

野球ボールの軌道解析に基づく 空気力モデルに関する実験的研究

野崎 崇史^{*1}, 藤松 信義^{*2}

Experimental Study on Aerodynamic Model based on the Trajectory Analysis of Baseball

Takafumi NOSAKI^{*1} and Nobuyoshi FUJIMATSU^{*2}

^{*1, *2} Toyo Univ. Dept. of Mechanical Engineering
Kujirai 2100, Kawagoe-shi, Saitama, 350-8585 Japan

We conducted the experimental and numerical trajectory analysis of the baseball and investigated the aerodynamic characteristics acting to the baseball. The optical images of the ball released from the pitching machine are taken by the high-speed camera and the translational and rotational motions of the ball are computed by the image processing. In the numerical analysis, the flowfield around the ball is assumed as the ideal fluid and the motion of the sphere without the seam are computed. We compared the aerodynamic characteristics of the baseball with those of the ball used in the lacrosse to investigate the effects of the seam to the motion of the baseball. The experimental results showed that those effects induced the gaps of the forces acting to the ball and of the trajectories between them. Although the aerodynamic coefficients are measured under the steady flow condition in general, they are modified as the parameters for the unsteady flow from the differences between the experimental and the numerical results.

Key Words : baseball, drag coefficient, magnus effect, trajectory analysis.

1. 緒 言

球技で使用されるボールに働く空気力特性やボール周りの流れの特性を調べることは、流体力学において興味深い研究対象の一つであり、これまでに様々な球技で使用されるボールについての研究例がある。特に、野球ボールは実験的研究、数値的研究が盛んに行われている。横山ら⁽¹⁾は硬式野球ボールの空力特性に対する縫目の影響を調べており、スピンパラメータの値によっては負のマグヌス効果が生じること、ジャイロボールのドラッグクライシス現象を確認している。坂本ら⁽²⁾は、風洞実験により統一球と日米硬式野球ボールの空力特性を調べており、スピンパラメータの広い範囲に亘って抗力特性は同じ値であるが、揚力特性に差が出ることを明らかにしている。長谷川ら⁽³⁾は、空気力を風速、ボールの回転軸の角度をパラメータとした風洞実験を行っており、硬式野球ボールの揚力係数と抗力係数を詳細に調べている。木下ら⁽⁴⁾は、様々な種類の公認軟式球について空気力特性と流れ場の特性を調べており、縫い目やディンプルにより臨界レイノルズ数が低レイノルズ数側に移動すること、最小CD値が増大することを明らかにしている。谷口ら⁽⁵⁾は、高速ビデオカメラを用いた硬式野球ボールと真球の撮影を行い、その空気力特性を調べている。これらの研究は、ボールの空気力係数の速度依存性を考慮していないものである。

野球ボールは投手の手を離れると空気抵抗により減速しつつ、重力やボールの回転による空気力によって軌道が変化する。ボールの空力係数は、球速により変化するが、単純な真球の場合でさえ定常の流速で空気力特性を調べた研究例が殆どであり、実際の投球軌道で球速変化の効果を空気力パラメータに考慮した研究例は著者らが調べた限り見られない。今野ら⁽⁶⁾は、自由落下する真球が受ける流体抵抗特性を実験的に調べており、加減速時に物体に作用する流体力特性は、定常速度下で測定した流体力特性と異なる結果になることを明らかにしている。

^{*1} 非会員，東洋大学

^{*2} 正員，東洋大学（〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100）

E-mail: fujimatsu@toyo.jp

このことから、投球時の野球ボールの空気力特性を明らかにするためには、速度依存性を考慮する必要があると考えられる。

本研究の目的は、投手の投げる野球ボールの軌道を精度よく推算できるような空気力モデルを提案することである。空気力特性の速度依存性に着目して、野球ボールの運動解析とピッチングマシンによる実際の運動解析を行い、その比較からモデル修正を行う。

ボールに作用する重力、マグヌス効果による空気力、空気抵抗を考慮した運動方程式を立て、ボールの軌道を予測する。実験では、ピッチングマシンを用いてボールを投げだし、その軌道を高速カメラで撮影する。撮影した映像を画像解析して、運動方程式の予測値と比較する。計算結果との違いを考察して、空気力特性に対する影響を調べる。得られた結果をもとに、運動方程式に適切な空力パラメータを算出して軌道解析モデルを提案する。

2. 実験方法および解析手法

図1は本実験の概要図を示している。ピッチングマシンから放出されたボールの軌道を高速カメラで撮影した。ピッチャーマウンドからベース間を結ぶ線に垂直な面内におけるボール動きとボールの回転を調べるためにデジタルカメラで撮影した。ボールはMIZUNO社製の硬式球と、縫い目のないボールの影響を比較するために、ラクロス用の試合球を使用した。ピッチングマシンはJUGS製のオールラウンドピッチングマシンを用いた。高速カメラはノビテック社製Phantomを用いており、撮影条件は2000 fpsとした。デジタルカメラはCASIO社製EXLIM EX-ZR1000であり、480fpsの動画モードで撮影を行った。ピッチャーマウンドからホームベースまでの規定距離は18.44 mであるが、本研究では15.00 mとしている。球速と回転数をパラメータとした実験を行い、ボールの軌道を計測した。

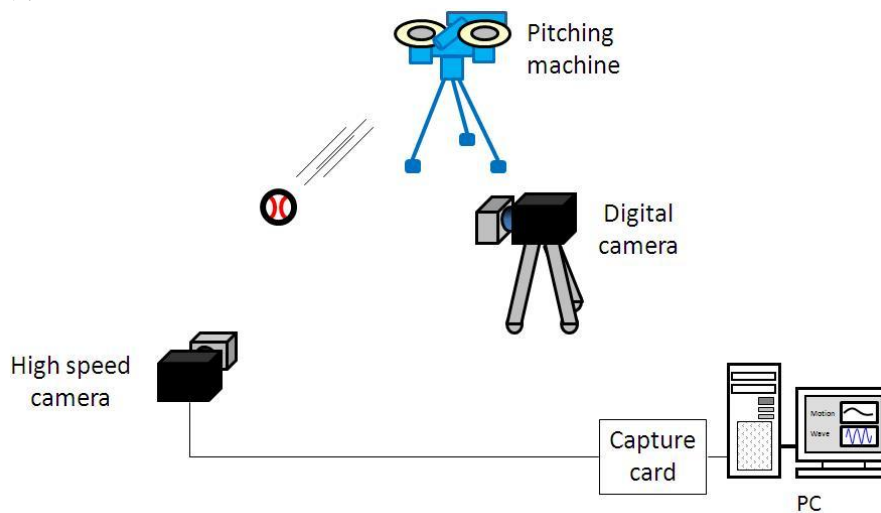


図1 ボールの軌道計測試験

図2はボールの運動解析モデルである。ボールの投球方向を x 軸、横方向を y 軸、鉛直方向を z 軸とする。また、ボールの回転軸を角度 θ, φ を用いて図2のように表わす。 $\vec{V} = (U_0, V_0, W_0)$ はボールの球速ベクトルである。ボールの角速度ベクトルを $\vec{\omega}$ とし、ボールの回転速度ベクトルは、ボール表面の位置ベクトルを \vec{r} とし、ボール表面の周速度は $\vec{\omega} \times \vec{r}$ と表すことができる。ボールの運動解析では、マグヌス効果によってボールに作用する空気力を推算した。空気力を求めるために、ボールを帯状の微小面に分割して積分を行った。ボールに作用する空気力の向きを考慮すると、空気力は以下の積分式で表すことができる。

$$\vec{F}_A = \rho U_0 \int_0^\pi \int_0^{2\pi} (\vec{\omega} \times \vec{r}) \cdot \vec{r} \sin \varphi d\theta d\varphi \cdot \frac{\vec{\omega} \times \vec{V}}{|\vec{\omega} \times \vec{V}|} \quad (1)$$

循環 Γ は周速度 $\vec{\omega} \times \vec{r}$ の線積分値として求めることができる。空気力の向きを明確に示すために $\vec{\omega} \times \vec{V}$ を用いて、マグヌス力の単位ベクトルを表記している。

ボールに作用する外力は式(1)の空気力 \vec{F}_A 以外に、空気抵抗 \vec{F}_D 、重力 \vec{F}_g が作用する。このときボールの運動方程式は以下のように表すことができる。

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F}_A + \vec{F}_D + \vec{F}_g \quad (2)$$

ここで、 m はボールの質量である。また、 \vec{F}_D 、 \vec{F}_g は以下のように表わすことができる。

$$\vec{F}_D = \left(C_D \frac{1}{2} \rho U_0^2 A, C_D \frac{1}{2} \rho V_0^2 A, C_D \frac{1}{2} \rho W_0^2 A \right), \quad \vec{F}_g = (0, 0, -mg).$$

本研究の軌道解析に必要な空気抵抗係数は、真球に対する C_D 値を与えた。

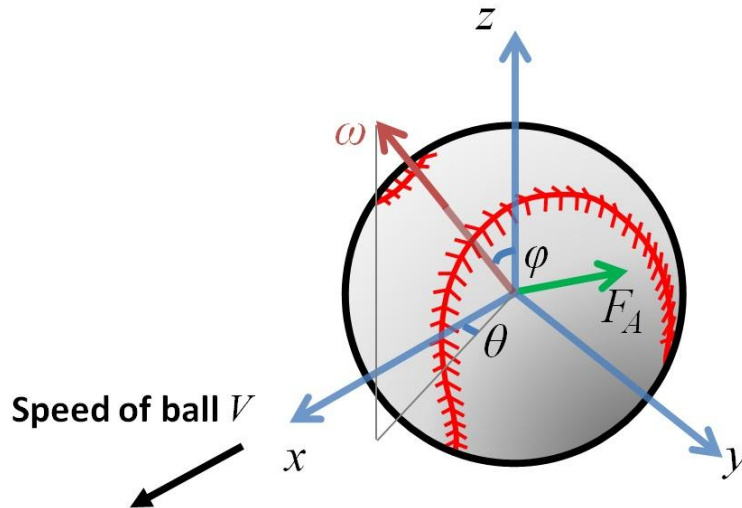


図2 ボールの運動解析モデル

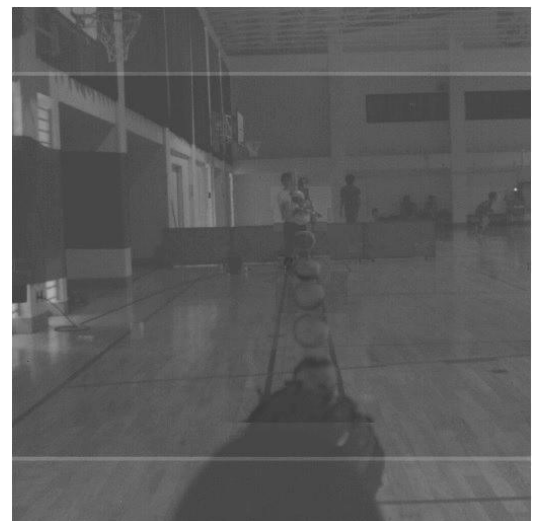
3. 実験結果および考察

3・1 ボール軌道の計測結果

図3は実験で撮影した投球映像の一つである。実験条件は球速 85km/h、回転数 31.25rps である。ボールの軌道とボールの回転が分かるように、図3-(a) は100フレーム間隔、図3-(b) は約30~60フレーム間隔でボールを表示している。全ての画像データについて画像処理によりボールの軌跡を追跡して、その軌道を調べた。



(a) ボールの軌道



(b) ボールの回転

図3 ボールの軌道計測試験

3・2 ボールの軌道解析

図4はボールの軌道計測結果とボールの運動解析結果を比較したグラフを示している。運動解析結果とラクロスボールの実験値の15.0mでの差は-2.8 cm，野球ボールの実験値との差は-3.6 cmである。ラクロスボールは縫い目がないため、運動解析結果とよく一致しているが、最終のないボールの軌道予測ではこの差は大きい。この違いが、空気抵抗の速度依存性であることを確認するために、実験結果から、球速 U_0 に基づくレイノルズ数 Re に対する抵抗係数 C_D を調べた。その結果を図5に示す。この結果からボールの運動時に抵抗係数が変化することが分かる。この結果を基に、球速の変化を考慮した抵抗係数 $C_D = C_D(Re_u)$ を表わすことで、ボールの運動をより詳細に表わすことができる。図にはピッチングマシンから投射された直後と、キャッチャーミットに収まる直前の球速に基づく Re での抵抗係数も示してある。本実験結果は他者の結果よりも上方に位置している。また、球速変化に対して抵抗係数が増すことが分かる。これは今野らによって示された実験結果と同様の傾向を示している。

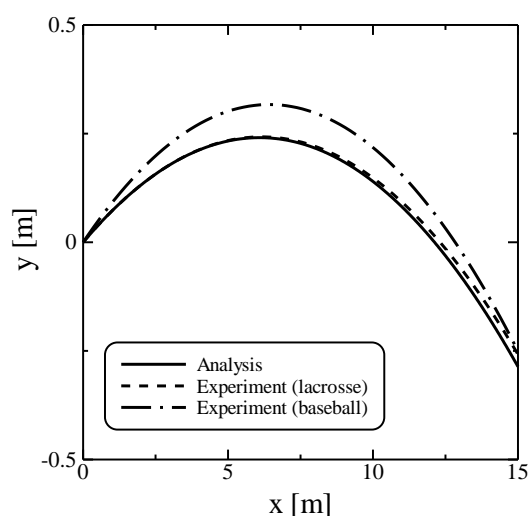


図4 ボールの軌道（実験値と解析結果の比較）

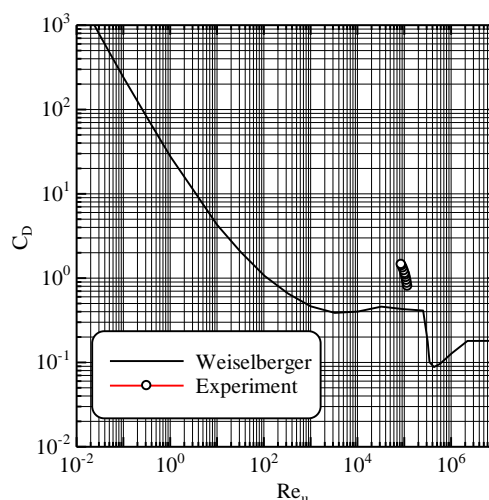


図5 球速変化を考慮した空気抵抗係数

4. まとめ

野球ボールの軌道解析について実験と数値計算を行い、空気力特性を調べた。野球ボールに作用する空気抵抗は投球中に変化しており、速度依存性を持つことが確認できた。その効果はボールの軌道から空気力を逆算することで、空気力パラメータを速度の関数として表記することが可能であり、ボールの軌道を正確に予測することができる。また、軌道解析結果から得られる空気力パラメータは陰的に縫い目の効果を含めることができるので、ボールの縫い目の有無を特別に考慮することは不要である。

文 献

- (1) 横山佳之, 高見圭太, 田中潤一郎, 宮寄 武, 姫野龍太郎, 硬式野球ボールの空力特性に対する縫い目の影響, 「境界層遷移の解明と制御」研究会講演論文集(第41回・第42回), pp.71-74.
- (2) 坂本誠馬, 長谷川淳哉, 田多輝洋, 鳴尾丈司, 溝田武人, "統一球と日米硬式野球ボールの空力特性", スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2011, (2011).
- (3) 長谷川淳哉, 坂本誠馬, 田多輝洋, 鳴尾丈司, 溝田武人, "風洞実験による硬式野球ボールの空力特性(回転軸の方向の違い)", スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2011, (2011).
- (4) 木下康浩, 青木克己, 長瀬二郎, "軟式野球ボールのデザインと空力特性", CD-ROM 論文集 329, (2001).
- (5) 谷口哲也, 宮寄 武, 清水鉄也, "硬式野球ボールに働く空気力の測定", ながれ, 25, (2006), pp.257-264.
- (6) 今野友博, 市川誠司, 窪田佳寛, 望月 修, "水中を落下する球の抵抗係数", 日本機械学会論文集(B編), 79 巻 798 号, (2013), pp.151-163.