

細長形状物体の姿勢変化への空力の影響

The Effect of Aerodynamics in Elongated Shape Body to its Attitude

学籍番号： 20T1140L 氏名： 宇田川 洋人 指導教員： 坪井 一洋

1. はじめに

物体が空気中を移動するとき、周囲の気流から流体力を受ける。飛行時の物体の空力解析は、一般的には風洞実験が用いられる。風洞実験では人工的に発生させた気流中に物体を固定して、流体力の測定を行う。しかし、放物体が空気中を運動する場合、流体力により物体の速度や姿勢が変化する可能性があるが、風洞実験でこれを再現することは容易ではない。特に細長形状物体では姿勢が空力特性に大きく関連する。

そこで本研究では飛行する細長形状物体の空力特性が姿勢変化に与える影響を明らかにすることを目的とする。そのためにヤリの軌道データからヤりに作用する流体力とトルクを推定する。そして流体力が姿勢変化に与える影響について考察する。

2. 流体力とトルクの推定

安田らにより測定されたやり投げのヤリの2次元軌道データより、各時刻におけるヤリの先端、重心および後端の3点の位置データが得られている[1]。

2.1. ヤりに垂直な力

飛行状態のヤりに働く力を Fig. 1 に示す。飛行時のヤリには流体力として抵抗 D と揚力 L が作用する。ヤリの飛行方向を x 軸、鉛直上向きを z 軸とする。ここで F は抵抗と揚力の合力、 m はヤリの質量、 g は重力加速度である。そしてヤリが水平方向となす角 θ を姿勢角という。迎え角 α はヤリの進行方向に対する傾き角を表している。

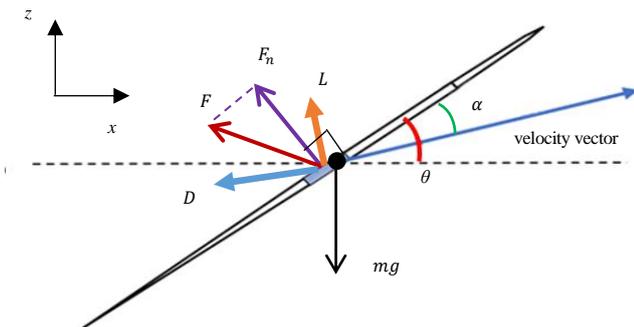


Fig. 1 Javelin in flight

ヤリは設計上、抵抗と揚力の作用する風圧中心の位置と重心位置が一致しない[2]。この位置の違いから流体力により重心まわりのトルクが発生する。そのため、トルクにかかわる力としてヤリの長軸方向に垂直な力を調査する。

ヤリの重心軌道からその位置を最小二乗近似することで抵抗 D と揚力 L を推定する。そして式(1)からヤリの長軸方向に垂直な力 F_n が求まる。

$$F_n = D \sin(\alpha) + L \cos(\alpha) \quad (1)$$

2.2. トルクの推定

ヤリの飛行時の姿勢変化を明らかにするために角加速度の推定法を検討した。その結果、姿勢角 θ を時間の3次関数として補間する方法が適していることから、この方法を用いて重心まわりの角速度と角加速度の推定をした。推定した角加速度を $\ddot{\theta}$ とするとトルク N は次式より求まる。

$$N = \ddot{\theta} I \quad (2)$$

ここで、 I はヤリ重心まわりの慣性モーメントである。

3. 推定結果

推定したヤリの長軸方向に垂直な力 F_n とトルク N の関係を Fig. 2 に示す。横軸にトルク N 、縦軸に F_n をとっている。ここでは時間の経過に伴い右から左へ変化している。

結果より、 F_n が増加するとともにトルクが減少し、 F_n が大きいときトルクは負の値で大きいことがわかる。なおトルクが負の値をとることはヤリの先端を下げる方向にトルクが発生していることを意味する。また結果より途中でトルクの正負が入れ替わることがわかる。このことから風圧中心が移動していることが考えられる。風圧中心が移動する理由として迎え角の変化が考えられる。

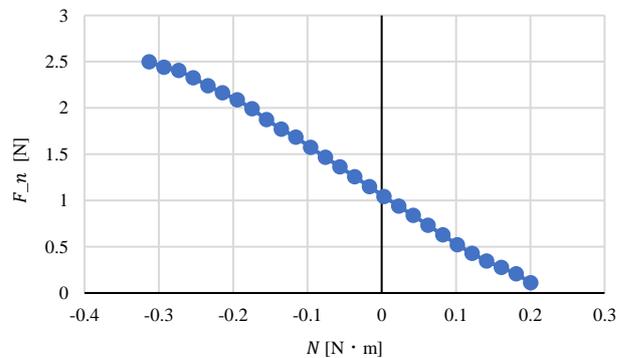


Fig. 2 Relation between F_n and N (case 3)

4. まとめ

本研究では、細長形状物体の姿勢変化に空力特性がおおよぼ影響を明らかにするためにヤリの飛行軌道の2次元データを用いて飛行時の流体力とトルクを推定し、その関連について調べた。そしてトルクの正負が反転することから、風圧中心が移動する可能性を示した。

参考文献

- [1] 安田萌：やり投げにおけるヤリの力学的解析，茨城大学大学院教育学研究科修士論文，2017
- [2] Borgström, A. : The development of the javelin, IAAF, New Studies in Athletics, No. 3, pp. 25-28, 2000