

# 正弦関数的に振動する平板周りの流れ

田中 智絵 (指導教員：河村 哲也)

## 1 はじめに

流体力学の分野では、一般に前縁が曲線的で後縁が鋭くとがった翼型を用いる研究が数多くなされている。しかし、昆虫の翅や帆など、翼型断面でない形状で揚力を得る物体もあり、それらのような物体の流れ場の中での振舞いを調べることに有用性を感じた。そこで本研究では、平板にモデル化した翼に羽ばたく動きを与えることにより、平板に働く力や平板の周りの流れ場などを検証した。

## 2 モデル化・格子生成

縦横の比 1 : 2 の平板を用い、1 辺を軸とした回転運動を与える。(図 2.1) 回転角を正弦関数的に変化させることにより羽ばたきを表現した。視点 A から見ると、回転角  $0^\circ$  の時 となる迎角で一様な流れを与えている。(図 2.3)

流れ方向の平板の長さを 1 とし、流れ方向に 13、平板の幅方向に 15、高さ方向に 13 の比の計算領域を用いた。平板の周りが細かい不等間隔格子を用いた。(図 2.2) 視点 B から見ると、格子は平板の回転運動とともに変化する移動格子である。(図 2.4)

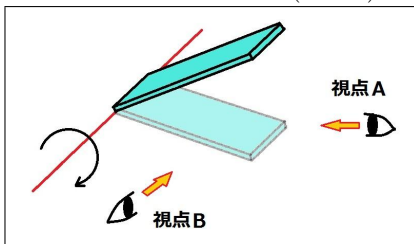


図 2.1

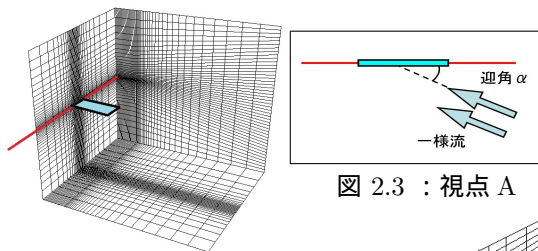


図 2.3 : 視点 A

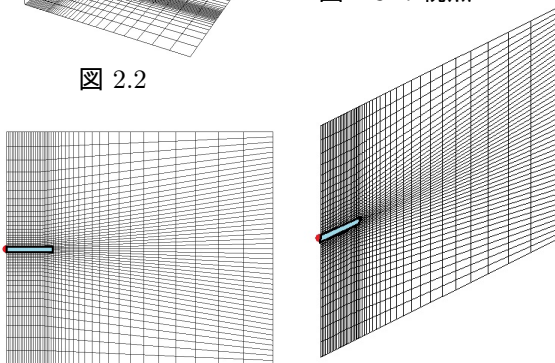


図 2.4 : 視点 B 移動格子

## 3 計算方法

大気の流れは非圧縮性流体とみなせるので、連続の式 (1) と、運動方程式として非圧縮性 Navier-Stokes 方程式 (2) を利用する。

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla) V = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta V \quad (2)$$

$V$  : 速度  $t$  : 時間  $p$  : 圧力  $Re$  : レイノルズ数

これらの方程式を時間変化する一般座標系で表現し、フラクショナルステップ法を用いて解いた。解く過程で求められる圧力を用い、式 (3)、(4) により平板が受ける揚力の計算を行う。

$$F = \int_{\text{平板全体}} (P_L - P_U) dS \simeq \sum_i (P_{L_i} - P_{U_i}) \Delta S_i \quad (3)$$

$$L = F \cos \theta \quad (4)$$

$F$  : 平板が圧力によって受ける力

$i$  : 平板上の格子番号

$P_L$  : 平板の下面の圧力  $P_U$  : 平板の上面の圧力

$\Delta S$  : 平板上の格子の面積  $L$  : 揚力  $\theta$  : 平板の回転角

また、翼の形状や迎角によって変わる揚力係数も式 (5) により求めた。

$$C_L = \frac{\bar{L}}{0.5 \rho W^2 S} \quad (5)$$

$C_L$  : 揚力係数  $\bar{L}$  : 揚力の時間平均値  $\rho$  : 密度

$W$  : 平板の代表速度  $S$  : 平板の面積

## 4 計算結果

### 4.1 流れ場の速度による揚力の変化

平板の回転角  $\theta$  を  $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$  の間で変化させて計算結果を得た。迎角  $= 20^\circ$  の流れ場の中において計算した。図 4.1 より、平板が上から下へ振動するときに揚力を得て、周期的に変化している様子が確認できる。流れ場の速度  $U=0$  としたときの結果より、流れ場を与えなくても平板の振動の影響だけで揚力が変化することがわかる。また、図 4.2 で示した、揚力の時間平均値のグラフより、流れ場の速度が大きくなるほど揚力も大きくなるのが確認できる。

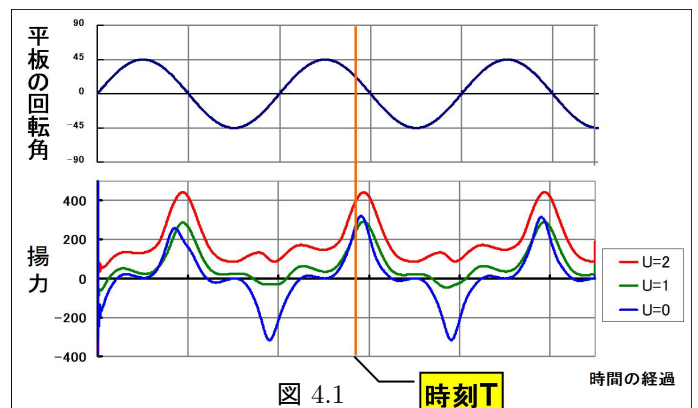


図 4.1

時刻 T

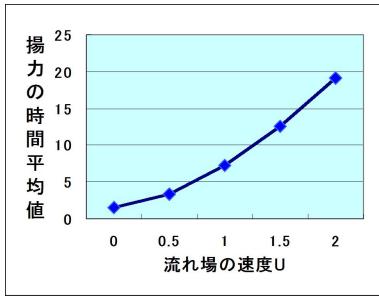


図 4.2

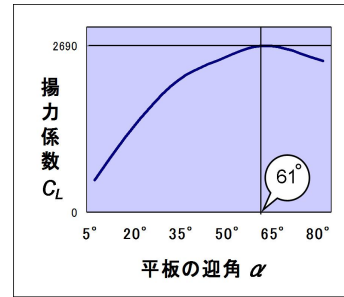


図 4.11

図 4.1 の時刻 T での平板面の圧力分布を図 4.3 から 4.8 に示す．視点 B からの様子である．平板が上から下へ回転することで，平板の下面では圧力が相対的に高く，上面では低くなっている様子が見られる．また，流れ場の速度により圧力分布に違いが見られる．

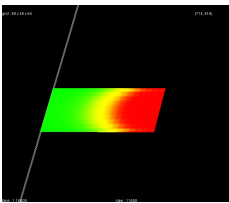


図 4.3 :U=0 下面

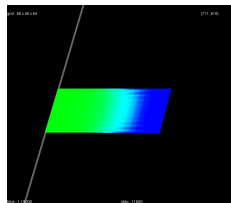


図 4.4 :U=0 上面

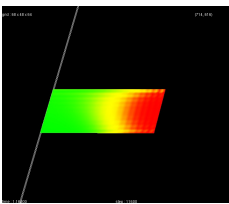


図 4.5 :U=1 下面

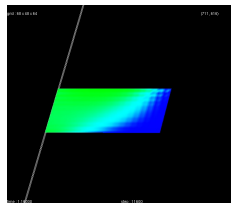


図 4.6 :U=1 上面

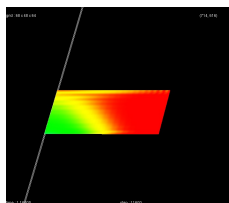


図 4.7 :U=2 下面

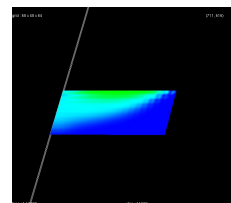


図 4.8 :U=2 上面

図 4.9, 4.10 は同じく時刻 T での，視点 A から見た平板周りの速度ベクトルである．平板の振動や流れ場の速さの影響が確認できる．

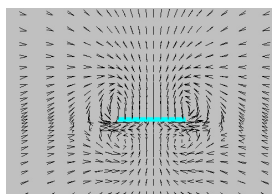


図 4.9 :U=0 視点 A

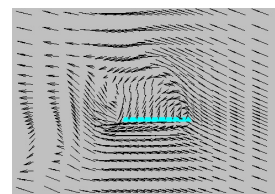


図 4.10 :U=1 視点 A

#### 4.2 迎角による揚力係数の変化

迎角を  $5^\circ$  から  $80^\circ$  まで  $5^\circ$  毎に変化させて揚力係数の計算を行った．揚力係数の最大値付近では  $1^\circ$  毎に迎角を変化させて計算した．流れ場の速度  $U=1$ ，密度  $\rho=1$  として計算した． $\alpha=61^\circ$  で揚力係数は最大値をとりそれ以降減少する結果となった．(図 4.11)

#### 4.3 平板の回転角の変域による揚力の変化

回転角の変域を変えた場合で揚力に影響が出るか，次の状況における計算を行った．迎角は  $20^\circ$ ， $U=1$  として計算している．

- case1.  $-60^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$
- case2.  $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$  (4.1 と同じ状況)
- case3.  $-30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$

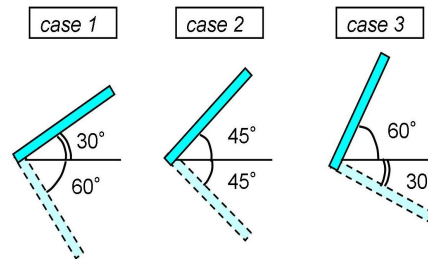


図 4.12 :視点 B

case1 で揚力の時間平均値が一番大きくなる結果となった．(図 4.13)

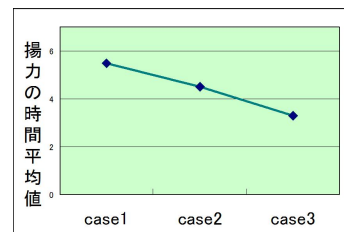


図 4.13

### 5 まとめと今後の課題

本研究では，平板に羽ばたきの動きを与えた場合，翼型断面と似ている結果が得られることがわかった．しかし，揚力の計算を行っただけでは実際に飛ぶことができていないかを判断するには足りない．今後は平板に働く力をさらに詳しく調べ，翼型断面の翼と受ける力の違いについて考えていきたい．平板の形の違い，羽ばたき方の違いが，平板周りの流れ場や平板に働く力にどのような影響を与えるのか考察を深めたい．

#### 参考文献

- [1] 安藤常世，“工学基礎 流体の力学”，ISBN4-563-03411-8，培風館，1984．
- [2] 河村哲也，“数値シミュレーション入門”，ISBN4-7819-1134-X，サイエンス社，2006．
- [3] 西山哲男，“翼型流れ学”，ISBN4-526-04224-2，日刊工業新聞社，1998．