

バットの素振り音の理論的分析

東 恒人 ・ 難波 謙一*

岡山理科大学 工学部 情報工学科

*倉敷ケーブルテレビ株式会社

(2001年11月1日 受理)

1. 緒言

筆者らは、すでに、素振り音の計測法および素振り音の分析法について報告¹⁾⁻²⁾した。その要点は、以下の3点である。

- ①素振り音における周波数特性の時間変動特性の特徴を抽出するには、強い周波数成分 (-10 dB 以上) の分布に着目することが有効であり、この分布を経過時間幅と帯域幅を用いて定量化することにより、素振り音の特徴が抽出できる。
- ②素振り音に及ぼす野球経験の差による影響は、強い周波数成分 (-10dB 以上) の領域における経過時間幅と帯域幅に現れる。経験者の素振り音では、短い時間内に周波数成分が集中し、かつ、高周波成分を含むため、その音は軽く乾いた音になる。この結果は、経験者のバット速度が速いことに起因する。
- ③バットの長さによる影響は、バットが短くなるにつれて、帯域幅の上限周波数が低下する傾向にあることがわかる。

そこで、シミュレーションだけで、バットの素振り条件に応じた素振り音の推定を可能とするため、本稿では、まず、バットの素振り音の簡単な求め方を提案し、次に、この方法で求めた素振り音の波形とその周波数成分の時間変動特性、およびこれらに及ぼす素振り条件 (バット速度とバットの長さ) の影響について検討する。

2. 素振り音とエオルス音

本章では、エオルス音を用いて素振り音の波形を理論的に求める。まず、理論検討において重要なパラメータとなるバット速度を求めるために、バット速度の計測法について述べる。次に、素振り音の実測波形と計算波形を比較し、素振り音の特徴について考察する。

2.1 バット速度

円筒周囲の流体によるエオルス音³⁾⁻⁵⁾の周波数 f [Hz] は、流速 U [m/s] および円筒の直径 D を用いると、式(1)で表すことができる。ただし、 St はストローハル数である。

$$f = St_i \cdot U / D \quad (1)$$

また、エオルス音の強さ³⁾⁻⁵⁾は流速 U [m/s] の6乗に比例する。バットの素振り音はこのエオルス音であると仮定し、バットの動きと風の動きを相対的な関係として捉えると、素振り音の強さ I は、バット速度 v [m/s] の6乗に比例すると、仮定することができる。このことから、素振り音の波形を求めるためには、バット速度 v を求める必要がある。

時刻 t におけるバット先端の速度 v_t は、時刻 τ [s] まではバットの最高速 v_{max} まで加速され、時刻 τ [s] で最高速に達し、その後急激に減速すると仮定すると、式(2)で表すことができる。

$$\begin{aligned} v_t &= a \cdot t \quad , \quad (0 < t < \tau) \\ v_t &= v_{max} \quad , \quad (t = \tau) \\ v_t &= v_{max} \cdot \exp\{-(t-\tau)/\alpha\} \quad , \quad (t > \tau) \end{aligned} \quad (2)$$

加速度 a は、バットを振り始めてから、最高速 v_{\max} に達するまでの時間を計測することによって求めることができる。バットの振り始めの位置からバット速度が最高速に達する位置までの移動距離を d とすると、加速度 a と τ は式(3)と式(4)で表される。

$$\tau = 2d/v_{\max} \quad (3)$$

$$a = v_{\max} / \tau \quad (4)$$

2.2 バット速度の計測方法

バット速度の計測方法は、デジタルビデオカメラを用いて、バットの移動距離からバット速度の最高速 v_{\max} を求める。図1に計測風景を示す。バットの移動距離 d [m]の求め方は、図2に示すようなビデオで録画した2つの画像から、移動距離 d を求める。移動距離を算出するための目安として、図1に示すように、素振りをしている場所から最も近い場所に地面から垂直に、縦横に10cm間隔の升目を描いた用紙(縦:60cm、横:200cm)を立てる。また、ビデオカメラの方向によっては、バットの移動距離 d の計測値に誤差が生じるので、録画条件を十分に考慮する必要がある。バット速度の最高速 v_{\max} は、移動距離 d とビデオのフレーム数 N_f を用いて、式(5)で表すことができる。なお、補正係数として α ($=\sqrt{2}$:バットが45°回転する場合)を用いる。

$$v_{\max} = \alpha \cdot d \cdot N_f \quad (5)$$

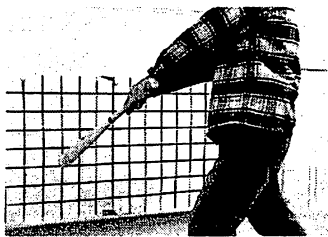


図1 計測風景

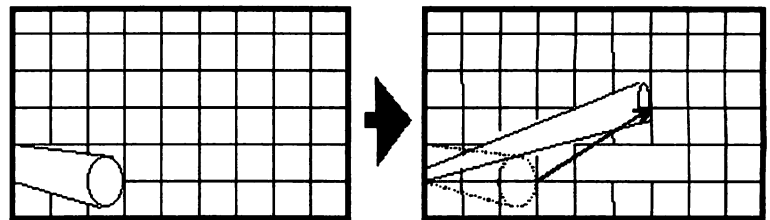


図2 バット速度の求め方

2.3 バット速度の計測条件

表1に、バット速度計測の条件を示す。表2に、デジタルビデオカメラの形式を示す。

2.4 バット速度の計測結果

表3に、経験者と未経験者の各2名について、バット速度の最高速 v_{\max} を示す。

表1 計測条件

計測用ビデオカメラ	デジタルビデオカメラ
フレーム数 N_f [画像/s]	30 フレーム
被験者	経験者2名/未経験者2名
計測環境	無風状態で静かな室内
計測回数	各5回
計測バット	計測バット

表2 デジタルカメラの形式

形番 (メーカー)	DCR-TRV7 (SONY)
録画方式	回転2ヘッドヘリカルスキャン
映像信号	NTSC カラー,EIA 標準方式
外形寸法	W96×H109D×183(mm)
質量	約 840g

表3 バット速度の最高速 v_{\max}

	経験者	未経験者
被験者A	25.1m/s	18.2m/s
被験者B	29.5m/s	15.4m/s

3 素振り音の波形の計算

3.1 バットのモデル化

素振り音は、バット上の各点におけるエオルス音を加算して合成することによって、得られると仮定する。本稿では、図3に示すようにバットをモデル化する。

バットモデルでは、バットの直径 D_n が、手元になるほど、段階的に細くなる。バットの長さ l_n は、回転の中心からの距離であり、 L は中心からの最長距離である。

バットの運動モデルとして、図4に示すように、理想的な等加速度円運動を仮定する。

3.2 波形の算出式

バットの中心から長さ l_n [m] の点におけるバット速度 $v_{t,n}$ [m/s] は、バットの全長 L [m] に比例するので、バット先端の速度を v_t とすると、式(6)で表せる。

$$v_{t,n} = v_t \cdot \ell_n = v_t \cdot l/L \tag{6}$$

バット上の任意の点 n について、エオルス音の周波数 f_n [Hz] とバット速度 $v_{t,n}$ の関係は、式(1)を考慮すると、式(7)となる。

$$f_n = S_t \cdot v_{t,n} / D_n \tag{7}$$

D_n は、任意の点 n のバットの直径 [m] である。バットの直径 D_n は、手元になるほど細くなっているため、 D_n の範囲は、(0.03~0.06) となる。このとき、ストローハル数 $S_t = 0.2$ である。

エオルス音の強さ I は流速 U の6乗に比例し、また、「単振動のエネルギーが振幅の2乗に比例する」ことを利用すると、素振り音は「振動が速度 v の3乗に比例する単振動である」と仮定することができる。これらを考慮すると、バットの各部で発生する素振り音の波形 y_n は式(8)で表せる。

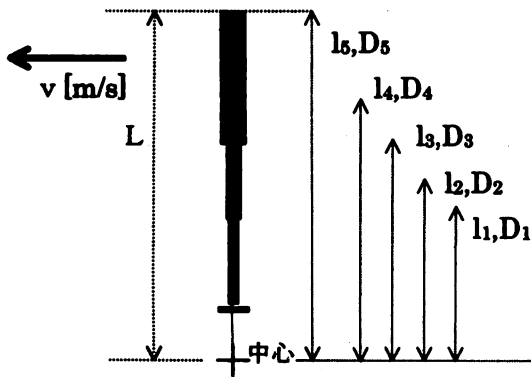


図3 バットモデル

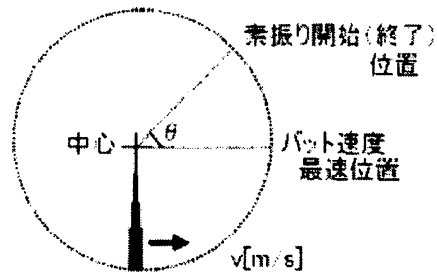


図4 バットの運動モデル

$$y_n \propto \sqrt{I_n} \cdot \sin(2\pi f_n t) \tag{8}$$

$$I_n \propto v_{t,n}^6 \tag{9}$$

式(8)と式(9)から、人体接触型計測法⁽¹⁾で得られる素振り音 y_d は、位相を無視すると、式(10)で表せる。また、間接型計測法⁽¹⁾で得られる素振り音 y_i は、位相を無視すると、時刻 t におけるバットとマイク間の距離 d_c のみを考慮して、式(11)で表せる。

$$y_d = \sum_n \sqrt{I_n} \cdot \sin(2\pi f_n t) \tag{10}$$

$$y_i = \sum_n \sqrt{I_n} \cdot \sin(2\pi f_n t) / d_c^2 \tag{11}$$

バットとマイク間の距離 d_c は式(12)で表せると仮定する。 d_c は、バット速度 v が最高速 v_{max} ($t = \tau$) のとき、最短距離 d_{min} になる。 θ はバットが振りの開始位置と支点の角度である。

$$d_c = \sqrt{\{(L + d_{\min}) + L \cdot \sin(vt + \theta)\}^2 + L^2 + \cos^2(vt + \theta)}$$

$$= \sqrt{(L + d_{\min})^2 + L^2 + 2L \sin(vt + \theta)}$$
(12)

3.3 具体的な計算条件

表 4 に、素振り音の計算条件を示す。

3.4 計算波形

図 5 に、素振り音の計算波形を示す。

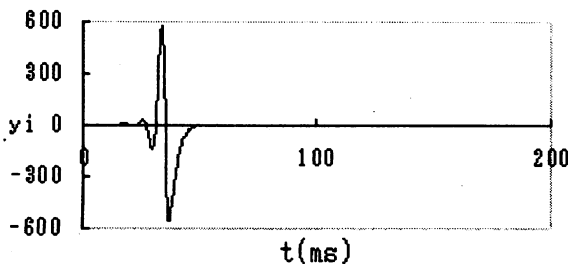
4 計算結果

波形と波形に含まれる周波数成分分布、および、これらに及ぼす素振り条件（バットの長さやバット速度）の影響について、実測結果と比較して示す。

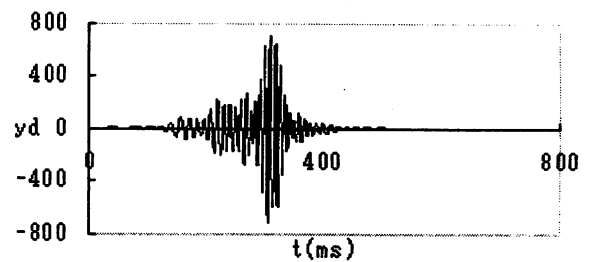
4.1 実測波形と計測波形との比較

表 4 計算条件

条件	パラメータ
バットの運動	等加速度円運動
バットの最高速度 v_{\max}	20[m/s]
点数 n	5
バットの長さ L	1[m]
中心からバットの距離 l_n	{0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0} [m]
バットの直径 D_n	{0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.06} [m]
バットとマイクの最短距離 d_{\min}	0.3[m]

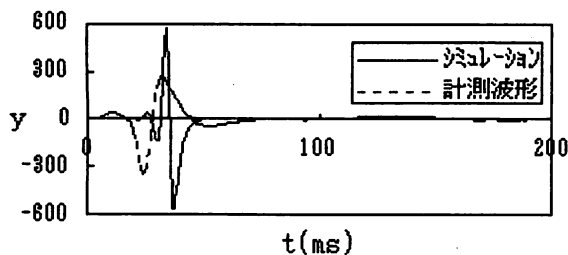


(a) 間接型計測法

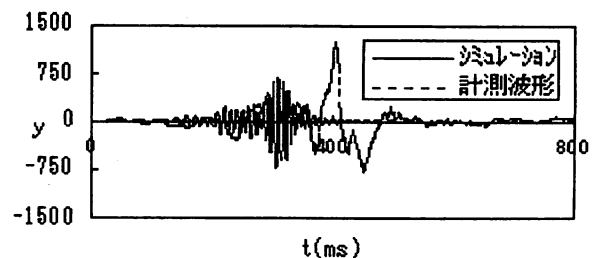


(b) 人体接触型計測法

図 5 計算波形



(a) 間接型計測法



(b) 人体接触型計測法

図 6 シミュレーション波形と計測波形

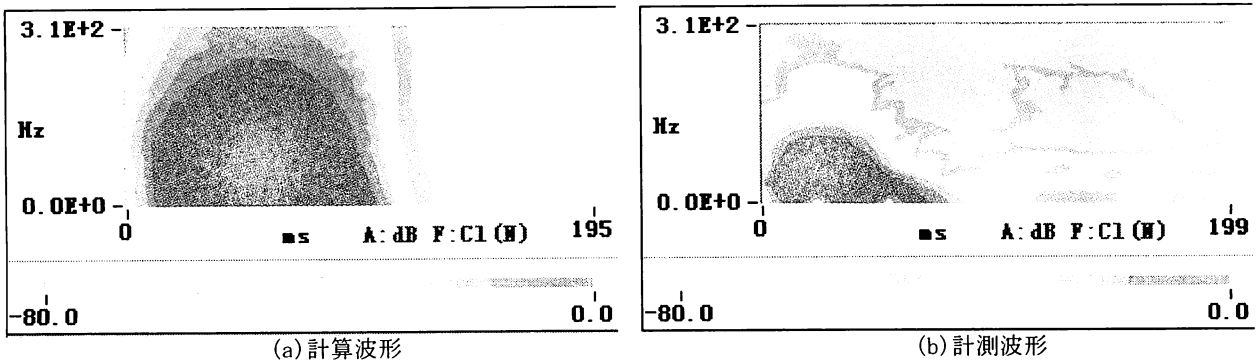


図7 ショートタイムフーリエ変換 (間接型計測法)

図6(a), (b)に、計算波形と計測波形を示す。バット上の各点におけるエオルス音 (正弦波) を単純に加算した計算波形は、計測波形に一致しないが、変化傾向が類似している。

図7に、間接型計測法の場合、計算波形に対するショートタイムフーリエ変換の分析結果を示す。同図より、計算波形は、計測波形を調べて得た周波数成分の分布²⁾と同様な傾向を示していることがわかる。

4.2 バット速度の変化

図8(a), (b)に、バットの最高速 v_{max} を変化させた場合の計算波形を示す。同図より、バットの最高速 v_{max} を速くすると、波形は鋭くなる傾向にあることがわかる。

図9に、バット速度を変化させた場合について、計算波形 (間接型計測法) に対するショートタイムフーリエ変換の分析結果を示す。同図より、バット速度が速くなると、強い周波数成分 (-10dB 以上) の分布が、短い時間内に集中し、また、高周波へ広がる傾向にあることがわかる。この傾向は、野球経験の差による影響を調べた計測結果²⁾と同様な傾向である。

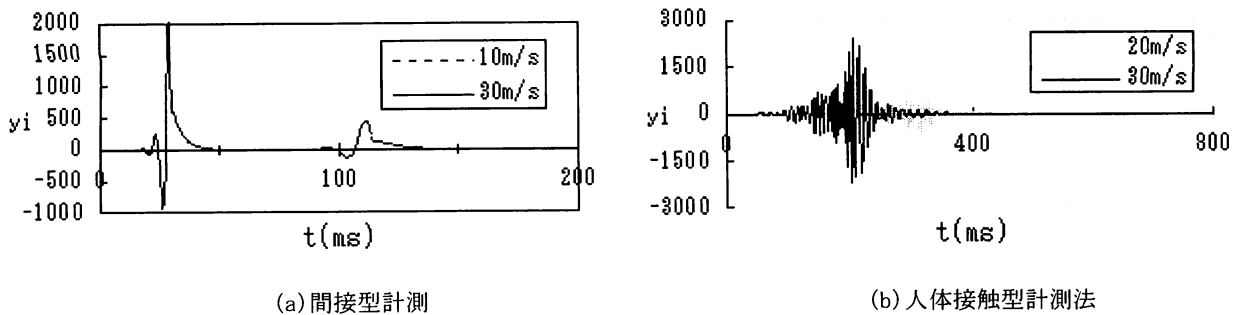


図8 バット速度が変化した場合の波形

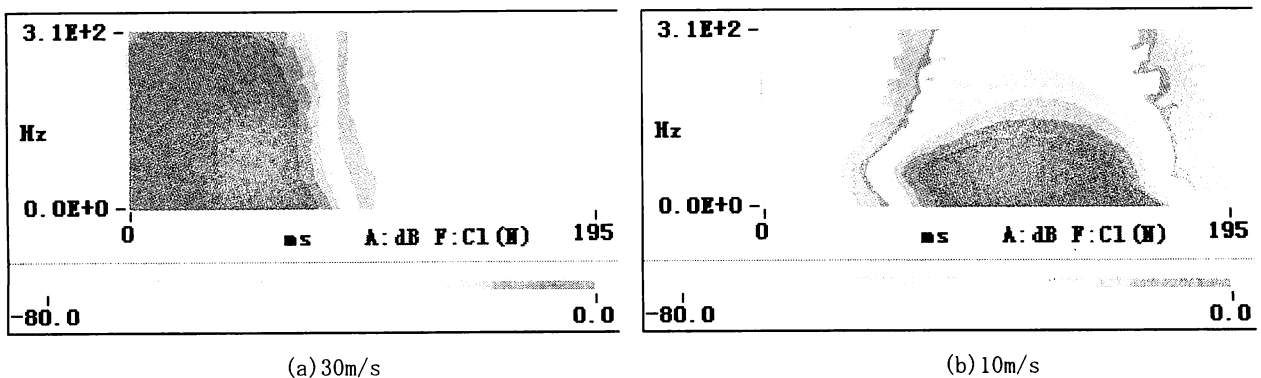


図9 バット速度が変化した場合のショートタイムフーリエ変換 (間接型計測法)

4.3 バットの長さの変化

図 10(a), (b)に、バットの長さ L を変化させた場合の計算波形を示す。同図より、回転の中心からバットの各点までの距離 l_0 を計算条件の 2 倍にすると、波形の振幅が最大値に到達する時刻も約 2 倍遅くなる傾向にあることがわかる。

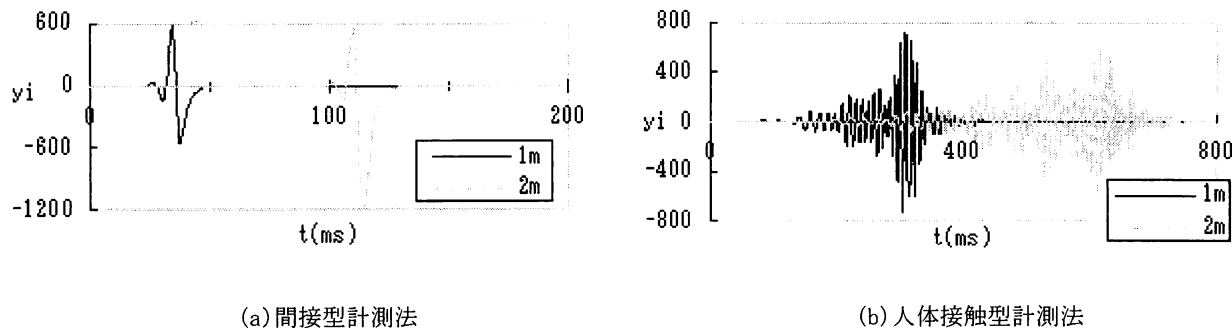


図 10 バット速度の変化

間接型計測法の場合、波形の振幅が約 2 倍になる傾向があることがわかる。

図 11 に、バットの長さを変化させた場合について、計算波形（間接型計測法）に対するショートタイムフーリエ変換の分析結果を示す。同図より、バットが長くなるにつれて、強い周波数成分（-10dB 以上）の分布が広帯域になる傾向にあり、一方、バットが短くなると、上限周波数が低下している。この傾向はバットの長さによる影響を調べた計測結果²⁾と同様な傾向にあることがわかる。

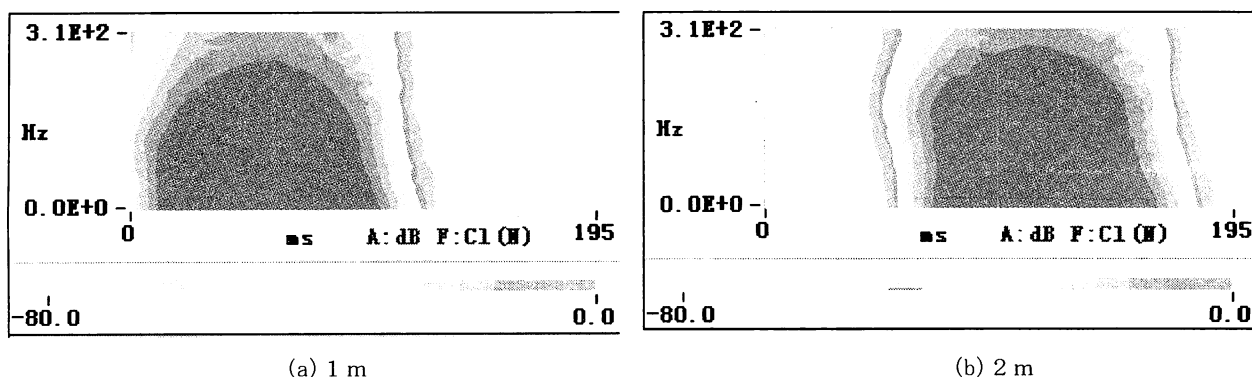


図 11 ショートタイムフーリエ変換（間接型計測法）

6. まとめ

今回提案した素振りの簡単なシミュレーションで求めた素振り音について、時間に対する波形の変動傾向は、実測波形のそれに類似し、また、求めた波形をショートタイムフーリエ変換で分析した周波数成分の時間変動特性は、素振り条件にしたがって変化し、その変化の傾向は実測で得られた結果と類似していることがわかった。したがって、今回提案した素振り音の簡単な求め方は、素振り音に及ぼす素振り条件（バット速度やバットの長さなど）による影響を推定するのに有効と考える。今後の課題は、素振り音の計算法の改善や、素振り音がバットの運動中のどこで発生しているのかの解明であり、これらを解決することにより、より正確な素振り音の推定が可能となる。

参考文献

- 1) 難波, 東, 吉田, 井上: 「バットの素振り音の特徴抽出法」, 1997年電子情報通信基礎・境界ソサイエティ大会, A-10-4(1997)
- 2) 東, 難波: 「バットの素振り音の分析法」, 岡山理科大学紀要, 第36号, A, pp.85-94, 2000
- 3) 望月修, 丸田芳幸: 「流体音工学入門—ゆかたな音環境をもとめて—」 朝倉書店, pp63-69, 78-79
- 4) 谷田好通: 「流体の力学」 朝倉書店, pp54-55, 81-83, 103-106
- 5) M.G.Goldstein: 「流体音響学」 共立出版, pp157-164

Theoretical Analysis of Free Bat Swinging Sound

Tsunehito HIGASHI and Kenichi NANBA*

*Department of Information & Computer Engineering,
Faculty of Engineering, Okayama University of Science
Ridai-cho 1-1 Okayama 700-0005, Japan*

**KCT Corporation
Nishitomii 654-6, Kurashiki 710-0845, Japan*

(Received November 1, 2001)

The present authors have previously defined the method for measurement and analysis of free bat swinging sound. As a result, it was demonstrated that duration width and bandwidth in time fluctuation characteristics of frequency components are effective parameters to evaluate the sound of the free bat swinging. In order to estimate the swinging sound to match the condition of free bat swinging only by simulation, we propose in the present article how to obtain the free bat swinging sound in simple manner. Further, we evaluate waveform of swinging sound obtained by this method and time fluctuation characteristics of frequency components and also discuss the influence of free bat swinging condition (i.e. swinging speed of bat and length of bat) on these factors. Based on these results, we will describe the effectiveness of the present method.