

力学的に非対称な球の回転安定化に対する流体トルクの効果

The effect of aerodynamic torque to stabilization in rotation of a sphere with dynamical asymmetry

発表者：18T1088G 高野 恭平

指導教員：坪井 一洋

1. はじめに

野球ボール型加速度センサを用いた飛翔実験にて、2種類の自転軸の周期的変化が飛翔中に観測された[1]。一方、斜面実験でこの加速度センサの各軸まわりの慣性モーメントを測定したところ、すべての軸まわりで異なっていた。ゆえに、剛体回転に関する中間軸の定理が成立し、それによる自転軸まわりの回転不安定により上記の周期的変化が生じる可能性が考えられた。

そこで、飛翔実験のパラメータを用いてシミュレーションを行ったところ、自転軸が反転する時間は予想以上に短く、加速度センサの飛翔中に自転軸が反転する結果となった。

加速度センサは空中を飛翔するため、流体力を受け、その流体力により流体トルクが発生する可能性がある。そこで、加速度センサの自転軸の安定化に流体トルクの効果が関係していると考えた。本研究では球に働く流体トルクをモデル化することでパラメータ・スタディを行いその効果を検証する。

2. 中間軸の定理に基づいたシミュレーション

先行研究で測定された慣性モーメントと角速度の結果を用いてシミュレーションを行った。シミュレーション時間は1.0 sとする。図1に各軸まわりの角速度を示す。縦軸は角速度 [rad/s]、横軸は時間[s]、グラフの青は ω_x 、橙は ω_y 、灰色は ω_z である。約 $t = 0.40$ s で自転軸(y軸)が反転する結果となった。

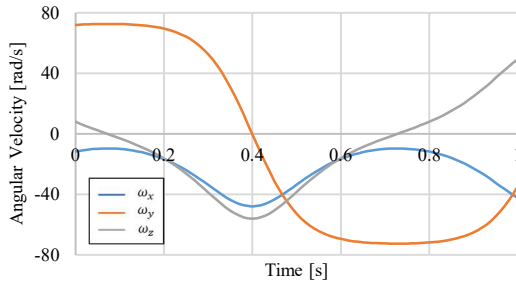


Fig. 1 Simulated Result based on Experimental Data

3. 流体トルクのモデルとシミュレーション結果

自転軸(y軸)まわりには式(1)で求めた流体トルク[2]が一定値で働き、他の2軸まわりには式(2)のような角速度に比例した流体トルクが働くモデルを導入した。

$$N_y = -\frac{\pi d^3 \rho V^2}{8} C_m \quad (1)$$

$$N_i = -C \omega_i \quad (i = x, z) \quad (2)$$

ここで、 d は球の直径、 ρ は空気の密度、 V は飛翔速度、 C_m は流体トルク係数、 C は比例定数である。

図2に $C = 5.0 \times 10^{-4}$ のときの各軸まわりの角速度を示す。外乱は指数関数的に成長しているが、増幅は抑制され、自転軸の反転は生じていない。

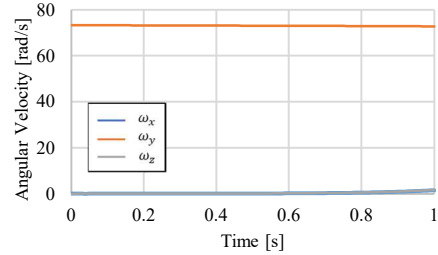


Fig. 2 Simulated Result of Angular Velocities

図3に $C = 5.0 \times 10^{-4}$ のときの N_x 、 N_z を示す。指数関数的に成長する外乱に応じて、 x 軸と z 軸まわりに働く流体トルクもまた指数関数的に増加していることがわかる。

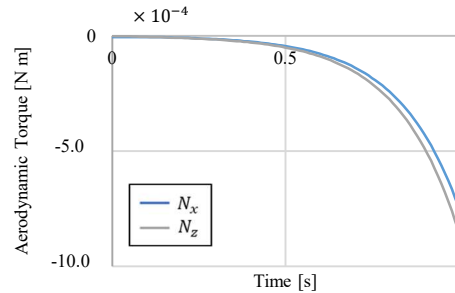


Fig. 3 The Growth of Aerodynamic Torque

4. まとめと今後の課題

本研究では、球に働く流体トルクをモデル化してパラメータ・スタディを行い、その効果について検証した。自転軸まわりには一定値の流体トルクが働き、他の軸まわりには角速度に比例する流体トルクが働くモデルを導入したところ比例定数が 10^4 程度のときに自転軸まわりの角速度の減少と外乱の成長がともに抑制され、自転軸の反転が生じなかった。

回転数の流体トルクへの依存性は十分に明らかになってはおらず、今後この関連を調べるのが課題となる。

参考文献

- [1] 長岡大志他：加速度センサを用いた飛翔中の野球ボールの回転特性計測，日本機械学会論文集，85巻，876号，pp. 1-15 (2019)
- [2] 鳴尾丈司他：一様気流中で高速回転するゴルフボールの空気力測定と飛翔実験，日本機械学会論文集(B編)，70巻，697号，pp. 2371-2377 (2004)