

自由落下回転体の空力メカニズムの研究

酒 井 謙 二

第一工業大学 航空工学科 (〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail:k-sakai@daiichi-koudai.ac.jp

The Aerodynamic Study around the Rotating Body during the free fall

Daiichi Institute of Technology
Kenji SAKAI

The aerodynamic around the rotating body during the free fall has been studied.
The result of this study shows the mechanism of the seed's rotating motion during the free fall.
This motion mechanism is a little different from the wind mill which has the variable pitch systems.
The seeds have fix twist. This needs the first rotation which occurs by the disturbance during the free fall.
This paper shows the seeds may have the proper twist for the free fall.

Key Words: The seed's rotating motion, Aerodynamic study, Free fall, Proper twist

1. 目的

羽根つき種のように落下しながら回転することで、広い範囲に種を飛ばすものがある。一般的に風車は可変ピッチを用いることで初期回転力を得、その後はプロペラピッチを変えて最大回転力を得るようにコントロールしている。本論文では、種のように固定のピッチを持つものが、どのような空力のメカニズムで回転しながら落下するかを検討する。

2. 自由落下回転体模型と回転運動の観察

H25年度の卒業研究(参考文献(1)参照)で、図1に示す4枚羽の模型を作って、自由落下運動を観察した。

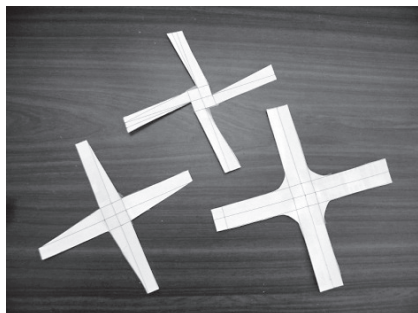


図1 4枚羽回転模型

この模型では、ブレードに一定方向に捩れを付けることで、落下し始めは回転しないが、暫らくすると回転し、落下速度が減少することが観察できた。また、回転方向は、常に羽が下向きの捩れになっている方向に回転することも観察された。

3. 空力解析

この現象を空力的に解明するために、回転翼素理論によって解析を試みた。

解析モデルとしては、4枚羽の一枚をイメージし、模型で試みたように、捩りは付け根では 0° 、ブレード端で最大捩り角(γ°)となるとし、直線的に捩り角が変化すると仮定した。

ブレードの平面形は模型とほぼ同じとし、スパン長は7cm、翼幅は2cmとした。

3.1 平板の揚力と抵抗係数の近似式

ブレード断面は平板とし、断面空力係数(揚力係数と抵抗係数)は(適当な平板の風試結果が見当たらなかったため)参考文献(2)を参考に薄翼のNACA0006の風試結果から、揚力係数は最大迎角 12° (最大揚力係数1.4)まで直線的に変化し、その後は迎角 28° まで直線的に減少し、その後は0となるとした。

また抵抗係数は迎角 28° まではNACA 0006の風試結果(参考文献(2)参照)をベースに揚力係数の二乗に比例するとし、以下の式で推算した。

$$C_D = 0.006 + 0.00781 C_L^2$$

その後は、迎角が 90° の時の抵抗係数は平板に垂直な流れがあたる時の抵抗係数1.2になる(参考文献(3)参照)と仮定して決め、そこに至る間は、垂直面の大きさをベースに以下の式で近似した。

$$C_D = 1.2 \sin(\alpha)$$

この近似は、多少の精度上の課題は残るが、今回の目的の回転体の空力メカニズムを検討するためには問題ないと判断した。

図2に揚力係数の風洞試験結果と推算式の結果との比較を示す。

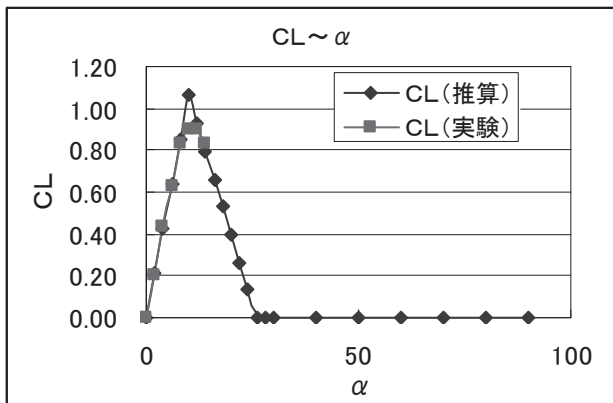


図2 平板揚力近似分布

図3に抵抗係数の実験式と近似式との比較を示す。

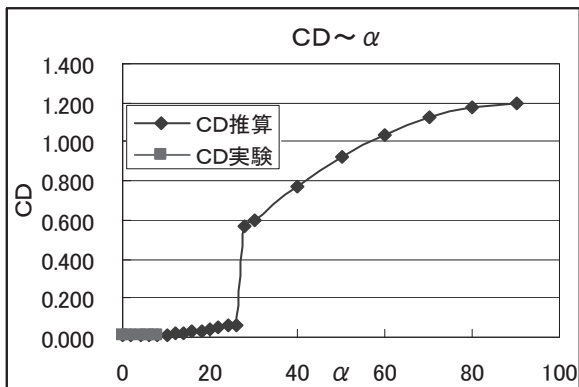


図3 平板抵抗近似特性

解析は、落下速度と回転数の両方を決めると各スパン位置での前進速度が決まり、その値から各スパン位置で有効迎角が求まる。有効迎角が求まると、それに対応する揚力係数と抵抗係数を求め

ることができる。

揚力係数と抵抗係数から、回転方向とそれに垂直な方向の分力が計算でき、スパン方向に積分することで全体の力の成分を求めることができる。

振り上げ側の平板流れモデルと、振り下げ側の平板流れモデルを、図4と図5に示す。

今回の解析では、落下速度を 1 m/s と想定した。また、ブレード端の振り角度と回転数をパラメトリックに変化させて力成分を解析した。

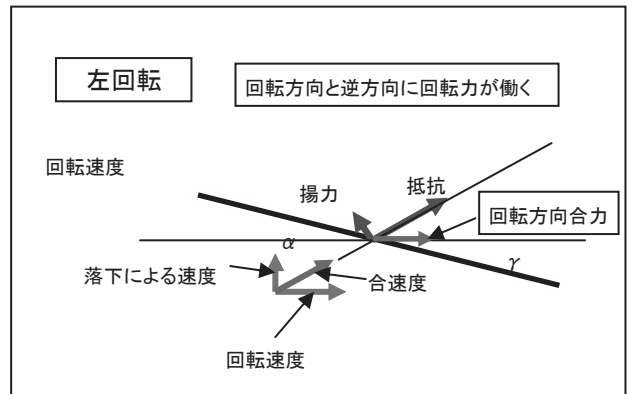


図4 振り上げ側に進行とした時の力成分

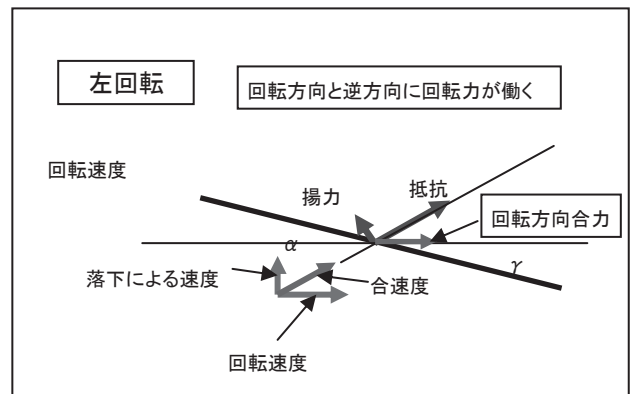


図5 振り下げ側に進行とした時の力成分

図4は振り上げ側にブレードが動くときにブレードに掛かる空気力を表す。この図から分かるように、振り上げ側にブレードが動くとき平板に大迎角が当り、失速し大きな抵抗が働く。その結果、回転方向と逆方向に回転力が発生することが分かった。

このことは、振り上げ側に初期回転を与えても、逆方向に回転することからも確認できた。

振り下げ側に5回/秒の回転するとき、ブレード端の振り角 (γ°) と回転力の計算結果を図6に示す。

この結果から、落下速度が 1 m/s とした時、約 12° 以上の振りがあれば、初期速度として回転数が5回/秒があれば回転し始めるということが分かる。

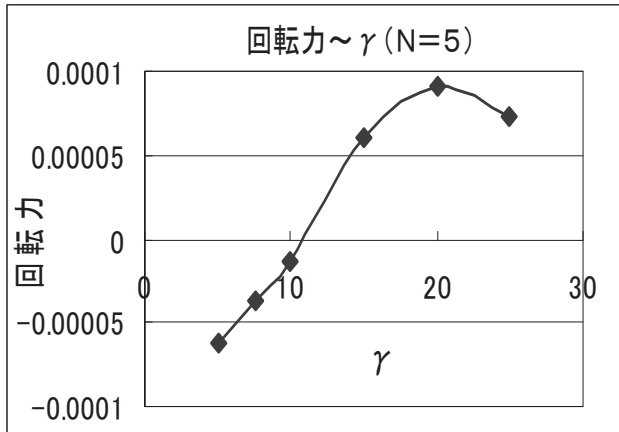


図6 回転数が5の時の振り角と回転力の関係

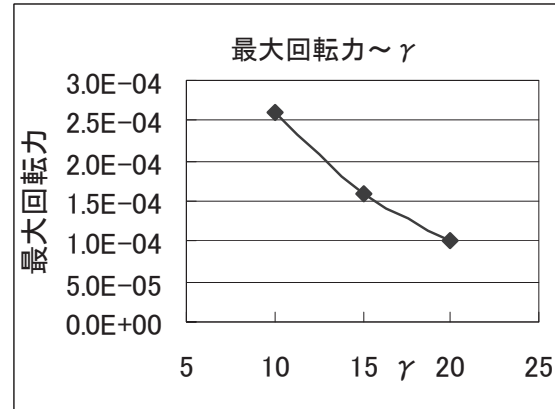


図9 最大回転力～振り角 (γ°)

次に、振り角度が 10° 、 15° 、 20° の回転数と回転力との解析結果を図7に示す。

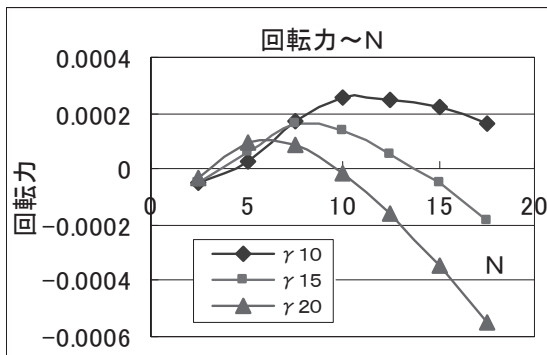


図7 回転力～N

この図から、振り角が小さいほど回転力が大きくなるのが分かる。すなわち、初期回転が与えられて、回転力を発生することができれば、振り角は小さいほうが最大回転力は大きくなるのが分かる。

同様に揚力と回転数との関係を図8に示す。

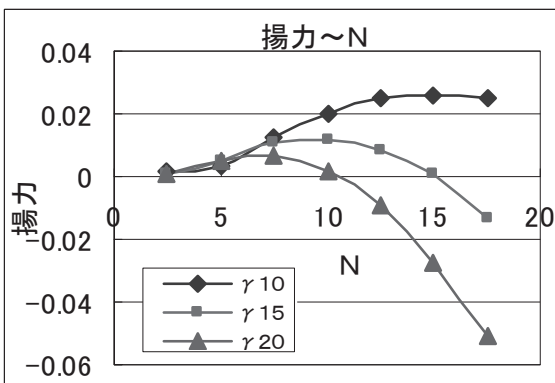


図8 揚力～N

回転力と同じ傾向を示す。最大回転力と振り角度の解析結果を図9に示す。

最大回転力は振り角度を増やすと減っていくことが分かる。

最大揚力と振り角度との関係を図10に示す。最大回転力と同様の傾向を示す。

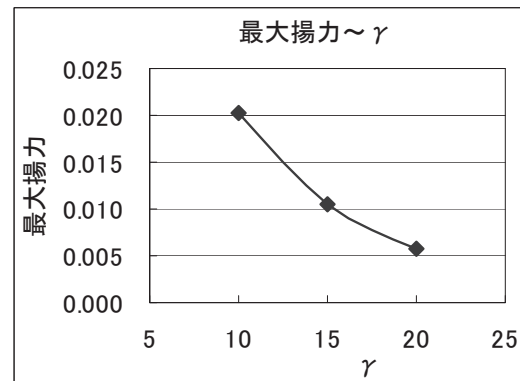


図10 最大揚力～振り角 (γ°)

4. まとめ

自由落下をする種の場合、落下する時の擾乱によって回転が得られる最低の振り角に近づいている事が想像される。

模型観察でも回転が始まるまで、少し落下して、擾乱によって回転が始まる様子が観察できている。今回の粗い解析では、おおよそ 15° 程度の振り角度が妥当な値と考えられる。

実際の模型でも、 15° 以上の振り角を付けても十分な回転は得られなかったし、 10° 以下では初期回転ができない場合も発生した。

今回の検討で、自由落下をする回転体がどのようなメカニズムで回転し始めるのか、また、自然界で得られた種の振り角度がどのように決められているのかについて興味深い結果を得ることができた。

今後は、振り角などに精度よい模型を作り、垂直風洞を使って、落下速度や回転数などの計測を行い、今回の解析の妥当性を確認したい。

5 参考文献

- (1) “回転物体模型の製作と回転メカニズム
の検討” 柴崎良太、酒井謙二
(H 2 5 年度卒業研究)
- (2) Abbott,I.H.,and von Doenhoff,
Theory of Wing Sections,
Dover,New York,1949
- (3) Hoerner,S.,-Fluid-Dynamic Drag,
published by auther,1958