

# 旋回流円錐ディフューザに関する研究 ——第 4 報 壁面圧力変動と静圧回復の関係——

Study on Swirl Flow in a Conical Diffuser  
——4th Report, The Relation between Wall Pressure Fluctuation 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

旋回成分を持った流れが円錐ディフューザに入る場合は旋回なしの入口条件に比べ、高い静圧回復上昇が期待できるなどの特性が現れる。また、実際の円錐ディフューザの場合、タービンの出口に位置し、ディフューザに流入する流れは旋回速度成分を持つことが多い。そこで著者ら<sup>1)2)</sup>はこのような旋回流の流入下で、静圧回復率と熱線流速計によるディフューザ断面内の乱れを測定し、静圧回復損失のメカニズムを断面内の乱れの側面から調べてきた。しかし、旋回流の強弱によりディフューザ内の流れは急変し、ディフューザ壁面と中心部は強い圧力変動を示す。特に強い旋回流のときはディフューザ断面内の乱れも大きくなり<sup>2)</sup>、静圧回復率も大きく下がる。この場合ディフューザ中心部に適当な径の心棒を挿入することにより流れが安定し、静圧回復率も大きく上昇する<sup>3)</sup>。

そこで、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心棒の直径をパラメータとして壁面および心棒上の圧力変動を測定し、旋回流による圧力変動の挙動と静圧回復との関係を調べた。

## 2. 実験装置および方法

実験装置は前報<sup>1)</sup>と同様であり、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) によって工学的にもっとも意味のある片広がり角度  $\phi$  が  $7^\circ$  の

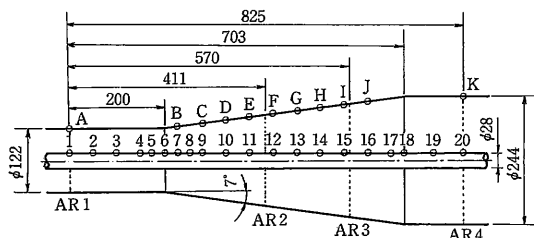


図 1 壁面と心棒上の圧力変動測定位置

\*東京大学生産技術研究所 第 2 部

ディフューザ(入口直径122mm, 出口直径244mmで面積比が4)について実験を行った。なお、入口条件はディフューザ部の上流200mmでの測定値を用いた入口直管直径を代表長さとするレイノルズ数  $Re = 2R_{01} \cdot \bar{U}_1 / \nu$  が約  $3.0 \times 10^5$  とした ( $\bar{U}_1$  は入口断面平均軸方向速度,  $R_{01}$  は入口直管半径,  $\nu$  は動粘度)。

なお、旋回流発生装置の案内翼の角度  $\beta$  と旋回流の強さ  $m_1$  との関係は  $\beta$  が  $0^\circ, 3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, 12^\circ, 15^\circ$  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。図 1 は  $\phi = 7^\circ$  ディフューザの壁面と心棒上の圧力変動測定的位置を示す。壁面は長さ方向に A~K の 11 点, 直径 28 mm 心棒上は 1~20 の 20 点で圧力変動を測定した。これらの圧力変動の測定には半導体小型圧力変換器を用いた。また、ディフューザの中心部に挿入した心棒径が壁面圧力変動へ与える影響を調べるために、直径 28 mm の心棒挿入, 直径 14 mm の心棒挿入, 心棒なしの 3 種類について壁面圧力変動を測定し、これらの圧力変動と静圧回復率との関係も調べた。図中の AR1, AR2, AR3, AR4 はそれぞれ入口直管部との面積比が心棒がない場合に 1, 2, 3, 4 となる位置である。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 心棒直径と静圧回復率の関係

図 2 に  $\phi = 7^\circ$  ディフューザにおける心棒径と静圧回復率  $C_p$  の関係を示す。ここで、静圧回復率  $C_p$  は次のような定義を用いた。

$$C_p = \frac{P_{sc} - \bar{P}_{a1}}{P_{a1}} = 1 - \frac{P_{dc}}{P_{a1}} \frac{\bar{P}_{a1} - P_{tc}}{P_{a1}} \quad (1)$$

ここで、 $P_s, P_a, P_c$  はそれぞれ全圧, 動圧, 静圧を示し、添え字 C と 1 は整定室, 入口直管部を示す。また、 $\bar{\phantom{x}}$  は断面内の流量平均値を示す。図 2 より  $m_1$  が 0.1 までは心棒径が  $C_p$  に及ぼす影響は少ない。しかし、心棒なしの場合  $m_1$  が 0.1 を越えると  $C_p$  が大きく下がる。また、直径 14 mm の心棒の場合は  $m_1$  が 0.2 までは直径 28 mm の心棒の場合と同程度の  $C_p$  を示すが、 $m_1$  が 0.3 からは  $C_p$  が大きく下

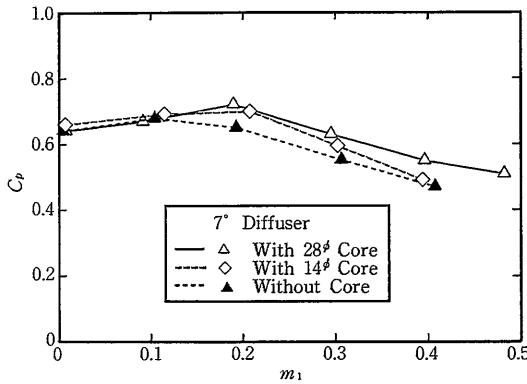


図2 心棒径変化による静圧回復率

る。これらの結果から中心部に適当な径の心棒を挿入することが $C_p$ を大きく上昇させるために必要であることがわかる。

3.2 壁面と心棒上の圧力変動

図3～図7はそれぞれ $\phi = 7^\circ$ の場合旋回流の強さ $m_1$  ( $\beta$ )の変化によるディフューザ壁面と心棒上(直径28 mm)の圧力変動値(Root Mean Square)を示す。図の横軸は軸方向の長さを入力直管の半径で無次元化し、縦軸の圧力変動 $p'$ は密度 $\rho$ 、流量 $Q$ (約 $0.43\text{m}^3/\text{s}$ )、入口直径 $2R_{01}$ で無次元化した。また、図中の無次元軸方向長さ0と8.2の縦線はそれぞれディフューザ入口と出口を表す。図3と図4は弱い旋回流の場合( $\beta$ が $0^\circ$ 、 $3^\circ$ )であり、ディフューザ入口付近で大きい圧力変動があるが心棒上では大きな圧力変動はない。すなわち、 $\beta$ が $3^\circ$ より小さい場合はディフューザ部入口壁面付近での部分的な離れが生じている。また、心棒上で一定の分布を示すことは壁面ではなく離れの影響が中心部の心棒までは及んでいないことを意味する。すなわち、 $\phi = 7^\circ$ の場合、弱い旋回流で発生する壁付近のはく離はその規模が小さいことを示す。壁面圧力変動値は $\beta$ が $0^\circ$ 、 $3^\circ$ のとき(図3、図4)は大きい値を示すが、 $\beta = 6^\circ$ (図5)になるとディフューザ入口壁面付近での大きい変動はなくなり、ディフューザ全体の壁面圧力変動が小さくなる。すなわち、旋回流成分の速度が強くなるにつれ、遠心力により壁面ではなく離れが治まるからであろう。しかし、心棒上では旋回流の影響が現れ、ディフューザ入口付近でやや高い圧力変動を起こす。 $\beta$ が $6^\circ$ を越えると壁面圧力変動値が急激に大きくなる(図6、図7)。この場合は心棒上でも圧力変動値が大きく増加する。旋回流が強くなると( $\beta$ が $6^\circ$ 以上)壁面圧力変動値の特徴的な変化は、最大の圧力変動を示す位置がディフューザ内の上流へ移ることである。しかし、心棒上の圧力の最大値は旋回流が強くなっても

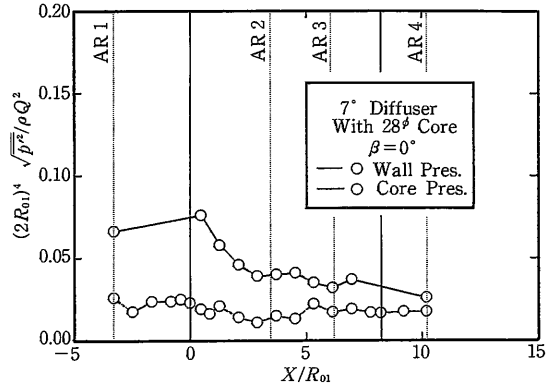


図3 壁面と心棒上の圧力変動値 ( $\beta = 0^\circ$ )

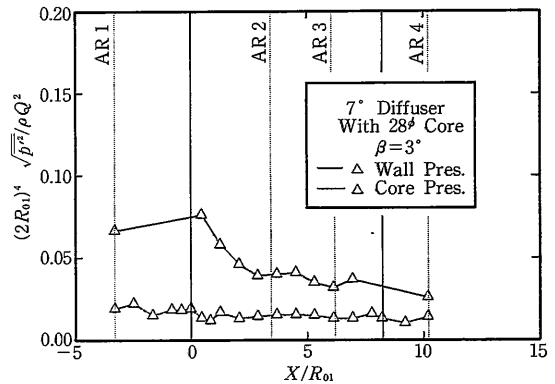


図4 壁面と心棒上の圧力変動値 ( $\beta = 3^\circ$ )

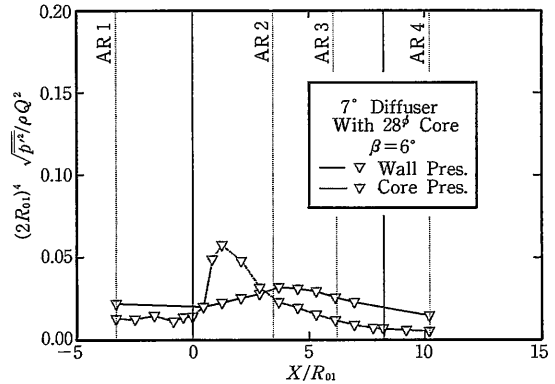


図5 壁面と心棒上の圧力変動値 ( $\beta = 6^\circ$ )

ほとんど同じ位置で生じている。すなわち、心棒上での圧力変動は壁面と違い、旋回流の強さが大きくなるとディフューザ入口付近のほぼ同じ位置で大きくなる。

3.3 旋回流の強さによる圧力変動と静圧回復率

図8と図9に旋回流の強さによる壁面と心棒上の圧力変動値の分布を示す。壁面圧力変動値の分布形状は、 $\beta = 6^\circ$ を境にし、これより弱い旋回流の場合( $\beta = 0^\circ$ 、 $3^\circ$ )

研究 速 報

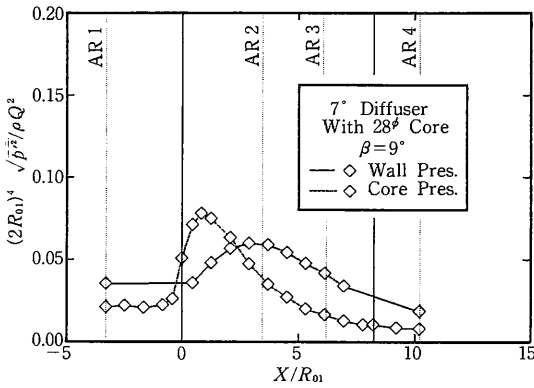


図6 壁面と心棒上の圧力変動値 ( $\beta=9^\circ$ )

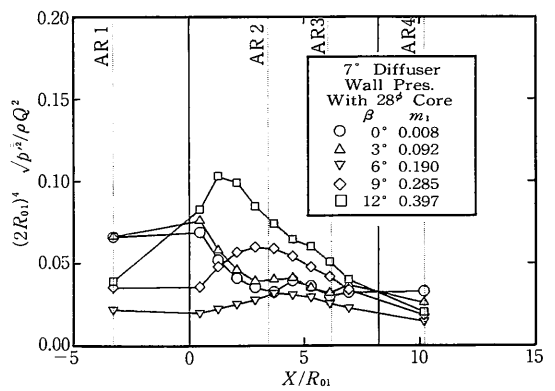


図8 壁面の圧力変動値 (心棒径28mm挿入)

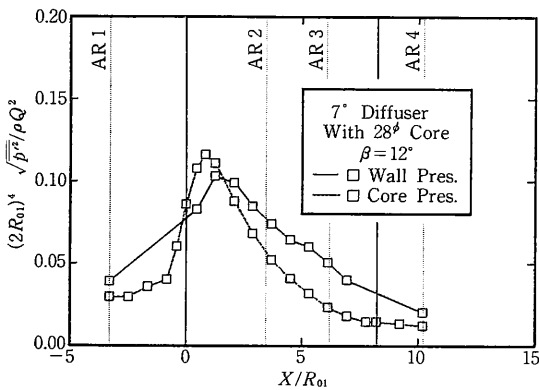


図7 壁面と心棒上の圧力変動値 ( $\beta=12^\circ$ )

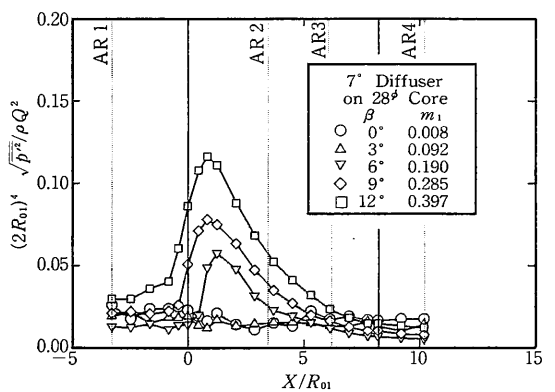


図9 心棒上の圧力変動値 (心棒径28mm上)

と強い旋回流の場合 ( $\beta = 9^\circ, 12^\circ$ ) の二つに大別される。また、心棒上の圧力変動分布の様子も  $\beta$  が  $6^\circ$  の前後で大きく変わる。壁面と心棒上の圧力変動値は  $\beta$  が  $6^\circ$  の場合が一番小さい。これらの圧力変動の様子は図2の静圧回復率が  $\beta = 6^\circ$  ( $m_1$  が約0.2) のとき最大値を示すことと対応する。すなわち、旋回流が強すぎるとディフューザ内全体が大きく乱れ、式(1)の右辺の第3項の全圧の損失が大きくなり、ディフューザの静圧回復率  $C_p$  が大きく低下すると考えられる。

### 3.4 心棒径変化による壁面圧力変動

図10～図14に旋回流の強さと心棒径の変化 (心棒径28mm, 心棒径14mmおよび心棒なし) による壁面圧力変動値の分布を示す。弱い旋回流 ( $\beta$  が  $0^\circ, 3^\circ$ ) のとき、3種類の心棒径の変化についての壁面圧力変動値は顕著な差は見られない。この  $\beta$  が  $0^\circ$  と  $3^\circ$  のときの状態は図2で心棒径によらずほぼ同じ静圧回復率を示すことと対応する。しかし、 $\beta$  が  $6^\circ$  になると心棒なしが一番高い壁面圧力変動を示し、心棒径14mm, 心棒径28mmの順に壁面圧力変動値が小さくなる。これは図2の静圧回復率でもわか

るように、ディフューザ中心部に適当な径の心棒を挿入すると大きい静圧回復が得られることと一致する。すなわち、同じ旋回流の強さに対して、壁面の圧力変動値が大きくなると静圧回復率は大きく下がる。逆に圧力変動値が小さくなると静圧回復率は高くなる。次に図13, 図14は  $\beta$  が  $9^\circ$  と  $12^\circ$  の場合の壁面圧力変動値を示す。心棒径変化による全体的な傾向は  $\beta = 6^\circ$  と同じであり、心棒なしの場合でも旋回流が強くなると、その最大壁面圧力変動値は上流側へ移動することが目立つ。

## 4. 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壁面の圧力変動値を測定し、これと静圧回復率の関係について調べた。その結果、次のようなことがわかった。

旋回流が強くなるにつれディフューザ壁面の最大圧力変動を与える位置はディフューザ内の上流へ移動するが、中心部 (心棒径28mm上) での最大圧力変動はほぼ同じ位置 (ディフューザ入口付近) で生じる。旋回流の強さが

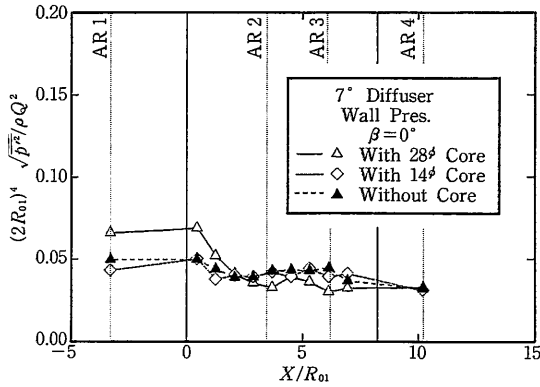


図10 心棒径変化による壁面圧力変動値 ( $\beta = 0^\circ$ )

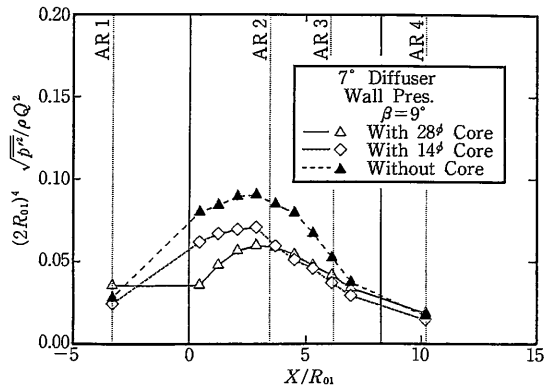


図13 心棒径変化による壁面圧力変動値 ( $\beta = 9^\circ$ )

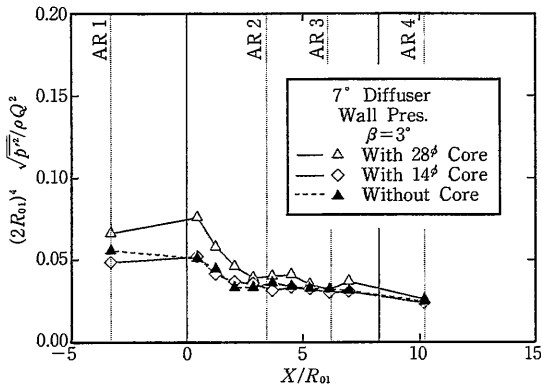


図11 心棒径変化による壁面圧力変動値 ( $\beta = 3^\circ$ )

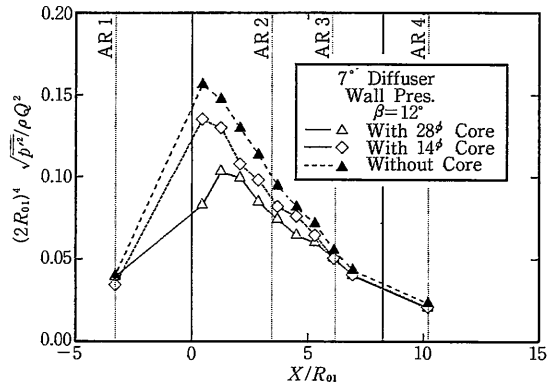


図14 心棒径変化による壁面圧力変動値 ( $\beta = 12^\circ$ )

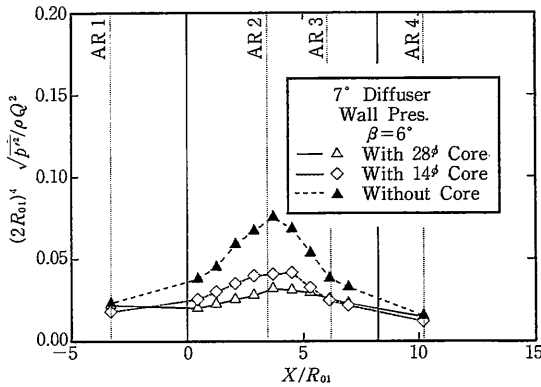


図12 心棒径変化による壁面圧力変動値 ( $\beta = 6^\circ$ )

変わると圧力変動値も大きく変化するが、壁面と中心部の圧力変動値が小さくなる旋回流のときが一番高い静圧回復率を示す。また、ディフューザ中心部に適当な直径の心棒を挿入することにより壁面圧力変動値が大幅に小さくなり、静圧回復率は大きくなる。

(1991年7月19日受理)

参 考 文 献

- 1) 鄭・ほか4名；第19回ガスタービン定期講演会講演論文集 (1991-5)
- 2) 鄭・ほか4名；第6回ガスタービン秋季講演会講演論文集 (1991-8)
- 3) 田代，吉識；機論 (B偏)，51巻，462号，(昭60)