

有限要素法によるバットとボールの衝突解析

(09/10/16 提出)

金沢大学大学院 修士2年 武田憲明

1. 研究目的

野球用金属バット研究において、我々はこれまでにバットの打撃性能の評価を目的として、性能評価法の考案や、バットとボールの打撃実験装置の開発、それを用いたバットの打撃性能計測実験などを主に行ってきた。その中で、バット形状(断面直径や肉厚)がバットの性能に与える影響についてもある程度の考察を行ってきたが、それらは未だ十分にわかったとは言い難い。それには以下のような原因があると考えられる。

- (1) 実際のバットを用いた実験では、実験結果にバラつきがあり、微細な実験結果の違いについては検証しきれない。
- (2) 肉厚や断面直径を少しずつ変更したバットをたくさん用意することや、それらの数値が大きく既存のものと異なるバットを用意することは困難である。よって、それらの違いがバットに与える影響についての厳密な考察が難しい。

以上のような原因から、実際のバットを用いた実験のみでは、バットの形状が性能に与える影響について検証することは困難な段階にきていると考えられる。よって本研究の目的は、バットとボールの衝突現象について有限要素法を用いて数値解析を行い、バットの形状がバットの性能に与える影響について探求することである。解析には altair 社の「HyperWorks9.0」を用いた。

2. 研究方法

本研究の目的は、バット形状(断面直径や肉厚など)がバットの性能に与える影響の解明である。また、実験では再現困難な状況についても解析を通じて検証を行いたい。そのために、以下のような解析作業を行う。

- (1) 既に実験済みであり、打撃性能について実験結果の存在するバットについて、詳細なモデルを作成し、解析作業を行う。そして、その解析結果を過去の実験結果と比較し、整合するものであるかどうかを検討する。

二つが整合するものであるなら、解析モデルは妥当なものであると判断できる。有限要素解析により本研究を行うことの有意性を確認する。

- (2) これまでの研究により断面直径と肉厚が性能に影響を及ぼすことが示唆されている。そこで断面直径または肉厚を少しずつ変更したバットモデルを作成し、これにボールを衝突させるという現象について有限要素法を用いた数値解析を行い、その際のバット性能を測定する。
- (3) 有限要素法を用いた解析モデルではバットやボールに発生する応力分布や、バット全体のしなり、断面のたわみをはっきりと見ることができる。これらの現象についても、バット性能との因果関係について検証を行う。
- (4) これまでの研究ではまだ行われていない、バットの側に回転速度を与えて(バットを振って)、飛んでくるボールを打撃した場合のバットの性能に関して、解析を利用して考察する。

本レポートでは、(1)の「実験結果の存在するバットの詳細なモデルを作成し、解析作業を行うこと」を目標として行った作業と、その結果までを報告する。

3. bat11 の解析と実験結果の比較

既に実験を行い打撃性能データのある bat11(硬式用)について詳細な FE モデルを作成し、解析結果と実験結果の比較を試みることにした。作成したモデルは図1に示すように、バットのもち手部分を回転自由に拘束したバットの撃心に、ボールが真横から初速 v_0 を持って衝突し、バットが回転速度 ω で回転、ボールが打球速度 v_1 で跳ね返るといったものである。



図1 モデル概略

(1) bat11 の特性

bat11 の基本的な特性を以下の表 1 に示す。

表 1 bat11 の形状

全長	840.7mm
質量	0.895kg
慣性モーメント	0.171kg・m ²
重心位置	361mm
撃心位置 (r)	531mm
撃心直径	66.5mm
撃心肉厚	3.05mm

(2) 形状データの作成

詳細な形状データを作成するため、bat11 をヘッド端からグリップ端まで 10mm 間隔 83 段階で、直径と平均肉厚を測定し、それを反映して形状データを作成した。また、バットは肉厚 2~4mm 程の筒形状なので、解析ではシェル要素を作成するが、厳密なモデルを作成するため形状データの段階では厚みを持つソリッドジオメトリとして作成した。

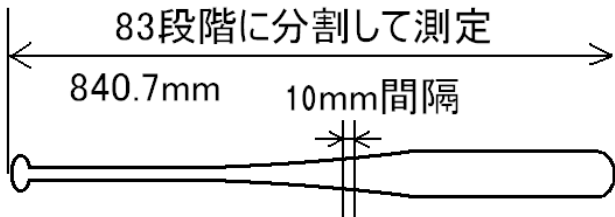


図 2 肉厚・断面直径測定



図 3 bat11 形状データ

(3) 計算条件

主な計算条件を次の表 2 に記す。

表 2 計算条件

設定対象	設定項目	内容	
材料特性	bat11	材料カード	E1_ELAST(弾性)
		ヤング率	70000(N/mm)
		ポアソン比	0.33
		密度	$2.7 \times 10^{-9}(\text{Mg}/\text{mm}^3)$
材料特性	ball	材料カード	E1_ELAST(弾性)
		ヤング率	45(N/mm)
		ポアソン比	0.4

		密度	$7.57 \times 10^{-10}(\text{Mg}/\text{mm}^3)$
要素タイプ	bat11	要素カード	P1_SHELL
		要素サイズ	5(mm)
		厚さ	2.0~3.82(mm)
要素タイプ	ball	要素カード	P14_SOLID
		要素サイズ	5(mm)
接触条件	bat11-ball	接触タイプ	TYPE7
		摩擦係数	0.2
		接触判定範囲	1.5(GAPmin)
初速	ball	Vx	-41666(mm/s)
HyperMesh ファイル名		090812¥elast¥bat11-3file21.hm	
単位系		力 N 長さ mm 質量 Mg 時間 s	

・硬式野球ボール物性値

今回モデルを作成したボールは、等方弾性体と考えると全体にヤング率とポアソン比を与えているが、実物の硬式野球用ボールは内側からコルク、ゴム、糸糸、牛皮という種類の違う物質の 4 層構造である。本来であればそれぞれの物性値を求めて 4 層構造としなければモデルは作成できないが、尾田、酒井らの研究によりボールを単一材料の等方弾性体と見た場合のボールのヤング率・ポアソン比が逆解析（ボールの圧縮実験を行い、実験結果に一致するように解析を用いてヤング率・ポアソン比を求めた）により求められているので、今回のボールモデルの物性値はこれを参考に入力した。完成したモデルを次の図 4 に示す。

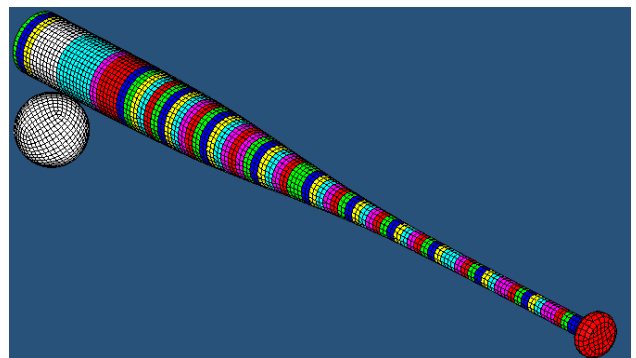


図 4 bat11 解析モデル

(4) 解析結果

解析により求められた打球速度 v_1 ・回転速度 ω ・反発係数 e_{bat} を投球速度 v_0 、そして実験の結果と共に以下の表 4 に示す。

表 3 bat11FE モデル解析結果

	解析	実験
投球速度 v_0	150.0264(km/h)	165.911(km/h)
打球速度 v_1	76.743(km/h)	39.6933(km/h)
バット回転速度 ω	31.65678(rad/s)	23.91355(rad/s)
bat11 反発係数 e_{bat}	0.914893	0.5190369

解析の投球速度 v_0 は初速度として 41666mm/s (約 150km/h)を与えているが、結果の確認に用いた HyperView 上で改めて計算した数値を示した。解析と実験を比較すると、打球速度、バット回転速度共に、解析結果は実験結果に対してかなり早く、よって $e_{bat}=(v_1+r\omega)/v_0$ により求まる反発係数も実験に比べてかなり大きくなった。この原因はボールを弾性体として定義したためだと考えられる。実際にはボールの持つ粘性によって材料減衰がおきることで、解析よりも低反発な衝突現象となると思われる。

4. 今後の課題

解析結果からも明らかなように、研究を進める上での最大の課題はボールに粘性を与えることである。

RADIOSS には、材料の物性を粘弾性として設定する材料カードがいくつかあるので、それを用いてボールに粘性を与えることができる。ゴルフボールとクラブの衝突解析を試みている論文を参考にすると、ボールを三要素標準固体としてモデル化しているケースが多いので、本研究でもそれらを参考に野球ボールをモデル化するとするならば、材料カード 40 番の「一般化マクスウェル・ケルビン」を用いることで、三要素標準固体としてモデル化できる。この際入力する必要のある数値は「初期密度 ρ 」、「体積弾性率 K 」、「長時間せん断係数 G_∞ 」、「せん断係数 1 G_1 」、「時間遅れ定数 1 β_1 」である。「初期密度 ρ 」は既に測定しており、「体積弾性率 K 」と「長時間せん断係数 G_∞ 」は既に求めてある「ヤング率 E 」と「ポアソン比 ν 」を用いて、「ラーメの定理」より以下の式 (1) (2) から計算できる。

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (1)$$

$$G_\infty = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2)$$

「せん断係数 1 G_1 」と「時間遅れ定数 1 β_1 」を求める必要があるが、幸いボールの反発係数を測定する目的で行った実験の結果があるため、ボールモデルを剛体壁にぶつける解析を行い、実験結果に同定することで、この数値は求めることができると思う。

5. まとめ

今回の bat11 とボールの衝突解析は、ボールに粘性を与えていない以上まだ完成したとはいえませんが、解析結果から得られたこともある。本レポートに詳細は記載していないが、バットがしなりで振動しながら回転することや、バットに発生する応力分布は、実験からははっきりわからなかったが、今回の解析からわかったことである。また、今回のモデル作成作業や反発係数の計算を行った経験は、今後さらに解析により研究を進める上で役立つはずである。

参考文献

- (1) 那須英彰他 5 名 金属製野球バット用反発係数評価システムの開発 ジョイントシンポジウム 2005 講演論文集 9-13
- (2) 尾田十八他 2 名 野球ボールの衝撃力と変形挙動の解析 日本機械学会 講演論文集 (2004) 35-36
- (3) 宇治橋貞幸他 5 名 薄板に衝突するゴルフボールの反発特性の解析 日本機械学界論文集 C68 (2002) 555-561