

回転体が発生するマグナス効果の検証

宮城県仙台第三高等学校 物理4班

1.背景と目的

マグナス効果

流体(風)中で円柱が回転すると、流れに垂直な方向に揚力がはたらく現象

揚力: 風(流体)の中で回転しながら進行する物体に進行方向と垂直に発生する力

→回転体の回転速度、流体との相対速度、流体の密度に比例する

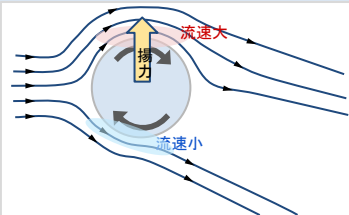


図1 マグナス効果の模式図

この現象に興味を持ち、実験を開始した。

2.実験条件

〈目的〉回転速度と流速以外の要素として、回転体表面の凹凸を変化させた場合の揚力の変化を測定する。

〈方法〉秤の上に自作した回転体を乗せ、電流を2.0Aとしモータを用いて回転させた。

30cm離れたブローヤから50Vで風を送り、揚力による天秤にかかる重さの変化を測定し、秤に表示された値を30回抽出して平均値を揚力として数値化した。

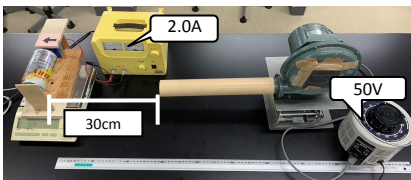


図4 自作した実験装置

条件

先行研究より、揚力が最大に得られるブローヤの位置を30cmとする
先行実験より、回転体の回転数は一定と考える
気温、湿度による空気密度の変化はないと考える

3.実験①

仮説1: 回転体表面の凹凸が揚力を増加させる

〈実験1〉凹凸の数による揚力の比較

回転体に、テープに糸(2mm)を貼った凹凸0,2,4,8枚(図5)を図6のように取り付けて測定し、結果を比較した。



図5 実験に使用した糸とテープ

〈実験2〉凹凸の厚さによる揚力の比較

回転体に厚さ5mmのテープ(図7)を貼り実験1と同様に測定した。また、結果を実験1と比較した。

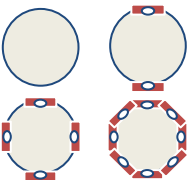


図6 回転体に取り付けた凹凸(0,2,4,8枚)

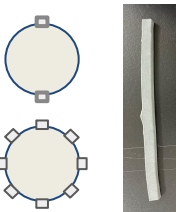


図7 厚さ5mmのテープ(実験2)

〈結果〉

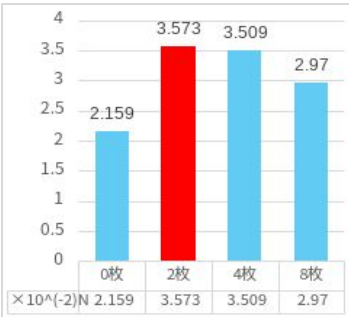


図8 実験1の結果

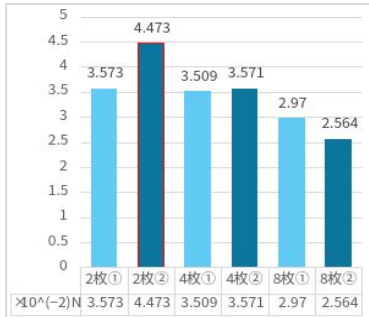


図9 実験2の結果

結果1

凹凸あり>凹凸なし
凹凸の増加は揚力の増加に関係がある

凹凸の数と揚力の関係より
両実験で減少傾向がある

結果2

同枚数と比較すると結果が増減
凹凸の大きさは単純な揚力の増加に無関係

凹凸の厚さそれぞれに
枚数による傾向がある

凹凸の大きさ→凹凸の数に注目

新たな仮説として凹凸の数を増やすと揚力が減少するを設定

実験3を開始した

8.参考文献

- マグナス効果の物理的メカニズムについて丸山祐一.2009
- 付加構造をもつ回転円筒におけるマグナス効果に関する研究須知 成光. 2004
- 抗力係数を理解すれば空気中を移動するあらゆる物体を扱えるhttps://d-monoweb.com/blog/drag-coefficient/

4.実験②

仮説2: 凹凸の数と揚力の強さには負の相関がある

〈実験3〉凹凸の数による揚力の比較

回転体に5mmテープを1枚から8枚まで一枚ずつ接着し、回転軸対称になるように貼り付け、実験2と同様に測定した。

〈結果〉

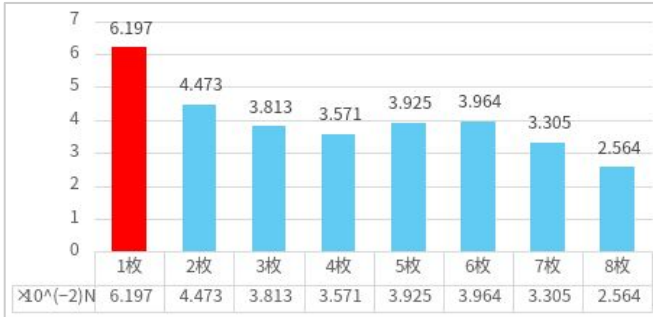


図11 実験3の結果

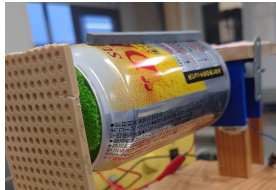


図10 5mmテープ(上部)を接着した回転体

結果3

1枚の場合最も大きい揚力が発生
枚数が少ないほど揚力が高い

結果1と矛盾

0→1枚の変化で
揚力増加→減少
の傾向がある

実験1との矛盾から、枚数以外の要素で比較したい

凹凸の枚数→凹凸の体積に注目し、実験4を開始した

5.実験③

仮説3: 凹凸の体積を微小に変化させると、揚力が増加したのち減少する

〈実験4〉凹凸の体積による揚力の比較

回転体に5mmのテープを体積0.50cm³ずつ回転体に取り付け測定した。(ただし5cm³以降は1cm³ずつ)
5mmテープ: 縦1.0cm×横10cm×高さ0.50cm

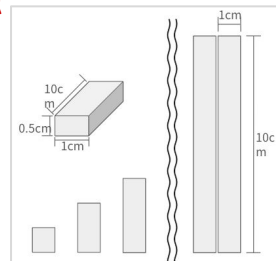


図12 5mmテープの切り取り方

〈結果〉

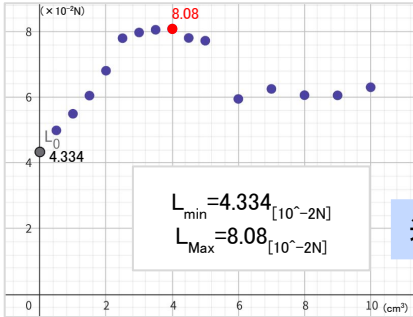


図13 実験4の結果と最大最小値

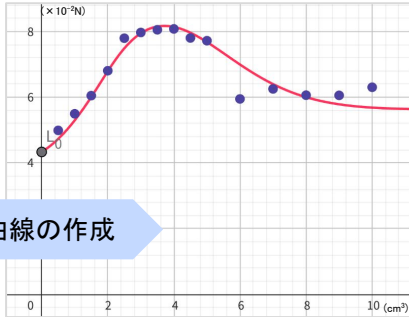


図14 実験4の近似曲線

結果4

単位体積ごとに上昇→4cm³を境に減少
その後一定値に収束した

結果を元に近似関数を作成

$$f(x) = \frac{14 \cdot 4^x e^{-4}}{x!} + \tan^{-1}(x-2) + 4.742$$

同条件下での凹凸による関係を、関数として扱うことができた

6.考察と展望

層流状態の流体(風)中に物体があると、物体の前面によどみ点(圧力の高い点)が生まれ、後面との間に圧力差が生じることが知られている。

同条件の物体表面に凹凸があると、流体が層流から乱流状態に移し後面の圧力差を軽減する。

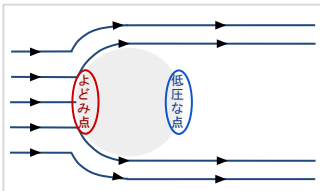


図15 よどみ点の発生

マグナス効果が発生すると、回転体の後流が揚力の反作用によって(もしくは摩擦によって)反れることから、よどみ点による圧力差が鉛直方向にも発生していると考えられる。凹凸は層流から乱流への遷移に影響し、揚力を妨げる圧力差を軽減したため、揚力の増加に影響したと考えられる。

展望

マグナス効果と凹凸の関係を、回転体の大きさや風速などの条件を変えて凹凸の体積を基準とした一般化を目指していく