

遠心送風機小弦節比翼列ディフューザにおける 二次流れ制御に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科
村上 天元

近年、高圧力比でかつ広流量運転範囲を有する遠心送風機および圧縮機が要求されている。しかし、高圧力比化に伴い回転羽根車およびディフューザにおいて逆流域を生じやすくなり、不安定流動の発生によって運転範囲は縮小されてしまう。運動エネルギーを圧力に変換するディフューザの性能改善のために、妹尾らは小弦節比翼列ディフューザ (Low Solidity cascade Diffuser ; LSD) を提案した。LSD は、広い流量範囲において高い揚力が得られる静止円形翼列をディフューザ部に備えたものであり、ディフューザ性能の改善策としてターボ冷凍機および過給機用遠心圧縮機などに幅広く採用されている。一方、羽根なしディフューザに静止円形翼列を設けた場合、回転する羽根車に同期して旋回しながら流下するジェット・ウェーク流れと静止翼との干渉による騒音増大が問題である。

本論文では、LSD 翼負圧面上の低エネルギー流体をディフューザ壁面に沿って上流側へ戻すことで翼面上の剥離を抑制できる二次流れに着目し、二次流れを効果的に利用することによって、送風機の低騒音化および高性能化を目指した。内部流れの詳細は 3 次元粘性数値解析によって求め、先ず定常計算が二次流れ挙動を定性的に評価するための妥当な解析方法であることを述べた。次いで、LSD 翼前縁位置を羽根車出口から遠ざけても性能を維持したままで騒音を低減できることを示し、低流量域において高いディフューザ性能を維持できる要因を明らかにするため、二次流れの発生条件について追究した。さらに、ディフューザ外径のダウンサイジングのために、LSD 翼前縁位置を羽根車出口から遠ざけることなく騒音を低減するための前縁近傍翼端溝を採用し、翼端溝が騒音およびディフューザ性能に及ぼす影響を実験および数値解析の両面から追究した。

第 1 章では、本論文の研究の背景、研究動向および本論文の目的と構成を述べた。

第 2 章では、実験に使用した低比速度型半開放遠心羽根車および実験装置について述べた。また LSD 翼の設計方法、実験条件および騒音レベルの計測方法について述べた。

第 3 章では、数値解析に用いた 3 次元粘性数値解析コード ANSYS-CFX の支配方程式および乱流モデルについて示し、定常および非定常計算条件について述べた。

第 4 章では、定常計算によって得られた送風機特性が、実験結果をほぼ再現できることを示し、油膜法による可視化実験結果との比較によってディフューザ側壁の二次流れ挙動を定常計算によって再現できることを述べた。

第 5 章では、LSD 設置に基づき騒音が顕著に増大することを実験により確認し、騒音の特徴を周波数解析により求めた。また、LSD 翼前縁位置を羽根車半径比 $R=1.10$ から 1.20 へ変更した場合、低流量域で高い揚力係数を得ることができ、なおかつジェット・ウェーク流れと LSD 翼との干渉を軽減し、騒音を顕著に低減できることを述べた。前縁位置が半径比 $R=1.20$ の場合に高い翼性能が得られた要因を明らかにするためにディフューザ内の二次流れ挙動を数値解析により求めた。主流は LSD 区間全体でシュラウド側へ偏り、低速域がハブ側に形成されるために、翼後縁付近の低エネルギー流体がハブ側の低速域に沿って前縁上流側まで逆流できることが分かった。LSD は、周方向に循環する二次流れの形成によって翼負圧面での剥離が抑制されるため、低流量域でも失速することなく高い揚力係数が得られることを明らかにした。

第 6 章では、シュラウド側のみ翼翼端溝を設けた場合の騒音低減効果および二次流れ挙動について追究した。その結果、溝なしの場合と比較してシュラウド側のみ翼翼端溝を設けた場合は、低流量域において前縁近傍のよどみ領域が顕著に縮小されて騒音が顕著に低減されることを明らかにした。また、シュラウド側翼翼端溝内に安定した強い渦が形成されて負圧面上の低エネルギー流体がシュラウド側に掃き寄せられ、かつその低エネルギー流体を羽根車出口へ向けて運ぶ周方向循環流がシュラウド壁面に形成されることが高い翼性能を得られる要因であることを述べた。非定常計算によれば、このシュラウド側翼翼端溝内の渦はジェット・ウェーク流れの影響を殆ど受けず、周方向に循環する二次流れが定常的に存在することが分かった。

さらに、二次流れに及ぼす翼翼端溝寸法の影響を明確にするため、シュラウド側翼翼端溝の弦方向長さを変更した流れ場を数値解析により求めた。推奨される翼翼端溝の弦方向長さは翼翼弦長の 20%程度であることが示唆され、実験により検証を行った。

第 7 章は本論文全体に亘る総括である。