

回転するスピナーの抗力に関する実験的研究

千馬 浩充*

An Experimental Study about the drag of a Rotating Spinner

by

Hiromitsu SENBA*

要 旨

飛行機の推進装置としてプロペラを用いたものがあるが、このプロペラをエンジンの回転軸に取り付ける際、取り付け軸の前方にはスピナーが装着されている。このスピナーはプロペラ前方の空気の流れを制御して、プロペラやその後方にあるエンジンの冷却効率を上げるために装着されている。

今回、プロペラに流入する空気の流れがスピナーによってどのような影響を受けるかを調べるために、ゲッチング風洞装置を使用し、スピナーとプロペラが一体となった実験模型の抗力の測定を実施した。その結果、スピナーを装着することにより、プロペラに流入する空気の乱れを抑え、プロペラ効率を上げることに一定の効果が期待できることが明らかとなった。また、スピナーを装着しない場合と比べ、抗力が減少することが明らかとなったので、本報に記す。

Key Words: 回転体、スピナー、プロペラ

1. はじめに

動力付き飛行機の開発当初は、翼やプロペラに関する理論が少なく、またエンジンの性能もよくなかったため、飛行速度の遅い航空機であった。その後、翼やプロペラの理論解析が進むと同時に、エンジン性能も向上し、プロペラ機の飛行速度は速くなっていった。飛行速度を向上させるために、飛行機の胴体形状は、より空気抵抗の少ない形へと変わっていった。この過程で、プロペラ軸部についても、プロペラに流入する気流を整流することでプロペラ効率を上昇させ、必要馬力を低下させて、空気抵抗を

軽減させる効果があるスピナーが取り付けられるようになったと考える。

スピナーのような回転体に関する研究^{1)~3)}では、流線形の物体が回転する際、その表面が滑らかで、層流状態を保つ場合は、物体が回転していない場合とほとんど差がないとされている。また、回転体の表面の凹凸によって乱流状態となる研究^{4)~5)}においては、回転体の表面の凹凸や回転速度、前方からの流体の速度の違いにより、様々な特性があることが多くの研究者によって示されている。また、これらの研究が対象としているものは、実際の航空機や弓矢の先端形状などであり、回転体の回転数が高い物体、または前方からの流体速度が速いものが対象となっている。

*崇城大学工学部宇宙航空システム工学科助教

本研究では、実際のプロペラ機を想定し、空気を整流するために取り付けられたスピナーは、プロペラと一体となって回転する回転体を対象とした。また、回転体の前方から流れてくる空気は一様流で、回転体の回転域は200 (rpm) から2000 (rpm) 程度としている。この回転域は人力飛行機のプロペラ回転数 (約150 rpm) から単発小型飛行機のエンジン回転数 (約2000 rpm) の回転域である。しかしながら、飛行速度は最大で20 (m/s) 程度を想定しているため、他の研究と比較すると、非常に低速域を対象としている。

2. 実験装置・実験模型について

実験には、崇城大学のゲッチンゲン風洞装置を用いた。スピナーとプロペラで構成される実験模型は基台によって、風洞装置内の6分力天秤に取り付けられている。実験模型前方から空気を流し、その空気力によって実験模型のプロペラとスピナーは一体となって回転する。その際、模型全体に発生する抗力を6分力天秤によって計測した。さらに、スピナー回転数は、非接触式の光学式回転計で計測した。図2-1に実験模型の概要図を示す。

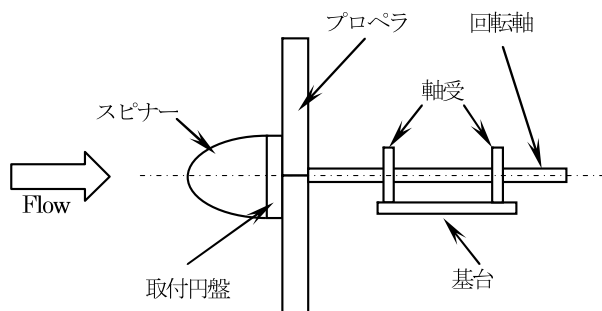


図2-1：実験模型の概要図

スピナーとプロペラは取付円盤によって回転軸と固定されている。
回転軸は軸受によって基台に取り付けられている。

実験に用いたスピナーは、直径 $d = 100 \text{ mm}$ とし、軸方向のスピナー長さ ℓ は3種類(スピナーA: 細長比 $\ell/d = 1.0$ 、スピナーB: $\ell/d = 1.5$ 、スピナーC: $\ell/d = 2.0$)とした。スピナーの断面形状は、先端部分で前方から流れてくる空気が貯気槽状態になった後、流れは滑ら

かにカーブを描きながら変化し、スピナー後端でプロペラ回転面に垂直な空気の流れとなるような楕円弧とした。

実験に用いたスピナーの断面主寸法を図2-2(1)～図2-2(3)に示す。

実験において、スピナー後方に取り付けるプロペラは、TOP FLITE 製の木製プロペラ15-10 (直径: $d_p = 381 \text{ mm}$ (15インチ)、ピッチ: 254 mm (10インチ)、ハブ部の厚さ: 20 mm) を使用した。

実験模型は、前述のスピナー3種を装着した模型と、スピナーを装着しない取付円盤のみの模型の4種類とした。

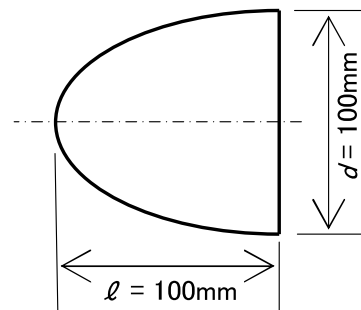


図2-2(1)：スピナーA 主寸法
細長比1.0 (直径 $d = 100 \text{ mm}$, スピナー長さ $\ell = 100 \text{ mm}$)

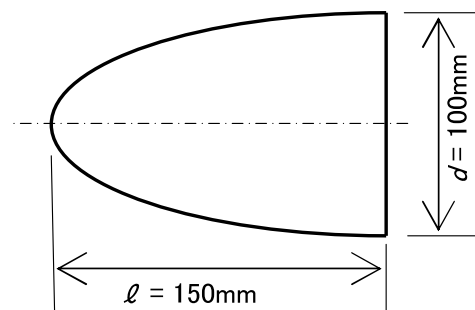


図2-2(2)：スピナーB 主寸法
細長比1.5 (直径 $d = 100 \text{ mm}$, スピナー長さ $\ell = 150 \text{ mm}$)

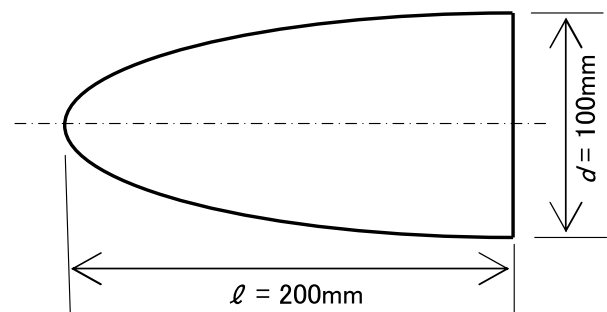


図2-2(3)：スピナーC 主寸法
細長比2.0 (直径 $d = 100 \text{ mm}$, スピナー長さ $\ell = 200 \text{ mm}$)

以上4種類の実験模型をゲッチング風洞装置に設置し、流速 V を0.0(m/s)から14(m/s)まで、2(m/s)間隔で変化させた際の模型全体の抗力と回転数を計測した。

さらに、回転軸を固定し、スピナーとプロペラが無回転状態における抗力についても計測した。

スピナーCを装着した実験模型で、流速 V が10(m/s)以上で計測した際、6分力天秤のカバーが振動し、抗力値全体の約2%の変動が発生した。計測終了後、実験模型を確認した結果、スピナー中心軸と回転軸がずれていたことが判明した。この影響により、空気の乱れが大きくなり振動したと考えられる。

3. 実験結果

図3-1は、回転軸を固定した状態における、流速 V と実験模型全体の抗力 D_0 の関係を示している。今回実施した実験の範囲においては、抗力 D_0 は流速 V の2乗に比例している。また、スピナーを装着することによって、実験模型全体の抗力の約10%程度が低減されている。

図3-2は、回転軸を固定せずに、前方から流れる空気をプロペラが受け、自由に回転する状態における、流速 V と軸の回転数の関係を示している。今回実施した実験の範囲においては、いずれの実験模型においても、回転数は流速 V の増加に対して直線的に変化している。また、すべての速度域において、スピナーを装着することにより、円盤のみに比べ約5%高い回転数となっている。これは、スピナーを装着することで、プロペラに流入する空気の流れが整流されたためと考えられる。

図3-3は、回転軸を固定しない状態における、流速 V と実験模型全体の抗力 D の関係を示している。図3-1同様、抗力 D は流速 V の2乗に比例している。流速 V が14(m/s)において、円盤のみの抗力 D は2.41(N)となり、スピナーを装着した場合よりも、約20%増加している。図3-2より、円盤のみの回転数はスピナーを装着した場合と比べ約5%低い値となっていることから、円盤のみの場合はプロペラ部へ流

入する気流の乱れが大きくなることによって抵抗が増加したと考えられる。これは、スピナーCを装着した実験模型において、流速10(m/s)以上で振動が顕著となり、それにともない模型全体の抗力 D が増加していることから推測される。軸を固定した状態での抗力 D_0 と比較すると、円盤のみの場合は約15%抗力が増加している。一方、スピナーを装着した場合は約5%増加している。

図3-4は、回転数と実験模型全体の抗力 D の関係を示している。本来であればスピナーの細長比 ℓ/d の違いによる抗力の変化の効果について示すべきであるが、今回の模型実験においては、実験模型全体の抗力 D に比べ、スピナーA(細長比 $\ell/d=1.0$)とスピナーB(細長比 $\ell/d=1.5$)の抗力の変化量は最大で約5%程度であり、明確な傾向を示すまでには至っていない。

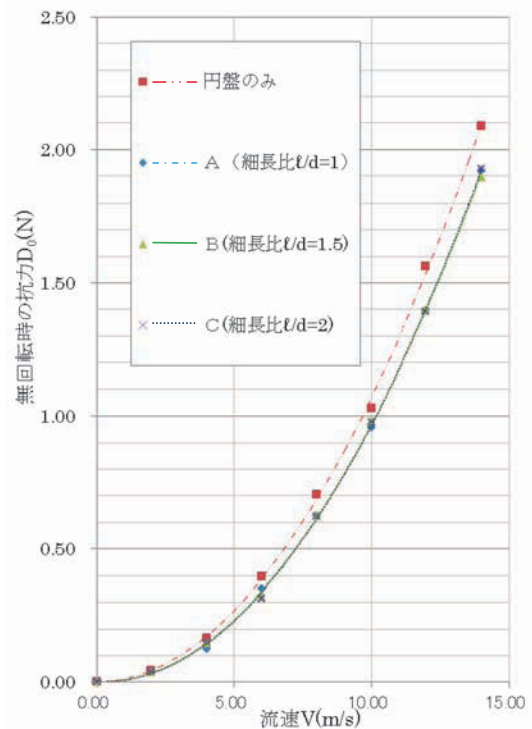
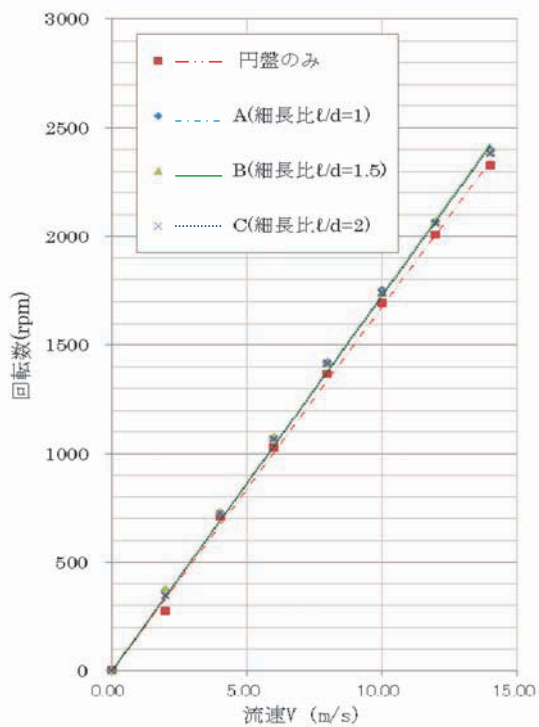
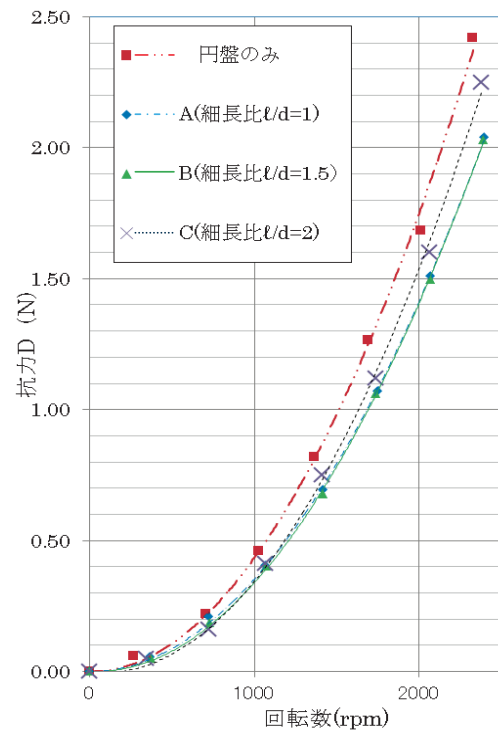
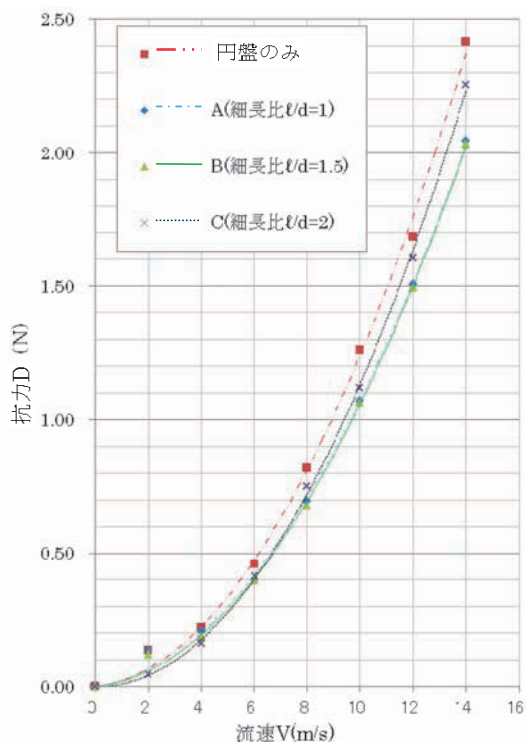


図3-1：回転軸を固定した際の流速 V と実験模型全体の抗力 D_0 の関係

図3-2：流速 V と軸の回転数の関係図3-4：軸の回転数と実験模型全体の抗力 D 図3-3：軸回転時における流速 V と実験模型全体の抗力 D の関係

4. おわりに

今回の模型実験により、プロペラ前方にスピナーを装着させることで、プロペラに流入する空気の乱れを抑え、プロペラ効率が上がることが明らかとなった。スピナー直径 d とプロペラ直径 d_p の比 (d/d_p) が3.8程度であっても、プロペラ回転数にもたらず効果は約5%程度である。しかしながら、抗力については約10%程度の低減することが明らかとなった。

今回の模型実験のみでは、未だスピナー周辺の空気の流れの様子や、最適なスピナー形状の傾向については不明な点もあり、流れの可視化や抗力測定法を変え、さらなる実験を実施する必要があると考える。

謝辞

本実験を実施するにあたり、崇城大学工学部宇宙航空システム工学科の松尾健輔教授には実験・計測方法等について助言頂きましたこと、卒業研究をおこなっている同学科4年生（西島

康孝、長濱友也、村上雄太、宮本和秀、田邊和寛および杉本明)には実験計測等でご協力頂いたことに、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小林陵二：三次元境界層の乱流遷移，日本機械学会論文集（B編）60巻527号（1994），pp. 1102-1109.
- 2) 小林陵二：回転円すい体に沿う境界層の安定性と遷移，日本機械学会論文集（B編）46巻410号（1980），pp. 1900-1906.
- 3) 大和裕幸，山本善之：一様流を回転する軸対象体上の境界層，日本造船学会秋季講演会講演集（1982），pp. 32-43.
- 4) 澤田秀夫，梅澤啓佑，横関智弘：矢の空気力学的特性，スカイスポーツシンポジウム講演集14（2008），pp. 9-14.
- 5) 鈴木一史，榊井和典，向山桂太，宮寄武，澤田秀夫：矢の空気特性，ながれ第29巻（2010），pp. 287-296.

