

CFD による昆虫羽ばたき飛行でのレイノルズ数 Re と無次元周波数 k の影響

Numerical analysis of the influences of the Reynolds numbers Re and the reduced frequency parameters k in an insect flapping flight.

- 青野 光, 千葉大学大学院, 千葉市稲毛区弥生町 1-33, hikaru@graduate.chiba-u.jp
 劉 浩, 千葉大学, 科学技術振興機構, 千葉市稲毛区弥生町 1-33, hliu@faculty.chiba-u.jp
 Hikaru Aono, Chiba university, Chiba, Inage-ku, Yayoi-cho, 1-33
 Hao Liu, Chiba university, Chiba, Inage-ku, Yayoi-cho, 1-33

The unsteady aerodynamics phenomena of insect flight is induced by a lot of factors including the flight speed, wingbeat frequency, wing and body shapes as well as the motion of flapping. The present study is focused on the influence of two parameters, k (reduced frequency) and Re (Reynolds Number), on the production of lift force in flapping flight. To this end, we develop a biology-inspired dynamic flight simulator based on an in-house CFD code and a realistic insect morphology. With the simulator, we carry out computations in hovering flight for different values of the two parameters, e.g. k are 0.125, 0.193 and 0.305, Re are 140, 150 and 6000, respectively. The simulated results show that the smaller the reduced frequency parameter, the lower the lift force is produced during a beating cycle. Moreover, the surrounding wing vortex structure that is of importance in the production of lift force during a hovering flight is found to be sensitive to the variation of the Reynolds numbers.

1. 緒言

本稿は昆虫の飛行原理を解明する為に生物型飛行の力学シミュレータ⁽¹⁾を用いてレイノルズ数(Re)と無次元周波数(k)ベースによる静止飛行の力学シミュレーションを行なった結果について報告する

2. 手法および対象

本研究が対象としている昆虫は大型昆虫である、エビガラスズメ蛾、*Agrius convolvuli* LINNE である。本研究の手法は3つのモデリング(幾何学モデル、運動学モデル、力学モデル)を基にした生物型飛行の力学シミュレータ⁽¹⁾⁽²⁾による力学シミュレーションを行い、羽ばたき運動中に生じる力と流れ場の解析を行う。

3. 計算条件

昆虫飛行の流体现象を表すために重要な無次元数はレイノルズ数(Re)と無次元周波数(k)である。本研究では上記の無次元数を以下の式で定義する。

$$Re = \frac{c_m U_{ref}}{\nu} \quad \kappa = \frac{2\pi f c_m}{U_{ref}} \quad (1)(2)$$

c_m : Mean wing chord length, U_{ref} : Mean wing tip velocity

f : Wingbeat frequency, ν : Kinematic viscosity of the air

今回、レイノルズ数(Re)を6000(スズメ蛾の実際の値)と140(ハエ)の二つの値に対して、無次元周波数(k)を0.125、0.193(ハエ)、0.305(スズメ蛾)の3つについて静止飛行の力学シミュレーションを行なった。なお、計算結果は結果の周期性を確認した後の結果を示している。

4. 結果

レイノルズ数(Re)と変化無次元周波数(k)の変化による揚力係数の時間変化の比較を Fig.1 に示す。

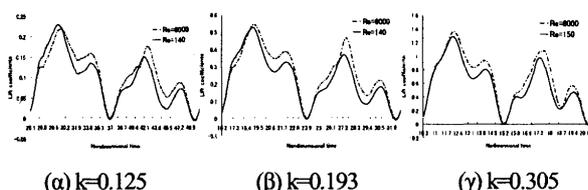


Fig.1 Re and k dependences of time course of lift coefficients during a beat cycle in hovering flight.

5. 考察

無次元周波数(k)の減少によって静止飛行羽ばたき運動中に生じる一周期平均揚力係数が減少した。羽ばたき翼周りの渦の構造を考察するとレイノルズ数(Re)の減少より前縁渦の構造が変化していることがわかる。また、低レイノルズ数でのシミュレーション結果から後縁渦がはっきりと確認できる。したがって、前縁渦と後縁渦の関係が揚力係数の時間変化に影響を及ぼしていると思われる。これらの考察から、羽ばたき翼周りの渦の構造の変化が揚力係数の変化と密接な関係になっており、加えて無次元周波数の変化も相対的な揚力係数の増減に影響を及ぼしていることが考えられる。

6. 結論

レイノルズ数(Re)と無次元周波数(k)ベースによる静止飛行の力学シミュレーションの結果、以下のことが分かった。

- ①無次元周波数(k)が減少するとともに C_L も減少していることから、昆虫は無次元周波数(k)に適した運動を行なっている可能性が高い。つまり、渦を上手く発生でき、それを巧みに利用できるような羽ばたき運動を行なっている可能性が高い。
- ②運動データを実際の蛾のデータを用いた解析結果、 $Re=6000$ 、 $k=0.305$ 時に一周期揚力係数が最大であった。さらに、揚力係数の時系列データから一度も低レイノルズ数($Re=140$)のときに高レイノルズ数($Re=6000$)を増さないことから蛾の羽ばたき運動が実際の値(Re 、 k)が最も適していることを確認できた。

謝辞

本研究は科学技術振興機構・戦略的創造研究事業「生物型飛行の力学シミュレータの構築」の一環として行われた。昆虫の蛹を提供して頂いた農業生物資源研究所の Dr. 霜田政美、実験を協力して頂いた理化学研究所研究協力員 Dr. 横田秀夫、中村佐紀子、ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 劉浩, 生物型飛行の力学シミュレータ, 化学工業, Vol.54, No.4 2003
- (2) H.Liu, K.Kawauchi, A numerical study of insect flight., Journal of Comp. Phys., (1998), 146, 124-156