

風洞用高速ファンの設計事例

和田茂、大野俊仁、関沢裕明、三代川伸、川田貴之（日本飛行機）

Design of Fan Assembly for Low-Speed Wind Tunnel

Shigeru WADA, Toshihito OHNO, Hiroaki SEKIZAWA, Shin MIYOKAWA, Takayuki KAWADA (NIPPI)

概要

日本飛行機 2m φ 低速風洞の最大風速の向上を想定した、現存ファンの再設計の事例を紹介する。当社 低速風洞の風速性能を 50m/s から 70m/s に向上させるにあたり、現存ファン構造をベースとしつつ、その限界を検証しながら設計を行った。また、試作品にてブレード固有振動数計測、静強度試験、整備性確認を実施した。実運転による風速データは未だ取得出来ていないが、ファンの構造については見通しが得られた。

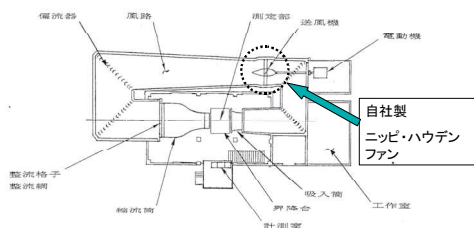
1. はじめに

日本飛行機 2m φ 低速風洞の最大風速の向上を想定した、現存ファンの再設計の事例を紹介するにあたり、まず日飛低速風洞について説明する。

図 1 に日飛低速風洞の諸元を示す。

型式は水平単回路式、測定部断面は開放型円形（直径 2m）であり、送風機形式は固定ピッチ 1 段軸流式（110kW）、最大風速は 50m/s となっている。送風機は、ファン径 3.06m、ボス比 0.33、ブレード枚数 8 枚であるが、このファンは自社製である、ニッピハウデンファンを採用している。

日飛低速風洞について



型式	: 水平単回路式	ファン径: φ 3.06m
測定部断面	: 円形(直径2m)開放型	ボス比: 0.33
送風機形式	: 固定ピッチ1段軸流式(110kW)	ブレード枚数: 8
最大風速	: 50m/s	

図 1 日飛低速風洞

ニッピハウデンファンは、オランダ・HOWDEN社のライセンス品であり、用途として、主に冷却塔や熱交換器用に設置されている。T型、E型、SX型と3種類のタイプに別れ、特にSX型は、超低騒音型として特化した製品である。ファンブレードはGFRP製であり、ファン径はφ約 1m ~ 10m を標準として

いて、これまでに 10,000 台以上の製造・販売実績がある。

2. 現状ファンの構造

現状ファンであるニッピハウデンファンの基本構造を図 2 に示す。

まず、ブレードは凹面凸面の積層型に外皮部分を積層後、強度部材であるガラステープをステム部から放射状に積層し、硬化後両面を接着して中空のブレードとして成型される。

成型されたブレードは、スチール製のハブプレートに取り付けられる。ハブプレート側のロアークランプとアップークランプにブレードのステム部を挟み込み、U ボルトで締結し固定する。このときブレードとクランプは U ボルト締付けによる摩擦力のみで固定され、遠心力やねじりモーメントの外力を負担する。

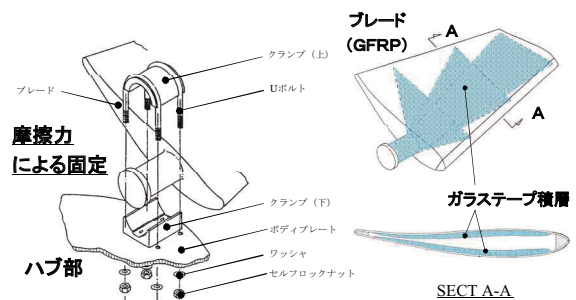


図 2 現状ファンの構造

3. 現状風洞諸元と性能向上後の想定条件

現状風洞の諸元と、性能向上後の想定条件を示す。現状風洞の性能諸元は、風速：50m/s、風量：157m³/s、静圧：502Pa、回転数：500rpm、モーター出力：110kW、ファン径：3.06m、Tip Speed：80m/sである。今回の性能向上において、風速性能を50m/sから70m/sに上げるが、ここで各値は、以下に示すファンの相似則に従う。

- D : ファン径
- N : 回転数
- Q : 風量
- P : 静圧
- dB : 騒音
- W : 出力

風量 $Q_2 = Q_1 \times (D_2 / D_1)^3 \times (N_2 / N_1)$
 静圧 $P_2 = P_1 \times (D_2 / D_1)^2 \times (N_2 / N_1)^2$
 騒音 $dB_2 = dB_1 + 70 \log(D_2 / D_1) + 50 \log(N_2 / N_1)$
 出力 $W_2 = W_1 \times (D_2 / D_1)^5 \times (N_2 / N_1)^3$

この相似則によって得られた性能向上後の想定条件を図3に示す。

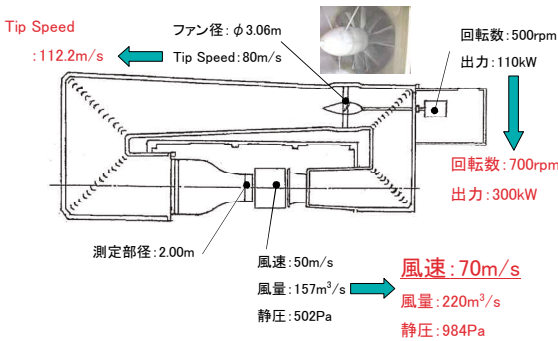


図3 性能向上後の想定条件

4. 性能向上後のファンブレード荷重の算出

更に、性能向上後の想定条件を基に、ブレード1枚に負荷される荷重を算出した。図4に示す。現状風洞のファンブレードの荷重と比較して、空気力又は空気力モーメント相当で2倍、ねじりモーメントは2倍、遠心力に至っては2.4倍に増加する。

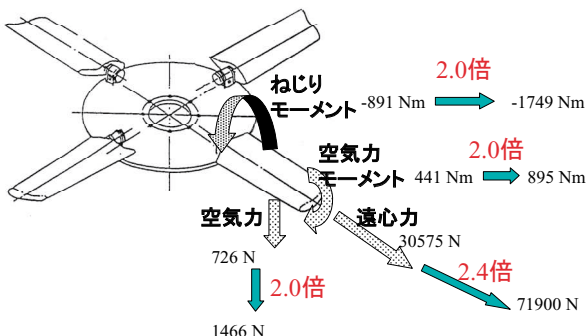


図4 性能向上後のファンブレード荷重

5. 現状ファンの限界

この荷重条件でファンを設計する場合、現状の基本構造のままでは、様々な問題が生じてくる。増加する遠心力、ねじりモーメントに対抗する為Uボルトはサイズアップまたは本数を増やし応力レベルを下げなければならないが、スペース上の制約もありブレードの固定方式そのものを見直す必要が生じる。また、高速回転に対しファンの固有振動数を確保するためにハブ部は更に高い剛性を必要とするが、現状のシングルプレートタイプでは限界が生じてくる。ブレードについても、空気力、遠心力の増加に合わせて積層数を大幅に上げる必要がある。図5に示す。

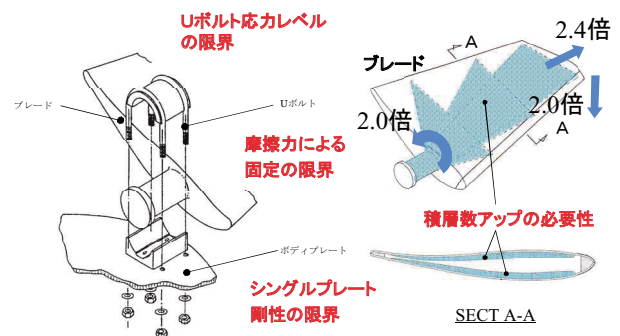


図5 現状ファンの限界

6. ファン構造の検討と結果

これらの問題点に対し、検討を重ね性能向上後の想定条件に見合ったファンを設計することができた。ブレードは重心位置に留意しつつ積層数を大幅アップした。ブレードの取付部はステム式からフランジ式とし、ストレートボルト4本で取り付ける様にした。そのフランジ部のプレートにはSUS材を採用し、ボルトは高強度品を採用した。その結果、遠心力とねじりモーメントに対し十分な強度を得ることができた。

ハブ部は高い剛性を持たせる為にダブルプレート式とし、全て溶接構造とした。ブレードピッチ角調整の為、ボルト穴を長穴とし、また上面プレートを切り欠いて、ボルト締めツールがアクセスできる様にした。図6-1にブレードとハブ部構造の検討を示す。また、図6-2に検討後のファン全体図と諸元を示す。

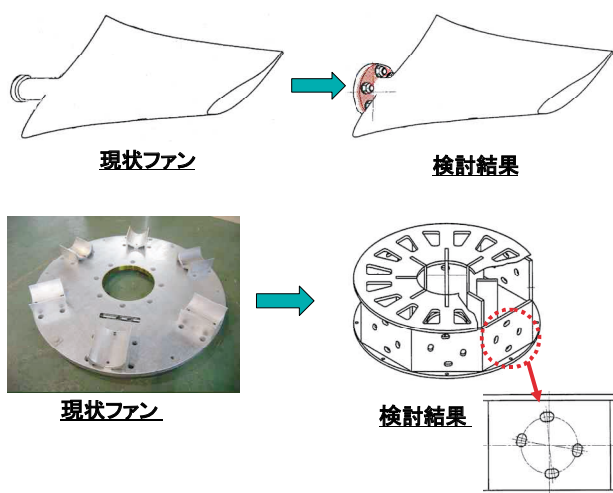


図 6-1 ファン構造の検討

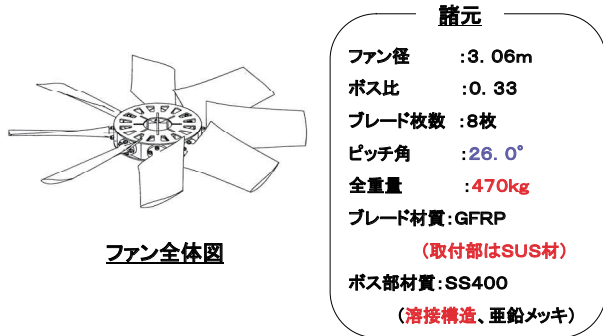


図 6-2 ファン全体図

7. 試験結果

設計を終え、ブレードとハブの試作を行い、ブレードについては、固有振動数の計測および曲げ試験を、ハブ部には実際にブレードを取り付けて、整備性の確認を行った。

固有振動数は2枚のブレードを計測した。図 7-1 に計測状況と結果を示す。要求値は、ファンの回転数から 23.3Hz 以上、計算予想値も 23.3Hz としたが、計測の結果、No.1 供試体は 32.8Hz、No.2 供試体は 32.4Hz という結果が得られた。計算モデルは、強度部材であるガラステープのみの片持ち梁とし安全側の検討を行ったが、ブレード表層部分（ガラスクロス）が予想以上に剛性に寄与し、このような結果となったと思われる。

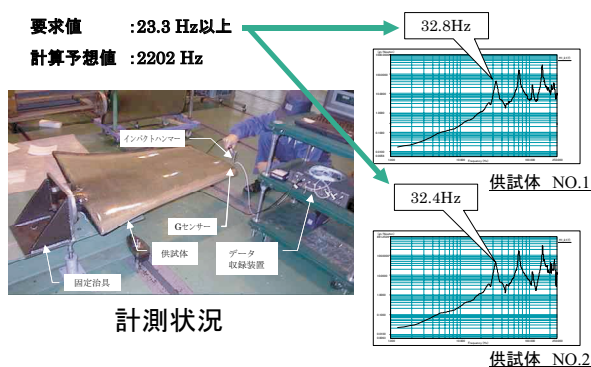


図 7-1 固有振動数の計測

次にブレードの曲げ試験を実施した。試験状況は図 7-2 に示す。

試験荷重は、想定運用の 500% 相当荷重の 7423N まで負荷した。先ず、100% 相当荷重 1559N において最大主歪 441 $\mu\epsilon$ を記録し、評価基準値 554 $\mu\epsilon$ 以下であることを確認した。また、想定運用の 500% 相当荷重においてブレード取付部に破壊の無いことを確認した。荷重-歪みの計測結果を図 7-3 に示す。

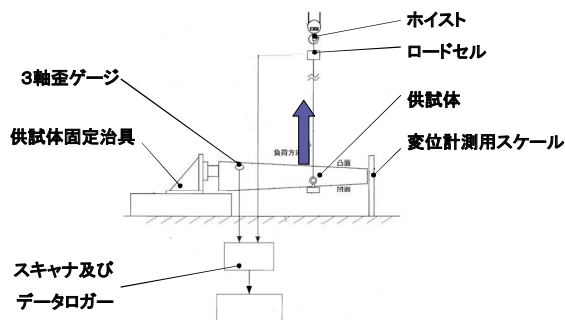


図 7-2 ブレード曲げ試験状況

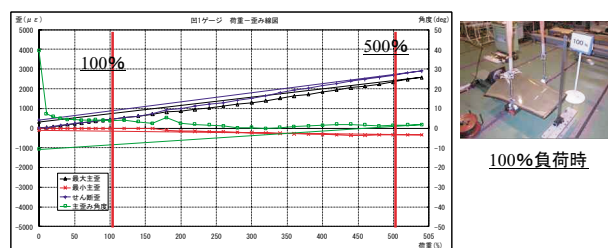


図 7-3 ブレード曲げ試験結果

整備性については、実際にハブ部にブレードを取り付けて、上面プレート（上面プレート）の切り欠きからボルト締めツールがアクセスできることを確認した。状況を図 7-4 に示す。



図7-4 ファン整備性の確認

8. まとめ

今回の設計および試験の結果により、日飛低速風洞の高速化を想定したファンについて、ブレード積層構成、取付部構造、ハブ部の基本構造を確立できた。またハブ部とブレードの整備性を確認できた。

今後の目標は、ブレードを8枚フルに製作しファン ASSY としての固有値を確認することである。そして何よりも、実運転し風速等ファン性能データを取得したい。