

卒業論文要旨

直線翼列風洞の周期性向上に向けた内部流れの計測

Flow Measurement for Improving the Periodicity of a Linear Cascade Wind Tunnel

システム工学群

航空エンジン超音速流研究室 1210085 高島 涼太郎

1. 緒言

航空機用ジェットエンジンは、圧縮機、燃焼器、タービンなどで構成され^[1]ており、燃料消費率の向上が求められる。そのため、熱効率の向上が課題となっており、圧縮機では圧力比の向上が要求される。しかしながら圧力比が高くなると流れ場の逆圧力勾配が強くなるため、エンジンを致命的な故障に導く要因となる流れを発生する失速という状態に陥りやすくなる。そこで本研究では圧縮機の失速余裕を向上させることを最終目的とし、その第1ステップとして、圧縮機内の流れを詳細に計測するための環境構築として直線翼列を用いた計測の信頼性を確保するための流れ計測を行う。

2. 直線翼列

圧縮機の動翼は回転運動を有するため、流れの詳細な計測が困難であるとともに、流れに遠心力、コリオリ力等が加わり現象が複雑となる。そこで、本研究では、環状の翼列の一部を仮想的に切断し、直線に展開した直線翼列を用いる。しかし、計測データを実機に適用するためには環状翼列と直線翼列の間に対応関係をとる必要がある。その一つとして直線翼列の各翼間の流れの状態が環状翼列と同様に周期的に分布していることを確認する必要があるため、周期性向上のための流れ計測を行った。

3. 実験装置

図1に直線翼列風洞の全体像を示す。当該風洞は可動式の翼列取り付け部を有し、翼列取り付け部を円弧状のレールに沿ってスライドさせることで、翼列に対する流入角を任意に変更できる構造とした。また、図2に示すように流路を翼列の高さに合わせるために上下方向に可動である先端にナイフエッジを持つ厚さ 2.3mm、長さ 1000mm の分岐板を設置した。

翼型はNACA65-810であり、翼弦長は80mm、翼ピッチは80mmである。翼取り付け金具を変更することで食違い角を数種類の中から選択的に変更できる構造とした。本研究では食違い角を一律 26.3度とした。

4. 風洞の要素分割

周期性の計測において風洞を上流側から下流側に向かって、整流要素、分岐要素、試験部要素の3要素に分け、計測を行った。

5. 各種計測と流れの様子

5.1 整流要素

整流部の流速分布及び乱れ度分布の測定結果を図3に示す。主流の分布は境界層を除くと3%以内に収まっており、乱れ度は2%以内に収まっているので、整流においては十分な効果が得られていることが認められる。



Fig. 1 Linear Cascade Wind Tunnel.

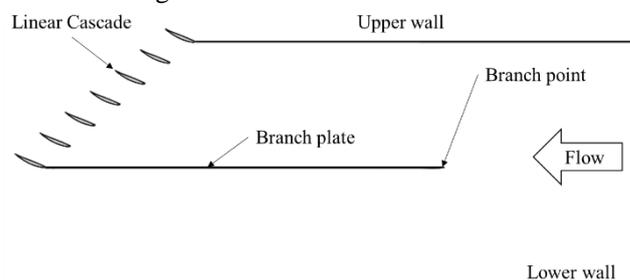


Fig. 2 Positional relationship inside the wind tunnel.

5.2 分岐板の主流への影響

風洞に分岐板のみを取り付け、風洞流出口中央部において分岐板上部の境界層の計測を行った結果を図4に示す。境界層は風洞上部側が17mm、分岐板側は10mmと上部の方が境界層は発達していた。しかしながら、境界層厚さは流路の8%程度であり、分岐板側の境界層に剥離などの流れも観測されないことから、境界層が主流に与える影響は少ないと考えられる。

5.3 翼取り付け状態での内部流れと周期性

図5に示すように翼後縁から150mm後方のスパン中央部に5mm間隔の計測点を取り、流速分布を計測した。図6に示すように、流入角 $\beta=50\text{deg}$ の際の翼列下流速度分布には、80mmの周期成分に加え、下に向かうほど流速が増加する成分が得られた。また、図7に示すように流出方向は下に向かうほどより大きく曲がる傾向にあることが得られた。これらのことから、翼列下側の方がより減速翼列としての効果が強く表れていると考えられ、分岐点付近での上下流路の圧力差の影響が強く表れると考えられる。この時、風洞内部の分岐板のナイフエッジ直上での流速のU成分、V成分は、図8に示すよ

うに下部に行くほどの流速が遅く、流れの向きが上を向くように分布していた。分岐板下側は大気圧であるのに対し、分岐板上側は直線翼列の圧縮効果により外気より大気圧より低圧となるため、分岐点付近では上側に流れが曲がり分岐板上部の流れが下方に行くほど速い分布となると推測していたが、計測結果では大部分の領域で流れが同様であり、下方では流速が下がっていたため、分岐点付近の圧力差は周期性に大きな影響を与えていないと考えられる。

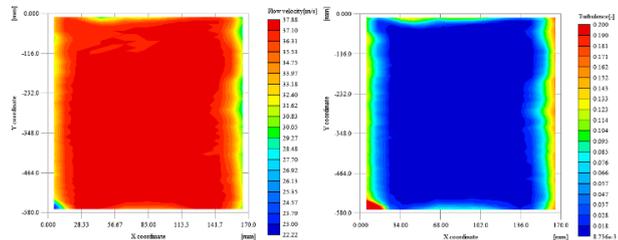


Fig. 3 Distribution of flow velocity (left) and turbulence (right) at wind tunnel exit.

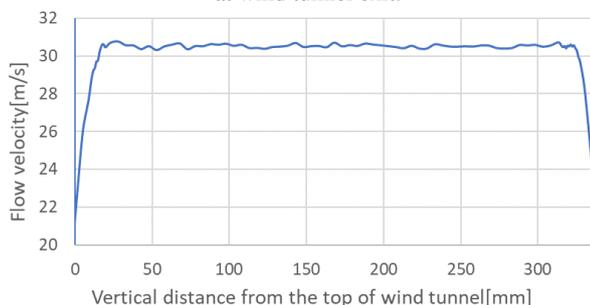


Fig. 4 Velocity distribution at wind tunnel exit with branch plate.

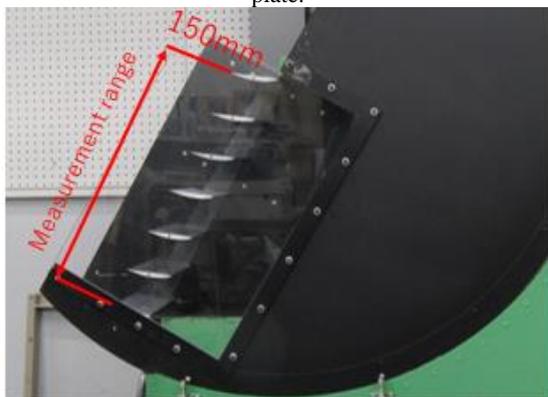


Fig. 5 Measurement range of periodicity measurement.

6. 数値解析による翼列下流の流速予測

計測結果より、風洞の整流や流路分岐による周期性への影響は見られなかった。そのため、分岐部より下流の翼列付近及び流出後の流れが影響し周期性が損なわれている可能性があると考えられる。下流の流れの状態を精密に計測することは困難であるため、Solidworks Flow Simulation を用いて、解析により流れを予測した。解析条件は、主流速度 30m/s、流入角 50 度、食違い角 26.3 度を用いた。図 9 は翼列スパン中央断面の流速及び、流線を示したものである。翼列下流では、上から 1 枚目と 2 枚目の翼の間を通過した流線と、6 枚目と 7 枚目の翼の間を通過した流線のうち下半分が広がっていることが確認され、それ以外の翼列を通過した流線は逆に狭まっていることが確認された。1 枚目と 2 枚目の翼の間を通過した流線が広がることに関しては、上部の静止流体との速度せん断により、流れが減速することで流路が広がり、6 枚目と 7 枚目の翼の間を通過した流れのうち下半分は、分

岐板下側を流れて流出した高速流れに引き寄せられ、流路が拡大したと考えられる。翼列中央部を通過した流線では、上下流路が拡大したことにより、押し分けられ、下流で縮流のような分布が発生したと考えられる。このことから、風洞下流の流れを整えることで高迎角時の周期性改善ができる可能性があり、具体的な改善案として、翼列下流に轉向角と同じ角度の下流補助壁を設置する方法が考えられる。

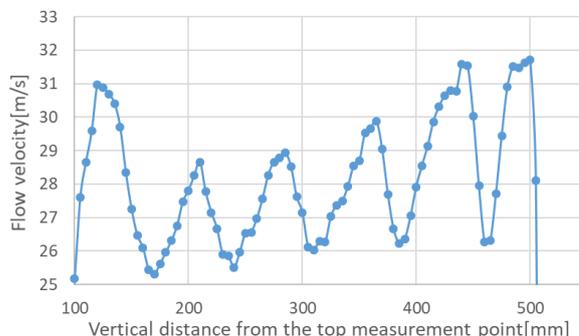


Fig. 6 Downstream velocity distribution ($\beta = 50\text{deg}$).

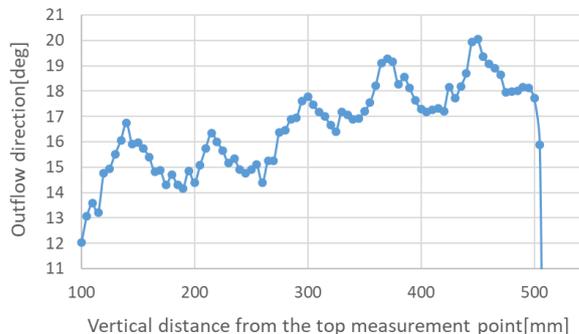


Fig. 7 Downstream flow angle ($\beta = 50\text{deg}$).

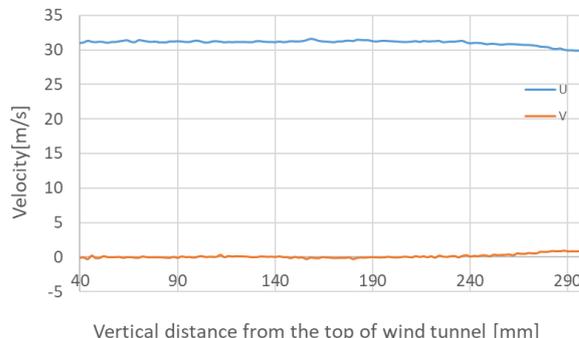


Fig. 8 Mainstream velocity distribution above branch point ($\beta = 50\text{deg}$)

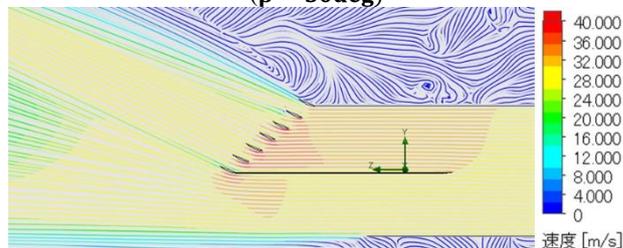


Fig. 9 Streamlines and velocity distribution around wind tunnel.

7. 周期性改善案と評価

周期性改善案として前項で下流に下流補助壁を設けることを提案した。提案がどの程度の効果を有するかの予測のため、数値計算を用いて予測を行った。解析条件は、主流速度 30m/s、流入角 50 度、食違い角 26.3 度、下流補助壁角度 24.8

度を用いた。図 10 は翼列スパン中央断面の流速及び流線を示したものである。翼列を流出した流れの大部分が直進していることが確認できた。また、下流補助壁の上側壁付近で流線が密となり、下側壁付近で疎となっていることが確認できた。今回の計算条件では、下流補助壁近傍の流れの状況から、下流補助壁の角度が足りず、流路を曲げてしまったと考えられ、設置の際にはパラメータの十分な調整が求められると考えられる。しかしながら、大部分において流出流れが直進していたことから、下流補助壁を設置することは、周期性改善に有効である可能性が高いと考えられる。

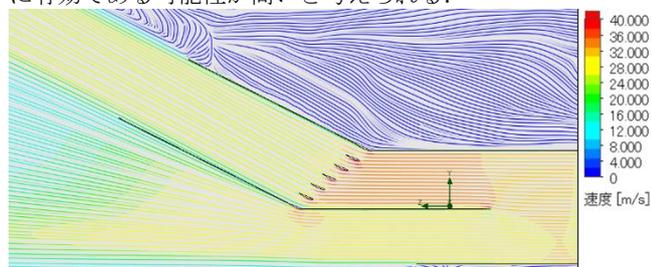


Fig. 10 Streamlines and velocity distribution around wind tunnel with downstream auxiliary wall.

8. 結言

本研究では、直線翼列風洞の周期性を改善するための風洞内部流れの調査を行った。風洞流出後の流れを予測するため数値解析を行った。直線翼列風洞の、高迎角で生じる周期性の不一致は、風洞の静定槽や分岐機構によって生じる流れの影響は受けておらず、分岐部より下流での流体现象による可能性があると考えられ、特に流出流れ上部と下部における速度せん断層の影響が大きいと考えられる。

改善案として流出下流に下流補助壁を設置することで、下流の整流を行う方法を提案し、効果の予測のため数値計算を行った。下流補助壁は角度の調整が必要なものの周期性改善に有効である可能性が高いと考えられる。

今後は、数値流体力学を用いることで今回提案した周期性改善案における最適な設置角度の模索を行う。また、実際の実験環境にのっとった下流補助壁の設計を行い、実際に設置し計測により周期性の向上効果を確認する予定である。

文献

- (1) 日本ガスタービン学会, ガスタービン工学, 2017.