

モーターを活用した流体から受ける抵抗力の測定装置の開発

目的

モーターによって回転する回転体を用いて、流体から受ける抵抗力と回転速度の関係を測定できる装置を開発すること。

実験装置

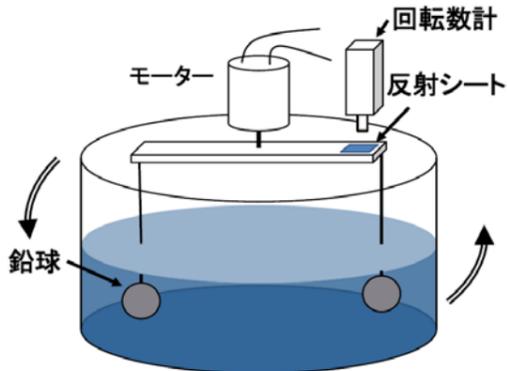


図1 モーターによって水中を鉛球2球が回転
公転半径： $R=0.10$ [m]，鉛球の半径： $r=0.010$ [m]
回路は、電流計、直流電源装置に接続されている

鉛球にはたらく抵抗力

$$N(\omega) = \frac{1}{2} C_d \rho \pi r^2 R^3 \omega^2 + (6rR + 8r^3) \pi \eta \omega \dots (A)$$

慣性抵抗 粘性抵抗

抵抗力によるトルク： N ，角速度： ω
球の半径： r ，粘性係数： η ，抗力係数： C_d
流体の密度： ρ ，公転半径： R

実験方法

- ① 回転体のポールの先及び鉛球が水の中につかるように設置し、回転体を水平方向に回転するよう、調整する。
- ② 鉛球を接続した場合と接続しない場合の、モーターの電流値と回転数を測定する。
- ③ トルク値と角速度の関係を、角速度の定義及びモーターの回転特性から計算する。
- ④ 鉛球を接続した場合と、接続しなかった場合のトルクの差が、流体から受ける抵抗力に寄与していると考える。
- ⑤ Microsoft Excel でデータに二次関数の近似曲線を描き、その関数と理論式との比較から慣性抵抗における抵抗係数 C_d 及び粘性係数 η について求め、文献値と比較する。

実験結果

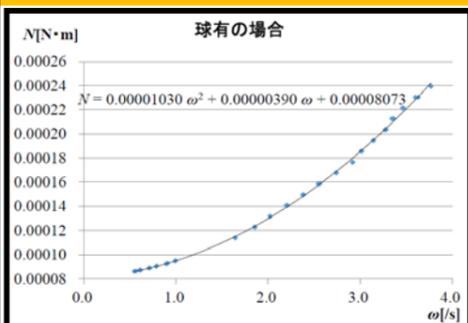


図2 回転体に鉛球を接続した場合の角速度と回転トルクの関係

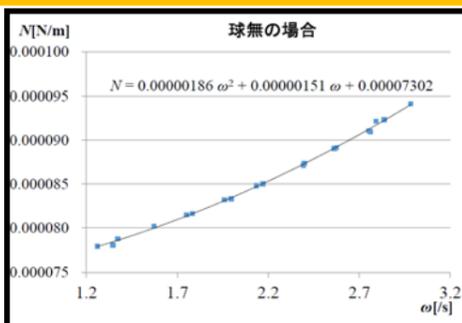
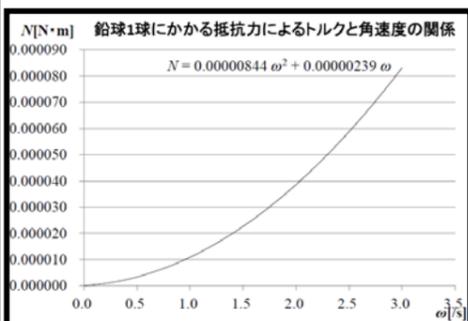


図3 回転体から鉛球を取り外した場合の角速度と回転トルクの関係



実験温度 11.8 [°C]

図4 鉛球1球が受けた抵抗力によるトルクと角速度の関係
〔図2の関数から図3の関数を引いたものである〕

考察① 抵抗係数 C_d の値の検証

角速度 0.55~3.7 [1/s]における理論値 0.39~0.50
図4の式と(A)式を比較して算出した実験値 0.05

理論値に比べ、非常に実験値が小さい

水流による追い風効果で、慣性抵抗が小さくなった?

水流の影響の小さい低速域のデータのみを用い再検証

角速度 0.55~0.61[1/s]の範囲における実験値 0.46

低速域では、理論値の範囲内の数値を算出

- ・高速回転時に慣性抵抗力は水流の影響を強く受けている
- ・水流の小さい範囲では理論値と比較できる値を得られる

考察② 粘性係数 η の検証

実験値と理論値の比較

実験温度における水の粘性係数の理論値 0.001236 [Pa·s]
図4の式と(A)式を比較して算出した実験値 0.0012 [Pa·s]

理論値と実験値はほぼ一致している

用いるデータ数を変化させて実験値を算出

⇒粘性係数は実験誤差の影響を受けやすいことが判明

⇒0.0010~0.0015 [Pa·s] に収まっている

温度を変えて異なる粘性係数の場合でも実験を行う

⇒温度 32 [°C] ~38 [°C] における水の粘性係数を測定

文献値 0.000681~0.000768 [Pa·s]

実験値 0.00047 [Pa·s]

0.0004 [Pa·s] 以内の誤差

- ・粘性係数 0.001 [Pa·s] より大きいデータをとらせることは可能。それ以下は不確か。

考察③ 実験装置の考察と今後の課題

○より低速での回転を実現

- ・ソーラーモーター等の低速回転モーターの回転特性を調べ、実験に活用する
- ・公転半径を長くする

○測定器の向上

- ・電流計や回転数計は、より分解能の高いものを使用する
- ・回転体の左右のバランスを向上させる
- ・より大きい水槽の使用

まとめ

○水の抵抗力をとらせることはできた

○粘性係数 0.001 [Pa·s] より小さい値を測定することは難しい

⇒温度の高い水や、空気などの粘性係数の小さいものに対する測定はできない

○より高い精度の測定を実現するために

⇒低速での回転を実現することや、測定誤差を小さくする装置の改良が必要である

参考文献

- [1]. 福井県立高志高等学校「物体が気体中で受ける抵抗力について」(玉村光、南聖紀、向智輝)
- [2]. RE280 データシート(マブチモーター株式会社)
- [3]. トコトンやさしい流体力学の本(久保田浪之介、2007年)
- [4]. 粘性抵抗からのトルクの見積もり
(<http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/labs/ishijima/Physics-09.html>)
- [5]. Faith A. Morrison, "Data Correlation for Drag Coefficient for Sphere"
Department of Chemical Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI
(<http://www.chem.mtu.edu/~fmorriso/DataCorrelationForSphereDrag2016.pdf>)
- [6]. 水理実験指導書 (土木学会水理委員会水理実験指導書編集小委員会、2001年)