

# 琉球大学学術リポジトリ

## 二次元曲がりディフューザ内流れについて

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2007-09-16 キーワード (Ja): キーワード (En): Curved diffuser, Turbulent flow, Fluid machinery, Velocity fluctuation, Stall flow, Secondary flow 作成者: 山里, 栄昭, 伊良部, 邦夫, 照屋, 功, Yamazato, Eisho, Irabu, Kunio, Teruya, Isao メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/1997">http://hdl.handle.net/20.500.12000/1997</a>

## 二次元曲がりディフューザ内流れについて

山里 栄昭\* 伊良部 邦夫\* 照屋 功\*

## Study on Flow in the Two-Dimensional Curved Diffuser

Eisho YAMAZATO\* Kunio IRABU\* and Isao TERUYA\*

## Abstract

Curved diffusers are used in pipe lines or in some fluid machineries, such as blades of impeller, a volute casing, or suction duct. The performance of the curved diffuser has a considerable effect on the energy conversion in the pipe lines or the machineries. Furthermore, the volute casing in the pumps or blowers is generally attached to the radial diffuser, so that the flow in the volute or scroll casing has usually very high complexities. The flow in the volute casing will be moderated by the combination of the single curved diffuser and the longitudinal side wall slit duct. However, the studies to the flow in the curved diffuser with the longitudinal slit, were merely conducted in the past ages.

In this report, as a step of the study of the flow in the volute casing, experiments of flow in a two-dimensional curved diffuser, which has a small diverging angle and 90° turning angle, were carried out. The time average velocities and velocity fluctuations were measured using a constant temperature hot-wire or split film probe system. It is shown that the flow in the curved diffuser has velocity profiles with gradually variant gradients and attached to the outer side wall, and the profiles of velocity fluctuations have very interesting patterns concernig to the stall and the secondary flow.

**Key Words:** Curved diffuser, Turbulent flow, Fluid machinery, Velocity fluctuation, Stall flow, Secondary flow

## 1. 緒言

種々の合流管や遠心流体機械のポリュート（またはスクロール）や開放型の羽根車の羽根間、ジェットポンプ等、あるいはディフューザ内の流れは、流路形状

が曲りやねじれ、さらには拡がりに伴うので非常に複雑である。それに従い、主流の領域において流れは三次元性の様相を呈するので、低レイノルズ数の流れにおいても、これらの流路内の流れ解析は一般に困難である。さらにポリュート付き遠心ディフューザに関し

受理：1993年5月10日

\* 工学部機械工学科 Dept. of Mechanical Eng., Fac. of Eng.

ては、ポリュート流れはその側壁面にポリュート流れ方向の二次元スリットジェットを付加したようなものとして考えられるが、その流れは流体機械の性能にかなり大きな影響を及ぼすことがあり、早急に調べる必要がある。

曲り流路内流れに関して考慮しなければならない事項は、流線の曲率の影響、流れのはく離、境界層との相互作用領域（助走区間の流れ）、二次流れ等があり、これらはディフューザの形状や入り口流れの状態、レイノルズ数等によって影響を受けることが予想される。特に流れのはく離は、ディフューザの性能を左右する重要な事項の一つである。曲りディフューザ（以下単に、曲りディフューザと書く）の初期はく離状態に関しては、図1に示すような線図(1)がある。この図よりディフューザの転向角 $\beta$ が大きいくほど、初期はく離を示すディフューザ広がり角 $2\theta$ （ここでは、初期はく離角と呼ぶ）は小さくなる。また転向角が一定であれば、ある長さのとき初期はく離の生じる広がり角のとり得る範囲は最大となり、その長さより増減しても初期はく離角の範囲は減少する。さらに転向角が小さくなるほど、はく離角最大となる長さは次第に小さくなっている。同図中の●印は本実験での供試曲りディフューザの形状を示している。同ディフューザの出口流れの転向角は見かけ上約 $87^\circ$ 程度であり、流れは初期はく離の状態を越え、Fully developed stallの領域にある。

本研究では、曲りディフューザについての実験を行い、平行ダクトおよび曲りディフューザ内の圧力や速度を測定し、曲りディフューザ内の流れの構造（はく離点、逆流領域の広さ、二次流れ、乱れ強さや乱流応力強さ等）を明らかにする。本報告では時間平均の速度と速度変動、および圧力についての実験に基づき考察を行った。

記号

- $W_1$  : ディフューザ入口幅
- $W_2$  : ディフューザ出口幅
- $H$  : ディフューザ高さ
- $R$  : 曲りディフューザの内側面の曲率半径
- $s$  : 曲りディフューザの内側面に沿う $\theta$ 方向の距離
- $r$  : 半径
- $x$  : x方向の座標
- $y$  : y方向またはr方向の座標
- $U_0$  : ディフューザ入口基準位置での流速

- $u$  : x方向または $\theta$ 方向の時間平均速度成分
- $u'$  : x方向または $\theta$ 方向の変動速度成分
- $p$  : 圧力
- $C_p$  : 圧力係数 ( $= (p-p_0) / (1/2 \rho U_0^2)$ )
- $\rho$  : 空気密度
- $\theta$  : ディフューザ入口からの角度
- $\delta$  : 境界層厚さ
- $\delta^*$  : 境界層排除厚さ

添字

- 0,1 : ディフューザの入口状態
- 2 : ディフューザの出口状態

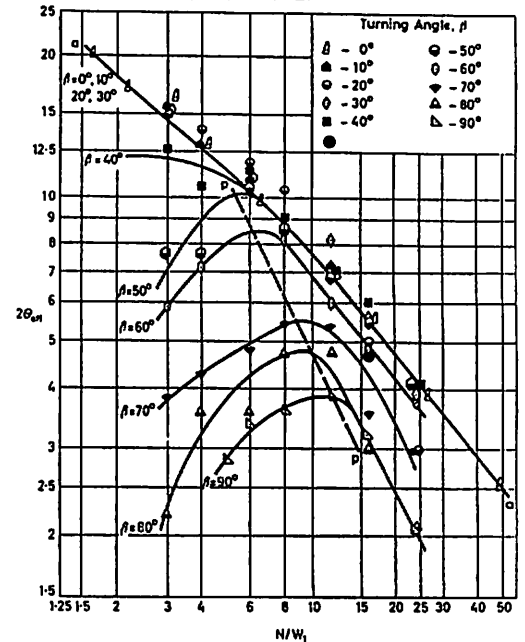


Fig. 1 Location of the first appreciable stall (line a-a) as a function of turning angle  $\beta$  in curved diffusers with circular-arc center line and linear area distribution(1)

2. 実験装置と実験方法

供試の曲りディフューザの概略と座標系を図2に示す。送風機より送られた空気は整流されて後、吹出しノズル、入口ダクトを経て、テストセクションを通り、大気に開放される。x-y座標系の原点はディフューザ入口断面内の内側（凸）壁面上にとった。距離sはx-y座標原点から凸壁面に沿ってとった曲線座標である。ディフューザ内の任意の点の座標は(s, y)で表す。ただしこの場合のyは凸壁面から半径r方向に沿ってとった距離である。

流速はピトー管, あるいは1形熱線(5μm)プローブやスプリットフィルムプローブ(SFP, 120μm)を用いた定温度型熱線流速計によって測定した。圧力タップはφ1とし, テストセクションでは速度測定孔は10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°の各断面の内外両側面の中心線上に設けた。また圧力タップは5°, 15°, 25°, 35°, 45°, 55°, 65°, 75°, 85°の各断面の内外側壁面の中心線上に設けた。

本実験ではテストセクションの入口流れの状態を定める基準断面を入り口から上流側220mm ( $x/W_1=-4.4$ )の位置とした。また各断面の速度分布は基準断面内  $z/H=0.44$ ,  $y/W_1=0.5$ での速度を基準として採用し, これにより各断面での測定量を無次元化し, 整理した。実験は入り口基準断面での速度を30m/s(レイノルズ数  $Re=U_0 \cdot W_1 / \nu = 1.0 \times 10^5$ , デーン数  $D=Re \sqrt{W_1} / (2R) = 2.28 \times 10^4$ )として行った。

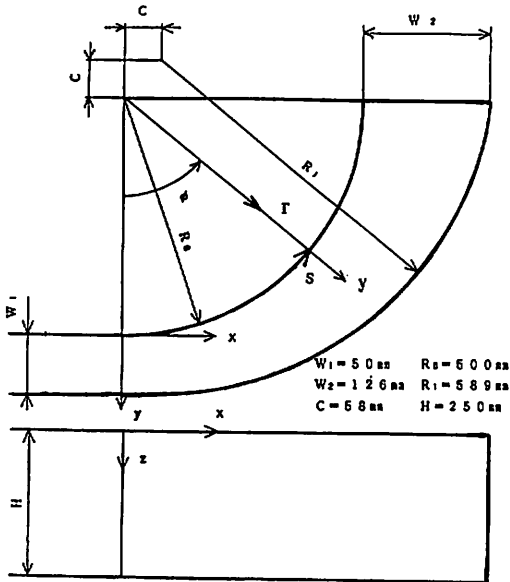


Fig. 2 Schematic view of test apparatus and coordinates

### 3. 実験結果と考察

図3はディフューザの上流ダクトにおける時間平均速度分布を示している。図3(a)は  $x/W_1=-4.4$ の位置で境界層ピトー管を用いて測定した  $z/H=0.22, 0.44, 0.78$ の三断面での速度分布であり, 流れはほぼ二次元性を有し, 左右対称となっている。左右の境界層厚さ  $\delta$ の平均値はダクトの半幅に対して  $2\delta/W=$

0.39であり, プロセージ  $2\delta/W_1=0.87$ 程度である。図3(c)は  $x/W_1=-1.4$ の位置での速度分布を示しており, 図3(a)の場合と同様に外側壁面上 ( $y/W_1=1.0$ )境界層の外端で,  $z$ 方向に2~3%の速度差がみられるが, 全体的にはほぼ二次元性を保っている。またこの領域では図3(a)の場合と比較して境界層厚さは10%程度大きくなっている。

図4は図3(a)の速度分布を対数速度則と比較して示したものである。図より左右の側壁面上の境界層速度分布はかなりよく類似しており, 対数速度則と  $50 < y^+ < 200$ の範囲で一致している。ここで  $y^+ = u \cdot y / \nu$ であり,  $y^+ = v \cdot y / \nu$ である。

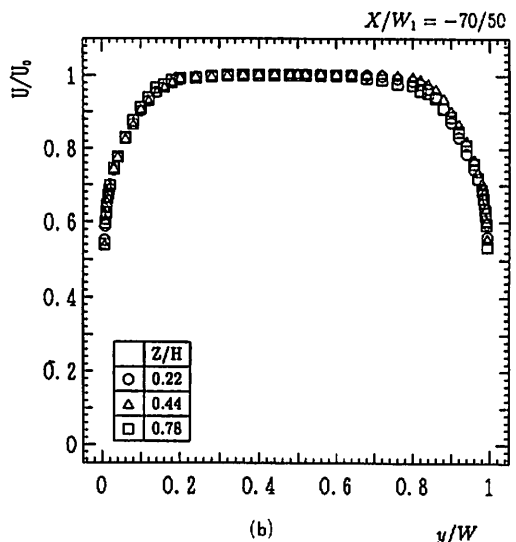
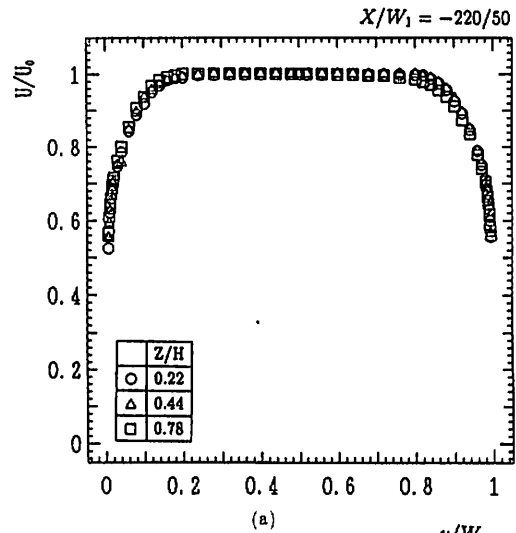


Fig. 3 Inlet velocity distributions

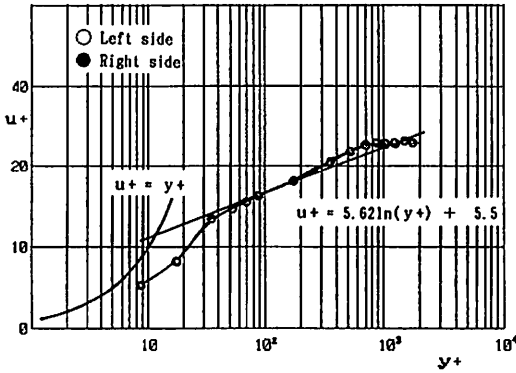


Fig. 4 Inlet velocity distributions

図5はディフューザ内の各断面における速度分布を示している。図5(a)はI形熱線プローブによるものであり、図5(b)はSFPを用いて得られたものである。全体的に内(凸)壁面側に流れが偏流し、入口部より下流に行くにつれて偏流の程度は強まっている。また主流部は内側で速度が最大となり、外側(凹面側)に行くにつれて、次第に速度が低下している。このことは流れが曲がり部に入ることにより、自由渦の性質を付加されるためである。一方ディフューザ流れでは下流に行くにつれて、逆圧力勾配に打ち勝って流れなければならず、凸面上の境界層内の流体は激しいエネルギー消費のために急激に減速され、ついにははく離をすこ

とになる。この図より約60°の位置において流れが内側壁面上で剥離しており、逆流領域がディフューザ出口まで広がっていることがわかる(図5(b))。タフトによる観察では約55°の位置においてははく離が始まることが認められた。また逆流領域の幅は全体に渡って最大10mm(断面比で約8%)であった。

図6は図5(b)に示した速度分布を曲がりディフューザの物理面の格子点上の速度分布として示したものである。この図からもわかるように流れは内側壁面上ではく離し、このために外側壁面のほうへ大きく偏流している。(ただし、投影方向は図2と逆に示した)。

図7は入口部  $x/W_1 = -1.4$  の位置における乱れ強さの分布を示している。図より流路の中心部における乱れ強さは約2%であり、また分布形はほぼ左右対称になっていて、両側面近傍で最大値を有している。

図8はディフューザ内の乱れ強さの分布を示す。図より断面内での最大乱れ強さの位置は、平均速度分布の変化に対応して、入口から下流に行くにつれて壁面付近から流路の中央部へ次第に移行することがわかる。(図8(a), 図8(b))。すなわちこのことは乱れエネルギーの生成が主流の速度勾配に大きく依存していることを示している。図よりディフューザ出口での最大乱れ強さは約12%であり、その位置はほぼ断面の中央に相当している。

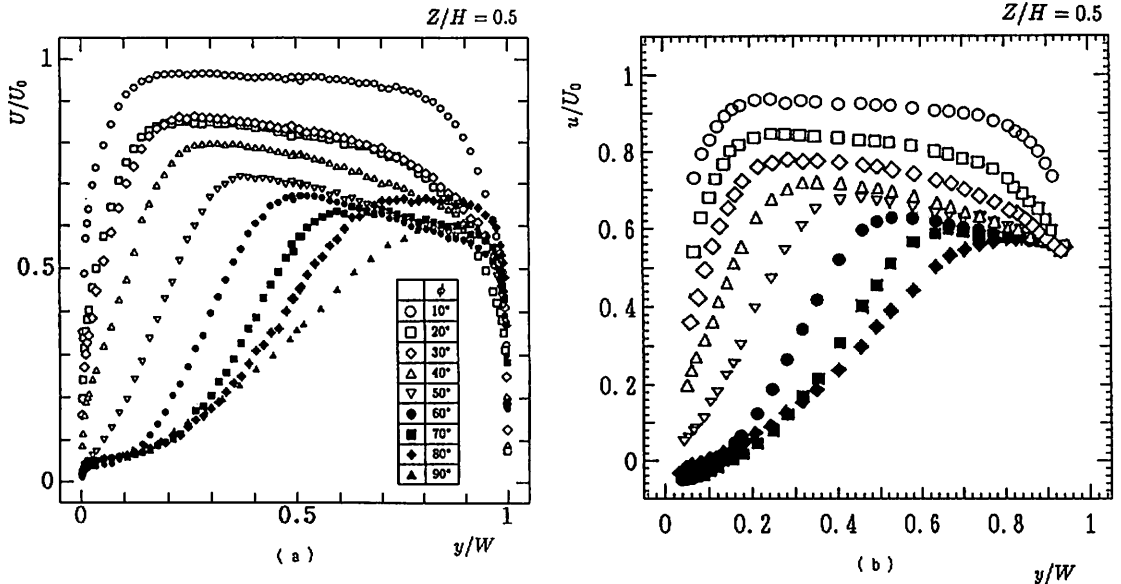


Fig. 5 Velocity distributions in the curved diffuser

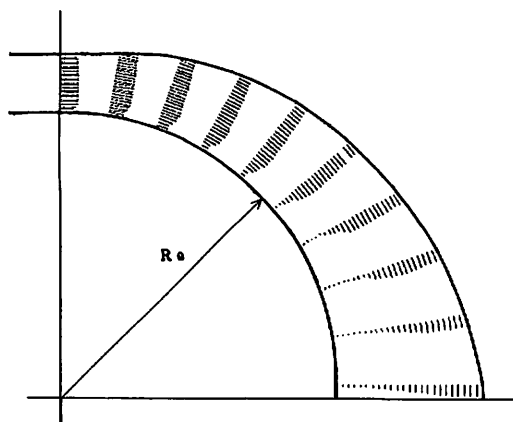


Fig. 6 Velocity distributions on the grids in the curved diffuser

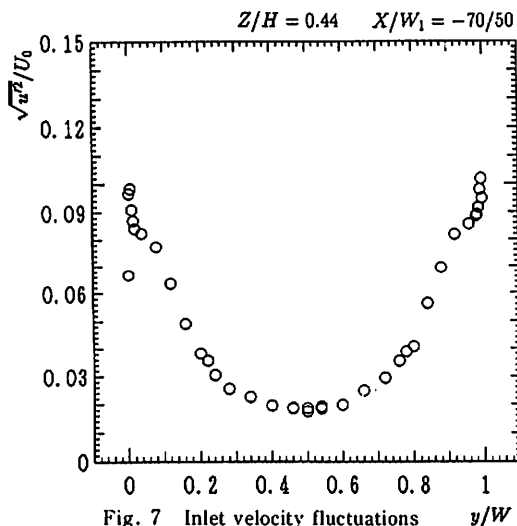
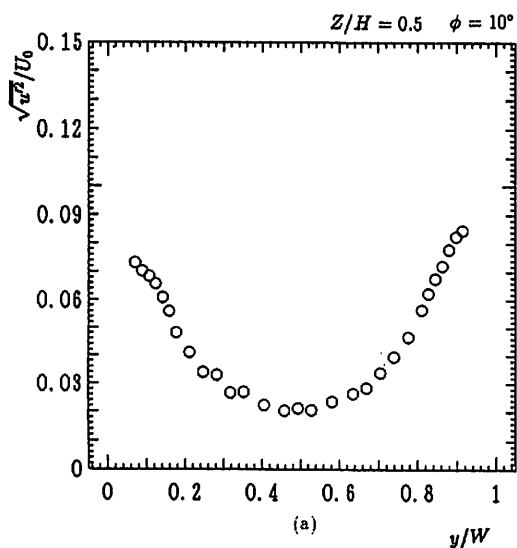
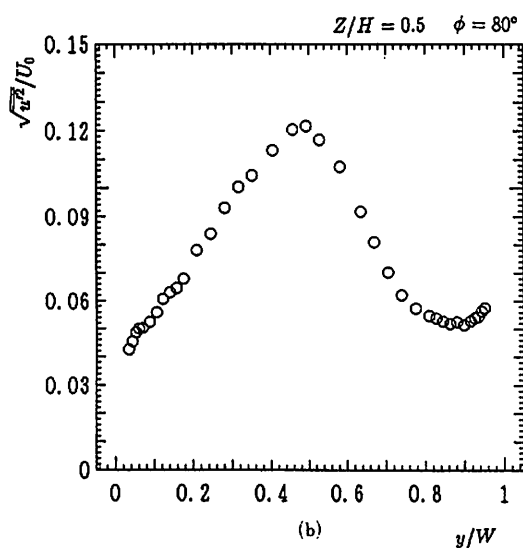


Fig. 7 Inlet velocity fluctuations



(a)



(b)

Fig. 8 Velocity fluctuations in the curved diffuser

図9はディフューザ内における最大速度の変化を示したものである。入口から約10°の位置までにおいて、速度はほとんど変化しないが、その後は各断面の面積の変化に対応して次第に減少している。

図10は各断面内の速度の最大乱れ強さの変化を示している。図より各断面内の最大乱れ強さの値はディフューザ入口から30°の位置あたりまではほぼ一定であるが、その後は急激に増加し、ピーク値約14%に達した後に幾らか減少していることがわかる。出口部における乱れ強さの減少は、出口の外部領域からの流れ

の誘引により逆流域へ運動量が供給されるためと考えられる。

図11は壁面上の圧力分布を示す。実線は理想流体に対する圧力係数であり、記号(○: inner side wall, △: outer side wall)で示した値は実測によるものである。図より内側壁面上の圧力はディフューザ入り口直後において急激に低下している。また圧力は内側よりも外側のほうがCpで約0.12ほど高くなっているが、このことは流れの偏流による圧力差の外に、遠心力による圧力が付加されたためと考えられる。

## 4. 結論

側壁面に二次元スリットを有する二次元曲がりディフューザ内の流れを調べるために、第一段階として、単独の広がり角の小さな二次元曲がりディフューザについて実験を行った結果、次のことがわかった。

- 1) 曲がりディフューザ内の流れの最大速度の位置は、入り口からほぼ $20^\circ$ の位置までの内側壁面付近にあり、その後下流に行くにつれて外側へ移行する。
- 2) 約 $55^\circ$ の内側壁面上ではく離が生じ、出口部へかけて逆流領域が形成されている。
- 3) ディフューザ内の圧力は遠心力の影響により外側(凹)壁面上の方が、内側(凸)壁面上での値よりも大きく、その差は圧力係数で約0.12程度となっている。
- 4) ディフューザ内の最大乱れ強さの位置は、入口部では壁面付近にあるが、下流に行くにつれてディフューザ中央部へ次第に移行する。
- 5) 流れ方向のタフトによる観察により、逆流部の存在する断面において強い二次流れが生じている。

本実験においては、本工学部機械工学科卒業生、上里英輔君(1990年度)、及び普天間直温、山崎浩二の両君(1992年度)の協力を得た。

## 参考文献

- (1) PAUL K.CHANG, PERGAMON PRESS, (1966), p171. Fox, R.W. and Kline S.J., Flow Regimes in Curved Subsonic Diffusers, ASME Paper No.61-WA-191 (Nov.-Dec.1961).

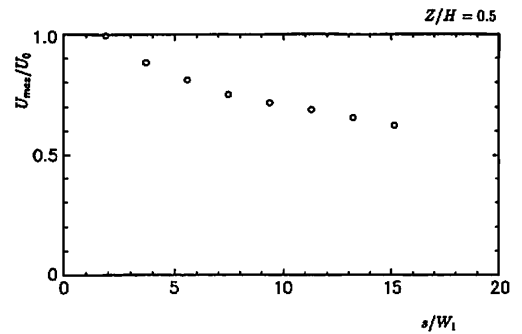


Fig. 9 Variation of the maximum velocity in the curved diffuser

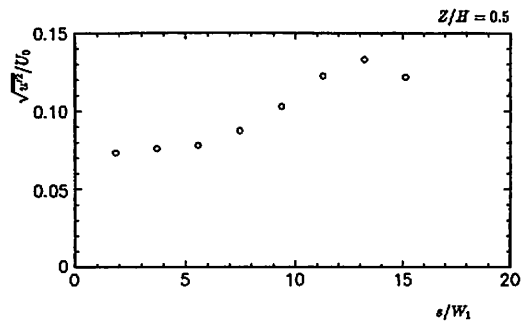


Fig. 10 Variation of the maximum velocity fluctuation in the curved diffuser

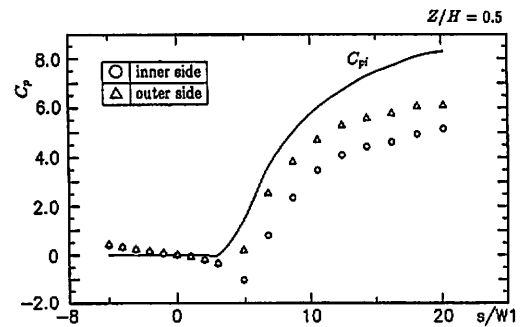


Fig. 11 Pressure distributions in the curved diffuser