2027 硬式野球ボールの数値解析モデルと衝突特性

NUMERICAL SIMULATION MODELING AND IMPACT CHARACTERISTICS OF BASEBALLS

○ 寒河江 智史(法政大院)

藤川 政宏(法政大院)

内藤 寛之(法政大)

時枝 健一(ゼットクリエイト)

藤原 聖司(ゼットクリエイト) 正 新井 和吉(法政大)

Satoshi SAGAE, Masahiro FUJIKAWA, Hiroyuki NAITO, Kazuyoshi ARAI, Hosei University, Kajino3-7-2, Koganei-shi, Tokyo
Kenichi TOKIEDA, Seishi FUJIHARA, ZETT CREATE Corporation, Karasugatsuji 1-4-25, Tennoji-ku, Osaka

In baseball, the ball repeatedly hits a bat, glove, ground, etc. Such impacts, especially the ones with the bat, affect the ball's velocity and horizontal distance. Moreover, the impact with a helmet can be dangerous for human head and hence must be importantly considered. Therefore, the characteristic of the ball's impact is very important from the viewpoint of its performance and to ensure safety. In this study, a model of the ball was investigated for conducting a numerical analysis of the characteristics of the ball's impact with the bat or helmet. Various material properties of the model were determined by an inverse analysis using the data of rebounding velocity obtained by an impact test with a rigid body. Furthermore, the effect of each material property of the ball on the coefficient of restitution of the ball or on the maximum acceleration of a human head model was considered for the analysis.

Key Words : Ball, Numerical analysis, Coefficient of restitution, Maximum acceleration

1. 緒言

硬式野球において、ボールはバットやグローブ、グラウンドなどとの衝突を繰り返している。衝突現象の中でも、特にバットとの衝突は打球速度、飛距離などに大きく影響を及ぼし、2011 年から日本プロ野球一軍試合統一使用球が、国際大会使用球に近づき、低反発球に変更されている⁽¹⁾。また、ヘルメットとの衝突では頭部への危険性から最も考慮されるべき事項である。そのため、ボールの衝突特性は野球用具の性能や安全性の観点から極めて重要となっている。

そこで本研究では、硬式野球ボールとバットやヘルメットとの衝突現象の数値解析を今後行うことを目的に、ボールの数値解析モデルの構築を行った。ボールモデルの種々の材料物性値は、静的強度試験および模擬剛体との衝突試験により得た反発速度のデータに基づき逆解析を行うことで決定した。さらに、ボールを構成している各材料の物性値がボールの反発係数や人頭模型の最大加速度に及ぼす影響について検討を行った。

2. ボールの数値解析モデルの検討

硬式野球ボールの構造は複雑であり、内側からコルク、ゴム、毛糸、牛革の4つの材料から構成されている。コルクとゴムは全体の体積に占める割合が比較的小さく、かつ内部にあるため、硬式野球ボールの各材料の中で影響は非常に小さいと考えられる。したがって、コルクとゴムは一体の材料とし、ボールを三層構造のモデルとして検討を行った。解析には衝突解析ソフト (LS-DYNA, (株) JSOL) を用いた。ボールの切断面と数値解析モデル形状を図1に示す。

牛革は等方性弾性体と考え、縦弾性係数は $E=30.7\text{MPa}$ とし⁽²⁾、ポアソン比は $\nu=0.4$ とした⁽³⁾。ついで、ゴム・コルク一体材料および毛糸材料は、動的特性を考慮して等方粘弾性体とし、粘弾性体モデルとして、式(1)に示すマクスウェルモデルとばね要素が並列に結合した3要素モデルを用いた⁽⁴⁾。

$$G(t) = G_{\infty} + (G_0 - G_{\infty})e^{-t/\beta} \quad (1)$$

ここで、 G_{∞} はある時間経過してばね要素のみに特性が依存する静的な横弾性係数[Pa]であり、 G_0 は負荷初期の横弾性係数[Pa]、 β は指数減衰定数[1/s]、 t は持続時間[s]である⁽⁴⁾。これら材料物性値のうち、ゴム・コルク一体材料の長期せん断係数 G_{∞} および体積弾性係数 K は、静的圧縮試験を行い、試験と同条件の解析モデルを作成し、逆解析により決定した。ゴム・コルク一体材料の静的圧縮試験における荷重-変位曲線を図2に示す。さらに、ゴム・コルク一体材料の材料物性値である G_0 、 β と毛糸材料の材料物性値である K 、 G_0 、 G_{∞} 、 β は、日本車両検査協会にて実施した硬式ボールと剛体

壁との衝突試験により取得した反発係数 V_2 / V_1 を用いて、圧縮試験と同様に逆解析により決定した。ここで、 V_1 は衝突速度、 V_2 は反発速度である。また、衝突試験に使用したボールは2011年に統一された公式球と同等品のボールを使用した。実験および逆解析によって決定した三層構造ボールの牛革、ゴム・コルク一体材料および毛糸の各材料物性値を表1に示す。

ボールと剛体壁の衝突実験から求めた反発係数と、決定した材料物性値を使用して解析から求めた反発係数との比較を図3に示す。解析値と実験値は良い一致を示していることがわかる。

Fig.1 Structure of a baseball

Fig.2 Load-displacement curve of rubber and cork

Table 1 Each parameter of ball model

	Rubber and Cork	Knitting Wool	Cowhide
Young modulus, E [MPa]	-	-	30.7
Poisson's ratio, ν	-	-	0.4
Bulk modulus, K [MPa]	28	60	-
Short time shear modulus, G_0 [MPa]	40	23	-
Long time shear modulus, G_{∞} [MPa]	24	3.4	-
Time constant, β [1/s]	8000	31000	-

Fig.3 Comparison of analysis and experimental results of coefficient of restitution

3. 人頭模型衝突における発生加速度の比較

ボールと6面体簡易人頭模型⁽⁵⁾との衝突時における発生加速度の実験値と解析値の比較検討を行った。6面体簡易人頭模型の質量は5.05kg、材質はMg合金製であり、衝突面は90°とした。衝突試験装置には、ガスガン方式のボール発射装置(高圧システム^(株)製)を用い⁽²⁾⁽⁵⁾、人頭模型に加わる加速度の測定は、人頭模型の内部に3軸の圧電式加速度計(PCB PIEZOTRONICS 製)を設置し、衝突によって発生する加速度を測定した。加速度の応答は分析処理器(CAT SYSTEM SA-01, リオン^(株)製)を用いて出力し、3軸を合成させた合成加速度を求め、その最大値で評価した。衝突最大加速度の解析値と実験値の比較結果を図4に示す。反発係数の比較結果と同様に、衝突最大加速度においても解析値と実験値が良い一致を示していることがわかる。

4. ボールモデル諸物性値が反発係数および加速度に及ぼす影響

構築したボールモデルにおいて、ゴム・コルク一体材料および毛糸材料の各材料物性値 K 、 G_0 、 G_∞ 、 β が剛体衝突時の反発係数および人頭模型衝突時の最大加速度に及ぼす影響について検討した。解析の衝突速度は30m/s一定として、毛糸材料の各物性値が反発係数および最大加速度に及ぼす影響の一例を図5に示す。毛糸の体積弾性係数 K を増加すると(a)、反発係数は若干低下するが、一方、加速度は最小値となる K 値が存在することがわかる。初期せん断係数 G_0 を増加すると(b)、反発係数は低下し、加速度は体積弾性係数と同様に最小値となる G_0 値が存在することがわかる。長期せん断係数 G_∞ を増加すると(c)、反発係数と加速度は共に増加し、減衰定数 β を増加すると(d)、反発係数は増加し、加速度は低下する傾向がある。また、ゴム・コルク一体材料の各材料物性値を変化させた場合も、ほぼ同様の傾向を示す。しかし、ゴム・コルク一体材料よりも毛糸材料の方が反発係数と衝突最大加速度に及ぼす影響が大きいことがわかった。これは、ボールを構成する材料において、ボール全体に占める体積割合が毛糸材料は77.5%と非常に大きいためと考えられる。

Fig.4 Comparison of analysis and experimental results of maximum acceleration

Fig.5 Effects of each parameter of kitting wool on coefficient of restitution and maximum acceleration

5. 結言

- 1) 硬式野球ボールをゴム・コルク、毛糸、牛革の三層構造にてモデル化し、各材料物性値を実験値または逆解析により求めた結果、ボールモデルの剛体反発係数と簡易人頭模型衝突時の最大加速度の解析値は、実験値と良い一致を示すことがわかった。
- 2) ボールを構成する材料の内、体積割合の大きい毛糸が、反発係数と衝突最大加速度に大きな影響を及ぼすことがわかった。

参考文献

- (1) 日本野球機構 : http://www.npb.or.jp/CGI/System/news_view.cgi?id=01615
- (2) 高橋大司朗, 硬式野球用 CFRP ヘルメットの性能評価, 2010 年度法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士論文
- (3) 尾田十八, 酒井忍, 米村茂, 河田憲吾, 野球ボールの衝撃力測定とシミュレーション解析, ジョイント・シンポジウム講演論文集 No.04-26 (2004), pp.100-103
- (4) LS-DYNA Version 971 User's Manual Volume II
- (5) 富岡良平, 新井和吉, 関将見, 森田敏則, 岩原光男, 長松昭男, 硬式野球用ヘルメットの繰返し衝突に対する緩衝性能, スポーツ産業学研究, Vol.19, No.2 (2009), pp.105-111.