

直線翼列の後流計測法の確立および周期性の確保

システム工学群

航空エンジン超音速流研究室 1190175 横山 達也

1. 緒言

航空機の運用コスト、環境面等からジェットエンジンにおいても燃料消費率の更なる向上が求められる。燃費向上の手段の一つとして圧縮機効率の向上が有効とされるが、圧力比を高めると動翼先端とケーシング内壁の隙間から動翼上下面の圧力差によって流れが発生する。軸流圧縮機は作動流体が低圧部から高圧部へ向かう逆圧力勾配となるため、流れと主流との干渉等により流れが不安定となり逆流や剥離などが発生する可能性がある。失速特性へ有効とされる技術としてケーシングトリートメントがあるが、圧力比、圧縮機効率が低下するとされている。本研究では圧縮機効率の低下を抑えつつ、失速特性を改善することを最終目的とし、その前段階として実験環境を構築すべく圧縮機動翼の環境を模した直線翼列風洞の設計製作を行った。実際の環状翼列では翼が周方向に並び、周期的な流れ場となる。それを模した直線翼列においても周期的な流れ場とならなければならない。本研究では翼後部の流速が測定可能な主流方向へローブが回転する機構を備えた3孔ピトー管の製作を行い、翼列方向の流量分布を制御することにより翼列の周期性を確保することを目的とする。

2. 実験装置

2.1. 直線翼列風洞

図1に直線翼列風洞の外観を示す。本風洞は最大流速42m/sの低速吹き出し風洞であり、送風機より送り出された大気が内部で整流され、一様な流れとなって排出される。また翼列部は流入角を任意に、食違い角を数パターン変更できる構造とした。



Fig. 1 Cascade wind tunnel.

2.2. 3孔ピトー管

図2に3孔ピトー管を示す。内部管外径1.0mm、内径0.6mmで先端部は中央孔から左右に45°毎に角度が付けられており、圧力値から流れの方向を検出する。また後部に取り付けられたステッピングモーターにより0.1125°刻みで回転できる構造とした。

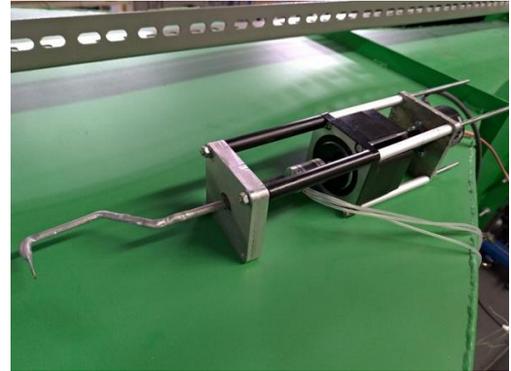


Fig. 2 3 hole pitot tube.

3. 翼列後流の自動計測環境の構築

下記の[1], [2]の手順から3孔ピトー管による流速の計測環境の開発を行った。

[1] 主流に対する角度ごとに3孔ピトー管の圧力を取得し、左右孔の差圧から近似曲線を作成。そこから得られた数式を逆算することで左右孔の差圧から主流に対する角度を求めることのできるプログラムを作成した。

[2] 3孔ピトー管は静圧孔がなく、ベルヌーイの定理から流速を求められないことから、緑川⁽¹⁾の計算式を参考に3孔ピトー管単体でも流速を取得できるように実際の計測値から流速を求める計算式を導出し、[1]のプログラムに実装した。

[1], [2]で構築した自動計測環境を用いて30~42m/sの範囲にて実際に流速の計測を行い、通常のピトー管との比較を行った結果、最大誤差1.60%、平均誤差0.57%での測定結果が得られた。この環境を用いて周期性確保に向けた計測を行うこととした。

4. 翼列風洞における周期性の確保

4.1. 現状の周期性の確認

4.1.1. 実験方法

第3章で構築した自動計測環境を用い、翼列2~6枚目の範囲の後流部において各翼間10点の周期性計測を表1の8ケースの条件について行った。ここで $\alpha = \beta - \zeta$ である。

Table 1 Measurement range.

Case	Inflow Angle (β)	Stagger angle (ζ)	Angle of Attack (α)
1	30	26.3	3.7
2	30	22.3	7.7
3	30	19.9	10.1
4	60	44.3	15.7
5	45	26.3	18.7
6	45	22.3	22.7
7	45	19.9	25.1
8	60	19.9	40.1

4.1.2. 結果と考察

周期性計測の結果を図 3, 4 に示す. スペースの関係で記せないが, 表 1 に示す Case1~5 の範囲では図 3 の Case1 での結果と同様に一様な周期性が確認できた. しかし Case6~Case8 の範囲においては図 4 の Case6 での結果と同様に各翼間での流速に差違が確認された.

これらの結果から迎角が 20° 付近を超えると翼列による圧力上昇が強まり, 翼列前方部での負圧が増加する. その為流入角を変える際に床板が上昇し流路が二分する本直線翼列風洞の特性上, 翼列部のある上部流路と大気にそのまま排出される下部流路との間に静圧の圧力差が生まれ, 図 5 に示すように一部の流れに偏りが発生し, 上流の速度分布が一様ではなくなってしまったと推察する.

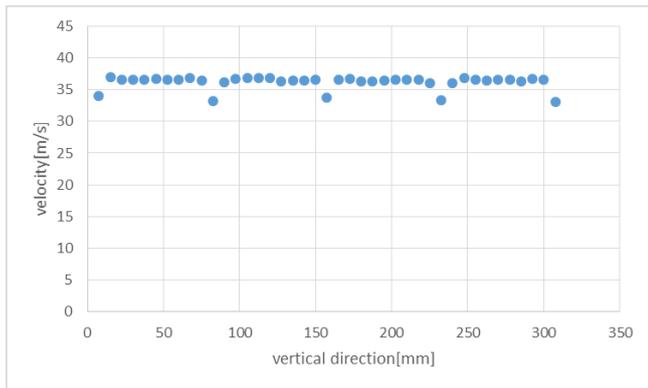


Fig. 3 Periodicity velocity distribution of case 1.

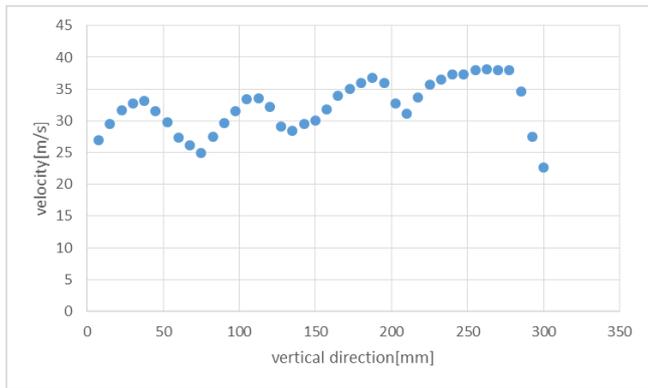


Fig. 4 Periodicity velocity distribution of case 6.

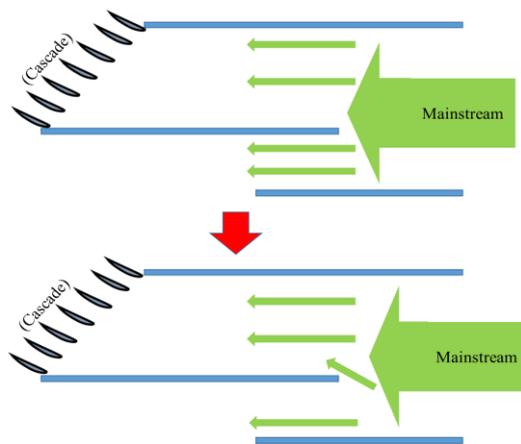


Fig. 5 Schematic image of bifurcation within the wind tunnel.

4.2. ディフューザーの製作

4.2.1. 実験方法

周期性の改善案として, 図 6 のようなディフューザー装置を製作し, 下部流路の静圧調整を行った. その効果を確認するため, ディフューザーの傾斜角 $\theta = 0^\circ, 7^\circ, 16^\circ$ で計測を行い, 設置前との周期性の比較を行った.

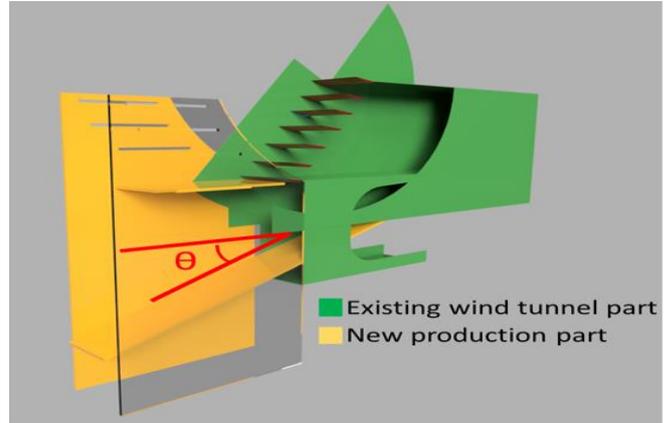


Fig. 6 3D model of diffuser device.

4.2.2 結果と考察

ディフューザー設置前後での計測結果の一例を図 7 に示す. スペースの関係で記せないが, 3 つの傾斜角の中では 0° が一番良い結果を示した. 良い結果が得られた要因として下部流路を延長したことにより壁面からの摩擦抵抗による摩擦損失がディフューザーと同様の効果を示した可能性などが考えられるが明確な要因は現在調査中である. また今回の計測では $\theta = 0^\circ, 7^\circ, 16^\circ$ の 3 点でしか計測を行わなかったことから今後は 0° 付近のディフューザー角にて詳細な計測を行っていく必要がある.

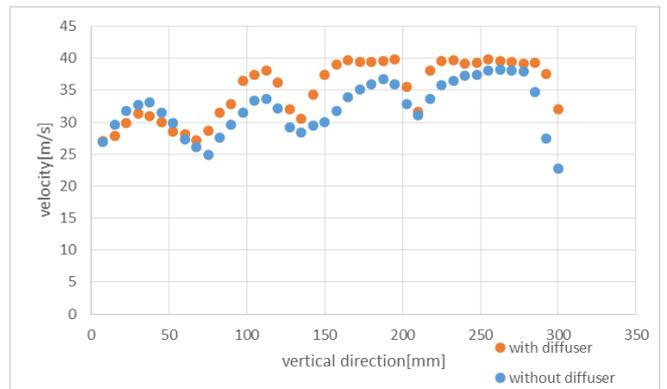


Fig. 7 Comparison of periodical velocity distribution ($\alpha = 22.7^\circ$).

5. 結言

本研究では直線翼列の後流計測環境の構築と周期性の改善を行った. 3 孔ピトー管を用いた流速の測定より, ディフューザー装置の設置により高い迎角での周期性の差違に対して一定の効果が得られることを確認した.

今後は 5 孔ピトー管を用いた 3 次元の流れ計測を行い, より綿密に翼列後部の流れ場の解明をする必要がある.

文献

- (1) 緑川亨, 流体力学実験法, 岩波書店(1980), p. 142