

円錐ディフューザにおける抵抗体の効果の数値予測

——第2報 予測結果と実験結果との比較——

Numerical Prediction of Effect of Perforated Plates in Conical Diffusers

——2nd Report, Comparison between Computed Results and

Experimental Data——

小 林 敏 雄*・中 山 亨*・佐 賀 徹 雄*

Toshio KOBAYASHI, Tohru NAKAYAMA and Tetsuo SAGA

1. ま え が き

プラントの管路系においては空間上の制約から、高拡がり角のディフューザがしばしば使用される。その場合、ディフューザ効率の向上あるいはディフューザ出口における速度分布の一様性保持のために、ディフューザ内に多孔の抵抗体などを挿入することがある。本研究はこのような多孔抵抗体をもつディフューザ内乱流を数値予測する方法を確立し、抵抗体の強さ、位置などに関する設計資料を与えることを目的としている。すでに前報において $k-\epsilon$ モデルによって流れ場の数値予測を行い、抵抗体の効果が予測できることを示した。¹⁾ 本報では多孔抵抗体をもつ高拡がり角円錐ディフューザ流れ場の圧力分布、速度分布の測定を行い、数値予測法における乱流モデルや抵抗体の数学モデルの適否の検討を行う。

2. 実験装置と実験方法

軸対称円錐ディフューザを中心とする実験装置の概略を図1に示す。ディフューザ上流部は短い直管部(直径: $D_0=122$ mm, 長さ: $L_0=238$ mm, 以下 D_0 を基準長さとする)とベルマウス形吸込口からなる。吸込口は24枚

の案内羽根をもち、羽根角度の設定によって予旋回を与えることができる(本報の実験においては予旋回を与えてはいない)。ディフューザ下流部は直管(直径: $D_1=244$ mm, 長さ: $L_1=395$ mm)を経て圧力調整室(1000 mm×1000 mm×1000 mm)に接続されている。²⁾ 座標軸はディフューザ入口断面の中心Oを原点とし、流れ方向に x 軸、半径方向に y 軸を選ぶ。

供試ディフューザは表1に示すように、片側拡がり角 θ が 7° および 15° の円錐ディフューザで、入口・出口の直径比 D_1/D_0 はいずれも2である。各ディフューザの面積2倍の断面IIおよび面積3倍の断面IIIには等間隔に4個の熱線プローブ挿入孔が設けられている。断面II, IIIの x 座標 (L_2, L_3) を表1に付記する。

熱線プローブはI型プローブ(DISA 55 P 11)で、センサは直径 $5\ \mu\text{m}$ 、有効長さ 1 mm のタングステン線で

表1 供試ディフューザ

ディフューザ	θ	D_1/D_0	L/D_0	L_2/D_0	L_3/D_0
I	7°	2.0	4.07	1.75	3.06
II	15°	2.0	1.76	0.78	1.36

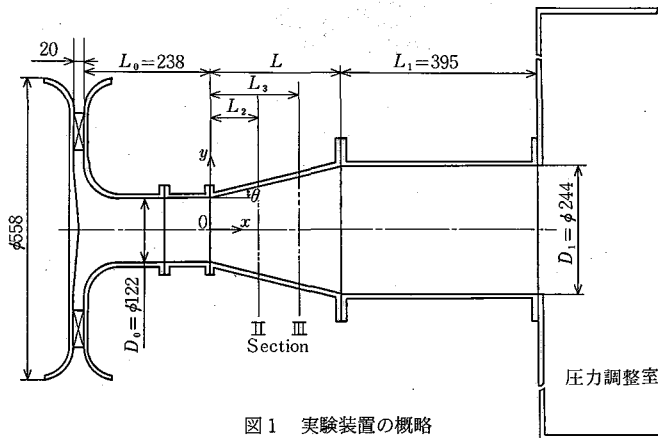


図1 実験装置の概略

* 東京大学生産技術研究所 第2部

表 2 供試抵抗体

抵抗体	孔径 mm	孔間隔 mm	板厚 mm	開口比 μ	抵抗係数 K
A	5.0	6.0	1.0	0.630	1.16
B	5.0	7.0	1.0	0.463	3.46
C	2.9	5.0	1.2	0.305	8.16

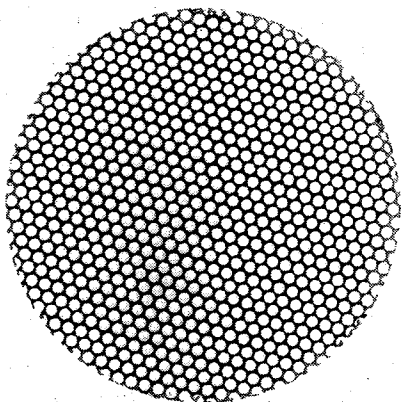


図 2 抵抗体 A の外観

ある。断面 II, III においてセンサ部が x, y 両方向に垂直になるようにプローブを挿入し y 方向にトラバースする。熱線センサからの信号はリニアライザによって直線化され、流速の時間平均値と変動流速の RMS 値が記録される。

壁面圧力 p_w は直管部およびディフューザ部に設けられた静圧孔によって測定される。高拡がり角ディフューザ内の流れにおいては剥離や片寄り流れの生じる可能性があるため、同一断面内で周方向に 4 個の圧力孔を設け、流れの軸対称性をチェックしている。

供試抵抗体としては本報では表 2 に示す 3 種類の多孔板を用いている。抵抗体 A の外観を図 2 に示す。これらの多孔板の開口面積比は孔径 d と孔間隔 s から

$$\mu = \pi d^2 / (2\sqrt{3}s^2)$$

で与えられる。 μ と抵抗係数 K との関係は直径 64 mm の真直円管における実測結果から求めている。

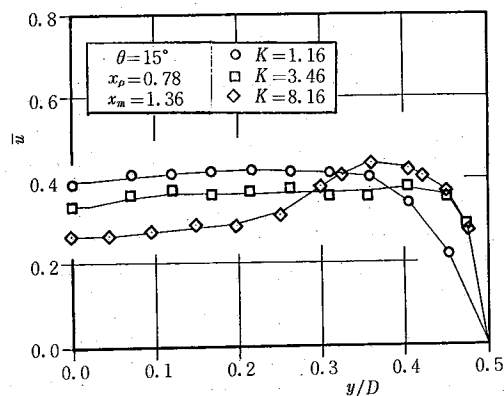
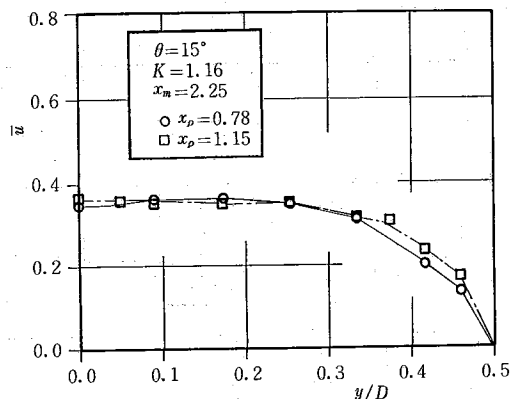
実験条件を表 3 に示す。実験番号 1~6 ではディフューザ部に 1 枚の抵抗体を、実験 7 では 2 枚の抵抗体を挿入している。

3. 実験結果と考察

抵抗係数 K の平均流速に及ぼす影響を図 3 に示す。抵抗体挿入位置はいずれも $x_p = 0.78$ 、測定位置は $x_m = 1.36$

表 3 実験条件

実験	抵抗体	ディフューザ	挿入断面
1	A	I	1.75
2	A	II	0.78
3	A	II	1.15
4	B	II	0.78
5	B	II	1.15
6	C	II	0.78
7	A	II	1.15

図 3 流速分布におよぼす K の影響図 4 流速分布におよぼす x_p の影響

である。図はこの断面において K が 1.16 から 3.46 へと増加することによって速度分布がより一様になること、 K をさらに 8.16 と増加させると $y/D = 0.4$ 付近に極大値をもつ速度分布となり一様性が悪化することを定性的に示している。

次に抵抗体挿入位置 x_p の平均流速に及ぼす影響を図

研 究 速 報

4 に示す。抵抗係数の比較的小さい ($K=1.16$) 抵抗体を $x_p=0.78$ および $x_p=1.15$ の位置に挿入した場合の $x_m=2.25$ の断面における平均流速分布である。 x_p の相違による平均流速分布の変化は顕著には現れていない。

本報の実験範囲ではディフューザ内流れに著しい片寄り流れは存在せず、壁面圧力の測定値は同一断面内の 4 個の静圧孔でほぼ等しい。したがって、この 4 個の静圧孔からの圧力信号の算術平均値を壁面静圧とみなす。図 5 に代表的な壁面圧力分布を示す。同一の抵抗体については上流に挿入する方が、また同一挿入位置については K が大きい方が圧力落差は大きくなる。このことは圧力落差がおおむね $\Delta p = K \langle \bar{u} \rangle^2 / 2$ で表されることから予想されるとおりである。ここに $\langle \bar{u} \rangle$ は断面平均流速である。

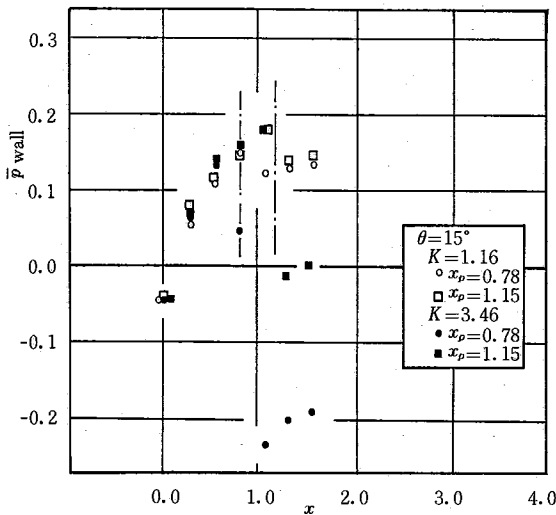
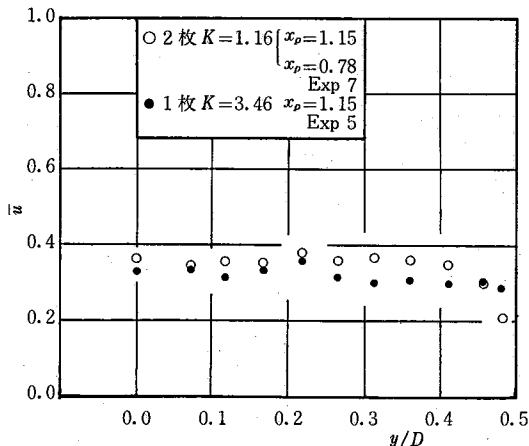


図 5 壁面圧力分布

図 6 平均流速分布 (2 枚抵抗体, $x_m=1.36$)

次に、同じ抵抗係数 K_A をもつ 2 枚の抵抗体を位置 x_{p1} および x_{p2} に挿入した場合の平均流速分布を図 6 に、壁面圧力分布を図 7 に示す。図には 1 枚の抵抗体のみを挿入した実験 5 の結果を併記してある。挿入断面での断面平均流速を $\langle \bar{u}_p \rangle$ とすると、2 枚の抵抗体による圧力落差の想定値は

$$\Sigma \Delta \bar{p} = K_A (\langle \bar{u}_{p1} \rangle^2 + \langle \bar{u}_{p2} \rangle^2) / 2$$

と表される。これが実験 5 の場合の想定圧力落差

$$\Delta \bar{p} = K_B \langle \bar{u}_{p1} \rangle^2 / 2$$

とほぼ等しくなるように x_{p1}, x_{p2} を選定している。図において 2 枚の抵抗体を挿入する場合 (実験 7) と 1 枚の抵抗体を挿入する場合 (実験 5) とでは速度分布における顕著な差異は認められないが、壁面圧力分布に関しては前者の方が高いディフューザ出口圧力を有していることが示されている。すなわち、抵抗体を複数用いることにより速度分布の一様性を維持しつつ高い圧力回復を得る可能性があることが示されている。³⁾

4. $k-\epsilon$ モデルによる予測値との比較

軸方向速度分布に関する $k-\epsilon$ モデルによる予測値¹⁾ と実験値との対比を図 8 に示す。 K が小さい場合には予測値は実験結果と良い一致をみるが、 K が大きくなると両者の相違がみられる。 K の増加とともに予測値と実験値の差異が顕著になる原因として予測モデルの精度と実験精度とが考えられる。予測に用いた抵抗体の数学モデルは抵抗体の前後に生じる圧力差のみを考慮したもので、抵抗体に対する流入角と流出角の間の関係²⁾ を導入していない。そのため、 K が小さい場合に比べて K が大きい場合には図 3 に示すように流れは抵抗体直前で半径方向に大きく曲げられ平均流入角が増大しモデルとしての性能が低下するものと考えられる。さらに前報での抵抗体

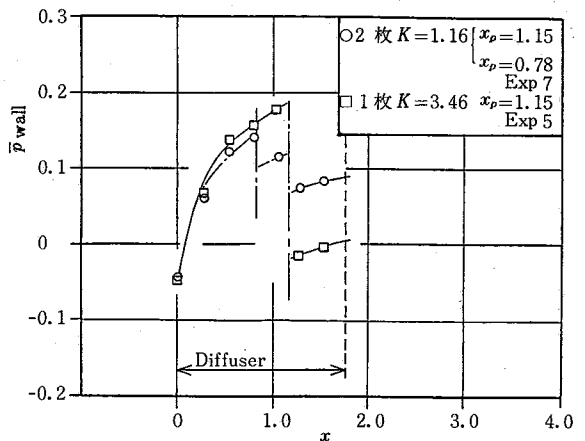


図 7 壁面圧力分布 (2 枚抵抗体)

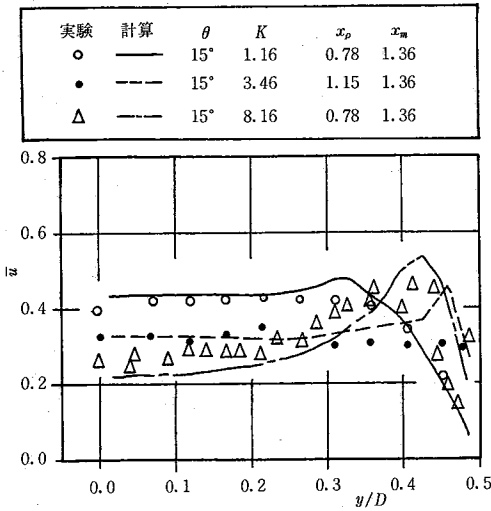


図 8 流速分布の予測値と実験結果の比較

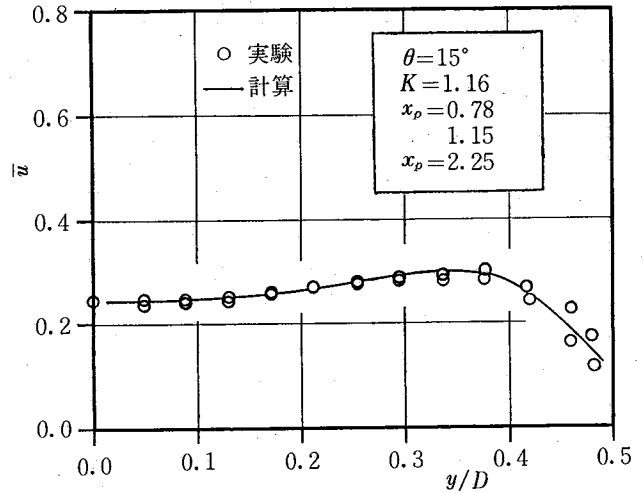


図10 流速分布の予測値と実験結果 (2枚抵抗体)

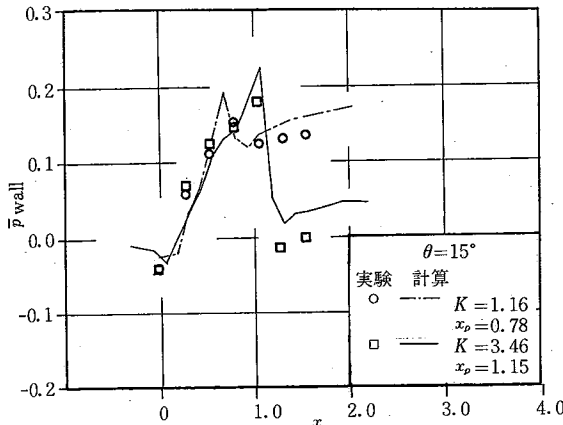


図 9 壁面圧力分布の予測値と実験結果

数学モデルでは抵抗体通過による乱流量の変化を考慮しておらず、これも K の増大とともにモデル性能が低下する一因と考えられる。

実験精度に関しては本報では詳しい検討を行っていないが、単一の I 形熱線プローブでの流速測定であるため \bar{u} と \bar{v} の分離がなされていないこと、多孔板の直後では流れが十分均質になっていないことなどの影響が考えられる。

壁面圧力分布の予測値と実験値を図 9 に示す。速度分布と同様に K が小さい場合には両者は良く一致しているが、 K の増加にしたがって両者にやや差異が生じる。

$K=1.16$ の抵抗体を 2 枚挿入した場合の軸方向速度分布の予測値と実験値との比較を図 10 に示す。図より、2 枚の抵抗体の場合にも単独抵抗体と同様の予測が可能

であることがわかる。

5. ま と め

抵抗体を挿入した高拡がり角円錐ディフューザ内の流れについて平均流速と壁面圧力の分布を測定し、前報で提案した抵抗体の効果を前後の圧力差のみで表現する簡便な数学モデルを用いた $k-\varepsilon$ 型乱流数値シミュレーション結果と比較した。その結果以下の結論を得た。

(1) 抵抗体を挿入することで高拡がり角をもつディフューザであっても逆流などが防止され速度などの一様性は向上する。同一断面に抵抗体を挿入する場合、 K が過小であれば十分な整流効果が得られず、過大であれば壁面付近に高流速部分が存在するような非一様性の強い流れとなる。

(2) 前報で提案した抵抗体の数学モデルを用いた数値予測法は抵抗係数が小さい場合には流れ場を良く表現する。複数の抵抗体を挿入する場合も前報のモデルによる数値予測が有効である。

本報の実験に際し本所吉識晴助教授より助言と実験装置の貸与を得た。また、数値予測に関し本所選定研究費の援助を得た。記して謝意を表する。

(1984 年 11 月 16 日受理)

参 考 文 献

- 1) 小林・中山・石原：生産研究 36-3 (1984), 170.
- 2) 田代：旋回流円錐ディフューザの研究，東京大学博士論文 (1980).
- 3) Schubaner, G. B. and Spangenberg, W. G.: NACA TN 1610 (1948).
- 4) Taylor, G. I. and Batchlor, G. K.: Quart. J. Mech. and Appl. Math. 2-1 (1941), 1.