

遠心送風機内流れの簡易三次元解析*

山本 勝一*¹, 川橋 正昭*²

Simple 3D Numerical Analysis of Flow in a Centrifugal Fan

Katsuichi YAMAMOTO and Masaaki KAWAHASHI

Detailed analysis of flows in centrifugal fans is required for improvement of efficiency and for noise reduction. However, both experimental and numerical analysis of the flow are very difficult, because the geometric configuration of the fan causes 3D flow. Even though a 2D model is applied for the analysis in regard to the flow through a part of the impeller in the rotational co-ordinate, it is not easy to determine the boundary condition at the position of the side wall of the scroll. Therefore totally 3D analysis of the whole flow field is required, but it is very time-consuming. This paper describes a simple numerical method of 3D analysis of the flow in a model of a flat-blade centrifugal fan with a scroll. In this method, the 3D flow through the partly divided portion of the fan at an arbitrary scroll angle is analyzed in rotational co-ordinates by assuming that the side wall of the scroll is replaced by the velocity boundary determined by the volume-increasing ratio at the scroll angle.

Key Words: Blower, Centrifugal Fan, Three-Dimensional Flow, Numerical Analysis

1. 結 言

遠心送風機はさまざまな用途に多用されており, その高効率化および低騒音化はつねに重要な問題となってきた。しかし, 従来からの多くの研究成果⁽¹⁾⁽²⁾に基づき, 改良すべき点の大部分はすでに対策済みである。今後さらに送風機の高効率化および低騒音化を計るには, 送風機内の詳細な三次元流れ解析が必要となる。しかし, 吸込口, 回転羽根車, およびスクロールを通過して吐出し口に至る遠心送風機内三次元流れについては, 実験および解析のいずれも容易ではない。

最近の計算機および数値解析法の発達は, 大規模計算を可能とし, 実機全体を解析領域とした流れの解析も可能となってきた。その結果, 時間と計算コストをいわず, 実機内三次元流れの直接解析を行って, 設計基準の検討および問題点の改良を行おうとする傾向にある。しかし, もし計算機負荷を低減したコンパクトな計算で, 必要な流れの情報を得ることができれば, それに越したことはない。さらに, 遠心送風機の個々の各要素が, それぞれ送風機内の三次元流れにどのよ

うな影響を及ぼすかについて, 簡便な計算によって確認することができれば, 送風機設計への寄与は大きい。

そこで, 本研究では, 車載用空調器に用いられる多翼ファンの高効率化および低騒音化を最終的な目的とし, その最初のステップとして遠心送風機内三次元流れの簡易解析法を検討した。本報告では, その基本的手法のみを示すことを目的として, 簡単のために羽根出口角 90° の径向き平板翼を有する送風機内の, 最大流量状態相当の三次元流れを対象として, その計算手法および計算結果について述べる。

2. 解 析 法

本報告では, 単純化されたモデルによる解析結果から, 送風機内の三次元流れに対する基礎的知見を得ることを目的としている。そのため, はじめに解析対象とするのは径向き平板翼を有する遠心送風機であり, その解析モデルが図 1 に示されている。羽根車の内径は 150 mm, 外径 200 mm, 羽根枚数は 24 枚, 羽根幅は 65 mm とした。なお, 翼は厚さのない平板翼であるとする。一方, スクロールの形状決定に用いた式は,

$$R = \frac{D_2}{2} \exp(\theta \tan \beta)$$

* 原稿受付 平成 6 年 6 月 30 日。

*¹ 正員, (株)ゼクセル (〒360-01 埼玉県大里郡江南町千代)。*² 正員, 埼玉大学工学部 (〒338 浦和市下大久保 255)。

であり、ここで、 R は巻き角 θ におけるスクロール内周半径、 D_2 は羽根車外径、 β は広がり角である。したがって、スクロール形状は主パラメータ β によって変化する。なお、本解析モデルでは $\beta = \pi/30$ とした。また、羽根車主板側には実際に多翼ファンで使用されている形状に近いコーンが存在するものとする。このようなモデル送風機について、スクロールの巻き角 θ の変化に対する、流入流、翼通過流、スクロール内流れなどの変化、およびコーンの影響などを解析する。

本報告における計算法を以下に述べる。基礎式は三次元非圧縮性ナビエ・ストークス方程式であり、羽根車の回転と同じ角速度で回転する円筒座標系において、差分法による数値解析を行う。このとき、移流項の離散化は一次風上差分によるものとし、圧力場の修正には HS-MAC 法を用いた。なお、本報告における計算では層流計算とする。

解析領域は、図 2 に示すように回転羽根車の 2 翼間の領域とする。このとき解析領域の中心角は 30° となる。しかし、このような解析領域を、図 1 に示されているモデルに対してそのまま回転座標系で計算するには困難を伴う。すなわち、羽根車の回転とともに解析領域の外周境界がスクロール形状に応じて変化するため、複雑な移動境界問題を伴う非定常解析を行わなければならない。それに対して、図 2 に示した解析領域において形成される流れ場を以下のように仮定すると、定常解析が可能となる。

解析領域が、あるスクロール巻き角 θ の位置に存在するときに生じている翼通過最大流入流量は、その位置での翼回転座標系に対する相対的スクロール体積増加率によって定まるものとする。その結果、解析領域

外周部、すなわちスクロール壁位置に、スクロール広がり率によって定まる半径方向一定速度境界を与え、さらに周方向には周期境界を課すことにより、各スクロール巻き角位置における流れ場についての定常解が求まることになる。このような計算法を用いることにより、スクロール巻き角 θ に対する流入流、翼通過流およびスクロール内流れの変化を解析することができる。

計算領域の格子分割が、図 3 に示されている。格子は、半径 (r) 方向、周 (θ) 方向、翼幅 (z) 方向のいずれも均等分割されている。なお、送風機内部の格子数は、半径方向に中心から羽根車外周までを 20 とし、周方向は 30、翼幅方向は 13 である。スクロール内については巻き角 θ に応じて定まる領域が同一間隔で格子

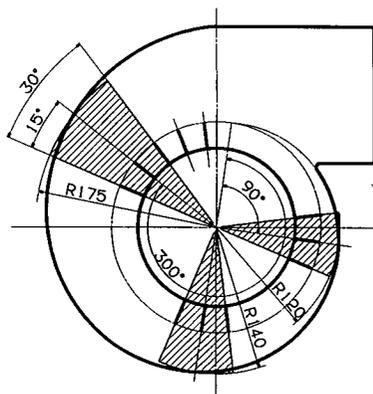


図 2 解析領域

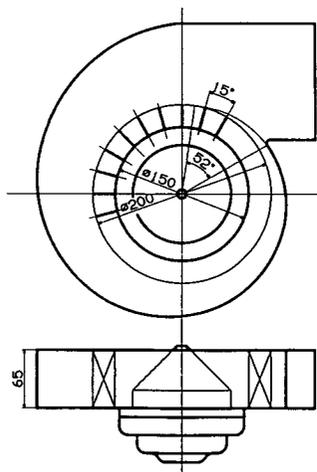


図 1 遠心送風機解析モデル

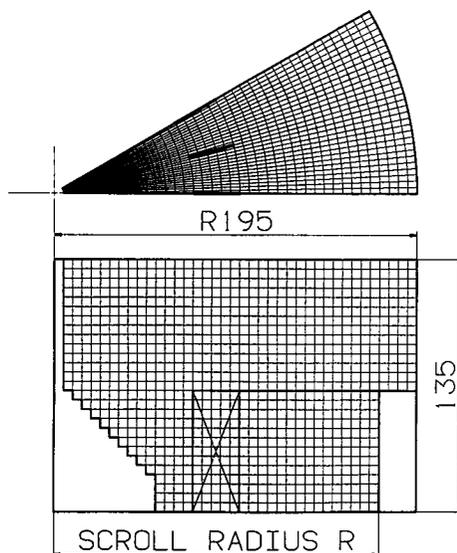


図 3 計算領域の格子分割

分割されている。コーン部については、傾斜面は z 方向にステップ状に格子を形成する。なお、送風機外部は、翼幅と同じ高さで羽根車外周の約2倍の半径を有する領域を解析領域とし、その領域が同様に均等格子分割されている。

3. 解析結果および考察

本解析では、送風機内流れ、特にコーン周りの流れ、翼通過流およびスクロール内二次流れに着目し、これらがスクロール巻き角 θ によりどのように変化するかを調べる。上述の境界条件の設定により、スクロール巻き角 θ における翼通過最大流量は、使用した解析モデルのスクロール形状にしたがって変化する。本解析モデルに使用したスクロールについて、巻き角 θ に対する流量の変化が図4に示されている。ここで、流量はスクロール巻き角 360° 相当位置での広がり率に基づく流量により無次元化した値 Q で示す。

多翼送風機内の翼通過流については、いくつかの実験的研究⁽³⁾⁽⁴⁾があり、その基本的特徴が明らかにされている。それらの特徴の中で特に問題となるのは、翼通過流半径方向流速の翼幅方向分布が主板側に大きく偏ること、翼間流れにおける負圧面はく離の状態が翼幅方向に変化すること、およびスクロール内に発生する旋回二次流れである。そこで、本解析モデルについて

てスクロール巻き角によりこれらの流れの様子がどのように変化するかを明らかにするため、巻き角 $\theta=90^\circ$ 、 180° および 300° についての計算結果を、各断面内流速ベクトル線図により以下に示す。このときの θ の値は、解析領域の中心の値である。なお、計算結果は、図5に示すような断面について表示されている。なお、回転数はいずれも1000rpmとした。また、流速は羽根車外周速度 v_0 により無次元化し、圧力は大気圧との差(ゲージ圧)を ρv_0^2 で無次元化して示す。

はじめに、断面①-①における r - z 面内成分流速ベクトル線図が図6に示されている。これらの結果より、翼通過流の半径方向流速分布は角 θ の増加とともに主板側に偏ること、翼通過流が形成する旋回二次流れは角 θ の増加とともにその中心がスクロール外周側の上部に移動し、羽根車上部の逆流域を形成することがわかる。これらの結果は、多翼ファン内のスクロール内流れの実測値⁽⁴⁾の傾向と一致している。さらに、コーン下部ではく離流が観測される。

次に、断面②-②、③-③および④-④での r - θ 面内成分の回転座標系における流速ベクトル線図が、図7に示されている。これらの結果より、負圧面側に形成されるはく離領域の大きさは、いずれの場合も主板面

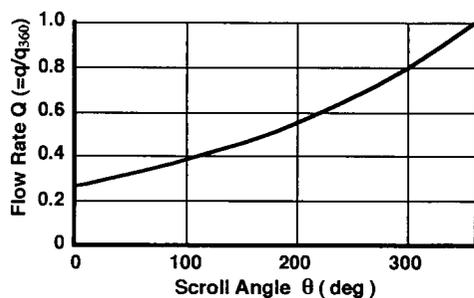


図4 スクロール角に対する流量の変化

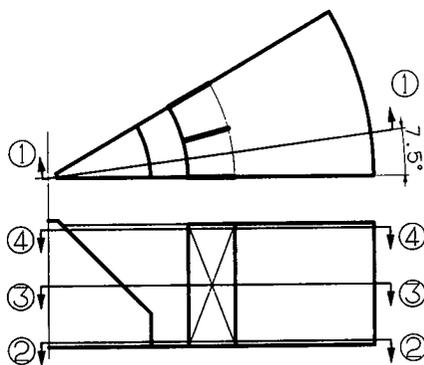


図5 計算結果表示断面

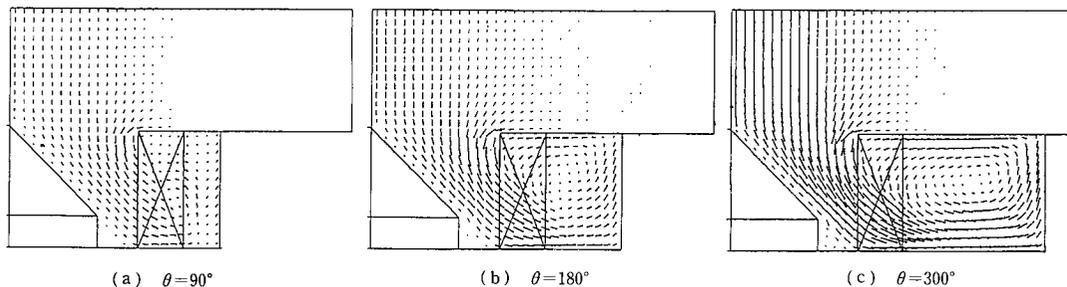


図6 r - z 面内成分流速ベクトル線図(断面①-①)

近傍で最も小さくなり、側板側に向かって拡大していくことが明らかになった。さらに側板近傍では、 $\theta = 90^\circ$ の場合を除き、全体が逆流領域となっている。また、用いた羽根車では、翼形状が径向き平板翼であることから、スクロール内周方向流速は、翼端速度よりも小さい。図8に、断面③-③における絶対速度の $r-\theta$

面内成分についての流速ベクトル線図を示す。この結果は、羽根車回転方向に生じるスクロール内流れを示すとともに、スクロール内流れに及ぼす翼通過流の後流の影響が示されている。

翼面上に生ずる圧力分布は、騒音解析への拡張の段階で重要となる。本報告では、負圧面圧力分布および

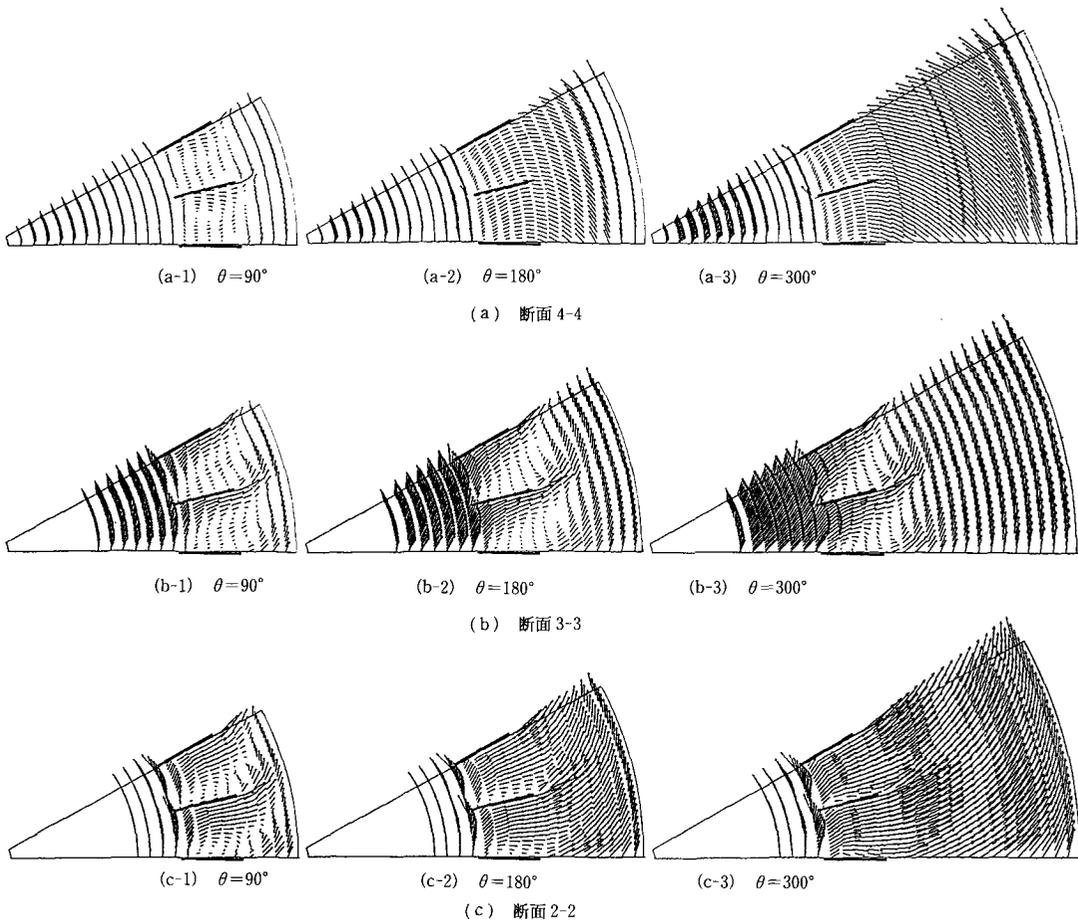


図7 $r-\theta$ 面内成分回転座標系流速ベクトル線図

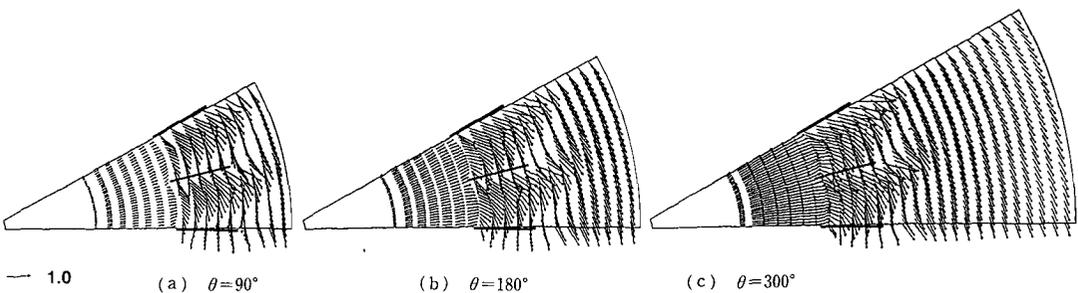
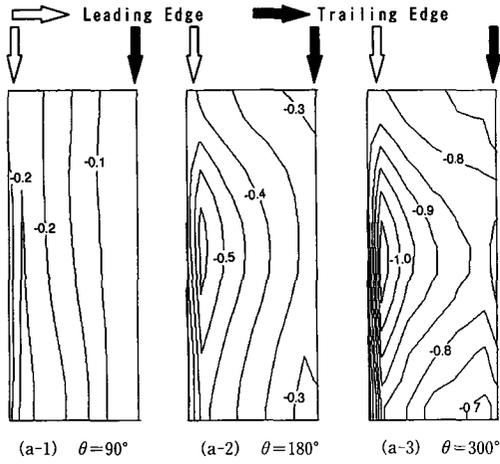
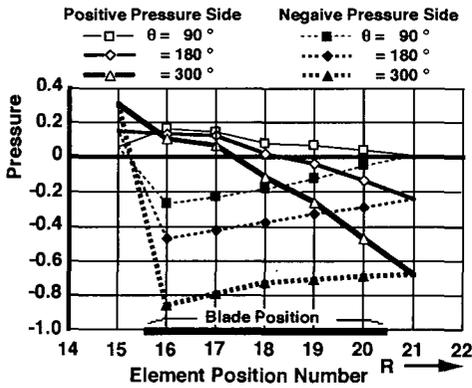


図8 $r-\theta$ 面内成分絶対速度流速ベクトル線図(断面③-③)



(a) 翼負圧面等圧線図



(b) 断面 2-2 における翼周りに圧力分布

図 9 翼負圧面圧力分布および翼周りに圧力分布 (断面②-②)

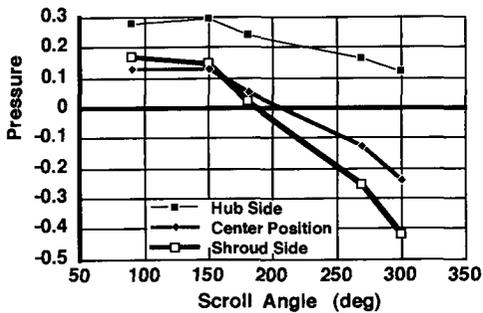
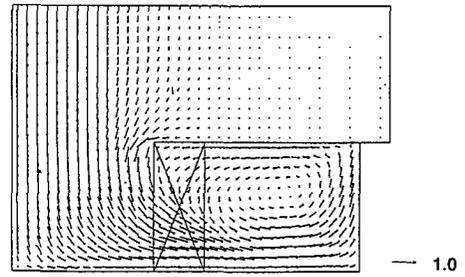
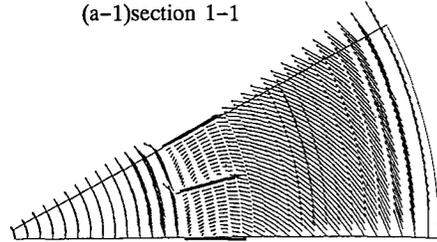


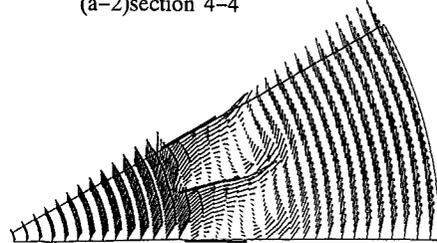
図 10 スクロール側壁圧力



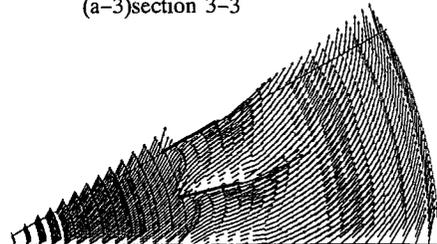
(a-1) section 1-1



(a-2) section 4-4

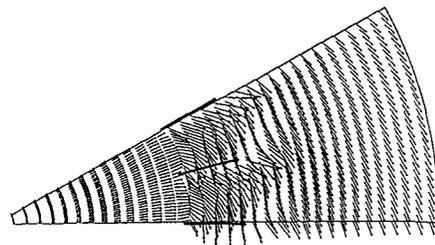


(a-3) section 3-3



(a-4) section 2-2

(a) 回転座標系における流速ベクトル線図



(b) 固定座標系における流速ベクトル線図

図 11 コーンがない場合の各断面流速ベクトル線図 ($\theta=300^\circ$)

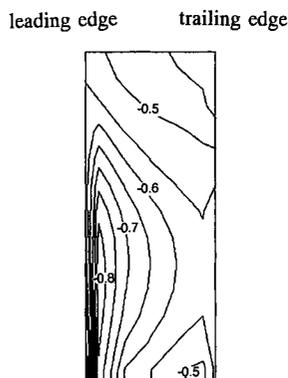


図 12 コーンがない場合の負圧面圧力分布
($\theta=300^\circ$)

断面②-②における翼周り圧力分布を、図9に示す。ここで、図9の横軸の数値は半径方向格子番号を示しており、翼は格子番号15から20番までの位置に存在している。この結果、 $\theta=90^\circ$ では主板側で圧力が最小となるが、角 θ の増加とともに、羽根車中央部で圧力最小となり、負圧領域が翼長さ方向に拡大していく。翼周り圧力分布では、角 θ の増加とともに負圧領域が翼長さ方向に拡大していく。次に、スクロール側壁における主板側、中央部、側板側圧力のスクロール巻き角 θ に対する変化を図10に示す。この結果は、多翼ファンにおける最大流量状態で実測された圧力分布の傾向と一致している。

以上の結果は、図1に示した送風機モデルについての解析結果であるが、ここで、コーンの影響を明らかにするため、コーンの存在しない羽根車についての解

析を行い、上述の結果と比較検討する。図11に、 $\theta=300^\circ$ における各断面での流速ベクトル線図を示す。これらの結果を、図6~9の結果と比較し、以下の点が明らかになった。 $r-z$ 面内の翼通過流流速分布では、図6(c)と比較して全体的に半径方向成分が増加し、その翼幅方向分布では、主板面近傍で最大値をとる。スクロール内旋回二次流れの形態はほとんど変化しない。主板面近傍での負圧面はく離領域の大きさは、コーン付きの場合に比べて増加するが、スパン方向の中央部でほぼ同じである。次に、圧力分布を図12に示し、図9の結果と比較すると、コーンがない場合は、コーン付きの場合の圧力分布と大きく異なることが示されている。

4. 結 言

送風機内流れについて、簡易三次元解析法を用いて平板翼遠心送風機内流れの解析を行い、翼通過流およびスクロール内流れの三次元的構造、およびコーンの影響などを明らかにした。その結果、送風機の高効率化および低騒音化を計るための解析では、その三次元性が基本的問題となることを改めて確認した。

本解析で用いた手法をBFC系に拡張し、任意の翼形状に適用して解析を行うことはそれほど困難ではない。今後、差分スキームの検討も併せて行い、送風機の改良に向けた検討を行っていく。

文 献

- (1) 山崎・佐藤, 機論, 52-484, B(1986), 3987.
- (2) 森主, 機論, 57-543, A(1991), 3837.
- (3) 山崎・佐藤, 流れの可視化, 7-27(1987), 49.
- (4) 川口・ほか3名, 機講論, No. 920-78(1992-9), 416.