

野球ボールの衝撃力と変形挙動の解析

著者	Oda Juhachi, Sakai Shinobu, Yonemura Shigeru
雑誌名	日本機械学会北陸信越支部, 第41期総会・講演会論文 文集
巻 号	047 1
ページ	35-36
発行年	2004-03-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/2176

野球ボールの衝撃力と変形挙動の解析

Analysis on Impact Force and Deformation Behavior of the Baseball.

正 尾田 十八 (金沢大) 正 酒井 忍 (金沢大)

○学 米村 茂 (金沢大院)

Juhachi ODA, Shinobu SAKAI, Kanazawa University, 2-40-20, Kodatsuno, Kanazawa

Shigeru YONEMURA, Graduate School of Natural Science, Kanazawa University

Key Words : Biomechanics, Baseball, Impact Force, Experimental Analysis, FEM Analysis

1. 緒言

スポーツと衝撃負荷は非常に密接な関わりがある。とりわけ野球というスポーツはボール自体が硬くて速く、常に衝撃と関わりあう。ボールと衝突し得る対象としてミット、バット、ヘルメット、生体などがある。一度デッドボールを受けると、怪我をしたり、当たった個所によっては選手生命が絶たれたり、生死にも関わる。ところが、きわめてポピュラーなスポーツである野球においてボールによる損傷事故が多い割に、今までボール衝突時の負荷やその影響を解明した例は非常に少ない。

そこでここでは簡単な実験と FEM 解析を用いて野球ボールの衝撃力や変形挙動を解明した。

2. ボールの静的変形挙動と特性

実際のボール（軟式・硬式両方）の静的変形挙動とその等価な材料特性を求めるために、静的圧縮実験を行った。実験方法は圧縮試験機によってボールを圧縮させ、荷重値と変位を求めた。Fig.1, Fig.2 はその荷重-変位挙動を示す。

次にボールの種々の条件下での力学的挙動を理論的に明らかにするため、これを均質で単一材料からなるものと考えたときの等価な材料特性を推定する。その方法は静的実験と同じ条件でFig.3のように静的FEM解析を行う。ここで軟式、硬式ボール共に単一材料で等方弾性体の直径 72mmの中実球と考えており、これらを2つの剛体壁によって圧縮する。このとき軟式ボール、硬式ボールの密度はそれぞれ 690kg/m^3 , 757kg/m^3 であるが、ヤング率、ポアソン比は未知である。このようなモデルに対し軟式ボールは $\delta = 20\text{mm}$ 、硬式ボールは $\delta = 10\text{mm}$ まで荷重と変位の関係を線形と考え、仮定したヤング率、ポアソン比を用いてFEM解析値が実験値に一致するようにヤング率、ポアソン比を求める。

以上のようにして推定された軟式ボール $E = 1.3\text{MPa}$, $\nu = 0.4$ 、硬式ボール $E = 45\text{MPa}$, $\nu = 0.4$ を用いたときの解析値をFig.1, Fig.2に示す。また、Fig.4にこのデータを用いて解析した最大強制変位時のボール断面のミーゼスの相当応力図を示す。

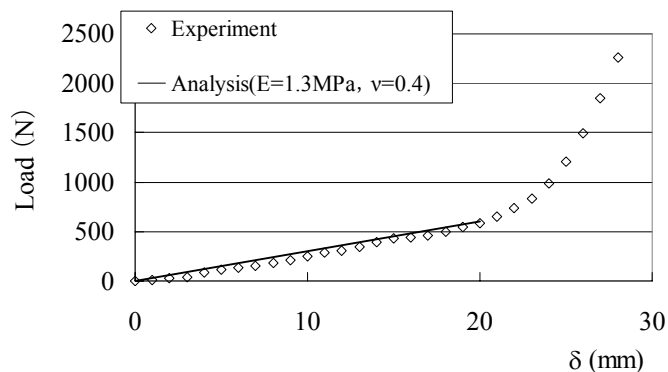


Fig.1 Static load and displacement relation (Soft ball)

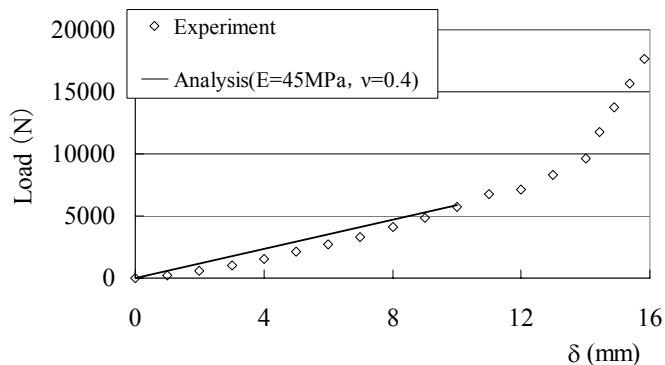


Fig.2 Static load and displacement relation (Hard ball)

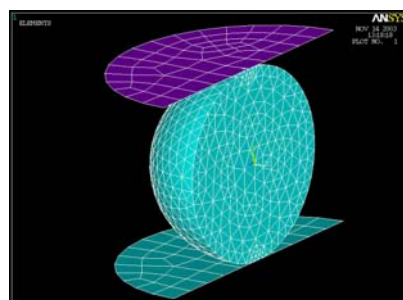
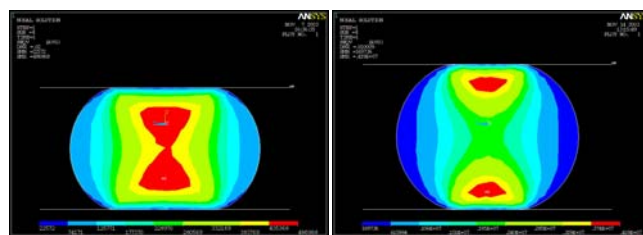


Fig.3 Static FEM analysis model



Soft ball : $\delta = 20\text{mm}$ Hard ball : $\delta = 10\text{mm}$

Fig.4 Static analytical results(Mises equivalent stress)

3. ボールの衝突実験と変形挙動

筆者らが別に試作したピッチングマシンを用いて無回転のボールを剛体壁に向かって垂直に当たるように投球する。(1)マシンからの初速度 V_0 を変化させ軟式は2速度、硬式は3速度投球し、衝突の様子を高速度ビデオカメラを用いて真横から撮影した。

撮影した映像から画像処理によって、剛体壁に衝突する直前の進行方向速度 V_1 と衝突後の進行方向速度 V_2 、ボールと剛体壁との接触時間 Δt 、ボールの最大変形量 δ_{max} が求まる。剛体壁との衝突の様子をFig.5に、画像処理によって求めた結果をTable.1に示す。



Soft ball : $V_I=70\text{km/h}$



Hard ball : $V_I=69\text{km/h}$

Fig.5 Experimental results

Table.1 Experimental results

Ball	V_0 (km/h)	V_1 (km/h)	V_2 (km/h)	$\frac{V_2}{V_1}$	Δt (ms)	δ_{max} (mm)
Soft	77	70	41	0.58	5	24.6
	112	96	44	0.46	4	27.1
Hard	77	69	39	0.56	1.5	6.9
	102	89	48	0.54	1	10.8
	133	119	65	0.54	1	14.3

4. 動的 FEM を用いたボールの衝突解析と考察

3 章の実験に対応したモデルを理論的に解析してみる。つまり Fig.6 のようなボールの衝突解析を動的 FEM を用いて行う。ボールは 2 章で推定した等価材料定数を用い、的は $L=100\text{mm} \times L=100\text{mm} \times H=20\text{mm}$ のスチールの板 ($\rho=7850\text{kg/m}^3$, $E=210\text{GPa}$, $\nu=0.29$) をボールとの接触面以外の面を完全固定し剛体壁とみなした。Fig.7 は解析に用いた FEM メッシュ分割を、また Fig.8 は $V_I=70\text{km/h}$ の場合のボールの的に当たったときに発生する衝撃力の時間変化を示している。さらに解析より剛体壁に衝突する直前の速度 V_1 と衝突後の平均速度 V_2 、ボールと剛体壁との接触時間 Δt 、ボールの最大変形量 δ_{max} 、接触面に働いた進行方向の衝撃力 $F_{z,max}$ が求められ、これらを Table.2 に示す。また最も変形した状態のミーゼスの相当応力図を Fig.9 に示す。

衝突実験と解析結果を比較すると接触時間や最大変形量がほぼ一致していることから FEM 解析が妥当であると考えられる。また動的 FEM 解析の衝撃力のピーク値に着目すると衝撃力と変形量との関係が静的実験の荷重と変位の関係と一致していることもわかり、解析によって求められた衝撃力が妥当なものであることも明らかとなった。(2)

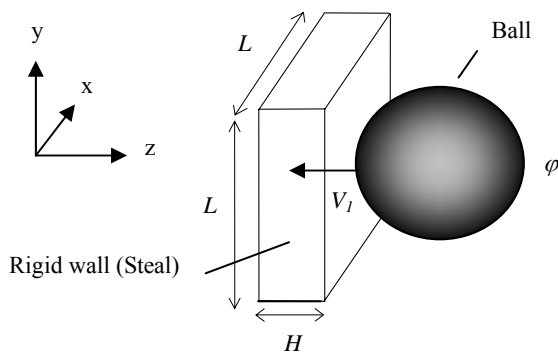


Fig.6 Dynamic FEM analysis conditions

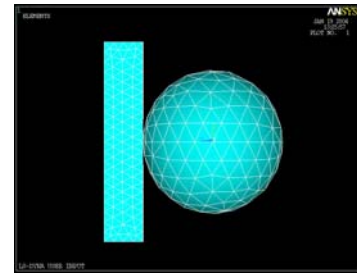


Fig.7 Dynamic FEM analysis model

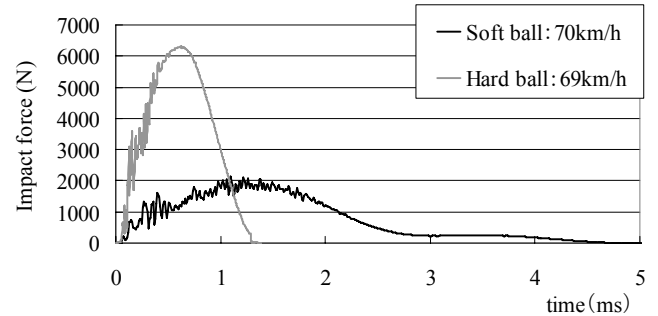
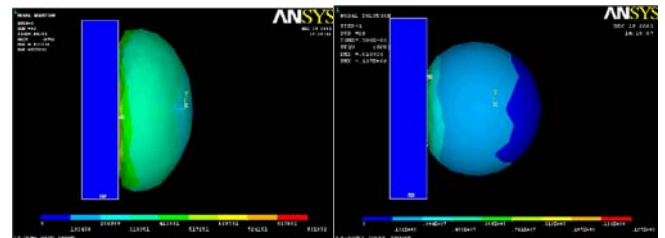


Fig.8 Impact force



Soft ball : $V_I=70\text{km/h}$

Hard ball : $V_I=69\text{km/h}$

Fig.9 Dynamic FEM analytical results (Mises equivalent stress)

Table.2 Analytical results

Ball	V_1 (km/h)	V_2 (km/h)	$\frac{V_2}{V_1}$	Δt (ms)	δ_{max} (mm)	$F_{z,max}$ (N)
Soft	70	27.9	0.40	5.02	34.5	2141
	96	30.4	0.32	4.81	37.3	3150
Hard	69	49.5	0.72	1.38	10.5	6314
	89	61.3	0.69	1.28	12.6	8522
	119	76.6	0.64	1.18	15.4	11931

5. 結言

実験および解析結果から軟式、硬式野球ボールの等価材料定数が推定できた。またこれらを用いて基本的なボールの衝突解析も可能となった。

今後は無回転のボール以外にも変化球を投げたときや、的の材質や形状、拘束方法を変えた場合の衝撃力の変化についても考察したい。

6. 参考文献

- (1) 尾田・酒井・羽場, ニューラルネットワークを用いた知的ピッチングマシンの開発研究, 日本機械学会論文集(C編)69巻678号(2003-2), 135.
- (2) 尾田・酒井・羽場, 野球ボールの衝撃力の測定と考察, 日本機械学会北陸信越支部 第38期総会・講演会論文集, No.017-1 (2001-3), 61.