

# 慣性力を考慮した弾性変形を伴う羽ばたき翼の解析

## The Effects of Inertia on Flow field around a Flapping wing with Elastic deformation

山口 学, 電通大院, 調布市調布ヶ丘 1-5-1, E-mail:yama-m@kuroda.mce.uec.ac.jp  
 田中 太, (有)フルイドテクノロジー, 調布市布田 1-43-3-303, E-mail:tanaka-f@fluid.co.jp  
 黒田成昭, 電通大, 調布市調布ヶ丘 1-5-1, E-mail:kuroda@mce.uec.ac.jp  
 Manabu Yamaguchi, Univ. of Electro-Communications, Chofugaoka1-5-1, Chofu, Tokyo,182-0021 Japan  
 Futoshi Tanaka, Fluid Technology Co. Inc., Huda1-43-3-303, Chofu, Tokyo,182-0024 Japan  
 Shigeaki Kuroda, Univ. of Electro-Communications, Chofugaoka1-5-1, Chofu, Tokyo,182-0021 Japan

In this paper the thrust generation and the efficiency of flapping wing with elastic deformation by fluid force and inertial force are investigated numerically. The Navier-Stokes equation and the equation of elastic deformation are combined by using the Newton-Raphson method. The calculations of flow field and elastic deformation are carried out simultaneously. As a result of taking mass into consideration effective pitching angle was increased by inertial force. It has a great influence both on the thrust generation and the efficiency of flapping elastic wing when there is a large difference between the density of wing and that of the fluid. It was found that the inertial force makes a contribution to the thrust generation under the computational conditions used in this study.

### 1、緒言

本研究では翼の運動により発生する流体力と共に翼自身の質量・運動加速度から発生する慣性力を考慮し弾性変形させた平板翼を解析対象とした。解析結果より慣性力が推力及び効率にどのような影響・役割を果たしているのかを数値的に調べた。

### 2、計算方法・条件

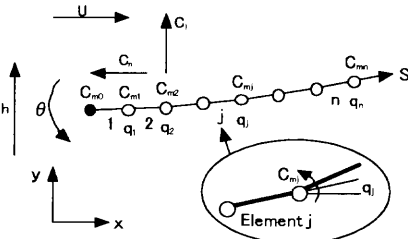


Fig. 1 Schematic of elastic wing

Fig. 1に羽ばたき翼の計算モデルを示す。

流体力により境界に弾性変形する場合の計算では、弾性変形と流れ場は相互関係が強いため従来方法では計算が困難である。本論文では田中ら<sup>1)</sup>の提案した弾性変形に関連する流体力に着目し Newton-Raphson 法により N-S 方程式と弾性変形の方程式を同時に解く方法を用いた。

平板の前縁部を式(1), (2)により運動させ位相差により 2つの運動の関係进行操作している。

$$\text{ピッチング運動: } \theta = \theta_0 \sin(2\pi ScT) \quad (1)$$

$$\text{ヒービング運動: } h = h_0 \sin(2\pi ScT + \phi) \quad (2)$$

弾性変形は翼の前縁を原点とする羽ばたき運動に沿った座標系 ( $\xi - \eta$ ) を用いて計算する。各要素端での流体力・羽ばたき運動により発生するモーメント分布  $C_m(s)$  から、式(3)に示す時間項を含んだ梁の振動方程式を用いて変位 (たわみ角) 分布  $q(s)$  を求めた。

$$EI \frac{\partial^4 \eta}{\partial \xi^4} + \mu \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 C_m(s)}{\partial \xi^2} \quad (3)$$

EI: 曲げ剛性  $\mu$ : 線密度

計算は一様流  $U$  を代表速度、翼弦長を代表長さとした無次元化をした上で行ないレイノルズ数は  $Re=100$  で固定した。

### 3、計算結果

Fig. 2に推力と実効ピッチング角の時間波形を、Fig. 3, 4に翼の線密度と周期平均推力・効率の関係を示す。用いた振動数  $Sc=1.0$  ではFig. 2の横軸である  $9.0 \sim 10.0$  において1周期分となる。使用した位相差は  $\phi=+90^\circ$ 、ヒービング量は  $h_0=0.2$ 、ピッチング角  $\theta_0=0^\circ$ 、曲げ剛性は  $EI=150$  とした。

実効ピッチング角とは弾性翼の前縁と後縁を結ぶ線の水平軸からの角度をさす。

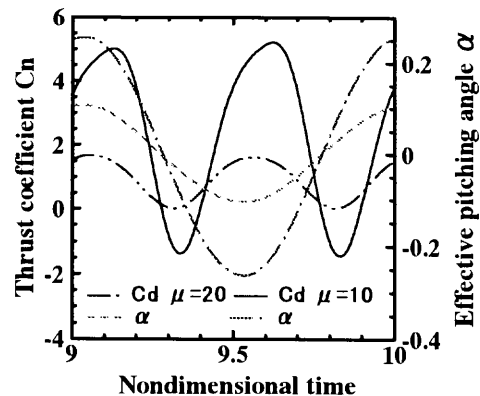


Fig. 2 Waveform of  $C_n$ , Effective pitching angle

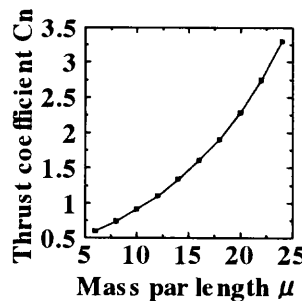


Fig. 3 Thrust coefficient

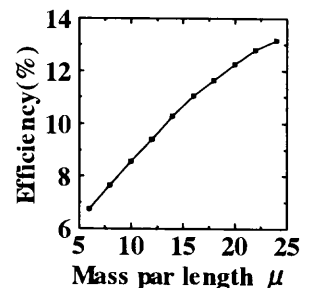


Fig. 4 Efficiency

Fig. 2に示すように線密度の増加により慣性力が増加するため実効ピッチング角が増加する。その結果Fig. 3, 4に示すように周期平均の推力・効率が向上する。

### 参考文献

- 1) 田中太, 黒田成昭, 機論, 66-648, B(2000), 1967-1974