

課題名 (タイトル) :

野球変化球の解析

利用者氏名 : 内菌 謙介

所属 : 情報基盤センター

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

飛翔する球体に働く空気力に関する研究においては、「ドラッグクライシス」と「負のマグナス効果」への関心が高い。ドラッグクライシスが発生する Re 数を臨界 Re 数と呼ぶが、急に回転や粗度を与えた場合には臨界 Re 数が低減することが知られている。一方、負のマグナス効果とは、通常バックスピンの球体に鉛直上向きに働く揚力がある条件下においては鉛直下向きに働く現象である。このドラッグクライシスと負のマグナス効果については、共に球表面における乱流遷移に起因する現象であり、両者の間には関連性があり、真球に働く揚力が正から負へと変わる Re 数において球周りの境界層が乱流遷移して抗力が減少する。これら臨界 Re 数付近での球体に働く空気力に関する研究は、風洞実験、水槽実験や飛翔実験によるものが多い。最近になって、LES による計算結果も報告されたが、サブスケールでの乱流モデルの影響がないとは言い難い。

そこで、乱流モデルを使用しない直接数値計算により、球に働く空力特性を調べた。

2. 具体的な利用内容、計算方法

基礎方程式は、連続の式 (1) と非圧縮性ナビエ・ストークス方程式 (2) である。

$$\operatorname{div} \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \operatorname{grad}) \mathbf{v} = -\operatorname{grad} p + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{v} \quad (2)$$

この方程式を MAC 法により解析し、差分法により数値的に解いた。差分法による離散化では、時間積分に一次精度の陽的オイラー法を用い、空間微分項は三次精度の風上差分を用いた。

計算格子は、2次元の0型格子を x 軸に対して回転させるようにして生成した3次元の格子を利用した。図1に計算格子を示す。

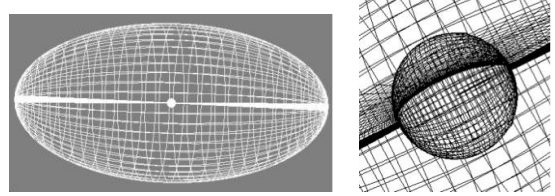


図1 : 計算領域 (左) と球表面 (右)

3. 結果

無回転状態における、抗力係数 C_D の Re 数関係図を図2に示す。

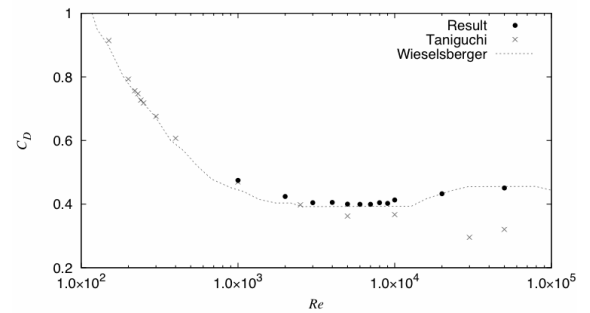
図2 : C_D の Re 数関係図

図2より、これまで解像度不足により C_D が異常値を示していた $Re = 0.5 \times 10^5$ においても Wieselsberger による風洞実験結果と同様の結果となり、本数値計算の妥当性が伺える。また、 $Re = 0.1 \times 10^5$ 、 0.2×10^5 における無回転状態での C_D は、それぞれ 0.413、0.433 となり、卓球ボールによる飛翔実験結果とほぼ同じ結果を得た。

次に、 $Re = 0.1 \times 10^5$ における無回転状態とライフル回転を与えた場合の C_D 及び球表面上での圧力をそれぞれ図3、4に示す。同様に、 $Re = 0.2 \times 10^5$ における無回転状態とライフル回転を与えた場合の抗力係数 C_D 及び球表面上での圧力をそれぞれ図5、6に示す。

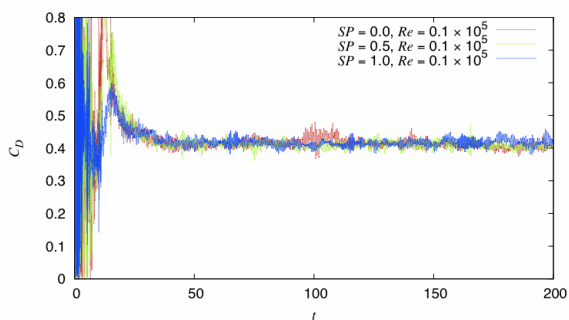


図 3 : $Re=0.1 \times 10^5$ における C_D

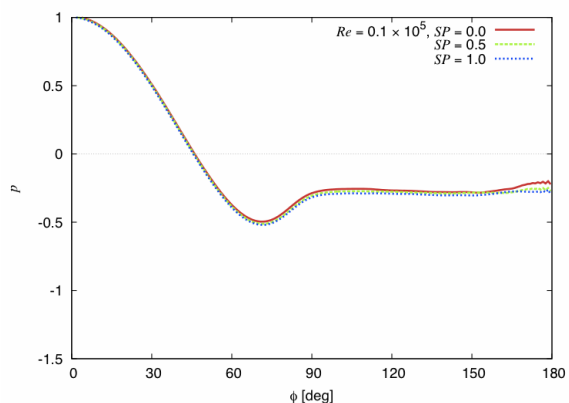


図 4 : $Re=0.1 \times 10^5$ における球表面上での圧力

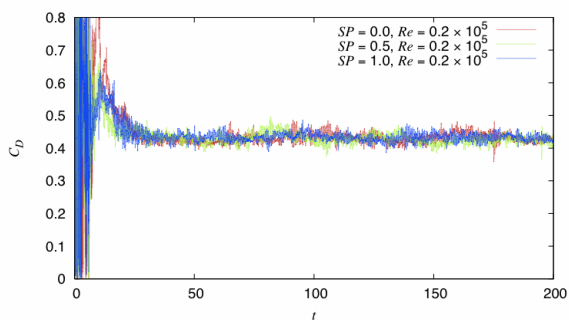


図 5 : $Re=0.2 \times 10^5$ における C_D

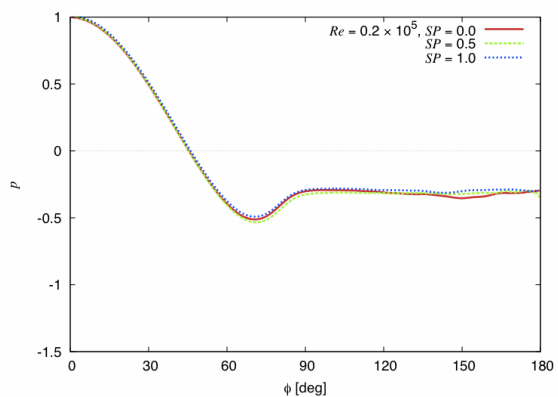


図 6 : $Re=0.2 \times 10^5$ における球表面上での圧力

ライフル回転を与えた場合の C_D は、 $Re=0.1 \times 10^5$ 、 $SP=0.5$ 、 1.0 において、それぞれ 0.410 、 0.417 であった。また、 $Re=0.2 \times 10^5$ 、 $SP=0.5$ 、 $1.$ において、それぞれ 0.425 、 0.432 であった。

図 3～6 より、 $Re=0.1 \times 10^5$ 、 0.2×10^5 においては、無回転状態とライフル回転を与えた場合では、 C_D 及び球表面上での圧力に明確な違いは見られなかった。

4. まとめ

$Re=0.1 \times 10^5$ 、 0.2×10^5 において、無回転状態での C_D は、飛翔実験結果と同様の結果を得た。

$Re=0.1 \times 10^5$ 、 0.2×10^5 において、球にライフル回転を与えた場合、 C_D 及び球表面上での圧力に明確な違いは見られなかった。

5. 今後の計画・展望

通常、球に回転を与えた場合には、 C_D が大きくなるが、 $Re=0.1 \times 10^5$ 、 0.2×10^5 においてそれを観察することはできなかった。従って、より高い Re 数において同様の数値計算を行い、回転による影響を調べる。