研究速報

UDC 532.542：532.526：532.517

旋回流円錐ディフューザに関する研究
——第2報　心棒の有無による静圧回復と乱れ——

Study on Swirl Flow in a Conical Diffuser

——2nd Report, The Relation between Pressure Recovery and Turbulent Characteristic by Inserting Solid Core——

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．序

旋回を伴う流れが円錐ディフューザに流入する場合，その内部の流れはかなり複雑である．そこで著者らはこのような旋回流の流入する円錐ディフューザの内部の乱れを測定し，乱れ特性の一部を明らかにした[1]．ターボ機械等で多く使われている円錐ディフューザでは静圧回復性能が重要視されている．このターボ機械出口での流れは一般に旋回を伴った流れとなっている．この流れが円錐ディフューザに流入すると，中心部に逆流等の不安定領域が発生し[2]静圧回復率に大きな影響を与えている．この不安定領域発生防止のために円形心棒を挿入すると静圧回復率を大きく改善することができる[3]．

そこで，本研究では旋回速度成分を持つ流れが円錐ディフューザに流入する場合，ディフューザ中心部の心棒の有無による静圧回復特性と乱れとの関係から静圧回復損失のメカニズムの一部を明らかにする．

2．主な記号

P_s：静圧　P_d：動圧

P_t：全圧

R_1：心棒半径　r：半径

U，V，W　：軸，半径，周方向速度

u'，v'，w'　：軸，半径，周方向速度の変動値

ρ　：密度

—　：流量平均値

下付き添え字　C：整定室

1：ディフューザ入口直管

3．実験装置および方法

実験は前報[1]と同じ装置で行った．旋回流に対し工学的にもっとも意義のある静圧回復率を持つ片広がり角ϕが7°のディフューザ（入口直径122mm，出口直径244mm）について旋回流の強さm_1（入口直管の軸まわりの運動量と軸方向運動量の比）[1]に対する静圧回復率を測定した．実験は，2種類の心棒（直径が28mmと14mm）と心棒なしの場合について行い，心棒が静圧回復率にどのような影響を及ぼすかを調べた．また，心棒なしの各断面AR1～AR4について，乱れを測定し，心棒挿入（直径28mm）の測定結果[1]と比較検討し，乱れと静圧回復率の関係を調べた．

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（$Re=\overline{U_1}\cdot 2R_{01}/\nu$）は3.0～3.1×10⁵である（$\overline{U_1}$はAR1での断面平均軸方向速度，$\nu$は動粘度）．なお，本実験は流量が一定（$\overline{U_1}$が約40m/sで一定）となるようにした．また，図中のAR1～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1～4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．

4．実験結果および考察

4.1　入口の流れ状態

図1と図2に心棒の有無による入口直管部の全圧分布を示す．横軸はR_{01}で，縦軸は$\overline{Pd_1}$でそれぞれ半径位置，全圧を無次元化してある．図1はディフューザ中心部に直径24mmの心棒を挿入した場合の全圧分布で，旋回流の強さm_1によらずほとんど同じ値を示す．ただ，βが12°のときに心棒上でやや低い全圧を示す．

次に図2は心棒なしのときの全圧分布を示す．図1に比べ入口直管部の中心部は大変低い値になる．この低い値を示す領域はちょうど直径28mmの占める位置（無次元半径0.22のところ）であり，この領域が静圧回復率に大きい影響を及ぼすと考えられる．

4.2　心棒の有無による静圧回復率

ディフューザの性能を表す量として，次に定義する静圧回復率を用いた．

*東京大学生産技術研究所　第2部

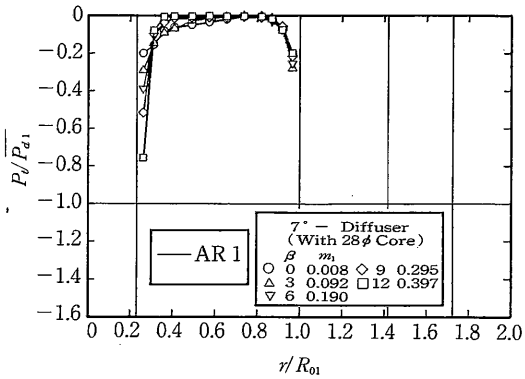


図1　全圧分布（直径28mm心棒挿入）

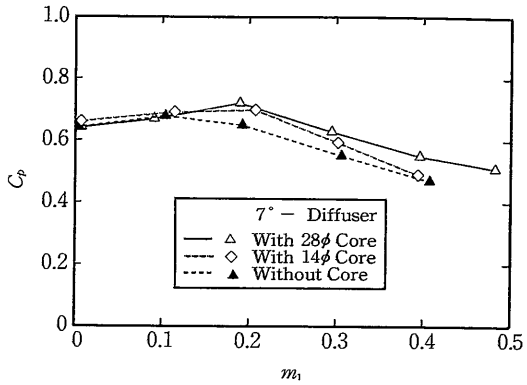


図3　静圧回復率（$\phi=7°$，$\beta=6°$）

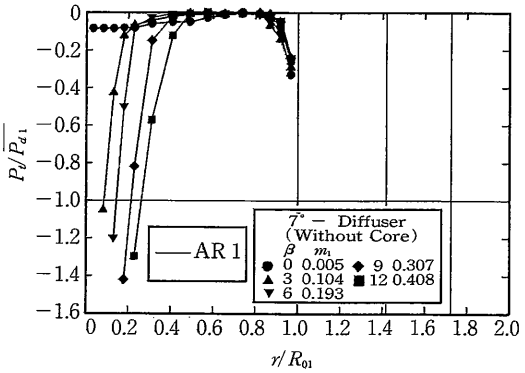


図2　全圧分布（心棒なし）

$$C_p=\frac{P_{sc}-\overline{P_{s1}}}{\overline{P_{d1}}} \qquad (1)$$

この式(1)を書き直すと，

$$C_p=1-\frac{P_{dc}}{\overline{P_{d1}}}-\frac{\overline{P_{t1}}-P_{tc}}{\overline{P_{d1}}} \qquad (2)$$

ここで式(2)の第2項は出口へ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3に旋回流の強さm_1とディフューザ静圧回復率C_pとの関係を示す．ここで，3種類の心棒径変化によるC_pで共通なことは，静圧回復率の上昇が旋回流の流入によって生じることである．なお，最大静圧回復率を得るためには適当な旋回流の強さが必要であることを示す．次に心棒の径の違いによる効果について述べる．

①心棒なしの場合（▲）：旋回強さm_1が0.1（$\beta=3°$）のときに最大のC_pを示しているが，m_1のC_pの改善への効果は小さい．これは，ディフューザ中心部における不安定な渦と逆流の発生等による断面内全領域で流れが大きく乱れて(次節参考)，式(2)の第3項の全圧損失が大きくなるためであろう．

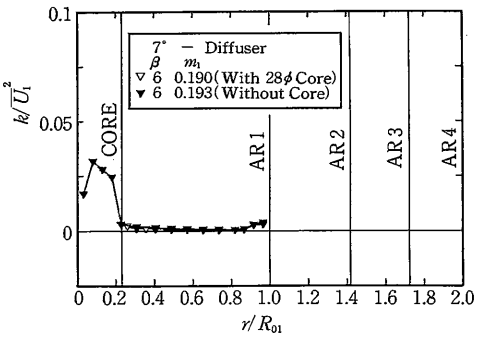
②直径14mm心棒挿入の場合（◇）：心棒なしに比べ旋回流の効果が大きい，すなわち，m_1が0.2（$\beta=6°$）で最大のC_pを示すがこれ以上のm_1については急激なC_p降下が見られる．

③直径24mm心棒挿入の場合（△）：このときはm_1が0.2までは直径14mmの場合と同程度のC_pを示す．しかし，m_1が0.2以上の領域では全体的にC_pが低下するが，上記二つの場合と比べ大きいC_pを示す．すなわち，強い旋回流になるほどディフューザ中心部に心棒径の太いものを入れることによって中心部の不安定領域を抑さえることができ，高いC_pが期待できることを示す．

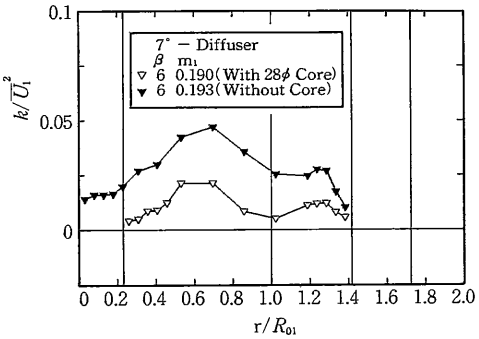
以上により，弱い旋回流（m_1が0.2以下）の中心部での不安定な流れがC_pに及ぼす影響は小さい．しかし，強い旋回流の場合には中心部に最適な直径の心棒挿入によってC_pを大幅に上昇することができる．すなわち，ディフューザ中心部の不安定領域がC_pに大きい影響を与えることを示す．次には心棒の有無による乱れの変化について述べる．

4.3　心棒の有無による乱れ特性変化

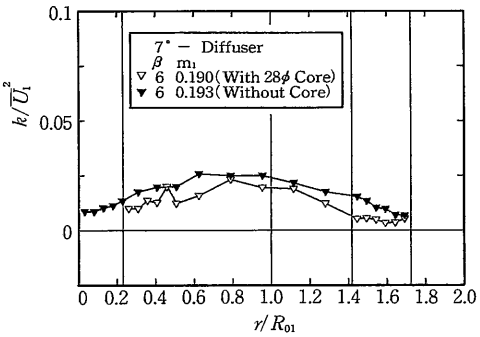
図4はディフューザ片広がり角ϕが7°のディフューザについて，各断面における乱流エネルギk（$=(\overline{u'^2}+\overline{v'^2}+\overline{w'^2})/2$）の分布を示す．旋回流の強さは最大静圧回復率を示す$m_1\fallingdotseq0.2$（$\beta=6°$）の場合に限って実験を行った．以下の図において，縦軸の乱流エネルギは入口直管部の軸方向速度$\overline{U_1}^2$で無次元化してある．本実験では心棒なしの場合図4(1)に示すように，旋回流が与えられると入口では中心部に全圧の低い領域が発生し乱れも大きくなる．この乱流エネルギが極端に大きい領域は直径28mmの心棒が占める部分に相当し，他の領域においては心棒ありの場合の乱流エネルギ分布と同じである．このような流れがディフューザ部（AR2）に入ると心棒ありに比べ断面全体に乱流エネルギが大きくなる（図4(2)）．これは心棒なしの場合，旋回成分の速度がディフューザに入ると中心部で不安定な渦の発生により断面



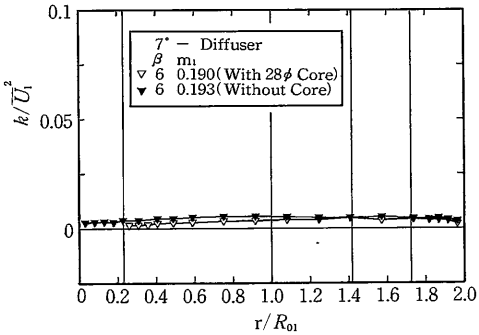
（1） 入口（AR1）



（2） 2倍断面（AR2）



（3） 3倍断面（AR3）



（4） 出口（AR4）

図4　乱流エネルギ分布

全体に流れの振動[2)]が大きくなるためであると考えられる．次に図4（3）はAR3での乱流エネルギを示す．ここでは，AR2での大きい乱流エネルギがAR3の方では拡散され，小さくなる傾向を示す．図4（4）は，出口（AR4）の乱流エネルギ分布を示す．このディフューザ出口では心棒の有無による乱れについて有意な差は見られず，全体的には減衰して行く様子を示す．図5は心棒なしの場合（$\phi=7°$，$\beta=6°$）についてディフューザ入口から出口までの各断面内の乱流エネルギの分布を示す．これは2倍断面における大きい乱流エネルギがディフューザの下流に行くにつれて減衰して行く様子を示している．以上のように心棒なしの場合は，各断面で心棒ありに比べ，大きく乱れが生じる．これは図3の静圧回復率曲線でも明らかなように，旋回流が流入すると，心棒なしの静圧回復率は心棒ありに比べ低くなる．すなわち，ディフューザ内の各断面の乱れが大きくなると静圧回復に対して損失である式（2）の第3項が大きくなるからである．

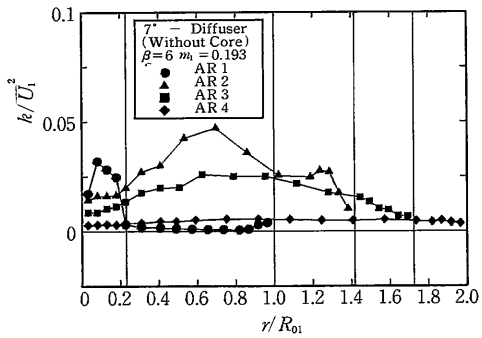
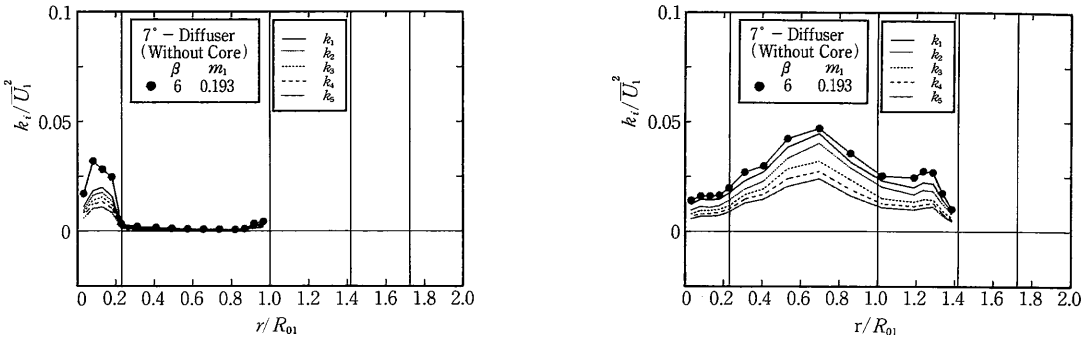


図5　乱流エネルギ分布（心棒なし）

4.4　乱れの周波数特性

ディフューザ内の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，乱れの周波数特性を調べるために次のような乱流エネルギ成分k_i（$i=1$，5）を求める．すなわち，k_iは乱流エネルギk（図6の●）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成分である．図6（1），6（2）に心棒なしの場合のAR1とAR2断面の乱流エネルギk_iの分布を示す．ディフューザ入口断面（図6（1））では中心部付近で10Hz以下の低周波の乱れが支配的であることを示す．すなわち，心棒なしの場合，旋回流が流入すると入口直管部では，図2



（1）入口（AR1）　　（2）2倍断面（AR2）

図6　乱流エネルギの周波数成分

の全圧分布でもわかるように中心部は逆流等の非常に不安定な流れが発生していることを示す．なお，半径位置0.3以上の領域では特有な周波数成分のない乱れの小さい流れの様子を示す．しかし，このような状態の流れがディフューザ部（図6（2））に流入すると乱れの周波数特性は一変する．すなわち，半径位置0.2までの中心部では図6（1）の場合と異なり，11〜20Hzの周波数成分の乱れがやや大きくなる．また，半径位置0.7付近では21〜30Hzの周波数成分の乱れがやや大きいことを示す．しかし，全体としてはホワイトノイズ的な乱れと言える．

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流入する場合，心棒有無をパラメータとして静圧回復率と乱れを測定した．これらの実験結果から次のようなことがわかった．

同じ旋回流に対して最大静圧回復率を得るためにはディフューザ中心部に最適な直径の心棒挿入が必要となる．心棒なしの場合は心棒ありに比べ大きな乱れが生じ，その結果静圧回復率も大幅に下がる．また，この静圧回復率の降下原因の一つは乱れの増加による全圧損失であると考えられる．

なお，本研究の実験装置は本所試作工場により製作されたものである．関係各位に感謝する．

（1991年5月17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) 鬼頭；広がり管内の乱流旋回流のふれまわり；機論（B偏），51巻，465号，（昭60）
3) 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偏），51巻，462号，（昭60）