

技術ノート

簡易風洞を用いたヘリコプタ 外面まわりの流れ観測

Observation of Flow around Surface of Helicopter Models with Simplified Wind Tunnel

樋口 晶彦*
Akihiko HIGUCHI

白間 直人*
Naohito SHIROMA

Accompanying the increase of the transport of by helicopters, the twin engine helicopters of high safety has become to be employed more, and a company in USA remodeled the Bell 206L-3 type which flies with single engine to twin engines, We took part in this project and supported it, and carried out the wind tunnel experiments for optimizing the form of cowlings around engines aesthetically and aerodynamically when it is memodeled to twin engines.

In this paper, the Simplified wind tunnel and the models made for carrying out the experiment and the wind tunnel experiment are reported.

Keywords : Helicopter, Wind Tunnel, Gemini ST

1. まえがき

近年、日本国内のヘリコプタの登録機数は、平成2年末に1112機となっており、最近の5年間で伸び率は63%と著しく増加し、固定翼航空機の登録機数をも上回った。また、時間価値の増大に伴うヘリコプタによる通勤・輸送も、都心と空港のアクセス等に活発に用いられてきている。このように人員輸送が増加するにつれ単発機よりも安全性の高い双発機が多用されるようになった。

このような状況の中、米国トライドエアー社とソロイ社は、単発のベル式206L-3型（通称：ロングレンジャー）を双発に改造（米国名称：ジェミニST）するため、開発を進めている。当社はこの計画に参画し、技術面でも支援を行っている。

今回、双発化に伴うエンジン周辺のカウリング形状を、空力的および美観的に改良するため風洞実験を実施した。当初、研究所等の風洞を用いて実施する予定であったが、すぐに使用可能な風洞が見当たらないため、社内で簡易風洞を製作した。

本文は、簡易風洞と模型の製作および風洞実験の概略を述べるものである。

2. 簡易風洞製作^{1)~5)}

(1) 設計

簡易風洞設計にあたっての主な要求事項は、以下の4点であった。

- ① 風速が10 m/s程度であること。
- ② 閉塞比(吹出口面積に対する模型の断面積)は20%以下とすること。
- ③ 気流の観測を主な目的とすること。
- ④ 事務所内(5 m×6 m)で設置可能であること。

また、送風機には工業用扇風機(196W)を使用し、吹出型とした。

(2) 形状

風洞本体は、送風筒、拡散筒、整流筒、縮流筒、吹出筒から構成されており、断面形状は円形とした。なお、製作を容易とするために、段ボールを主体とした。

ノズル絞り比(縮流筒の入口面積/出口面積)の決定については以下のことを考慮した。

- ① ノズル絞り比が大きい方が気流の乱れが少ない。
- ② ノズル絞り比が大きい方が気流の速度分布が均一となる(注-1)。
- ③ 測定部の風速をなるべく大きくする。
- ④ 整流筒内の整流網が、整流効果を発揮するのに必要なレイノルズ数が得られること(注-2)。

*川田工業㈱航空事業部ヘリ・テクノロジーセンター整備技術課

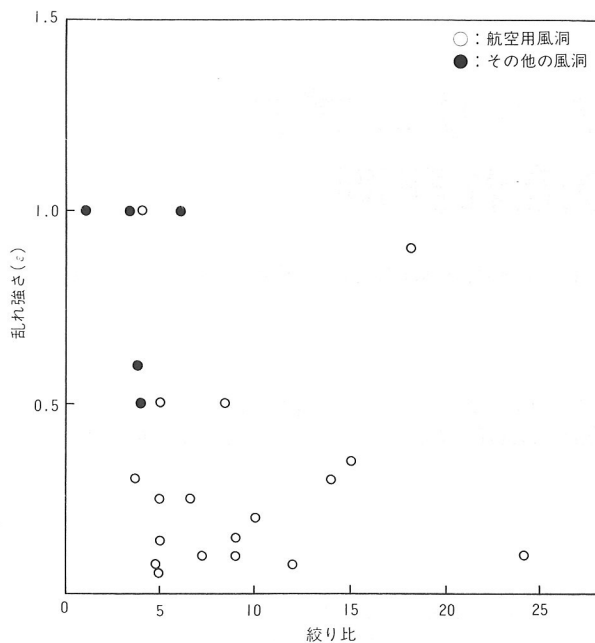


図-1 絞り比と乱れ強さの関係

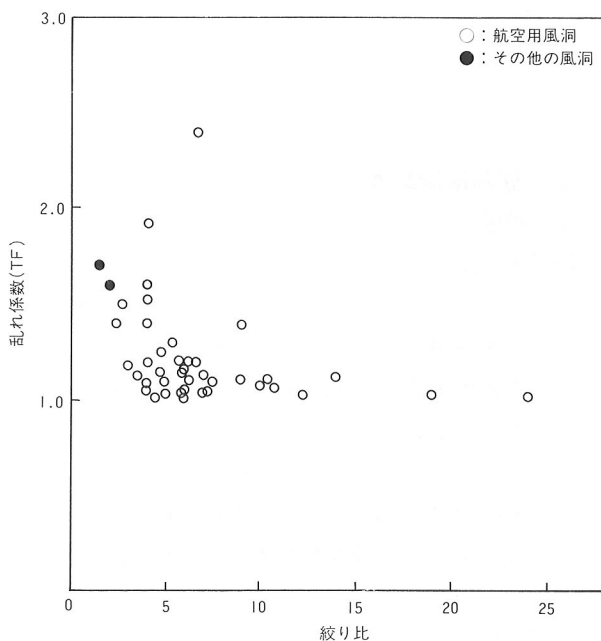


図-2 絞り比と乱れ係数の関係

⑤ 吹出口をなるべく大きくする(閉塞比の関係)。
これらのうち①～③は絞り比を大きくすると良くなるが、⑤を考慮すると吹出口を小さくできないので絞り比は小さい方がよい。④については、今回の風洞は発生する風速が小さいのであまり問題にならない。

最終的には、閉塞比は約28%となったが、図-1、図-2に示した既存の風洞の事例と風速、整流効果を考慮して、4.0の絞り比とした。

縮流筒の長さは、通常の風洞では出口直径の1.5～2.5倍が採用されている。今回は、先に述べたように事務所内での使用が要求されているので風洞本体は3 m程度

が限度であり、その点も考慮して、縮流筒は1110 mm(出口直径の約2.37倍)とした。また、縮流筒の形状は、壁面に沿う圧力分布と境界層の剥離等を考慮した曲線となるのが普通であるが、今回は製作が容易な円錐形とし、気流の剥離を防ぐために縮流筒と吹出筒との接続部分は曲面とした。

縮流筒には整流用のハニカムとメッシュ(整流網)を設置し、メッシュを後で増設することができるように考慮して整流筒の長さは400 mmとした。

整流用のハニカムには、セル形状(六角形)が正確であることと整流筒断面積に対する空間面積が大きいことからアルミ・ハニカムを使用した。セルの大きさは整流筒直径の1/50～1/100程度とされているので、セルサイズ約9.5 mm(整流筒直径の約1/98)のものを使用した。長さはセルサイズの6～8倍が必要とされているので、80 mm(約8.4倍)とした。

また、メッシュが良好な整流効果を得るためには、線径ができるだけ小さく、開口比(注-3)が0.57より大きいことが要求される。今回は、線径:0.2 mm 開口比:0.75のスチールネットを使用した。この結果、整流筒部での金網の線径を基にしたレイノルズ数は $Re \approx 17.8$ となった。

その他の筒部は風洞本体の長さの制限と製作上の都合を考慮して決定した。以上の設計により製作された簡易風洞を写真-1に示す。

(注-1)

ノズル絞り比を n とすると、吹出口の風速の不均一は縮流筒入口における風速の不均一の $1/n^2$ となる。

(注-2)

$$\text{レイノルズ数: } Re = V \cdot d / \nu$$

V : 気流の速度

d : メッシュの線径

ν : 動粘性係数

整流効果の点からいうと $Re < 40$ が望ましい。したがって、メッシュは風速が最小となる場所に設置し、メッシュの線径も小さい方がよい。

(注-3)

$$\text{開口比: } \beta = (1 - d/l)^2$$

d : メッシュの線径

l : メッシュの間隔

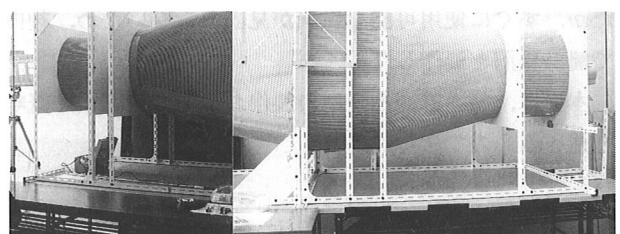


写真-1 簡易風洞

(3) 性能調節

簡易風洞の吹出口における速度分布を測定し、速度分布が平均風速の $\pm 5\%$ 以内になるように風洞を調節した。風速の測定には熱線風速計を利用し、吹出口の25点風速を測定した。なお、各計測点とも10秒間の平均風速をその計測点における風速とした。また、外気の影響を考慮して、風洞を運転していないときの吹出口における風速を自然風速として測定(窓から室内に吹き込む向きに測定)し、平均風速に自然風速を加えて補正風速とした。

以上の結果、整流部にメッシュを1つ追加して、合計メッシュ2つ、ハニカム1つとし、平均風速の $\pm 5\%$ 以内が達成された。

風速は約5.2 m/sと当初の目標(10 m/s)を大きく下回ったが、模型に貼付した気流糸の動きは判読可能であると判断してこのまま実験を実施した。

3. 模型製作

(1) 本体

模型は写真-2に示す市販のラジコン用模型を利用した。スケールは1/7である。

カウリング形状の成形には油粘土を用いるので、それらの重量を支えるとともに模型が変形するのを防ぐため、模型内部に角材を用いた支持棒を取り付けた。

模型の支持は、模型の姿勢変化を容易にするため、カメラ用の三脚を利用した。模型本体と三脚の固定は、アルミ板で模型を挟み、ボルトで固定した。

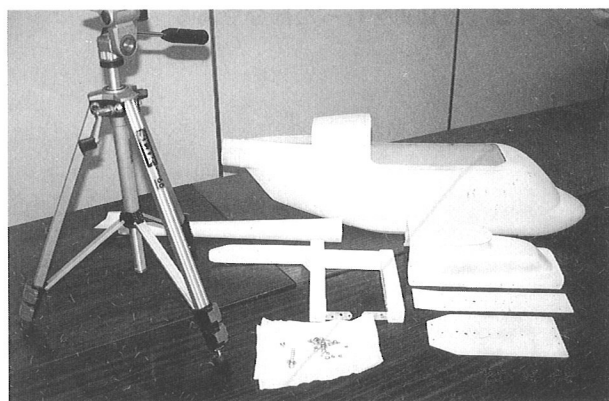


写真-2 模型本体構成部品および模型支持用三脚

(2) カウリング

カウリング部の成形はソロイ社のカウリング部の設計図面を参照して行った。

実験時に模型の姿勢を変化させることが要求されたので、姿勢変化と模型の支持を容易にするためにカウリング部の軽量化につとめた。まず、発泡スチロールで大まかなカウリング形状を成形し、さらに紙粘土で成形した。

最終的な成形には油粘土を利用した。最終成形に油粘土を利用した理由は、実験時にカウリング形状の変更を容易にするためである。写真-3にカウリング成形状況を示す。

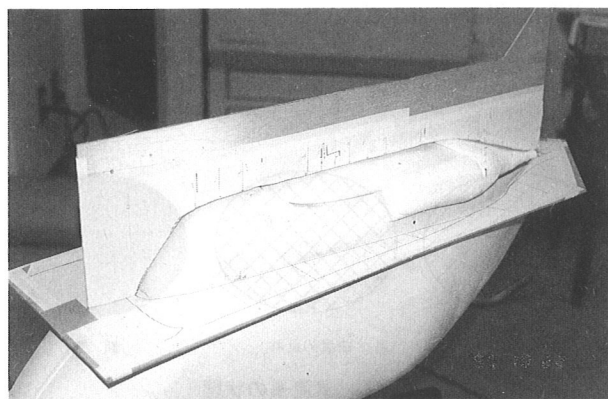


写真-3 発泡スチロールによるカウリング成形状況

(3) 塗装

模型は気流糸(黒色)とのコントラストをよくするために黄色で塗装した。

(4) 気流糸の貼付

気流の流れ具合を見るために、写真-4に示すように模型に気流糸を貼付した。

実験時に正確な反応を得るため、気流糸には燃っていない糸を利用し、模型への貼付はメンディング・テープを使用した。

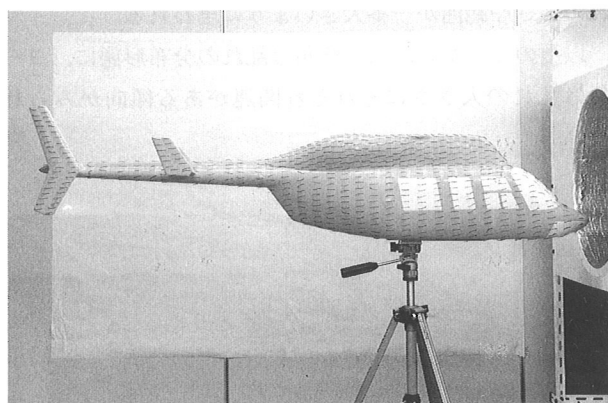


写真-4 ジェミニST模型

4. 風洞実験

(1) 実験方法

模型のカウリング部の形状を、以下の4つの形状における気流糸の状態を観察した。

- ① ロングレンジャー
- ② ジェミニST
- ③ ニューカウリングNo.1
- ④ ニューカウリングNo.2

各カウリング形状とも、ピッチ角は上下 10° および 0° 、ヨー角は左右 15° および 0° で実験を実施した。

また、観察と並行して、気流糸の状況を8mmビデオカメラで撮影した。

(2) 実験結果

実験結果の一部を写真-5～8に示す。写真では気流糸の動きの強弱を図-3に示すように3段階に分けて表した。

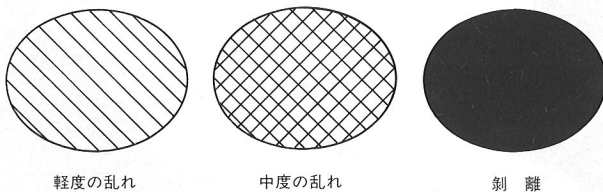


図-3 気流糸の状態

a) ロングレンジャー

カウリング前端と胴体との接する部分およびカウリング形状が大きく変化する部分で剥離が見られたほかは、カウリング部に大きな乱れは見られなかった。胴体では後部側に強い乱れが発生した。胴体後部の下端の乱れには模型支持用の三脚も影響しているように思われる。

ピッチ角を -10° にすると、ピッチ角 0° のときには見られなかった乱れがカウリング後部に発生した。ピッチ角 10° ではカウリング後部に乱れは見られず、カウリング前部に弱い乱れが発生した。ヨー角については、どのピッチ角においても、ヨー角 15° （気流の後流側）のときに乱れの強さや範囲が一番大きいように思われる。

以上のことから、ピッチ角は乱れの分布形態に、ヨー角は乱れの大きさにそれぞれ関連がある傾向がみられた。

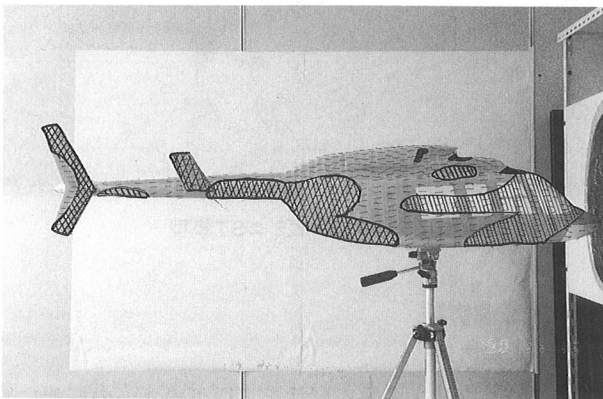


写真-5 ロングレンジャー（ピッチ角 0° 、ヨー角 0° ）

b) ジェミニST

カウリング後部にロングレンジャーでは見られなかった強い乱れが発生した。また、カウリング前部から中部

にかけての比較的広い範囲で弱い乱れが発生したのはロングレンジャーと同じである。

機体の姿勢変化に伴う乱れの特性は、おおむねロングレンジャーと同様であった。

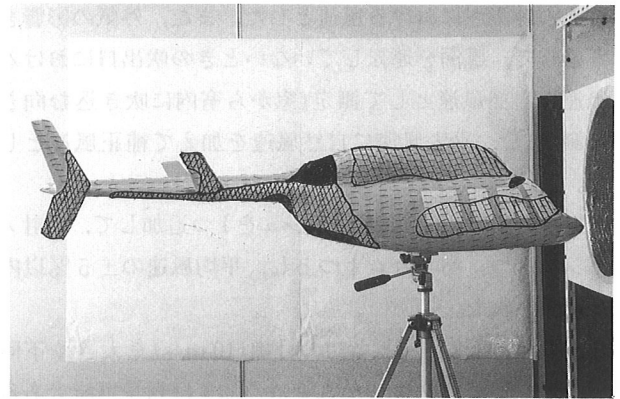


写真-6 ジェミニST（ピッチ角 0° 、ヨー角 -15° ）

c) ニューカウリングNo.1

ジェミニSTで見られたカウリング後部の乱れを減少させるために、その主な原因と考えられるカウリング形状の変更を試みた。

カウリング内部にはエンジンやオイルクーラー等の機器が設置されているため大幅な形状変更はできず、カウリング後部の凹凸をなくすことのみにとどまった。また、カウリング前端部の乱れを減少させるために、そこにも若干修正を加えた。

ニューカウリングNo.1の具体的形状については、図-4および写真-7に示す。図-4において、斜線部が粘土形成により形状の変更を行った部分である。

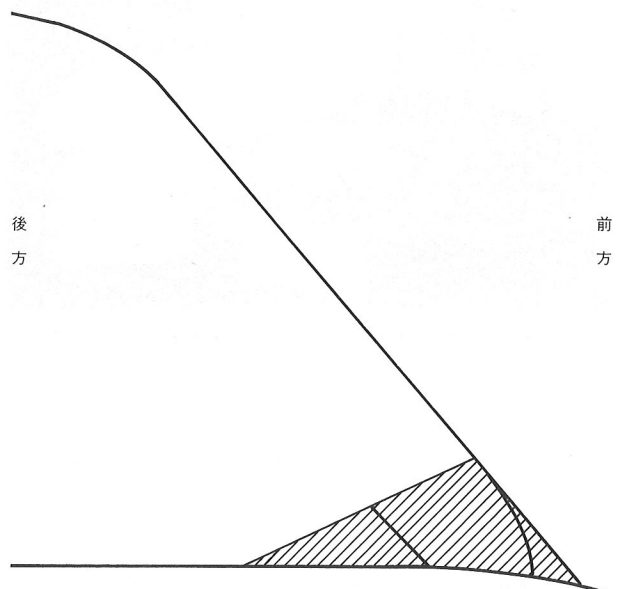


図-4 ニューカウリングNo.1 前端部拡大図

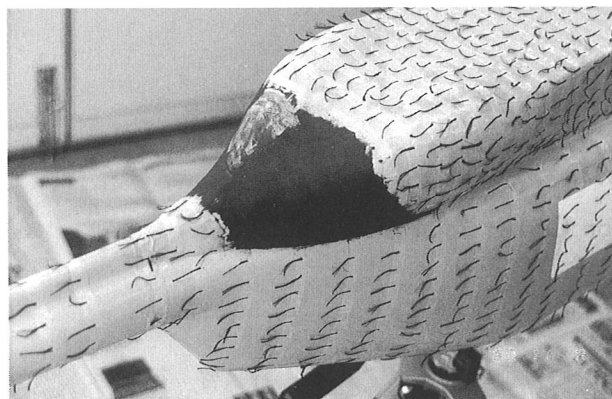


写真-7 ニューカウリングNo.1 後部

カウリング形状をニューカウリングNo.1にしたことによって、カウリング後部の気流の乱れは改善されたが、カウリング前部の乱れにはほとんど変化が見られなかった。また、乱れの分布形態や特性はジェミニSTとほぼ同じであった。

美観的にはニューカウリングNo.1の方がジェミニSTよりスマートな印象を与えるように思われる。

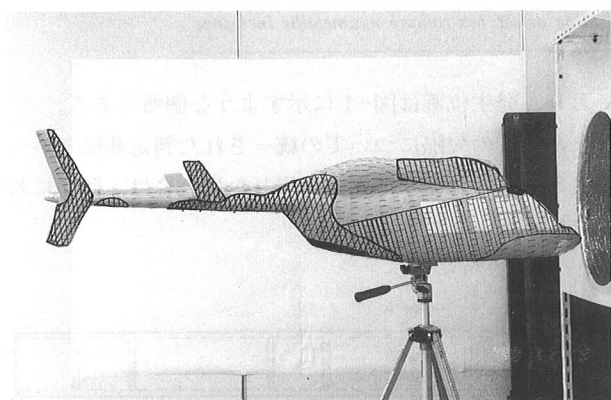


写真-8 ニューカウリングNo.2 (ピッチ角0°, ヨー角-15°)

d) ニューカウリングNo.2

ニューカウリングNo.1にさらに手を加え、カウリング中部と胴体との接する部分のくぼみをなくした。

カウリング形状をニューカウリングNo.2にしたことによって、胴体後部上側の乱れが若干改善されたが、その他の部分には特に変化はみられなかった。

5. あとがき

今回の実験結果を参考に、ソロイ社では、カウリング内部における機器の配置までも変更し、さらにカウリング形状を空力的および美観的に優れたものに改善している。また、本実験のために社内で製作した簡易風洞は、気流の流れのみを可視化するのに大変便利であり、他の実験にも使用された。

最後に、簡易風洞と模型の製作および風洞実験に当た

り、御指導いただいた東京大学名誉教授・東 昭博士に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本航空宇宙学会：18・1 風洞試験，航空宇宙工学便覧増補版。
- 2) 伊藤英覚・小林陵二：低乱風洞の設計と性能，日本機械学会誌，第89巻，第808号。
- 3) 安藤武夫・松田隆二：富士重工 2 m 低速風洞について，日本航空宇宙学会誌，第19号，第206号。
- 4) 遠藤浩：風洞概論，航空宇宙技術研究所技術資料，23号
- 5) William H. Rae, Jr・Alan Pope：Low Speed Wind Tunnel Testing, Wiley Interscience, 1984.