A28 FRP 製ソフトボールバットの反発特性

Restitution Characteristic of FRP Softball Bat

○ 寒河江 智史(法政大院) 高橋 大司朗(法政大院)
正 新井 和吉(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)

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

Regarding softball bats made by fiber reinforced plastics (FRP), various products such as single-layer or multiple-layer structures have been developed. In this study, to elucidate the restitution characteristic of the FRP softball bat, the basic characteristics of five types of FRP bats and a metal bat were measured and softball impact tests of each bat were conducted. We investigated the relationship between the bat-ball coefficient of restitution (BBCOR) and the deflection or deformation of the bat and found that the BBCOR of the multiple-layer bat was greater than that of the single-layer bat, and the BBCOR of each bat was influenced by the deformation of bat at the ball impact point.

Key Words : Softball, Bat, FRP, BBCOR, Deformation

1. 緒論

現在, FRP(Fiber Reinforced Plastics)製のソフトボールバットはFRP単体, FRPの多重層構造など多種の製品が開発されている。金属バットなどの野球バットでは, 中空シェル構造がボールとの衝突時に変形し, 復元時の力によりボールを反発させるというばねの役割を担っている。このような打具とボールの間に柔らかいばねを入れたことに相当する反発向上効果を, ばねがトランポリンの役割を果たしていると理解されることから「トランポリン効果」と呼ばれている。FRP製のソフトボールバットの設計においても, このトランポリン効果を期待して打具のボールと直接接する打撃部の剛性を低減したり, 打球部分をFRPの多重層構造とする努力が行われてきている⁽¹⁾。

そこで本研究では, FRP製ソフトボールバットの反発特性を解明するために, 種々のFRP製ソフトボールバットを用いて基本特性の測定を行った後, ボールの衝突実験を行い, 反発係数とバットのたわみ, および衝突点のバットの変形との関係について検討した。

2. 使用したバットの種類

本実験で使用したソフトボール用バットは, アルミニウム合金製の金属バット1種類, 単層FRPバット1種類, 3層FRPバット3種類, 4層FRPバット1種類の計6種類のバットを各3本使用した。各バットの略称を表1に示す。

3. 実験

3.1 バットの基本特性の測定法

バットの基本特性として, 各バットの質量, 全長, 重心を測定するとともに1次モードの節, 1次, 4次の固有振動数, 重心周りの慣性モーメントの測定を行った。

質量は電子天秤(株)島津製作所製, PR8002)を用いて測定し, スケールで全長を測定した。重心はバットを横に紐で吊り下げ, バットが水平となる位置を重心とした。

節の測定方法は, ゴム紐でバットを横に吊り下げ, バットと床を平行にして加速度ピックアップ(PIEZOTRONICS(株)製, PCB)をバットエンドに設置し, インパクトハンマー(PIEZOTRONICS(株)製, PCB)を用いて測定した。節の測定方法を図1に示す。バットの

先端から50mm間隔に3回ずつ測定し, その平均を算出した。また, 節がある付近は10mm間隔にて測定を行った。

固有振動数の測定方法は, 節の測定と同様にピックアップを設置しインパクトハンマーを用いて, バットの先端から50mmの位置をハンマリングし, 1次と4次の固有振動数を求めた。

重心周りの慣性モーメントを求めるために, まずグリップエンド部を図2に示すような治具で吊り, グリップエンドを中心に振動させて, 周期を測定した。周期の測定にはレーザ変位計(三協インタナショナル(株)製, LD1607-100)を用いた。各バット10回ずつ測定を行い, 10回のうち最大値と最小値を除いた8回の平均値を算出した。求めた周期 T [s]から式(1)を用いて⁽²⁾グリップ周りの慣性モーメント I_c [kg・cm²]を求めた。

$$I_c = \frac{T^2 m_2 g l}{4\pi^2} \quad \dots (1)$$

ここで, m_2 はバットの質量[kg], g は重力加速度[m/s²], l はグリップエンドから重心までの距離[cm]である。上式により求めた I_c から, 平行軸の定理より, 式(2)を用いて⁽²⁾重心周りの慣性モーメント I_G [kg・cm²]を算出した。

$$I_G = I_c - m_2 l^2 \quad \dots (2)$$

各バットの基本特性の測定結果をまとめて表2に示す。FRP-3C, FRP-4は重心位置がバットの先端側にあり, 節の位置も先端側にある傾向が分かった。また, FRP-3Bの固有振動数は他のバットよりも顕著に低いことが分かる。

Table 1 Type and abbreviation of softball bat

Type of bat	Abbreviation
Metal bat	Metal
Single-layer FRP bat	FRP-1
Three-layer FRP bat	FRP-3A
	FRP-3B
	FRP-3C
Four-layer FRP bat	FRP-4

Fig.1 Measuring method of node

Fig.2 The jig for hanging a bat

Table 2 Result of basic characteristic of each bat

Type of bat	Mass m [g]	Length [mm]	Distance from the tip to a center of mass l' [mm]	Node		A natural frequency [Hz]		Moment of inertia with respect to the center of mass I_G [kg·cm ²]
				Distance from the tip [mm]		The first	The fourth	
Metal	733	841	336	193	689	194	2157	337
FRP-1	719	841	337	193	695	206	1927	331
FRP-3A	719	841	337	191	694	202	1917	349
FRP-3B	716	840	324	189	705	108	1540	327
FRP-3C	744	840	291	158	685	226	2437	358
FRP-4	743	839	314	173	698	206	2007	310

3.2 BBCOR の測定法

バットの反発性能の評価のために、ボールがバットに衝突した際の反発係数である BBCOR (bat-ball coefficient of restitution) を式(3)により求めた⁽³⁾。

$$BBCOR = - \left\{ \frac{V_2}{V_1} \left(1 + \frac{m_1}{m_e} \right) - \frac{m_1}{m_e} \right\} \quad \dots (3)$$

ここで、 V_1 はボールの衝突速度[m/s]、 V_2 は反発速度[m/s]、 m_1 はボールの質量[kg]、 m_e はバットの実効質量[kg]であり、 m_e は式(4)を用いて求めた⁽⁴⁾。

$$m_e = m_2 \left(\frac{I_G}{m_2 l'^2 + I_G} \right) \quad \dots (4)$$

ここで、 l' は打撃部から重心までの距離[cm]である。

式(3)における、ボールの衝突速度 V_1 [m/s]と反発速度 V_2 [m/s]およびその速度比 V_2/V_1 を求めるために衝突実験を行った。ソフトボール用ボールの発射装置には、ガスガン方式のボール発射装置(高圧システム(株)製)を使用した⁽⁵⁾。衝突現象の観測および速度測定には、高速度ビデオカメラ(株)フोटロン、FASTCAM-APX RSを用いた。

衝突実験はバットを図2の治具にグリップエンド部を支持して吊るし、各バットの先端からの距離150mm、200mm、250mm、300mm、および先端側の節の位置にボールを衝突させた。ボールの衝突速度は30m/sで一定とした。

4. 結果および考察

4.1 BBCOR

速度比とバットの先端からの距離との関係を図3に、BBCORとバットの先端からの距離との関係を図4にそれぞれ示す。各バットともに節付近において速度比およびBBCORが最大値を示し、節の位置における速度比およびBBCORは、FRP-4>FRP-3A>FRP-3C>FRP-3B>Metal>FRP-1の順に大きくなっている。多重層構造のものほどBBCORが高く、FRP-1が最も低い傾向が見ら

れた。積層構成が同一で単層構造としたFRP-1と3層構造にしたFRP-3Aを比較すると、FRP-3Aの方がBBCORが高くなっている。FRP-1はFRP-3Aと打球部分の総肉厚は同じであるが、単層で剛性が高いため、トランポリン効果をあまり得ることができていないと考えられる。これらのことより、打撃部の積層構造を多くすることにより、金属バットよりもトランポリン効果を多く得ていると考えられる。

4.2 バットの最大たわみと変形量

バットのトランポリン効果について検討するため、各バットのボール衝突時の最大たわみと衝突部の変形量について検討を行った。各バットの最大たわみの測定法は、バットの側面に先端からグリップエンドまで直線を引き、節の位置にも印をつけ、150mm、200mm、250mm、300mmの位置にボールを衝突させ、その時のバット全体のたわみを高速度ビデオカメラで撮影した。図5に撮影画像の一例を示した。衝突時の高速度ビデオカメラ画像から、図6に示すようにボールを衝突させた時の節と節を結ぶ直線と最もたわんだ点との距離を最大たわみ y_{max} とした。

最大たわみとボールの衝突位置の関係を図7に示す。FRP-3Bが他のどのバットよりも大きくたわみ、その他のバットはほぼ同一の値となった。また、全てのバットにおいて節付近で最大たわみが最小となっている。さらに、FRP-3Bのバットは、ボール衝突位置が節付近からグリップエンド側ほど大きくたわみ、これはFRP-3Bが他のFRPバットと異なり、ほぼ中央で2種のFRPが接合された構造となっているためと考えられる。なお、バットのたわみとBBCORの間には相関が見られなかった。

各バットの先端からの距離150mm、200mm、250mm、300mmおよび先端側の節の位置にボールを衝突させ、高速度ビデオカメラの画像から、図8に示すようにボール衝突部のバットの変形量 L を測定した。

ボールの衝突箇所を変化させた場合の衝突点の変形量を図9および表3に示す。全てのバットにおいて節付近の変形量が最も大きい。節位置における変形量は、FRP-4>FRP-3A>FRP-3B>FRP-3C>Metal>FRP-1の順であり、この順は前述のBBCORの順とほぼ同一となっている。図10には、BBCORと変形量の関係を示す。全てのバットがほぼ同一曲線状にあり、変形量が増加するとBBCORも増加し、BBCORと変形量の間には相関関係があることが分かった。

Fig.3 Relation between speed ratio and distance from tip

Fig.4 Relation between bat ball coefficient of restitution and distance from tip

Fig.5 Image of high-speed camera

Fig.6 Measuring method of maximum deflection

Fig.7 Relation between maximum deflection and distance from tip

Fig.8 Measuring method of deformation

Fig.9 Relation between deformation and distance from tip

Table 3 Deformation of each bat by impact position of softball

Type of bat	Distance from tip [mm]	Deformation L [mm]	Type of bat	Distance from tip [mm]	Deformation L [mm]
Metal	150	4.60	FRP-3B	150	6.90
	(Node) 193.3	7.23		(Node) 188.8	8.32
	200	6.32		200	4.02
	250	5.75		250	4.60
	300	5.75		300	5.17
FRP-1	150	5.17	FRP-3C	150	6.90
	(Node) 193	5.69		(Node) 158.8	8.17
	200	5.17		200	5.75
	250	4.60		250	6.32
	300	4.02		300	6.32
FRP-3A	150	6.32	FRP-4	150	5.17
	(Node) 191.6	8.62		(Node) 173.5	9.56
	200	6.32		200	6.32
	250	4.02		250	6.90
	300	4.60		300	5.17

Fig.10 Relation between BBCOR and deformation

5 結論

FRP製バット5種類および金属バットの基本特性を測定するとともに、ボールとの衝突実験を行い、BBCORとバットのたわみ、ボールの衝突部の変形量との関係を検討した。その結果、BBCORはFRP多重層構造のものが大きく、次いで金属バット、FRP単層の順であった。また、BBCORはバットのたわみではなく、ボールの衝突部の変形量に大きく影響されることが分かった。

参考文献

- (1) 神田芳文, 鳴尾丈司, 軟式野球バット打撃部のトランポリン効果, 日本機械学会シンポジウム講演論文集, No.08-23 (2008), pp.92-97.
- (2) A. Terry Bahill, The Ideal Moment of Inertia for a Baseball or Softball Bat, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, Vol. 34, No.2 (2004-3), pp. 197-204.
- (3) ASTM Designation: F2219-09, Standard Test Methods for Measuring High-Speed Bat Performance.
- (4) 日本機械学会編, 機械工学便覧, 基礎編α2 機械力学 (2004), p. α2-31.
- (5) 富岡, 新井, 関, 森田, 岩原, 長松, 硬式野球用ヘルメットの繰り返し衝突に対する緩衝性能, スポーツ産業学研究, Voi.19, No2 (2009), pp.105-111