impact Force with Ball for Golf Clubs

Hirofumi MIEDA, Hisami OISHI, Naoki KANDA,  
Hiroshi SAEGUSA, Kazunori ONO, Tsuyoshi KITAZAKI

Kogakuin Univ. Dept. of Mechanical Engineering  
Nishi-shinjuku 1-24-2, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8677, Japan

In this paper, we propose a method to estimate impact forces from accelerations, and confirm effectiveness of this method using simple models and marketing models. First, we measure frequency response functions of golf clubs by the experiment with an impulse hammer. Then, we really strike balls with a robot for striking and estimate the impact forces for different conditions of head speed and characteristic of balls. Finally, we calculate impulse of impact forces to evaluate consistency of estimated impact forces quantitatively and show that estimated results are effective for characteristic of golf clubs and balls.

**Key Words** : Sound, Sound Quality, Golf Club, Impulse, Impact Force

## 1. 結 言

ゴルフクラブの設計において打音の音質向上が重要な設計課題となってきた。著者らは、以前より CAD データからゴルフクラブの打音を予測して音質設計を行うことを目的として、ゴルフクラブの打音の物理評価パラメータと、打音の音質に対する官能評価との関係について基礎的研究を行ってきた。その結果、打音データから得られる物理評価量としての音質パラメータと打音の官能評価アンケートとの対応を示し、打音の好みに対して、打音の大きさ、高低、残響が音質パラメータとして有効であることを示した<sup>1)</sup>。また、ゴルフクラブの構造特性が音質パラメータに与える影響を明らかにするため簡易形状モデルと市販モデルを用いた実験と解析の結果を示し、打音とその音質予測ができることを示した<sup>2,3)</sup>。その中でボールの打撃力を直接測定することはできないので、他の値から推定する方法が必要である。本報では、実験的な簡易推定法を提案し、その方法を簡易形状モデルおよび市販の実モデルに適用した推定結果を示し、本手法が有効であることを示す。はじめに、インパルスハンマを用いた打撃実験で求めた伝達関数を使用して打撃力を推定する方法を示す。次にボールを打撃した実打撃時の結果に適用し、打撃力を推定してその有効性を検証する。最後に、打撃力の定量的評価のために力積を求め、ヘッドスピードに対する接触時間と力積の変化を検討する。また、使用したボールの弾性特性の違いやゴルフクラブの違いによる力積の変化を確認し、本推定法の有効性を検討する。

## 2. 実 験

### 2・1 使用ゴルフクラブ

本報では、推定法の検証のために作成した図 1 に示す簡易形状モデル 4 種と市販のゴルフクラブ 3 種を使用した。簡易形状モデルは、基本形状のクラブ A と、それにフェース面と平行に 2 本のリブを付加することでソール

<sup>\*1</sup> 学生員, 工学院大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻

<sup>\*2</sup> 正員, 工学院大学 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1 丁目 24 番 2 号)

<sup>\*3</sup> 横浜ゴム株式会社

E-mail: am13062@ns.kogakuin.ac.jp

面の剛性を向上したクラブ B, C, D の 4 種類である. 図 1 に示すように, クラブ B と C はリブの断面積は同じで, 高さが異なる 2 本のリブをソールの端から端まで配している. クラブ B のリブは幅 3mm, 高さ 5.5mm で, クラブ C のリブは幅 1.5mm, 高さ 11mm である. また, クラブ D のリブは三角形で, 幅 3mm, 高さ 15mm, 底辺 28mm でソール面のコーナーを補強している. なお, クラブ B, C, D のリブはクラブ A に対して全て同じ質量増加となるようにした. また, 使用した市販ゴルフクラブをクラブ E, F, G とする.

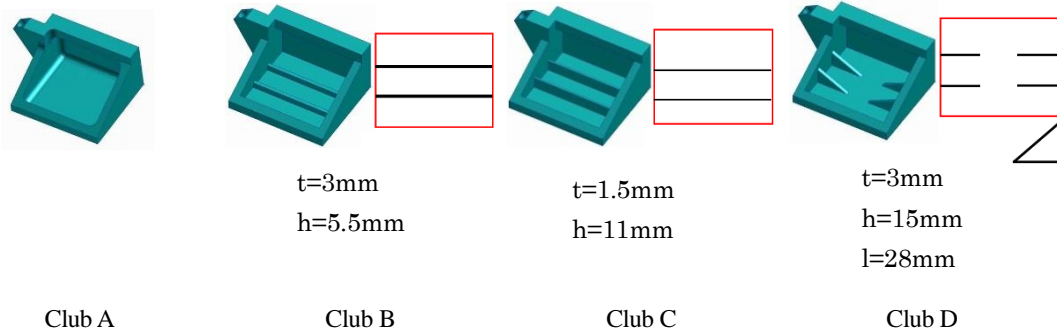


Fig. 1 Shapes of golf clubs.

### 2・2 打撃実験

図 2 に実験装置の構成, 図 3 に打点位置と打音の計測位置を示す. 加速度はソール面とボーゼル付近の 3 箇所にて定め, 打音は図 3 に示す 4 箇所とした. はじめにインパルスハンマによる打撃実験を行い, 加速度  $A_1, A_2, A_3$  と音圧  $S_1, S_2, S_3, S_4$  を計測し, 打点に対する加速度と音圧の伝達関数を測定した. 打点はフェース面中央とした. 次に試打用打撃ロボットを用いて実打撃に近いヘッドスピードでボール打撃実験を行い, 同様に加速度  $A_1, A_2, A_3$  と打音  $S_1, S_2, S_3, S_4$  を計測した. 簡易形状モデルは, ヘッドスピード 25m/s と 30m/s で打撃した. 市販モデルは, 25m/s, 30m/s に加え, 35m/s のより速いヘッドスピードでも打撃した. また, ボールの特性の違いによる打撃力の変化を確認するため, ヘッドスピード 30m/s については 4 種のボールを使用した. なお, 他のヘッドスピードについては, 全て同じ基準のボールを使用した.

### 2・3 伝達関数の測定

図 4 にインパルスハンマを用いた打撃実験の打点に対する加速度の伝達関数の一例を示す. 図 4(a) と図 4(b) は簡易形状モデルのクラブ A と C, 図 4(c) と図 4(d) は市販モデルのクラブ E と F である. 簡易形状モデルと市販モデルは, 固有モードの数は異なるものの同様の特性であるといえる.

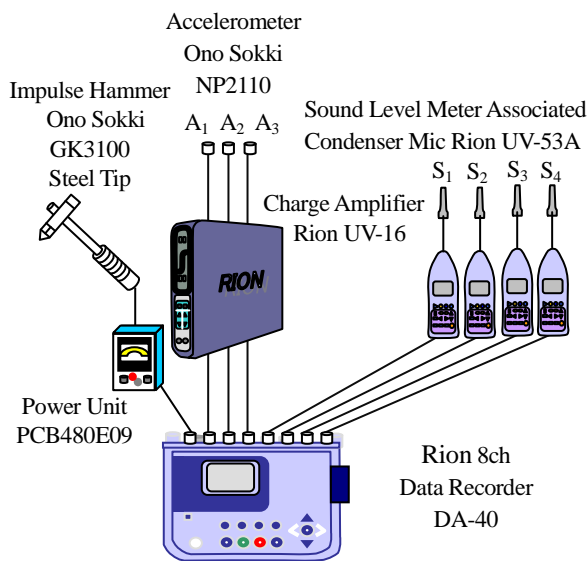


Fig. 2 Measuring system.

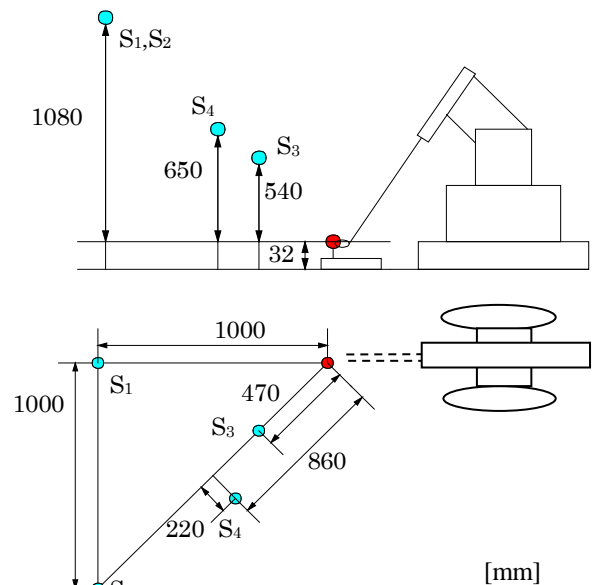


Fig. 3 Position of microphones.

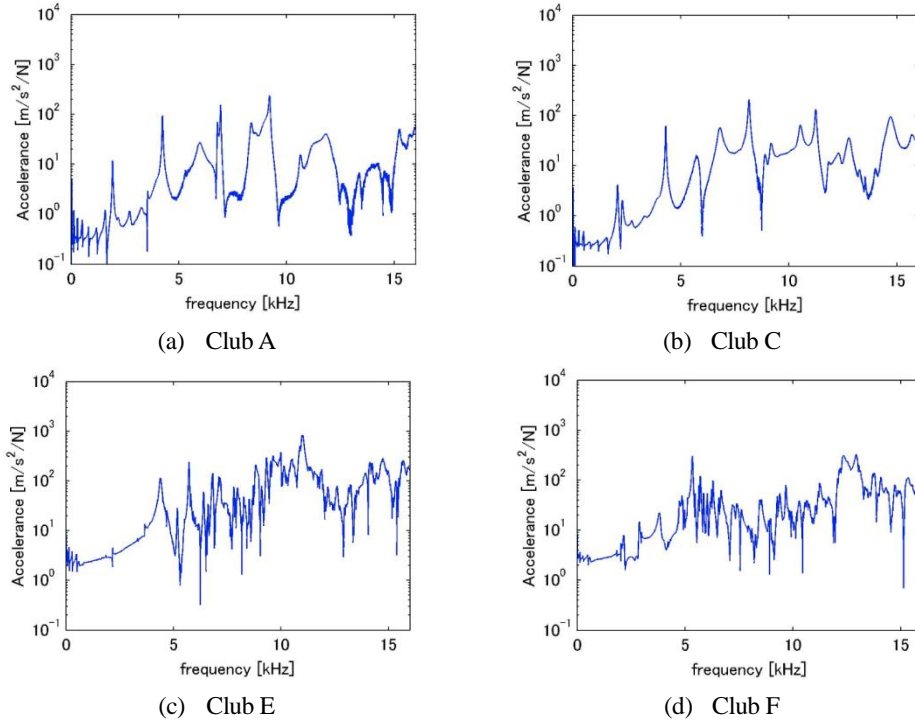


Fig. 4 Frequency response functions.

## 2・4 打撃力の推定法

ゴルフクラブに力  $\{F_I(\omega)\}$  が作用したときの応答を  $\{X_I(\omega)\}$  とすると、伝達関数  $[G(\omega)]$  を用いて

$$\{X_I(\omega)\} = [G(\omega)] \cdot \{F_I(\omega)\} \quad (1)$$

と表すことができる。したがって2・3節に示した伝達関数に加え、打撃力を知ることができれば、そのときのゴルフクラブの応答を推定することができる。また、ボール打撃による力は広がりを持った面で作用するが、いくつかの等価な集中力  $\{F_B(\omega)\}$  で近似できるとすると、ボール打撃による応答  $\{X_B(\omega)\}$  は、式(1)と同じ伝達関数  $[G(\omega)]$  を用いて次式で表わすことができる。

$$\{X_B(\omega)\} = [G(\omega)] \cdot \{F_B(\omega)\} \quad (2)$$

次に、実打撃に近い速度でのボール打撃においても同じ伝達関数を利用できると仮定すると、式(2)に基づき加速度や打音などの応答の計測値からそのときの打撃力を次式で推定することができる。

$$\{\tilde{F}_B\} = ([G]^* [G])^{-1} [G]^* \{X_B\} \quad (3)$$

## 3. 打撃力の推定結果

### 3・1 打撃力の波形と接触時間

提案する打撃力推定法の妥当性を簡易形状モデルと市販モデルに対して確認するため、打撃力が既知であるインパルスハンマを用いた打撃実験の結果を検討する。図5に加速度応答から求めた打撃力の推定値と計測値との比較の一例を示す。図5(a)と図5(b)は簡易形状モデルのクラブAとクラブC、図5(c)と図5(d)は市販モデルのクラブEとクラブFである。緑の実線が式(3)に従って加速度応答と伝達関数から求めた推定値で、青の実線が計測値である。左図は周波数応答関数で、右図は打撃力の時系列波形の一部を拡大した図である。図5より、簡易形状モデルと市販モデルとも計測値と推定値はよく一致しており、打撃力の推定法は有効であり、複雑な市販モデルに対しても本方法は適用可能であるといえる。

次に、図6にボールの打撃力の推定結果を示す。実打撃の場合は、打撃力を直接計測できないので、推定値のみである。図6はクラブGのボール違いによる打撃力の推定結果を示す。4種類のボールをフェース中央で打撃した時のそれぞれの打撃力の推定値である。ヘッドスピードは30m/sである。ここで基準としたボールB<sub>1</sub>に対して、ボールB<sub>2</sub>は同程度の硬さで、ボールB<sub>3</sub>はやや硬く、ボールB<sub>4</sub>はやや軟らかい。図6に示すように打撃

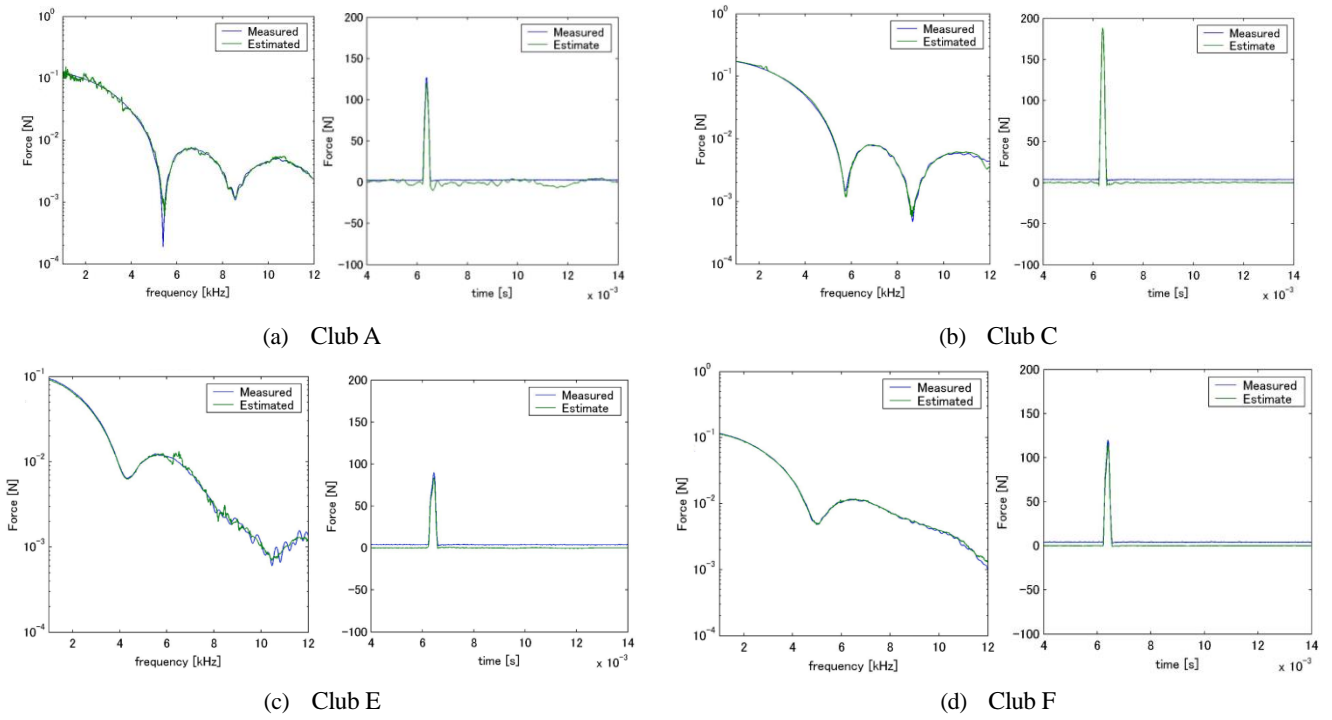


Fig. 5 Comparison of impact force by estimated accelerations.

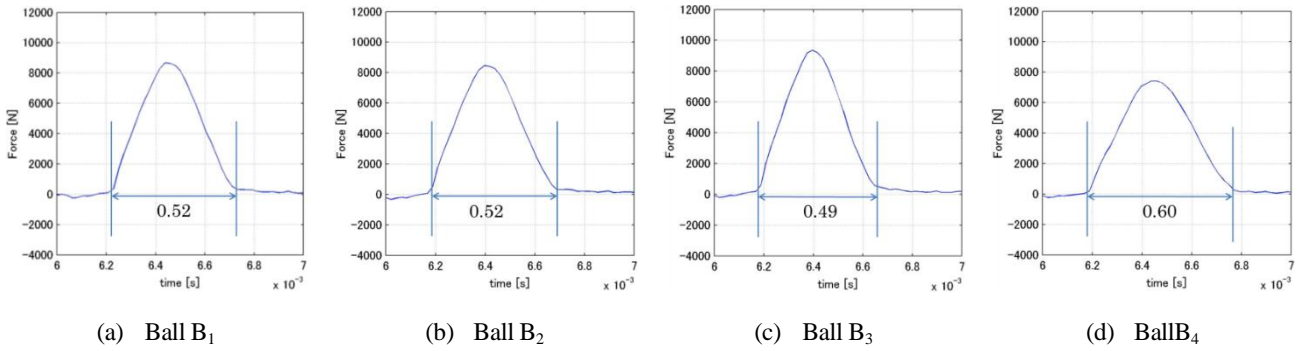


Fig. 6 Comparison of impact forces estimated by accelerations with four balls.

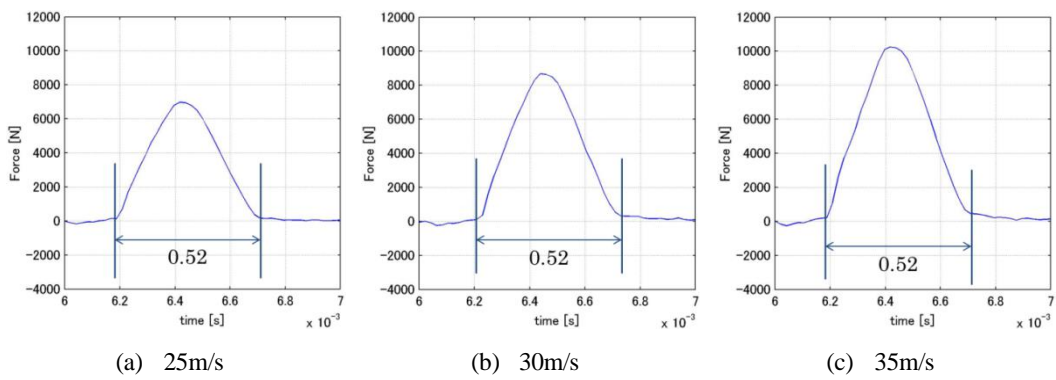


Fig. 7 Comparison of estimated impact forces for head speeds.

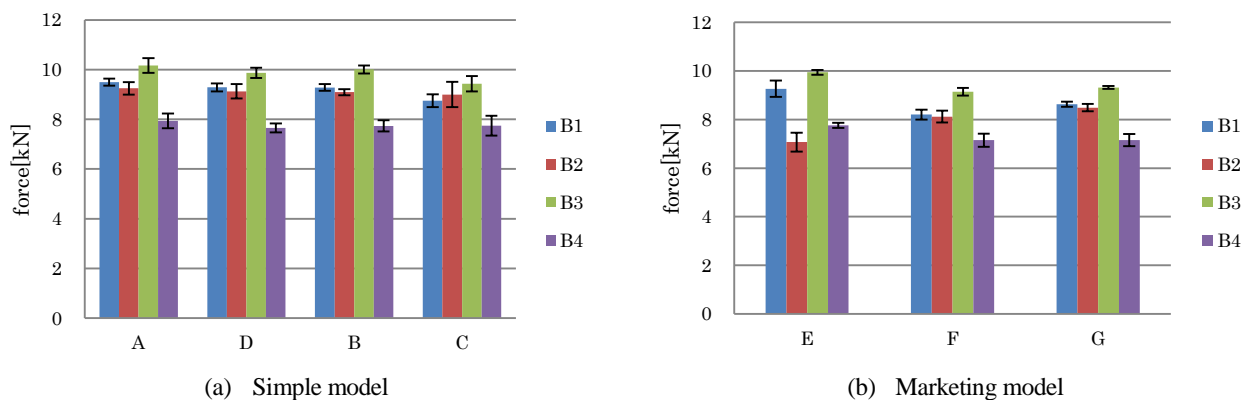


Fig. 8 Maximum values of estimated impact forces.

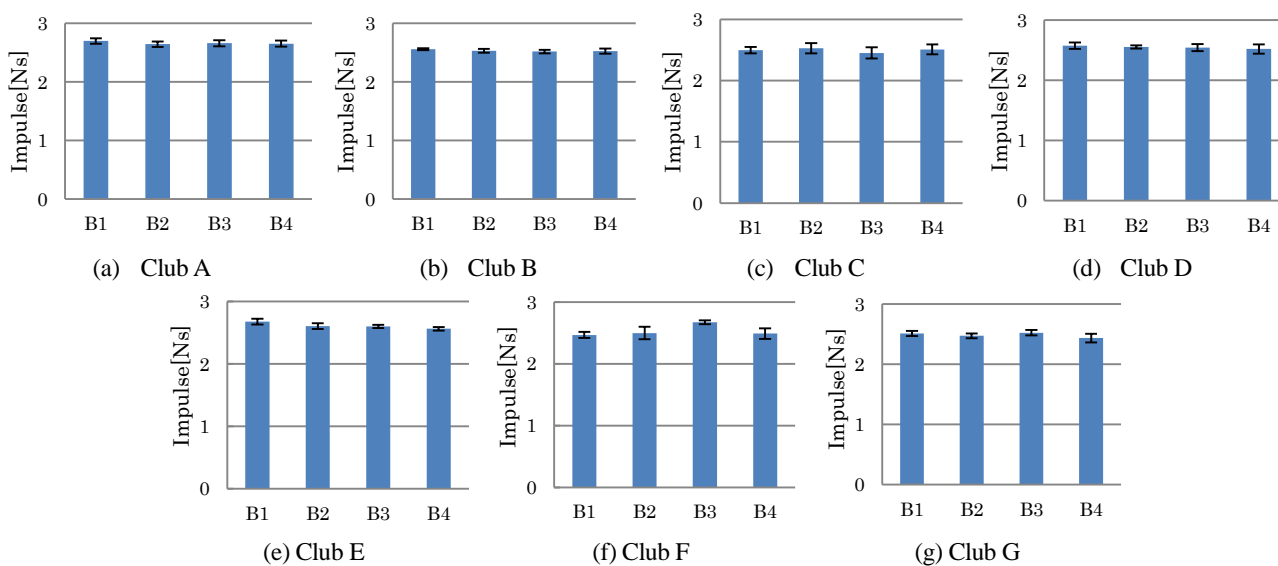


Fig. 9 Mean and standard deviation of impulses with four balls.

力の推定値からボールの接触時間を確認できるが、ボールの違いによる接触時間はボールの硬さに対応した傾向であることがわかる。

ここで図6のボールによる打撃力の違いを確認すると、硬いB<sub>3</sub>を打撃すると接触時間は短く、4種の中で最も大きい打撃力となり、軟らかいB<sub>4</sub>は、接触時間が長く打撃力は小さく、基準のボールB<sub>1</sub>と同程度の硬さのボールB<sub>2</sub>は、接触時間と打撃力の大きさはほぼ等しくなっている。

次に、図8に全てのボールに対する推定打撃力の最大値の平均値と標準偏差を一緒に示す。棒グラフは5回の打撃実験の平均値を示し、標準偏差の幅も一緒に示している。図8より、最大打撃力はゴルフクラブによらずに同様の傾向を示している。すなわち、硬いボールは接触時間が短く最大打撃力は大きくなる傾向があり、反対に軟らかいボールは接触時間が長く最大打撃力は小さくなる傾向がある。

### 3・2 力積による検証

3.1節の結果をさらに定量的に検討するため、推定打撃力に対して、ボールと接触している間の力積を求め、その変化を検討する。図9(a)~(d)に簡易形状モデルのクラブA, B, C, D, 図9(e)~(g)に市販モデルのクラブE, F, Gの力積とその標準偏差の図を示す。同様に棒グラフは5回の打撃実験の平均値を示し、標準偏差の幅も一緒に示している。図8において最大打撃力はボールの特性によって変化したがる、図9に示した力積は、ボール特性によらずに標準偏差の範囲内でほぼ一定であると考えられる。次に、図10にクラブの違いによる力積の変化をボールごとに示す。図10(a)~(d)は簡易形状モデルの比較を示し、図10(e)~(h)は市販モデルのクラブE, F, Gの

比較を示す。ここで簡易形状モデルの順番は、ソール面の剛性に対応すると思われるクラブ A, D, B, C の順で示している。図 10(a)~(d)のどの図も右下がりの傾向がある。リップのない Club A が最も力積が大きく、高いリップのモデル C が小さい値となっている。また、図 10(e)~(h)に示した市販モデルにおいては、クラブ E が力積が大きく、クラブ F とクラブ G は、ばらつきはあるが、おおよそ同じ値を示している。

次に、図 11 は、基準のボール B<sub>1</sub> の場合のヘッドスピード 25m/s, 30m/s, 35m/s の場合の変化を示す。力積の大きさの違いはあるが、クラブに対する力積の変化は同様の傾向を示している。また、ヘッドスピードに対する力積の変化を検討するため、図 12 にヘッドスピードに対する市販モデルの結果を示す。図 12(a)(b)(c)は、ヘッド

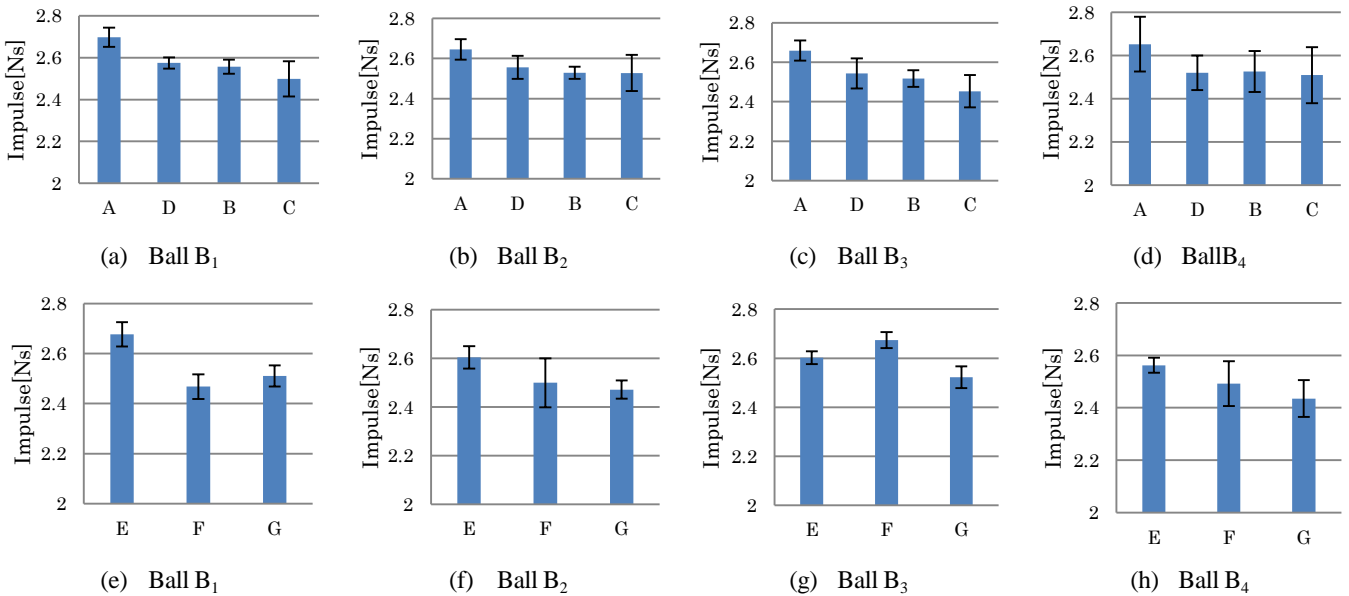


Fig.10 Mean and standard deviation of impulses for simple models.

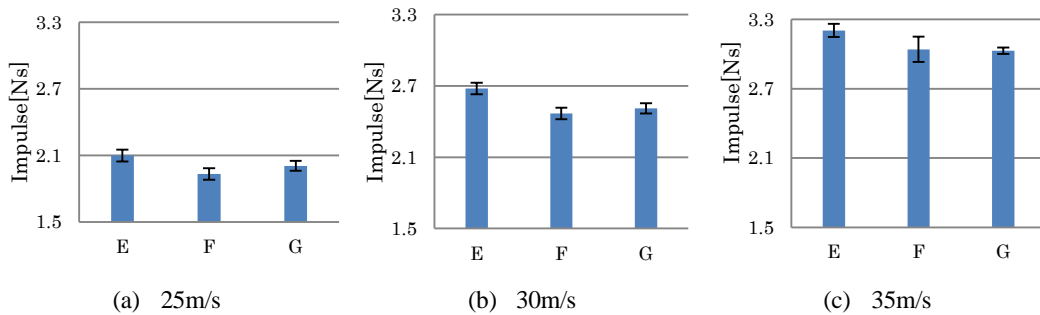


Fig. 11 Mean and standard deviation of impulse for marketing models.

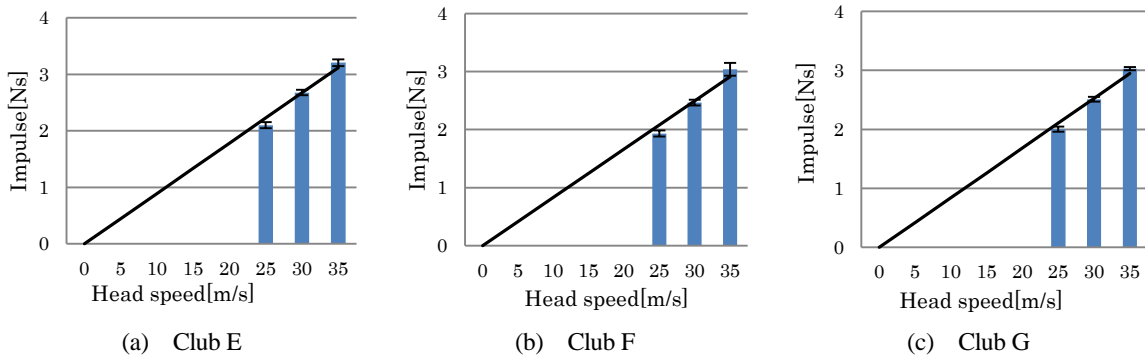


Fig. 12 Mean and standard deviation of impulse for head speed.

スピード 25m/s, 30m/s, 35m/s に対して力積の平均値と標準偏差を棒グラフと偏差で示す。また、力積の増加傾向を知るため、原点を通る力積の平均値の近似直線を図中に示す。若干のばらつきはあるがヘッドスピードに対して比例する結果となっている。これは、前述の図7に示したように、ヘッドスピードが速くなってもボールとの接触時間の変化は小さく、打撃力の大きさだけが增加するので、力積はヘッドスピードに応じて増加することが推測できるが、これは図12の結果と一致する。この近似直線の傾きは、ヘッドスピードに対する力積の変化率を示しており、一定の値を持つことが推測される。簡易形状モデルにおいても、ヘッドスピードが2種類のみであるが、同様の傾向を得た。

次に、図13に図12で得た近似直線の変化率を市販ゴルフクラブに対して示す。図13より、ヘッドスピードを考慮しても、図10(e)~(h)と同様の傾向を示すことが分かる。これらの変化率は、近似直線を求めることでヘッドスピードに対して平均化した結果と考えることができる。

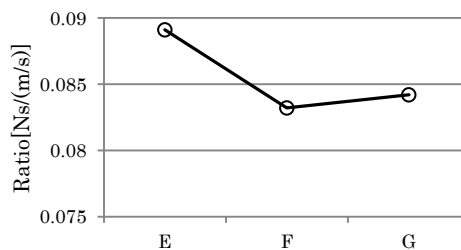


Fig. 13 Ratio of impulse to head speed for marketing models.

#### 4. おわりに

本研究で提案する打撃力の実験的推定法について検討するため、簡易形状モデル4種と市販モデル3種に対してインパルスハンマ打撃実験とボール実打撃実験を行い、本手法を適用した結果、以下の結論を得た。

- (1) インパルスハンマ打撃実験より求めた伝達関数を使用してボールの打撃力を推定し、簡易形状モデルと市販モデルにおいてよい推定結果を得た。これより打撃力の推定法は妥当であり、複雑な市販モデルでも推定可能である。
- (2) ボール特性の違いとヘッドスピードの違いに対して、接触時間と最大打撃力の変化を検討し、本手法による推定打撃力からボール特性に応じて最大打撃力が変化することを確認した。また、ヘッドスピードに対して接触時間の変化は小さいことを確認した。
- (3) 打撃力の定量的な評価のために力積を求め、ボールの特性によらずほぼ一定であることを確認した。また、ヘッドスピードに応じて増加することを確認した。
- (4) ソール面の剛性を変化させた簡易形状モデルの力積の変化を検討し、ソール面の剛性が力積に影響を与えることを確認した。

#### 文 献

- (1) 大石他 5名, 日本機械学会 D&D2010 アブストラクト集 No.10-8, p407(2010-9)
- (2) 大石他 5名, 日本機械学会 D&D2011 アブストラクト集 No.11-2, p114(2011-9)
- (3) 大石他 6名, 日本機械学会 D&D2013 アブストラクト集 No.13-18, p71(2013-8)