

旋回流円錐ディフューザに関する研究 ——第 3 報 乱れの静圧回復への影響——

Study on Swirl Flow in a Conical Diffuser
——3rd Report, The Relation between Turbulence and Pressure Recovery——

鄭 孝 玟*・吉 識 晴 夫*・田 代 伸 一*・遠 藤 敏 彦*・高 間 信 行*
Hyo-Min JEONG, Haruo YOSHIKI, Shin-ichi TASHIRO, Toshihiko ENDOH and Nobuyuki TAKAMA

1. は じ め に

ディフューザにおいて、静圧回復の上昇は工学的にかなり重要な意味を持つ。このような静圧回復率をより高くするために従来からさまざまな方面から研究が行われてきた。たとえば^{2)~4)}、ディフューザの長さや面積比をパラメータとした性能線図に関するものを始め、ディフューザ入口条件の変化、壁面の境界層を制御する方法、旋回を持った流れを流入させるなどがある。これらは主に平均流特性と静圧回復率の関係について取り扱っている。このような外部的な流れの条件を変えて静圧回復率を改善する方法にも限界があり、ディフューザでの静圧回復の根本的なメカニズムを究明する必要がある。

そこで、本研究では旋回成分を持つ流れが円錐ディフューザに流入する場合、旋回流の強さとディフューザ広がり角をパラメータとし、静圧回復特性と各断面の乱れの関係性を調べた。

2. 実験装置および方法

静圧回復率の測定の実験装置は前報と同様である¹⁾。ディフューザ中心部に直径28mmの心棒を挿入した場合を基準にした。これは心棒挿入の方が高い静圧回復率を示す²⁾からである。静圧回復率の測定対象のディフューザは片広がり角φが4°、7°、15°の3種類で、前報¹⁾の乱れ測定に用いたディフューザと同じものである。また、静圧回復率の測定の主なパラメータとしては旋回流の強さ m_1 (入口直管の軸まわりの運動量と軸方向運動量の比) について行った。

入口条件はディフューザ入口の上流200mmでの測定値を基準にし、入口直管直径 $2R_{01}$ を代表長さとするレイノルズ数 ($R_e = \bar{U}_1 \cdot 2R_{01} / \nu$) は約 3.0×10^5 である (\bar{U}_1 は AR1 での断面平均軸方向速度、 R_{01} は入口直管半径、 ν は動粘度)。なお、本実験は流量が一定 (\bar{U}_1 が一定) で行った。また、図中の AR1~AR4 はそれぞれ入口直管部との

*東京大学生産技術研究所 第 2 部

面積比が心棒がない場合に 1~4 となる位置である。なお、旋回流発生装置の案内翼の角度 β と m_1 との関係は β が 0°, 3°, 6°, 9°, 12°, 15° はそれぞれ m_1 が約 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 に対応する。

3. 実験結果および考察

3.1 旋回流の強さによる静圧回復率

ディフューザの静圧回復性能を表す量として、次に定義する静圧回復率を用いた。

$$C_p = 1 - \frac{P_{dc}}{P_{d1}} \frac{\bar{P}_1 - P_{1c}}{P_{d1}} \quad (1)$$

ここで、下付き添え字、 d は動圧、 t は全圧、 c は整流室、 1 はディフューザ入口直管部 (AR1)、 $\bar{}$ は断面内流量平均値をそれぞれ示す。式 (1) の第 2 項は静圧へ変換されず、流出される動圧成分を、第 3 項は全圧の損失、すなわち、熱に消散する項を表す。図 1 に旋回流の強さについての各ディフューザの静圧回復率 C_p を示す。まず、流量変化による C_p の変化を ϕ が 4° の場合を行った。この結果、3 種類の流量変化 (Q/Q_1 は 1.24, 0.75, 0.5 であり、 Q_1 は入口軸方向速度 \bar{U}_1 が約 40m/s のときの流量) については有意な差は見られなかった。広がり角 ϕ が大きくなると C_p が小さくなり、旋回流の流入によってディフューザの性能が大きく上がることは従来の研究²⁾ とほ

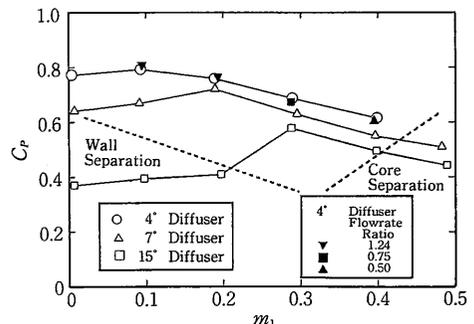


図 1 旋回流強さと静圧回復率

研究速報

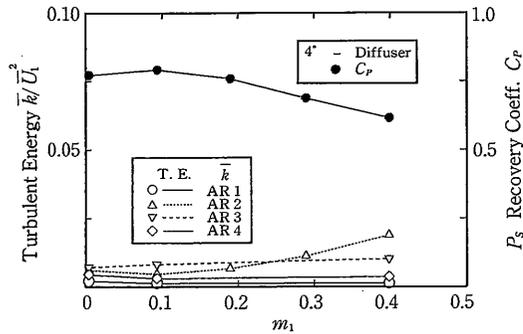


図2 断面平均乱流エネルギー ($\phi = 4^\circ$)

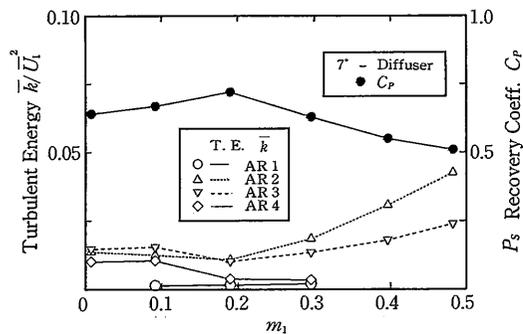


図3 断面平均乱流エネルギー ($\phi = 7^\circ$)

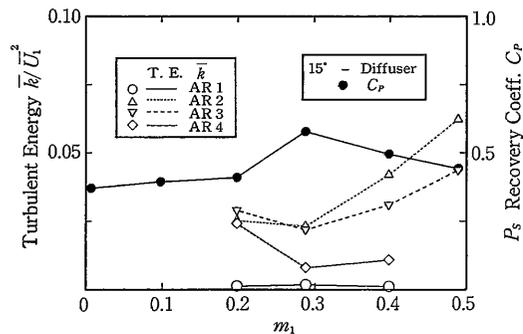


図4 断面平均乱流エネルギー ($\phi = 15^\circ$)

ば一致する傾向を示した。また、 ϕ が大きくなるにつれ最大静圧回復率を示す旋回流の強さも大きくなることから解った。次には静圧回復率と乱れの関係について述べる。

3.2 断面平均乱流エネルギーと静圧回復率の関係

各ディフューザ断面での乱流エネルギーを表す量として、軸対称流れを仮定して求めた流量平均乱流エネルギー \bar{k} を定義する。

$$\bar{k} = \frac{2\pi \int_{R_i}^{R_o} \rho U r dr}{2\pi \int_{R_i}^{R_o} \rho U r dr} \quad (2)$$

ここで、 R_i は心棒の半径、 ρ は密度、 U は各測定断面の半径位置 r での軸方向速度である。

式(2)の右辺の $k((u^2+v^2+w^2)/2)$ は各断面の半径位置での乱流エネルギー¹⁾である。図2~図4に ϕ が 4° 、 7° 、 15° の場合、 m_1 に対して \bar{k} の分布を示す。入口(AR1)での \bar{k} は m_1 と ϕ に無関係で小さい値を持つことを示す。これは入口では乱れの少ない均一な流れを示す。しかし、ディフューザの各断面(AR2, AR3)では \bar{k} が大きく増加していることを示す。これはディフューザ入口では乱れていないが、ディフューザ部に入るとは大きく乱れが生成することを意味する。このAR2, AR3で急激な乱れの発生は ϕ が大きくなるほど著しい。すなわち、 ϕ が大きくなるにつれ C_p の低下と \bar{k} の増加が対応する。また、各 ϕ について、 C_p が最大になる m_1 に対してディフューザ内の \bar{k} が最小値を示す。以上よりディフューザ断面内の乱れが大きくなると C_p が大きくなる。これは乱れの増加によって式(1)の第3項の全圧損失が大きくなることであると考えられる。

3.3 乱れの周波数特性と静圧回復率の関係

ディフューザ内各断面での乱れには種々の周波数の成分が含まれている。そこで、次のような k_i ($i = 1 \sim 5$)を求めて乱流エネルギーに含まれている乱れの周波数成分を調べる。すなわち、 k_i は乱流エネルギー k から10Hz以下、20Hz以下、30Hz以下、40Hz以下、50Hz以下の周波数領域をそれぞれカットして求めた乱流エネルギーである。すなわち、 $k_{i-1} - k_i$ (ただし、 $k_0 = k$)はそれぞれ10Hz以下、11~20Hz、21~30Hz、31~40Hz、41~50Hzの周波数成分の乱流エネルギーを意味する。なお、図5~図7に2倍断面での k_i 分布を示す。本実験での k_i の分布は次のような3種類のパターンを示した。

① 断面内の一種類の目立つ周波数成分が存在する場合(図5):

これは比較的小さい $\phi = 7^\circ$ の場合、弱い旋回流($\beta = 3^\circ$)での低周波の乱れが目立つことを示す。断面全体に10Hz以下の低周波数の乱れが支配的である。

② 断面内に数種の周波数成分の乱れが目立つ場合(図6):

大きい $\phi = 15^\circ$ の場合、弱い旋回流($\beta = 6^\circ$)のとき断面全体に不均一な周波数成分の乱れが現れる。この旋回流のときはディフューザ部入口壁面では激しいはく離が生じているときである。

③ 断面全体に目立つ周波数成分の乱れが存在しない場合(図7):

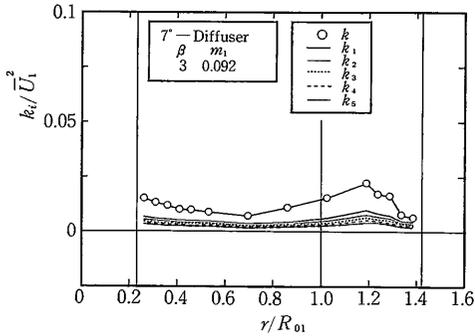


図5 周波数分布 ($\phi = 7^\circ, \beta = 3^\circ$)

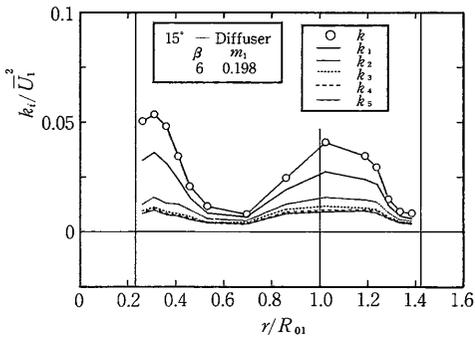


図6 周波数分布 ($\phi = 15^\circ, \beta = 6^\circ$)

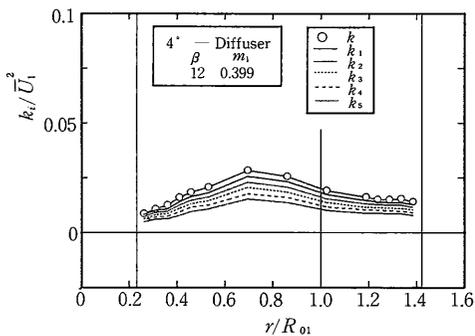


図7 周波数分布 ($\phi = 4^\circ, \beta = 12^\circ$)

断面全体がほぼ均一な k_i の分布であり、このような傾向は最大 C_p を示す m_1 以上の旋回流強さのとき生じる現象である。すなわち、強い旋回流の場合であり、広がり角 ϕ とは無関係で起る。

次に、各ディフューザと旋回流の強さに対して各断面で、各周波数成分の乱れがどの程度含まれているかの割合を調べる尺度として周波数成分割合 K_{Ri} を次のように定義する。

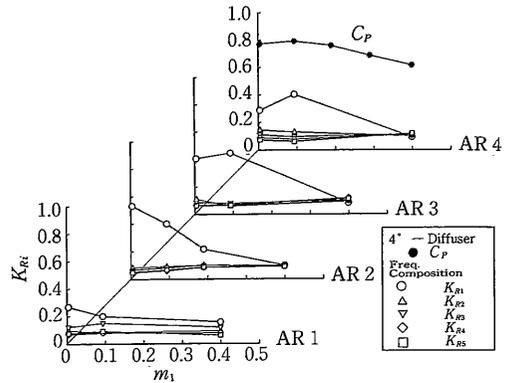


図8 周波数成分 ($\phi = 4^\circ$)

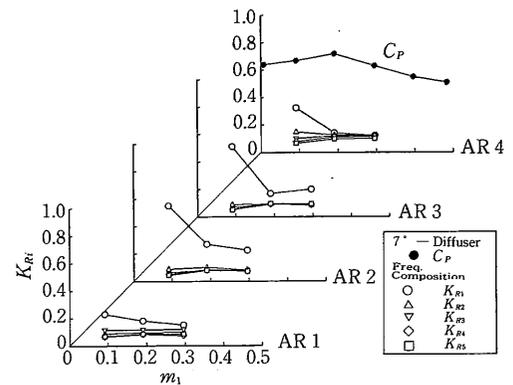


図9 周波数成分 ($\phi = 7^\circ$)

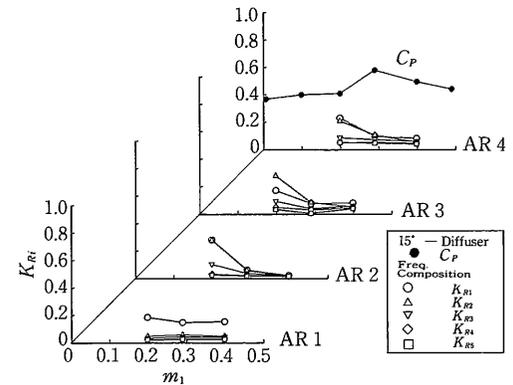


図10 周波数成分 ($\phi = 15^\circ$)

$$K_{Ri} = \frac{2\pi \int_{R_i}^{R_{01}} (k_{i-1} - k_i) \rho U r dr}{2\pi \int_{R_i}^{R_{01}} k \rho U r dr} \quad (i=1,5) \quad (3)$$

K_{Ri} は乱流エネルギー k_i に 5 種類の周波数成分 (10Hz 以下, 11~20Hz, 21~30Hz, 31~40Hz, 41~50Hz) の割合を

研究速報

それぞれ示す。図8～図10に各 ϕ についての周波数成分割合 K_{R_i} を示す。ディフューザ入口では低い周波数はほとんど見られないが、ディフューザ部に入ると低周波数成分が大きくなる。特に最大 C_p の直前の m_1 のところで低周波成分が大きい。これは弱い旋回流の時は壁面での部分的なはく離(ϕ が 7° と 15° の場合)、もしくははく離域近傍で発生する低周波成分の影響である。 ϕ が 15° の場合は K_{R2} の成分が K_{R1} と同程度の値を持っている。以上のように弱い旋回流では壁面はく離によって流路面積が小さくなり、動圧成分が静圧に変換されない状態でディフューザ出口へ放出される。このはく離によって生じる大きい乱れにより静圧回復率の大きい減少が起こると考えられる。

5. ま と め

本研究では旋回速度成分を持った流れが円錐ディフューザに入る場合について静圧回復率を測定し、断面内の流量平均乱流エネルギーと乱れの周波数特性を調べ、これらの実験結果から次のようなことがわかった。

適度の旋回流の強さにより、大幅に静圧回復上昇が期待でき、最大静圧回復率のところは各断面での平均乱流エネルギーは最小になる。このような傾向はディフューザ広がり角度が大きいほど激しい。また、弱い旋回流の場合は壁面のはく離等により、低周波数の乱れが発達する。

(1991年6月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 鄭・ほか4名; 旋回流円錐ディフューザの乱れ特性; 第19回ガスタービン定期講演会 講演論文集 P45-50 (1991)
- 2) 田代, 吉識; 旋回流円錐ディフューザの静圧回復性能; 機論 (B編), 51巻, 462号, (昭60)
- 3) C.D. Nelson; The Design and Performance of Axially Symmetrical Contoured Wall Diffusers Employing Suction Boundary Layer Control; ASME (J. of Engineering for Power) Jan. 1975
- 4) A. Klein; Effect of Inlet Condition on Conical Diffuser Performance; ASME (J. of Fluids Engineering) Jun. 1981