

羽ばたき翼に関する研究

1. 諸言

近年、飛行移動は障害物のない空中を目的地まで直接移動できることから長距離の高速かつ高効率での移動手段として用いられている。現在、人間が使用する航空機はジェット機等の固定翼機とヘリや VTOL 等の回転翼機に分類される。だが羽ばたきを用いた移動用航空機は未だ確立できていない。鳥類や昆虫類が行う羽ばたき飛行は旋回能力や空中での自由度が高く、墜落の恐れも低いため、はばたき翼を用いた航空機の開発が行えれば今後の飛行技術にさらなる広がりをもたらすことが可能だと考えている。羽ばたきに関する研究では数値流体解析や直接揚力を計測した事例は多いが、本研究では翼を羽ばたかせた際の翼の表面圧力を計測し羽ばたき翼の揚力について分析する。

2. 羽ばたき翼について

2.1 鳥類の羽ばたきの運動要素

鳥類の羽ばたきはフラッピング、フェザリング、リードラグの3つの運動要素が合わさって複雑な羽ばたき運動を実現している。本研究では羽ばたきのもっとも基本的は動きである翼の上下の動き(以下上下運動と呼ぶ)に着目する。

2.2 ストローハル数

羽ばたきを行うにあたり、無次元の振動数であるストローハル数 St を考慮する必要がある。これは翼の振動数と翼弦長、風速の関係性を示す数値である。本研究ではストローハル数を基に羽ばたきを分類し実験を行う。

3. 実験

3.1 実験概要

一定の風速を吹かせた風洞内で風速方向と垂直に圧力孔付の翼を上下運動させた際の翼表面の圧力を差圧計 (Scanivalve DSA3217/16PX) で計測する。

3.2 実験環境

実験環境についてはストローハル数の一致や装置の強度の観点から、風速 4~9m/s、翼の振動数 0~1.5Hz で行う。今回は翼弦長を 0.33m の翼を用い、ストローハル数を 0.04~0.07 とし、ハトなどの比較的小型の鳥類を想定して実験を行う。

3.3 実験装置の構成

圧力孔付の翼(翼型 NACA64A210)を自作のスライドクランク機構を用いた上下運動装置に設置し実験を行う。装置全体図を図 1 に示す。

(1) 上下運動装置

振動中に翼がたわまないように翼の両端に同じスライドクランク機構を接続した。動力にはステッピングモータ (TKT268D28A) を使い、クランク部分にはアクリル素材(厚さ 10mm)のものを使う。鉄心を 2 本用いて上下運動する際の迎角のブレをなくす構造となっている。

(2) 圧力孔付翼

アルミパイプのスパーを 2 本用いた翼を用いる。圧力計測の位置は図 3 に示す 15 カ所で行った。

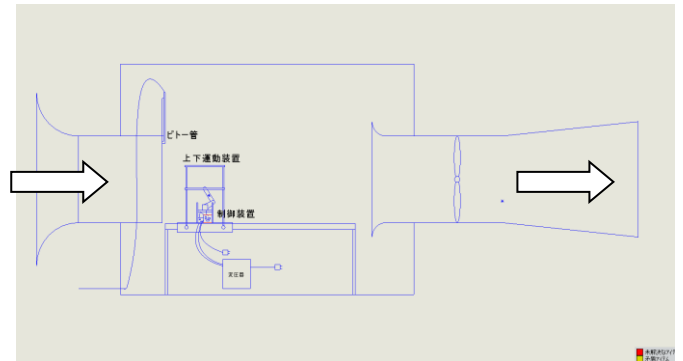


Fig.1 Overall view of experimental apparatus

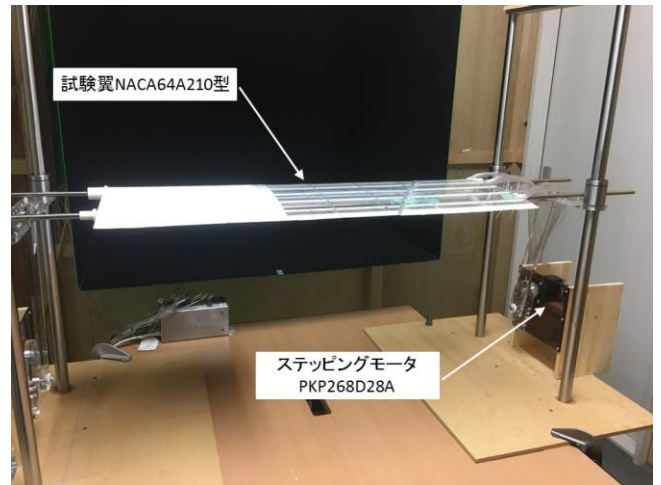


Fig.2 Equipment for heaving

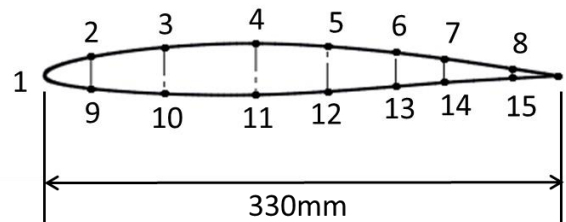


Fig.3 Measurement position on surface

4. 実験結果

揚力について考えるため、今回の実験で行った翼の振動数 1.0Hz 風速 8m/s の環境下での翼の上面と下面の鉛直関係にある 2 点の圧力差(下面圧力-上面圧力)を示した圧力を図 4 へ示す。ほとんどのデータから圧力が周期的に波形に近い曲線を描いていることが確認できる。前縁に近い部分では圧力差は顕著に表れているが、後縁に近いほど波形状ではなくなり、圧力差がほとんどなくなることが分かる。計測部 2 と 9 では全体的に大きな負の値をとっているが、それ以外の計測位置ではおおよそ正の値をとっていることが読み取れる。

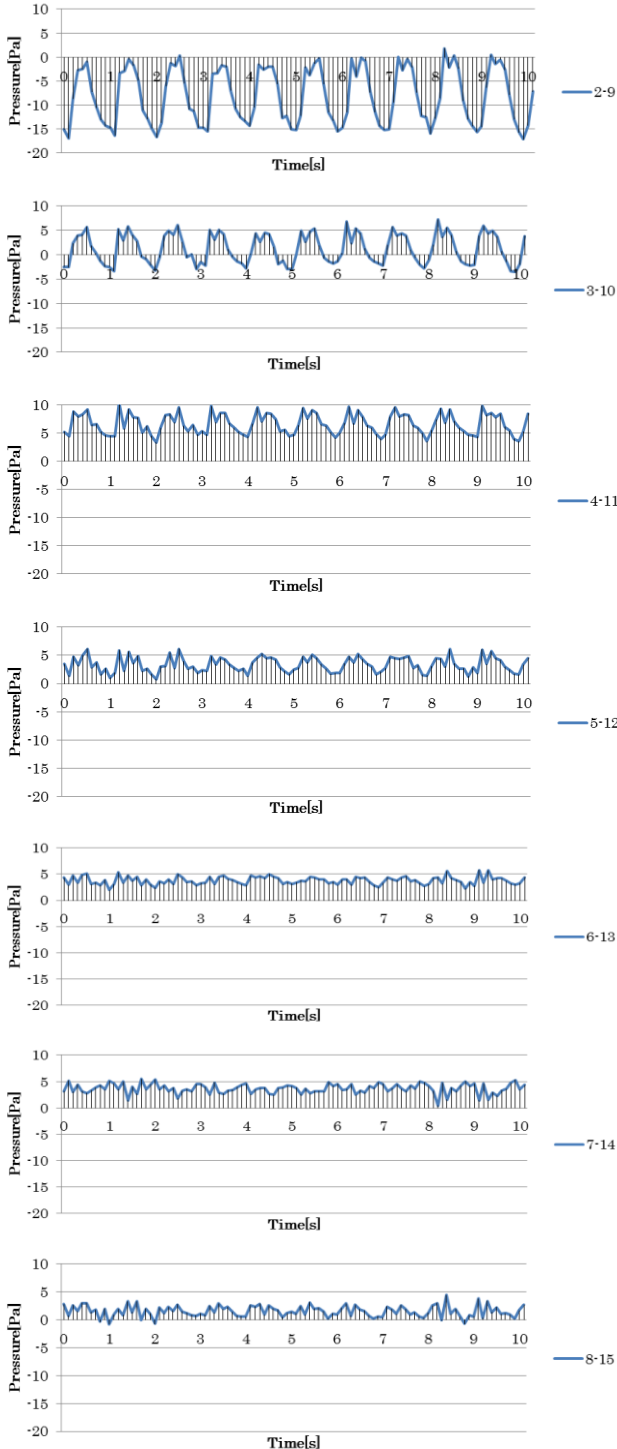


Fig.4 Fluctuation pressure difference on wing surface

5. 考察

各圧力孔の圧力値から翼型を羽ばたかせた際にかかる揚力を考える。図 4 の圧力差の値は下面引く上面なので、正の値をとってれば揚力として翼に働いているといえる。前縁付近では周期的に揚力が負の値をとっているが、計測部 4 部分から後縁にかけて翼の羽ばたきの周期に関係なく常に正の揚力を示していることが確認できた。

図5に示すのは各計測部での圧力差を積分し、翼全体の上面と下面の圧力差から揚力変動グラフにしたものである。また図6は翼の無振動下で風速8m/sを計測したものである。

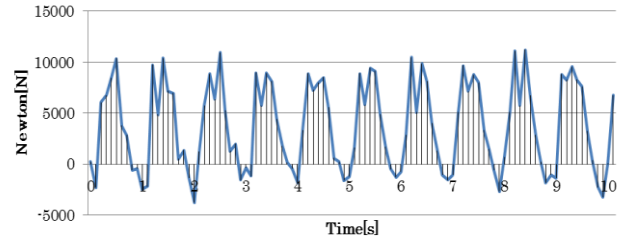


Fig.5 Lift fluctuation(1.0Hz 8m/s)

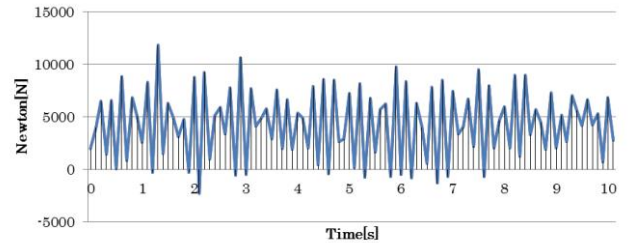


Fig.6 Lift fluctuation(0Hz 8m/s)

図 6 より無振動下では風の乱れによる揚力の乱れが大きい。比べて 1.0Hz 下では比較的乱れの小さい、大きな揚力が発生していることが分かる。この比較によって羽ばたきには迎角無しでも大きな揚力を生み出す可能性があることが得られた。これは翼を上下に運動させることで、風速に対して相対的に迎角が生み出されていることから推測される。

6. 結言

上記の結果より、図 5 の揚力平均値が 3751[N]、図 6 の揚力平均値は 4382[N]となり、今回の実験では、羽ばたきより固定翼の方が効率よく揚力を生み出すことが可能だということが分かった。

翼形状や運動の速度差を工夫すれば更なる高効率な揚力が生み出せると推測することができる結果となった。他の羽ばたきの要素も取り入れ、翼の 3 次元運動においてはどうかを検証すればより羽ばたきに対する理解が深まると考えている。また今回は固定翼機用の翼型を用いたが、鳥類の翼型形状の観点でも検証する必要があるように思われる。今後の課題としては様々な環境下での実験比較を行っていく必要があると考えられる。