

回転する球の後流構造の可視化実験

Visualization on wake structure of a spinning sphere

発表者：菅谷 学人

指導教員：坪井 一洋

1 緒言

気流中の物体に循環が生じることで揚力が発生する。翼面上に生じた循環により、翼端から後方に向かって一対の翼端渦が形成される。回転球にも揚力が発生することから、その後流域に一対の縦渦が形成されると予想されるが、回転球後流の縦渦についてはほとんど知られていない^{[1][2]}。

可視化実験では風洞の使用が一般的であるが、本研究では、回転球の後流構造を実験的に検証するための予備実験を行うことが目的である。翼型を用いた実験によって翼端渦の観測を試み、次に回転球の後流構造について検証する。

2 揚力理論

流体中の翼型には流体力が発生する。流れと垂直な方向に働く流体力を揚力という。揚力 L は式(1)で定義される。

$$L = \rho V \Gamma = \frac{1}{2} C_L \rho V^2 S \quad (1)$$

ここでの ρ は流体の密度(1気圧, 気温20°C:1.2043 kg/m³), V は翼型と流体の相対速度, Γ は循環, C_L は揚力係数, S は物体の投影断面積である。式(1)より、循環 Γ は式(2)のように変形できる。

$$\Gamma = \frac{1}{2} C_L V S \quad (2)$$

またレイノルズ数は式(3)で定義される^[3]。

$$\text{Re} = \frac{Vc}{\nu} \quad (3)$$

ここで、 c [m]はコード長、 ν は大気の動粘性係数(1気圧, 気温20°C:1.512×10⁻⁵ m²/s)である。

3 予備実験

本研究は dyson pure cool link (以下、送風機) を使用して実験を行った。この送風機は他の研究においても使用されているため本研究にも利用できると考えた^[4]。実験に使用した送風機の仕様を表 1、デジタル風速計の仕様を表 2 に示す。

送風機の気流の一様性を確認するため、以下の条件でタフト法による目視を行った。送風口の中心点を原点として、送風方向に X 軸、それと垂直な方向に Y 軸をとる(図 1)。計測領域は領域 A($x, 0$)および領域 B($x, 0.175$)としてタフトの動向と流速を観測した。

観測結果を図 2 に示す^[5]。横軸を送風口から計測点までの距離 x [m]、縦軸を観測した流速ベクトル v [m/s]とする。

表 1 dyson pure cool link 製品仕様

製品名	dyson pure cool link
本体サイズ H×W×D (mm)	616×355×220
最小/最大消費電力(W)	5/40
型式	DP 01 WS
送風口半径 (m)	0.175

表 2 風速計製品仕様

製品名	デジタル風速計
型番	GMAR856
羽根サイズ(mm)/重量(g)	172×65×29/38
測定範囲(m/s)	0.5~45
分解能	0.1
精度	±3%±0.1dgts

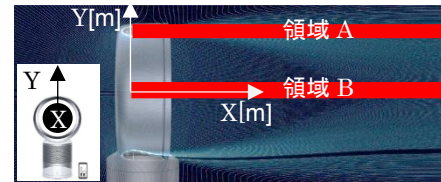


図 1 観測座標設定

図 2 より、 $x \geq 1.2$ m で領域 A および領域 B の流速の一様性が確認できた。また送風口の構造上、 $x \leq 1.2$ m の領域 A および領域 B では流速にばらつきが生じていた。翼型でタフト法を実施した際流速にばらつきが生じていると、翼幅分の誤差でタフトの動きに影響を与える可能性がある。この結果を受けて、 $x \leq 1.2$ m の点を使用することとし、次の補助実験を行った。

領域 A および領域 B において、Y 軸方向に翼幅分(0.1 m)オフセットしたときの流速をそれぞれ計測する。

計測した流速から算出されるレイノルズ数を求め、流速のばらつきが許容範囲であるか検証した。その結果、レイノルズ数の差はごく小さいとみなすことができるため許容範囲とした^[5]。

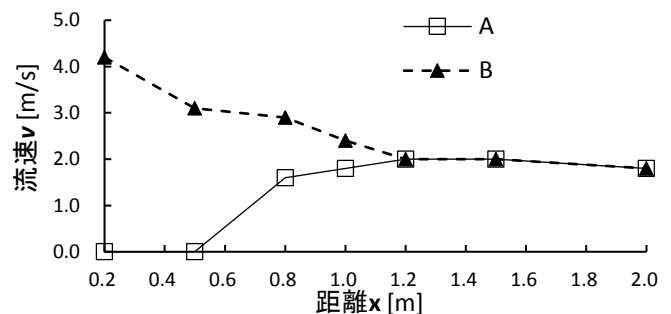


図 2 距離変化における流速の推移

4 タフト法による可視化実験

4.1 翼端渦の観察

以下の条件で翼型を使用した翼端渦の発生を確認する実験を行った。実験に使用した翼型の仕様を表 3、その外観を図 3 に示す。

実験装置の配置を図 4 に示す。送風口から $x = 1.2$ m の位置に翼型を、その後流にタフト(糸)を付けた金属製の網を設置し、後流側からカメラで撮影しながら実験を行った。翼の迎え角 α は $-45 < \alpha < 0$ とした。タフトの詳細を図 5 に示す。タフトはメッシュ幅がそれぞれ 4 cm のタフト 1 と 1 cm のタフト 2 の 2 種類を用意した。

観測結果を表 4、タフト法による翼後流の様子を図 6 に示す。タフト 2 の使用時のみ縦渦の観測ができたが、これは、メッシュ幅を小さくしたことによってタフト平面の細分化が可能になったためと考えられる。

表 3 翼型規格

翼型名	NACA 0012
翼厚 (mm)	19
コード長 (mm)	120
翼幅 (mm)	200
表面積 (mm ²)	49735



図 3 翼型 NACA 0012

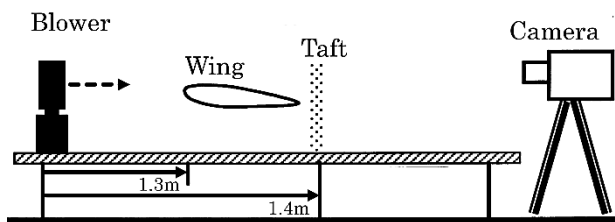


図 4 実験装置配置

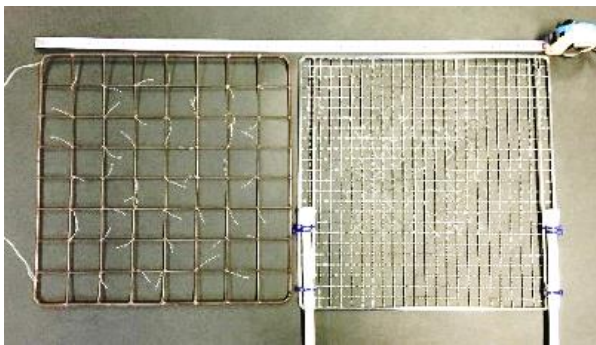


図 5 タフト 1 (左) タフト 2 (右)

表 4 観測結果

	判定
網タフト1	×
網タフト2	○

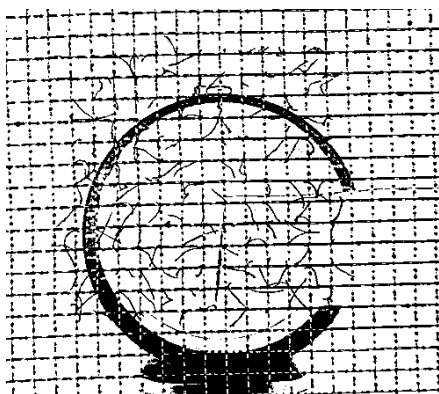


図 6 翼後流の様子

4.2 回転する球の後流構造の可視化

前節と同様の条件で回転球の後流構造を検証する。

回転させる球は硬式野球ボールを使用し、インパクトドライバーに装着し回転させた(図 7)。

回転方向がバックスピンの場合、後流構造に縦渦が観察された(図 8)。また回転方向がトップスピンの場合も同様に、縦渦らしき後流構造を確認できたが、バックスピンの比ベ局所的であった(図 9)。これは、バックスピンの縦渦が確認されていることからタフトの自重の影響だと考えている。

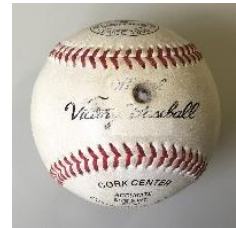


図 7 公式野球ボール



図 8 後流構造 (バックspin)

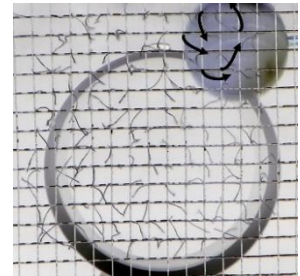


図 9 後流構造 (トップspin)

5 まとめと今後の課題

揚力の発生原理に基づいて、回転球の後流構造を可視化実験により調べた。市販の送風機による簡単な風洞実験を行い、翼型で生じる翼端渦を確認した。続いて、回転する球の後流構造を可視化する実験を行った。その結果、翼端渦と同様な後流構造を回転球においても確認できた。得られた検証結果は揚力の発生原理からも予想できる結果であり、CFD シミュレーションの結果と同様の結果が得られた。今後の課題としては、さらに精度の高い可視化実験が必要だと考える。

参考文献

- [1] 岩切静矢: 回転するボールの空力係数に対する誘導迎え角の影響, 茨城大学工学部知能システム工学科卒業論文, (2015).
- [2] 國竹泰夫: 『図解入門よくわかる航空力学の基本』, (秀和システム, 2009).
- [3] 中山泰喜: 『可視化情報ライブラリー1 流れの可視化入門』, (朝倉書店, 1996).
- [4] 白山晋: 時系列データからのパターン抽出法, 日本流体力学会誌 35, (2016) pp.147-152.
- [5] 菅谷学人: 回転する球の後流構造の可視化実験, 茨城大学工学部知能システム工学科前期発表レジュメ, (2016).

