

緒言

剛体モデルによるシミュレーション研究 (Sawicki and Hubbard 2003 ; Cross and Nathan 2006) では、スイング条件やインパクト条件の違いが打球特性に及ぼす影響について検証されている。スイング条件の中の一つとして、バットのローリング角速度は、値が大きいほど、打球により大きな回転が与えられ、その結果、打球の飛距離や勢いが大きくなると考えられる。これについて、Sawicki and Hubbard (2003) は、バットのローリング角速度が飛距離に及ぼす影響は、ほとんどないと報告している。しかし、剛体モデルでは、バットの振動、ボールの変形およびバットとボールの接触時間などが考慮されない。一方、弾性体モデルでは、同一スイング条件での研究が多く (Smith et al.2001 ; Shenoy et al.2001 ; Nicholls et al.2006)、ローリング角速度に着目した研究は行われていない。ローリング角速度による回転が生み出す効果は、剛体モデルで考慮できないボールの変形中の接触面において現れると考えられる。また、インパクトにおいては、バットとボールの重心を結んだラインとバットのスイング方向および投球されたボールの進行方向が一致する直中心衝撃 (正面衝突) では、ボールの変形が大きく、接触時間が長くなると予想される。一方、この方向がラインと一致しない斜中心衝撃では、ボールの変形は小さく、接触時間は短くなると予測される。これよりバットとボールの位置関係の違いによってボールの変形パターンが変わる弾性体モデルの方が、剛体モデルと比べ、回転に着目して分析を行う上で、優れていると考えられる。従って、ローリング角速度が打球特性に及ぼす影響を検証するには上記の影響を考慮した弾性体モデルを用いる必要がある。

本研究では野球のバッティングについて、弾性体モデルのインパクトシミュレーションを行い、インパクト後の打球の挙動を解析することを目的とした。この目的を達成するために以下の 2 つの実験を行った。第 1 の実験においては、シミュレーションモデルを構築し、そのモデルから算出した出力値と実測値とを比較し、シミュレーションモデルの妥当性を検証した。第 2 の実験においては、第 2 章で妥当性を検証したシミュレーションモデルを用いて、バットのローリング角速度が打球特性に及ぼす影響について検討した。

実験 1 :

インパクトシミュレーションモデルの構築

方法

インパクト時のボールとバットの挙動は有限要素法を用いて分析した。シミュレーションモデルの構築と計算には SIMULIA 社 Abaqus Student Edition6.8 (Explicit) を用いた。本研究では、宮澤ら (2009) のインパクトシミュレーションモデルを参考にして、木製バット (0.84m、0.907kg) と硬式野球ボール (半径 0.036m、質量 0.148kg) を実物の形状と物性値にあわせて構築した。

本研究では、シミュレーションにおいて初期条件として、実測により得られたインパクト直前の投球条件、打者のスイング条件、およびインパクト条件を入力した。各試技における個々の値を入力し、その結果出力されたインパクト直後の打球速度、打球の回転速度、打球角度および飛距離について、実測値と比較し、シミュレーションモデルの妥当性の検証を行った。

結果

実測値とシミュレーション値について、打球速度、打球の回転速度、打球角度および飛距離のすべてにおいて、1%水準で有意な相関関係が認められた。しかし、打球速度、打球の回転速度、打球角度および飛距離それぞれに関して、実測値とシミュレーション値を比較したところ、シミュレーション値が実測値に対して有意に低い値を示した ($p<0.05$)。

考察

本研究では、弾性体モデルを用いて、野球のバッティングについてインパクトシミュレーションを行った。その結果、投球速度 100~120km/h、投球回転速度 20~40rps の投球条件でバッティングを行った際の、インパクト後の打球の挙動については、シミュレーション結果は実測値との間で、高い相関関係が認められた。これより、本研究で用いたシミュレーションモデルは、実測値を高い精度で推定することができることが明らかになった。

本研究で用いたシミュレーションモデルは、スイートスポット付近 (バットヘッドから 100~267mm) の範囲内でインパクトし、かつ、センター返しされたゴロ、フライ、ライナーという打球に対してのみ、有効なモデルである。

実験 2:

バットのローリング角速度が打球特性に及ぼす影響

方法

本研究では、ローリング角速度が打球特性に及ぼす影響を検証するため、投球条件は一定とし、実験 1 で計測した実測値の平均値を用いた。そして、大学野球選手から得られた実測値をもとに、平均値及び ± 2 標準偏差の 3 種のローリング角速度 (200、1000、1800[deg/s]) について分析を行った。これら 3 種のローリング角速度において、衝撃線角度 (バットの断面中心からボールの中心に向かうベクトルと水平面とのなす角) を変化させたときの打球特性 (打球速度・打球の回転速度・打球角度・飛距離・運動エネルギー) を比較した。さらに、飛距離および運動エネルギーが最大になる衝撃線角度において、ローリング角速度の違いによる打球特性 (打球速度・打球の回転速度・打球角度・飛距離・運動エネルギー) を比較し、ローリング角速度が飛距離および運動エネルギーのそれぞれに及ぼす影響を検証した。

結果

実測値の範囲内の 3 種 (200、1000、1800 [deg/s]) において、衝撃線角度によるローリング角速度の変化パターンは類似した。飛距離が最大になる衝撃線角度は、ローリング角速度によって異なったが、20~22deg の範囲で約 99m であった。一方、運動エネルギーについても、最大になる衝撃線角度はローリング角速度によって異なったが、14~16deg の範囲で、約 111J であった。飛距離最大時 (衝撃線角度 22deg) においては、ローリング角速度の増加に伴い、打球の回転角度は増加したが、打球角度が減少することが明らかになった (図 1、2)。また、このとき、飛翔軌道については、ローリング角速度が大きい場合 (1800deg/s) の方が、小さい場合 (200deg/s) より、低い弾道となることが明らかになった (図 3)。

考察

本研究では、弾性体モデルを用いて野球のバッティングについてインパクトシミュレーションを行い、バットのローリング角速度が打球特性に及ぼす影響を検証した。その結果、ローリング角速度の増加により、最大飛距離はわずかに増加したが、その差は 1m 未満であった。これは、ローリング角速度の増加により生じた摩擦力が、打球の回転速度の増加と打球角度の減少という、飛距離を規定する因子間の相殺関係を生んだことが原因であると考えられる。しかし、飛翔軌道に着目した結果、ローリング角速度が大きい方が、より低い弾道であることが明らかになった。一方、打球の最大運動エネルギーについても、ローリング角速度

の増加により、わずかな増加を示した。これは、ローリング角速度の増加により、打球の運動エネルギーを決定する因子である打球速度および打球の回転速度が増加したことが原因であると考えられる。これらのことから、弾性体モデルを用いて、バッティングについてインパクトシミュレーションを行った結果、バットのローリング角速度の増加により、同一飛距離の打球を、より低い弾道で獲得できること、および、より勢いのある打球をより低い弾道で放つことができることが示された。

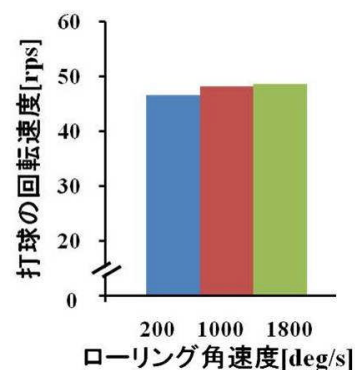


図 1 飛距離最大時におけるローリング角速度の違いによる打球の回転速度

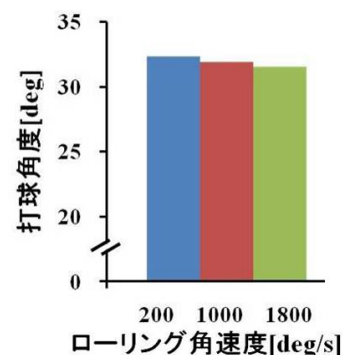


図 2 飛距離最大時におけるローリング角速度の違いによる打球角度

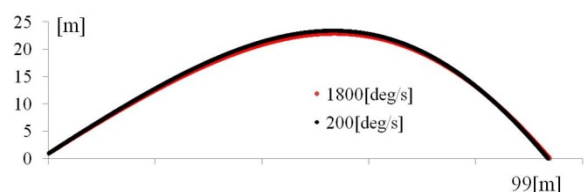


図 3 飛距離最大時における 2 次元飛翔軌道