708 遠心送風機のディフューザ失速に及ぼす通路幅の影響解析

Analysis of Diffuser Width Effect on Diffuser Stall in a Centrifugal Blower

正 石田 正弘 (長崎大)
 ○ 学 松村 尚幸 (長崎大院)
 正 坂口 大作 (長崎大)

正 Taufan SURANA (長崎大院)
 学 坂口 剛史 (長崎大院)

Masahiro ISHIDA, Taufan SURANA, Takayuki MATSUMURA,
 Takeshi SAKAGUCHI and Daisaku SAKAGUCHI
 Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-Machi, Nagasaki 852-8521

Key Words : Centrifugal blower, Numerical Analysis, Diffuser stall, Stall suppression

1. まえがき

遠心羽根車の低流量域で発生する不安定流動は羽根車入口インデューサ部の失速に基づくもの、羽根車出口ディフューザ部の失速に基づくもの、また両者が共存するものがあり、不安定流動を回避する設計指針を提案するためにも発生機構を明らかにする必要がある。

Frigne⁽¹⁾は、開放型遠心羽根車に発生する不安定流動について、コレクターの有無およびインレットガイドベーンの有無により、羽根車が失速する条件および羽根なしディフューザが失速する条件を求め、実験的な整理を行っている。またHayami⁽²⁾は、小弦節比ディフューザを備えた遷音速遠心圧縮機において、羽根入口角の変更および羽根車出口通路幅縮小を行い、運転範囲の拡大および羽根車効率の改善を達成している。

筆者^(3,4)らも、高比速度型開放型遠心羽根車において、インデューサ失速およびディフューザ失速が共存する不安定流動を経験しており、インデューサ失速については、羽根車入口環状溝により循環流を形成させ、自己修復機能を持たせることにより不安定流動を回避するとともに、ディフューザ部の失速については、ディフューザ通路幅縮小により逆流域の抑制を行った。両者を組合わせた試験装置では、不安定流動の発生する流量を約45%低流量側へ移行できている。

本研究では、ディフューザ失速を抑制するために適用した通路幅縮小効果について、逆流域抑制に及ぼす影響および圧力回復に及ぼす影響を3次元粘性数値解析により検証した。

2. 実験および数値解析の方法

本研究で対象としたインデューサ付高比速度型径向き羽根遠心羽根車は、入口径132[mm]、出口径210.8[mm]、羽根出口高さ15[mm]、羽根出口角90[°]、羽根入口角は先端および根元でそれぞれ34、55[°]、羽根枚数20枚である。羽根なしディフューザ出口通路幅は、基準状態では15[mm]、縮小状態では10[mm]、出口半径比は約2.0である。シュラウド隙間は0.5[mm]、羽根車回転速度は4,000[rpm]とした。数値解析では市販のANSYS-TASC flow、乱流モデルには $k-\omega$ モデルを用い、羽根車内の流れは3次元・定常・非圧縮粘性流れとした。図1は送風機子午面断面形状および計算格子を示す。(a)は基準の平行壁ディフューザ、(b)はハブ側を絞ったディフューザ

Fig. 1 Computational grid for test blower

である。なお、通路幅を縮小する場合、ディフューザ入口では羽根車出口羽根高さとし、半径比1.2までの間で直線的に縮小させている。計算領域は羽根1ピッチ分として周期境界条件を与え、計算格子は流れ方向199点、ピッチ方向28点、スパン方向24点を選定し、合計133,728点とした。入口境界は羽根車入口から十分遠い250[mm]上流に、出口境界は羽根車出口から110[mm]下流に設定し、流入流れは一樣かつ予旋回なしとした。

3. 実験・解析結果および考察

図2は実機において計測された送風機特性であり、ディフューザ出口静圧特性 ψ_{se} 、羽根車出口静圧特性 ψ_{s2} およびディフューザ部静圧上昇量 $\psi_d(=\psi_{se}-\psi_{s2})$ を示す。図中の黒印は圧力変動を伴った不安定流動が確認された流量であり、基準通路幅 $b_e=15$ [mm]の場合には、流量係数 $\phi=0.311$ より低流量側で不安定流動が発生し、 $\phi=0.205$ 以下ではサージに陥った。ディフューザ通路幅を縮小した $b_e=10$ [mm]の場合には、 $\phi=0.306\sim0.279$ では同様の不安定流動が残り、インデューサ失速に基づく不安定流動⁽³⁾と判断された。さらに流量を減少させた $\phi=0.274\sim0.215$ で

Fig. 2 Experimental characteristics of test blower

Fig. 3 Calculated reverse flow in impeller and in vaneless diffuser

Fig. 4 Effect of diffuser width on pressure rise in vaneless diffuser at design flow rate ($\phi_d=0.360$)

Fig. 5 Velocity distribution between shroud and hub ($\phi_d=0.360$, $R=1.2$)

は、不安定流動が消滅し、通路幅縮小がディフューザ失速の抑制に有効であることを示している。さらに通路幅を縮小した $b_e=7[\text{mm}]$ の場合には、 $\phi=0.151$ まで不安定流動を抑制できているが、ディフューザ性能を著しく悪化させている。ディフューザ通路幅を $b_e=15[\text{mm}]$ から $10[\text{mm}]$ へ縮小することによって低流量域特性が改善され、かつ、設計流量近傍でのディフューザ圧力回復率が影響を受けない理由を調べるため、数値解析により内部流れを解析した。

図3は羽根車内および羽根なしディフューザ内における流量減少に伴う逆流域の発生状況を示す。基準ディフューザの場合、 $\phi=0.250$ 、 0.205 のときハブ側の逆流域がディフューザ出口まで到達しており、このことが圧力脈動を伴った不安定流動を発生する要因である。一方、通路幅を縮小した場合には、ディフューザ内の逆流域が消滅している。

図4は設計流量におけるディフューザ内の静圧上昇 $\Delta\psi_s$ を示す。半径比 $R=1.0\sim 1.3$ までの区間で、通路幅を縮小しているにも拘わらず $b_e=10[\text{mm}]$ の方が静圧上昇が大

きく、また、ディフューザ出口の圧力回復は損なわれていない。図5は半径比 $R=1.2$ における周分速度 V_u および半径分速度 V_m のシュラウド・ハブ間分布であり、横軸 Y はシュラウド壁面からの無次元距離である。 $b_e=15[\text{mm}]$ の場合のシュラウド側の逆流がディフューザ入口の V_u すなわち運動エネルギーを減少させていること、および $b_e=15[\text{mm}]$ の場合の逆流域による有効通路面積の減少と $b_e=10[\text{mm}]$ の場合の有効通路面積がほぼ等価であることが、図4に示すように、通路幅を縮小したにも拘わらず、設計流量近傍で平行壁羽根なしディフューザと同じ圧力回復が得られる要因である。なお、本研究は平成15年度科学研究費補助金(課題番号14550154)を受けて実施したものである。

参考文献

- (1) Frigne, P., van den Braembussche, R., Trans. ASME J. of Gas Turbines and Power, Vol.107, 507-513, (1985)
- (2) H. Hayami, ASME Paper 2000-GT-0465 (2000)
- (3) T. Surana・ほか3名, Proc. 5th JSME-KSME Fluids Engrg. Conf., OS16-4, No.2, 1-6 (2002)
- (4) T. Surana・ほか3名, Proc. 7th AICFM, No.30007 (2003)