

# 絞り流量計用整流装置に関する実験的研究

鳥 居 亮・根 本 光 正・榊 原 芳 夫

## Experimental Studies on Flow Straightener for Pressure Differential Meters

Akira TORII, Mitsumasa NEMOTO and Yoshio SAKAKIBARA

### Abstract

The flow measurement by means of standard orifice plates is provided in JIS Z 8762-1969 based on ISO standard, but no regard is paid to shorten the length of a straight pipe by the flow straightener.

In this paper, the effectiveness of the flow straightener which consists of either the honeycomb, the perforated plate or the combination of those elements is compared.

Consequently it is found that the effect of flow straightening is very excellent in case of one thick perforated plate.

### 1. ま え が き

標準オリフィスによる流量測定については、ISO 規格<sup>1)</sup>をもとに JIS Z 8762-1969<sup>2)</sup>に定められているが、整流装置の使用による直管長きの短縮についての考慮がなされていない。実用上の見地からこの点の改善が望まれている<sup>3),4)</sup>。一方基礎的な研究として整流装置の効果についての理論的<sup>5),6)</sup>並びに実験的<sup>7)</sup>解析がなされている。

本研究は標準オリフィスによる流量測定に際し、格子、多孔板またはこれらを組合わせた整流装置の有効性について<sup>8),10)</sup>、多孔板の損失係数の影響について<sup>9),10)</sup>、格子と多孔板、多孔板と多孔板の間隔の影響について<sup>11)</sup>、多孔板1枚の場合の板厚等の影響について<sup>12)</sup>、及び単一ベンド、二重ベンド及び三重ベンドの場合の特性について<sup>13)</sup>実験を行ったものである。

### 2. 記 号

$D$  : Inside diameter of testpipe  
 $d$  : Hole diameter of perforated plate  
 $g$  : Acceleration of gravity  
 $H$  : Head difference before and after tested orifice plate  
 $H_n$  : Head difference before and after standard

orifice plate

$h$  : Head difference before and after test piece  
 $L$  : Length of straight pipe from bend to tested orifice plate  
 $L_1$  : Length of straight pipe from bend to flow straightener  
 $L_2$  : Length of straight pipe from flow straightener to tested orifice plate  
 $l$  : Spacing between honeycomb and perforated plate or perforated plates each other  
 $R$  : Radius of bend curvature  
 $Re$  : Reynolds number  
 $r$  : Distance from center of pipe to measuring point  
 $t$  : Thickness of perforated plate  
 $v$  : Local velocity in measuring point  
 $\bar{v}$  : Mean velocity  
 $\alpha$  : Flow coefficient of tested orifice plate  
 $\alpha_n$  : Flow coefficient of standard orifice plate  
 $\beta$  : Ratio of hole diameter of orifice plate to inside diameter of pipe  
 $\zeta$  : Loss coefficient of flow straightener  
 $\zeta_1$  : Loss coefficient of honeycomb  
 $\zeta_2$  : Loss coefficient of perforated plate  
 $\theta$  : Flow angle measured toward circumference  
 $\mu$  : Ratio of area of holes of perforated plate to cross-sectional area of pipe

### 3. 実験装置と実験方法

#### 3.1 供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれの測定

図1に示すように 2' 亜鉛引鋼管 (相対粗さ 0.0028) を用い、バンドのある場合について、下流オリフィスを標準オリフィスとし、供試オリフィス (上流オリフィス) の上流側のバンド下流に整流装置をおき、それぞれのオリフィス前後の差圧を計測し、供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ  $(\alpha - \alpha_n) / \alpha_n = \sqrt{H_n / H} - 1$  を算出した。なお圧力取出口はコーナータップ方式とする。

バンドは図2に示すように、90° 単一バンド、空間 90° 二重バンド及び空間 90° 三重バンドの3種類とする。

オリフィスの絞り孔径比は  $\beta = 0.8$  であるが、各種整流装置の比較には  $\beta = 0.7, 0.6$  の場合についても計測した。

実験におけるレイノルズ数はほぼ  $Re = (1 \sim 3) \times 10^5$  の範囲である。

試験流体 (水) の流量測定に際し標準オリフィスの精度を確認するため、重量法による検証も併せて行った。なおマノメータの読みの誤差は 0.5%、絞り孔径の製作誤差は 0.03% 程度である。

#### 3.2 損失係数の測定

格子、多孔板及びこれらを組合わせた整流装置の損失係数の測定には、図1の試験管路の代りに同じ口径の亜鉛引鋼管の直管を使用し、長さ  $50D$  の直管の下流に、供試体の前後に 50cm 間隔にそれぞれ 4 個所、5 個所の静圧測定孔を持つ試験管路を連結した。なお損失係数  $\zeta$  は  $h = \zeta \cdot v^2 / 2g$  より算出した。

#### 3.3 速度分布及び旋回角の測定

径 1mm のステンレス管からなるコブラ型 3 孔ピトー

管を水平・垂直方向にトラバースして、管内流の速度分布及び旋回角を測定した。なお差圧変換器のひずみ量から差圧を求めた。

#### 3.4 流れの可視化

整流装置の直後または前後及び整流装置が無い場合にはバンド直後に、アクリル管を連結し油膜法により管内の流れを観察した。油膜は四三化鉛とヒマシ油の 10:8 (重量比) の混合液を管の内壁に刷毛にて均一に塗り、水を流し始めてから約 5 分後に撮影を行った。

### 4. 各種整流装置の比較<sup>8), 10)</sup>

格子、多孔板及びこれらを組合わせた整流装置等 5 つの形式について、供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ  $(\alpha - \alpha_n) / \alpha_n$  を計測する。

実験の要件は次のとおりである。

(1) 図3に示すように、整流装置 4 種類と整流装置無しとの 5 つの形式を次のとおり定める。

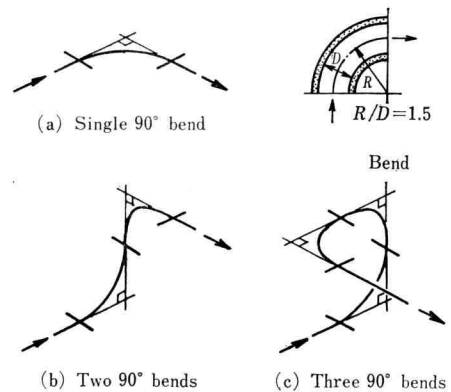


Fig. 2 Tested bends

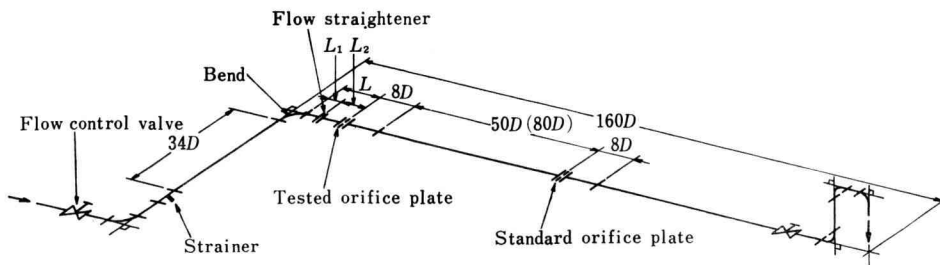


Fig. 1 Test apparatus

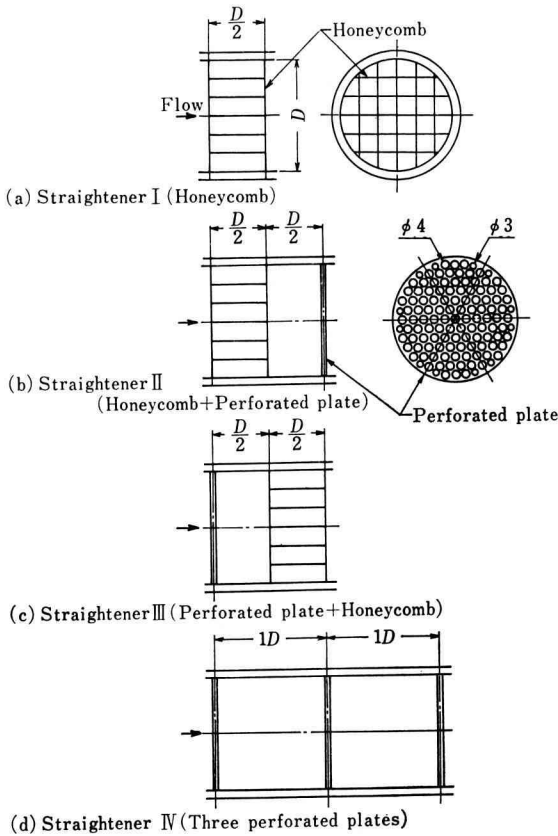


Fig. 3 Flow straighteners

形式 I 格子

形式 II 格子+多孔板

形式 III 多孔板+格子

形式 IV 多孔板 3 枚

形式 V 整流装置無し

(2) 格子は厚さ 0.4 mm の亜鉛引鋼板を用いて製作し、その長さは管内径  $D$  の  $1/2$  とする。

(3) 多孔板は直径 61.6 mm、厚さ 2 mm の S35C の円板に、縁とりの無い直径 4 mm の孔 110 個を千鳥状に、周辺部には同じく直径 3 mm の孔 12 個を配置したもので、開孔面積比は  $\mu=58\%$  である。

(4) 整流装置は  $90^\circ$  単一ベンドに直結する。( $L_1/D=0$ )

(5) オリフィスの絞り孔径比は  $\beta=0.8, 0.7, 0.6$  の 3 種類とする。

(6) 管内径に対する整流装置から供試オリフィスまでの長さの比は  $L_2/D=1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 28$  の

11 種類とする。

図 4 (a) はオリフィスの絞り孔径比  $\beta=0.8$  の場合について、5 つの形式の整流効果を比較するため  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  と  $L_2/D$  の関係を示す。格子と多孔板の組合わせである形式 II と形式 III の比較から、形式 II が整流効果の優れていることが分る。それ故  $\beta=0.7, 0.6$  の場合については、形式 III を除外して他の 4 つの形式の比較をそれぞれ図 4 (b), (c) に示す。

これらの実験結果から、5 つの形式の中では形式 II 格子+多孔板が供試オリフィンと標準オリフィスの流量係数のずれの絶対値  $|(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n|$  が最も小さいことが分る。

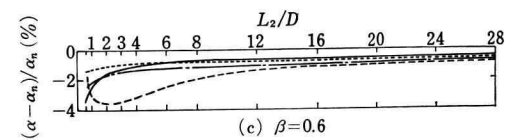
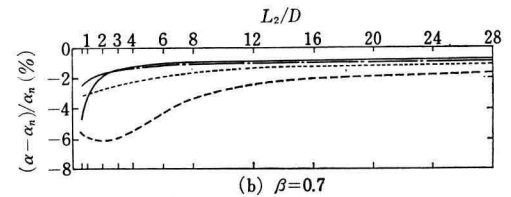
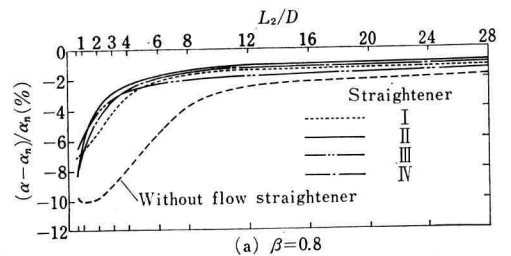


Fig. 4 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $L_2/D$  in the case of flow straightener set at  $L_1/D=0$  behind single  $90^\circ$  bend [ $R_e=(1\sim3)\times 10^5$ ]

## 5. 多孔板損失係数の影響<sup>9),10)</sup>

整流装置を構成する多孔板の損失係数が整流装置の有効性に及ぼす影響を調べるため、格子、多孔板及び整流装置の損失係数と整流装置について供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  を計測する。実験の要件は次のとおりである。

(1) 整流装置は前節の実験結果から整流効果の優れ

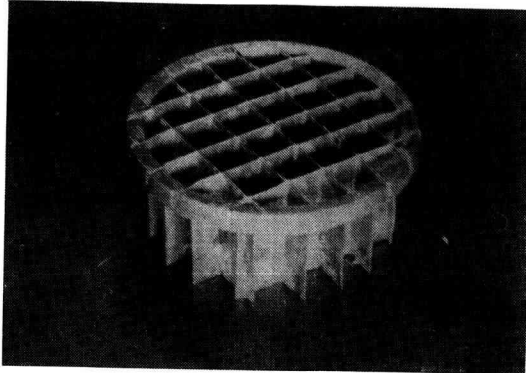


Fig. 5 Honeycomb

ている次の2つの形式とする。

形式 II 格子+多孔板

形式 IV 多孔板3枚

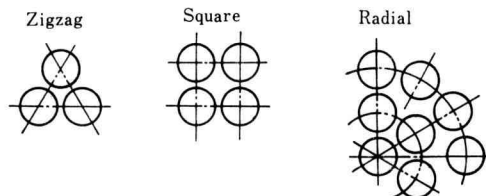
(2) 格子は発錆と強度不足のため、前節の実験に使用したものを改良し、材料に厚さ 0.7 mm の銅板を使用する。図5にこれを示す。

(3) 多孔板は表1に示す14種類とし、その中  $(\alpha_n - \alpha_n)/\alpha_n$  の測定に使用するものは、孔が千鳥状に配置されている G, E, A, N, O, F, Q, P, R 型の9種類とする。前節のものと同じ寸法、材料で孔も同じく縁の無いものとする。図6(a), (b) にそれぞれ N, O 型を示す。(a) の破線は管内壁を示す。

(4) 整流装置は 90° 単一バンドに直結する。( $L_1/D = 0$ )

Table 1 Perforated plates

Type	Array pattern	Hole diameter $d$ (mm)	Number of holes	Distance between center of hole and next one (mm)	$\mu$ (%)
G	Zigzag	6.0 3.6	53 6	6.92	67
H	Zigzag	4.7	85	5.50	66
E	Zigzag	5.0 3.6	73 12	6.02	62
A	Zigzag	4.0 3.0	110 12	4.94	58
N	Zigzag	4.0 3.4	91 18	5.20	54
O	Zigzag	4.0 3.0 2.5	91 6 12	5.35	51
C	Radial	4.0	91	4.60~5.15	51
K	Square	4.0 4.5 2.5	89 8 4	4.90	50
F	Zigzag	4.0 3.0	85 6	5.50	48
Q	Zigzag	4.0 3.0	85 6	5.60	46
P	Zigzag	4.0 2.6	85 6	5.70	45
R	Zigzag	4.0	85	5.80	43
D	Square	4.0 3.6	69 16	5.50	42
M	Zigzag	4.0 2.6	73 12	6.04	40



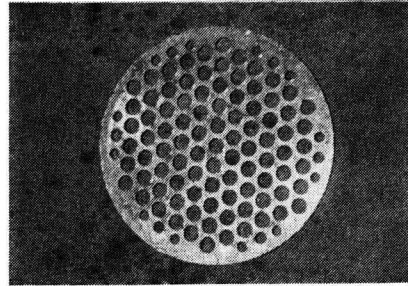
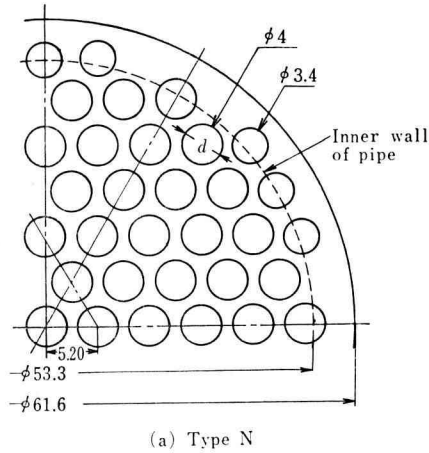


Fig. 6 Perforated plate

(5) オリフィスの絞り孔径比は  $\beta=0.8$  とする。

(6) 管内径に対する整流装置から供試オリフィスまでの長さの比は  $L_2/D=4, 12$  の 2 種類とする。

格子の損失係数  $\zeta_1$  は図 7 に示すように、レイノルズ数  $Re=(1\sim3)\times 10^5$  の範囲において、0.30~0.40 で平均して約 0.34 である。多孔板 A 型の損失係数  $\zeta_2$  を図 8 に示す。

図 9 に多孔板の開孔面積比  $\mu$  と多孔板 1 枚の損失係数  $\zeta_2$ 、形式 II 格子+多孔板及び形式 IV 多孔板 3 枚の損失係数  $\zeta$  の関係を示す。ここに形式 II 格子+多孔板及び形式 IV 多孔板 3 枚の損失係数とはそれぞれ形式 II 及び形式 IV の整流装置全体の損失係数を意味する。なお図中の I 印は多孔板 1 枚の損失係数  $\zeta_2$  及び形式 IV 多

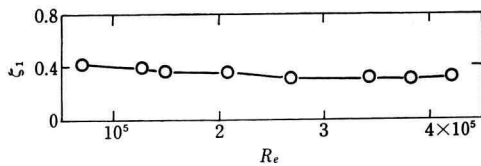


Fig. 7 Loss coefficient of honeycomb

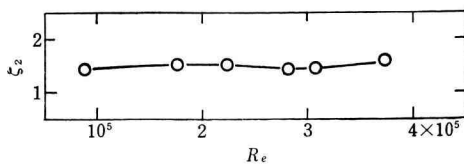
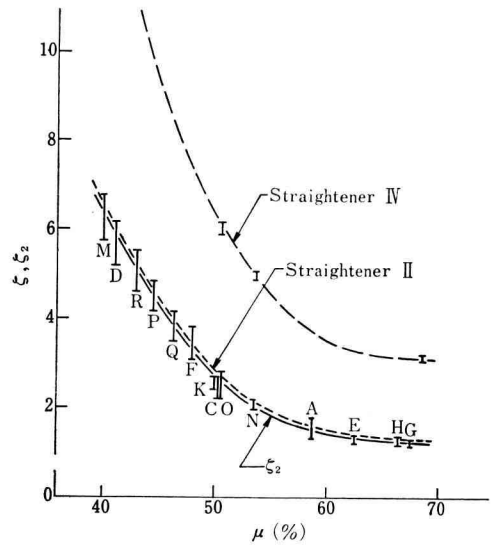
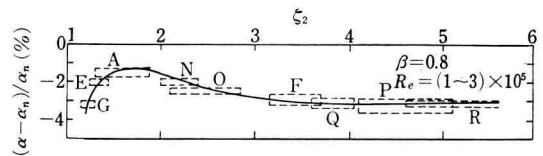


Fig. 8 Loss coefficient of perforated plate type A


 Fig. 9 Relation between  $\mu$  and  $\zeta_2, \zeta$  (I...Deviation of  $\zeta_2$  and  $\zeta$ )

 Fig. 10 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $\zeta_2$  of perforated plate of straightener II set behind single  $90^\circ$  bend ( $L_2/D=4, L_1/D=0$ )

孔板 3 枚の損失係数  $\zeta$  の測定値の変化の範囲を示す。

図 10 に整流装置が形式 II 格子+多孔板 ( $L_2/D=4$ ), 図 11 に形式 IV 多孔板 3 枚 ( $L_2/D=4$ ), 図 12 に形式 II 格子+多孔板 ( $L_2/D=12$ ), 図 13 に形式 IV 多孔板 3 枚 ( $L_2/D=12$ ) の場合について, 供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  と多孔板 1 枚の損失係数  $\zeta_2$  との関係を示す。なお図 10, 図 11 の破線に囲まれた四角の領域は測定値の変化の範囲を示す。図 14 に  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  と形式 II 格子+多孔板 ( $L_2/D=4$ ) 及び形式 IV 多孔板 3 枚 ( $L_2/D=4$ ) の損失係数  $\zeta$  の関係を

示す。絞孔径比  $\beta=0.8$  の場合の実験結果であるが,  $L_2/D=4$  の場合は図 10, 図 11 から見て, 供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれの絶対値  $|(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n|$  の極小値を示す多孔板 1 枚の損失係数  $\zeta_2$  の値は, 形式 II の場合には  $\zeta_2=1.5\sim 2.0$  の範囲にあり, 形式 IV の場合には  $\zeta_2=2.0$  となる。また形式 II 及び形式 IV の場合には  $\zeta_2=4.0$  で  $|(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n|$  は極大値をとる傾向が見られる。 $L_2/D=12$  の場合は図 12, 図 13 から見て, 上記極小値の存在は認められるが, 極大値の存在は不明瞭である。

損失係数  $\zeta_2=1.5\sim 2.0$  の多孔板を使用する場合, 図 14 から見て形式 II 格子+多孔板は形式 IV 多孔板 3 枚に比べて, 供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれの絶対値  $|(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n|$  が小さく, しかも損失係数がかなり小さいことが分る。

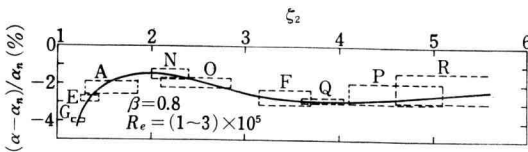


Fig. 11 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $\zeta_2$  of perforated plate of straightener IV set behind single  $90^\circ$  bend ( $L_2/D=4$ ,  $L_1/D=0$ )

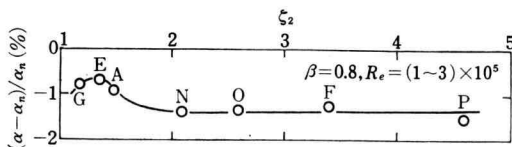


Fig. 12 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $\zeta_2$  of perforated plate of straightener II set behind single  $90^\circ$  bend ( $L_2/D=12$ ,  $L_1/D=0$ )

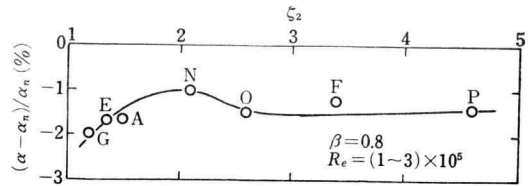


Fig. 13 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $\zeta_2$  of perforated plate of straightener IV set behind single  $90^\circ$  bend ( $L_2/D=12$ ,  $L_1/D=0$ )

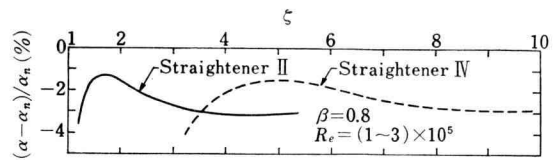


Fig. 14 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $\zeta$  of straightener II, IV set behind single  $90^\circ$  bend ( $L_2/D=4$ ,  $L_1/D=0$ )

## 6. 格子と多孔板, 多孔板と多孔板の間隔の影響<sup>11)</sup>

格子と多孔板, 多孔板と多孔板の間隔が整流装置の有効性に及ぼす影響を調べるため, 供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  及び整流装置の損失係数  $\zeta$  を計測する。

実験の要件は次のとおりである。

(1) 整流装置は前節に引続き次の形式とする。

形式 II 格子+多孔板

形式 IV 多孔板 3 枚

ただし管内径に対する格子と多孔板または多孔板と多孔板の間隔の比は, 形式 II 格子+多孔板の場合は  $l/D=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0$  の 5 種類, 形式 IV 多孔板 3 枚の場合は  $l/D=0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0$  の 8 種類とする。

(2) 格子は前節の実験に使用したものと同一とする。

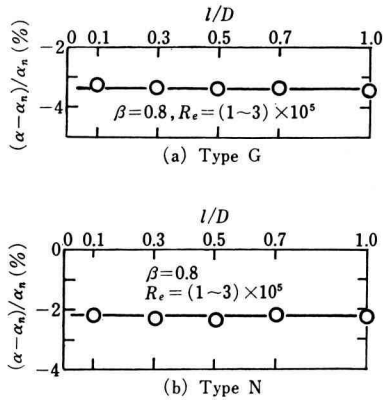
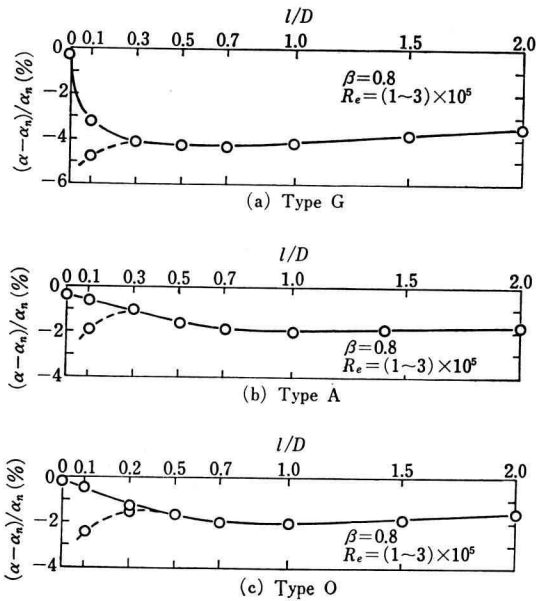
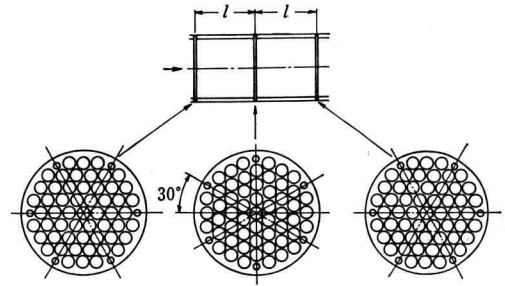
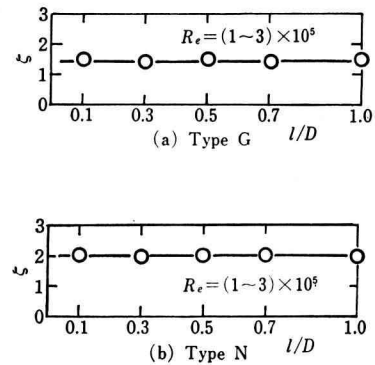
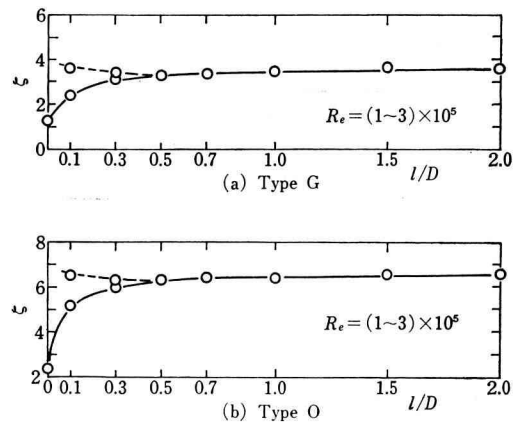
(3) 多孔板は前節の実験に使用したものの中から G, A, N, O 型の 4 種類を選定する。

(4) 整流装置は  $90^\circ$  単一ベンドに直結する。( $L_1/D=0$ )

(5) オリフィスの絞孔径比は  $\beta=0.8$  とする。

(6) 管内径に対する整流装置から供試オリフィスまでの長さの比は  $L_2/D=4$  とする。

図 15 に形式 II 格子+多孔板 (a) 多孔板 G 型, (b) 多


 Fig. 15 Effect of  $l/D$  of straightener II on  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  (Single  $90^\circ$  bend,  $L_1/D = 0$ ,  $L_2/D = 4$ )

 Fig. 16 Effect of  $l/D$  of straightener II on  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  ( $L_1/D = 0$ ,  $L_2/D = 4$ )  
 —Standard, ....Modification (See Fig. 17)

 Fig. 17 Arrangement of perforated plate of modifier type (On plate turned at  $30^\circ$ )

 Fig. 18 Effect of  $l/D$  of straightener II on  $\zeta$ 

 Fig. 19 Effect of  $l/D$  of straightener II on  $\zeta$   
 —Standard, ....Modification (See Fig. 17)

孔板N型の場合、図16に形式IV多孔板3枚(a)多孔板G型、(b)多孔板A型、(c)多孔板O型の場合の $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$ と $l/D$ の関係を示す。ここに図16の実線は3枚の多孔板の孔の位置が一致している場合であり、破線は孔の位置が図17に示すように $30^\circ$ ずれている場合である。また $l/D=0$ は多孔板3枚が密着している場合で、実験には3枚分の厚さに相当する厚さ6mmの1枚の多孔板を使用した。

図18に形式II格子+多孔板(a)多孔板G型、(b)多孔板N型の場合、図19に形式IV多孔板3枚(a)多孔板G型、(b)多孔板O型の場合について、整流装置の損失係数 $\zeta$ と $l/D$ の関係を示す。ここに図19の実線、破線及び $l/D=0$ は図16に関連して説明したとおりである。

図20に形式IV多孔板3枚(a)多孔板G型、(b)多孔板O型の場合について、 $l/D$ の変化による $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$ と $\zeta$ の関係を示す。図20は図16、図19の実線部分をプロットしたもので、多孔板3枚の孔の位置が一致している場合である。

オリフィスの絞り孔径比 $\beta=0.8$ 、管内径に対する整

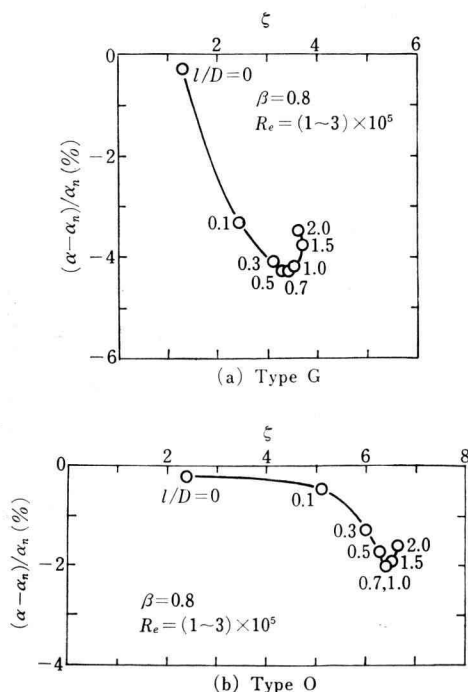


Fig. 20 Relation between  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  and  $\zeta$  of Straightner  $\mathbb{N}$  set behind single  $90^\circ$  bend ( $L_1/D=0$ ,  $L_2/D=4$ )

流装置から供試オリフィスまでの長さの比 $L_2/D=4$ の場合の実験結果であるが、整流装置が

(1) 形式II格子+多孔板の場合については、図15、図18から見て、供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$ と損失係数 $\zeta$ には格子と多孔板の間隔の影響は殆ど見られない。

(2) 形式IV多孔板3枚の場合については、多孔板の孔の位置が一致している場合は図20から見て、供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれの絶対値 $|\alpha - \alpha_n|/\alpha_n$ と損失係数 $\zeta$ は、多孔板の間隔 $l$ が小さくなるにつれて共に減少することが分る。整流装置として3枚の多孔板を使用するより、3枚分の厚みを持つ1枚の多孔板を使用する方が有効であることが分る。なお管内径に対する多孔板の間隔の比が $l/D \geq 0.5$ の場合には、3枚の多孔板の孔の一致、不一致の影響は見られない。

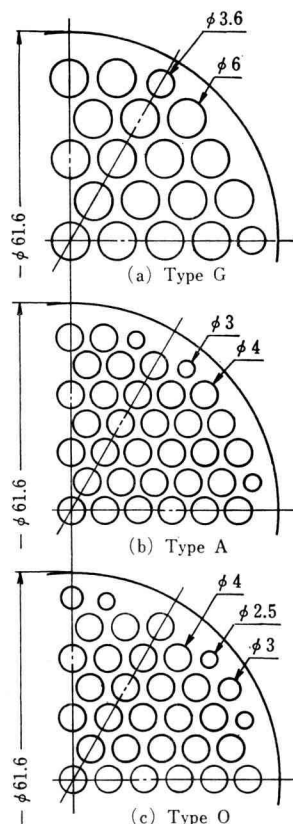


Fig. 21 Arrangement of holes of perforated plate



Table 2 Ratio of thickness to hole diameter of perforated plate

t/d	Type G	Type A	Type O
0.33	G <sub>1</sub>		
0.50	G <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
0.67	G <sub>3</sub>		
0.75		A <sub>4</sub>	O <sub>4</sub>
0.83	G <sub>5</sub>		
1.00	G <sub>6</sub>	A <sub>6</sub>	O <sub>6</sub>
1.25		A <sub>7</sub>	O <sub>7</sub>
1.33	G <sub>8</sub>		
1.50		A <sub>9</sub>	O <sub>9</sub>
2.00	G <sub>10</sub>	A <sub>10</sub>	O <sub>10</sub>

 7. 多孔板 1 枚の場合の板厚等の影響<sup>12)</sup>

整流装置として多孔板 1 枚を使用する場合、孔径に対する板厚の比  $t/d$  が、多孔板の損失係数  $\zeta_2$  及び供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  に与える影響について調べる。

実験の要件は次のとおりである。

- (1) 整流装置は多孔板 1 枚とする。
- (2) 多孔板は G 型 (開孔面積比  $\mu=67\%$ )、A 型 ( $\mu=58\%$ ) 及び O 型 ( $\mu=51\%$ ) の 3 種類とする。図 21 に孔の配列を示す。
- (3) 孔径に対する板厚の比は表 2 に示すように、G 型については  $t/d=0.33, 0.50, 0.67, 0.83, 1.00, 1.33, 2.00$  の 7 種類、A、O 型については  $t/d=0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 2.00$  の 6 種類とする。
- (4) 管内径に対するバンドから整流装置までの長さの比は、G 型については  $L_1/D=0, 1, 2, 3.5$  の 4 種類、A 型については  $L_1/D=0, 1, 3.5$  の 3 種類、O 型については  $L_1/D=0$  の 1 種類とする。
- (5) バンドは  $90^\circ$  単一バンドとする。
- (6) オリフィスの絞り孔径比は  $\beta=0.8$  とする。
- (6) 管内径に対する整流装置から供試オリフィスまでの長さの比は  $L_2/D=4$  とする。

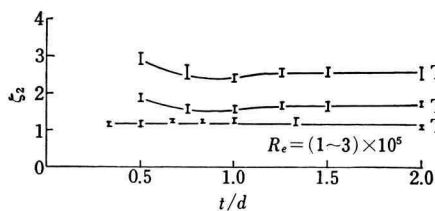
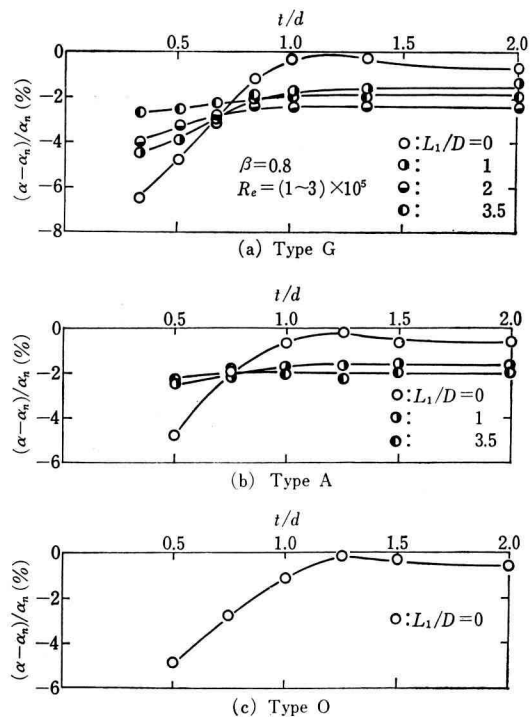

 Fig. 22 Variation of  $\zeta_2$  by  $t/d$  of perforated plate

図 22 に多孔板 G, A 及び O 型について孔径に対する板厚の比  $t/d$  と損失係数  $\zeta_2$  の関係を示す。図 23 (a) G 型、(b) A 型及び (c) O 型の場合について、 $L_1/D$  の変化による  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  と  $t/d$  の関係を示す。

孔径に対する板厚の比  $t/d$  が損失係数  $\zeta_2$  ( $=\zeta$ ) に及


 Fig. 23 Relation between  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  and  $t/d$  of perforated plate set behind single  $90^\circ$  bend ( $L_2/D=4$ )

ばす影響については、図 22 から見て  $\zeta_2$  は、開孔面積比  $\mu$  が大きくなる程その変化は小さくほぼ一定であるが、 $\mu$  が小さい場合は  $t/d \geq 1.5$  ではほぼ一定である。

孔径に対する板厚の比  $t/d$  が供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  に及ぼす影響については、図 23 から見て  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  は、整流装置(多孔板)がバンドに直結 ( $L_1/D=0$ ) している場合はその変化は大きい、バンドから整流装置までの長さ  $L_1$  を長くするに従ってその変化は小さくなる。

絞り孔径比  $\beta=0.8$ 、管内径に対する整流装置から供試オリフィスまでの長さの比  $L_2/D=4$  の場合の実験結果であるが、多孔板  $G_8$  型 ( $t/d=1.33$ ) と  $A_7, O_7$  型 (いずれも  $t/d=1.25$ ) の場合は、供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれの絶対値  $|(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n|$  は同程度に 0 に近いが、損失係数  $\zeta_2 (= \zeta)$  は  $G_8$  型が最も小さいので、3 つの中では  $G_8$  型が最もよい結果を得ていることが分る。

#### 8. 単一ベンド、二重ベンド及び三重ベンドの場合の特性<sup>13)</sup>

整流装置から供試オリフィスまでの長さ  $L_2$  が一定の場合と、ベンドから整流装置までの長さ  $L_1$  が一定の場合について、それぞれ  $L_1, L_2$  の変化による供試オリフィスと標準オリフィスの流量係数のずれ  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  を計測し、また速度分布、旋回角及び可視化による流れの観察により、90° 単一ベンド、空間 90° 二重ベンド及び空間 90° 三重ベンドの場合に分けて、整流装置の有効

性について検討する。

実験の要件は次のとおりである。

- (1) 整流装置は多孔板  $G_8$  型 (板厚  $t=8$  mm, 孔径  $d=6$  mm,  $t/b=1.33$ ) 1 枚を使用する。
- (2) オリフィスの絞り孔径比は  $\beta=0.8$  とする。
- (3) 二重ベンド及び三重ベンドの場合は、供試オリフィスと標準オリフィスの間の直管長さは図 1 の 50 D を 80 D に変更する。

##### 8.1 90° 単一ベンドの場合

図 24 に  $L_2/D=\text{const.}$  (2, 3, 4, 8 の 4 通り) の場合の  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  と  $L_1/D$  の関係を示す。図 25 に  $L_1/D=\text{const.}$  (0, 1.4, 3.4, 7.4 の 4 通り) の場合の  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  と  $L_2/D$  の関係を示す。図 26, 図 27 はそれぞれ図 24 の  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n - L_1/D$  曲線、図 25 の  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n - L_2/D$  曲線をいずれも  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n - L/D$  曲線として書き直したものである。

図 28 に  $L_1/D=0$  (直結) の場合の整流装置下流の、図 29 に  $L_1/D=2$  の場合の整流装置上流及び下流の速度分布と旋回角を示す。なお参考として図 30 に整流装置が無い場合のベンド上流及び下流の速度分布と旋回角を示す。

図 31 に  $L_1/D=0$  の場合の整流装置直後の流れ、図 32 に  $L_1/D=2$  の場合の整流装置前後の流れを示す。なお参考として図 33 に整流装置が無い場合のベンド直後の流れを示す。

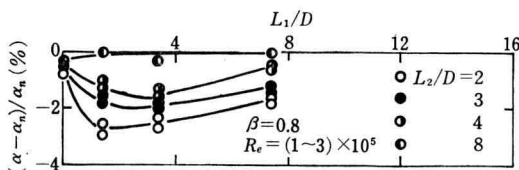


Fig. 24 Relation between  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  and  $L_1/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind single 90° bend

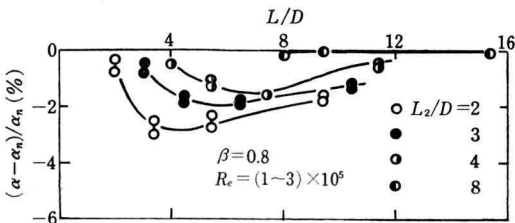


Fig. 26 Relation between  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  and  $L/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind single 90° bend

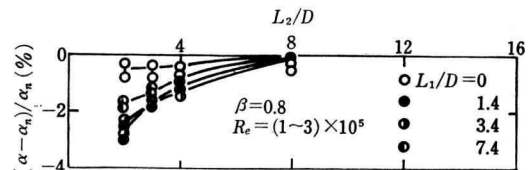


Fig. 25 Relation between  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  and  $L_2/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind single 90° bend

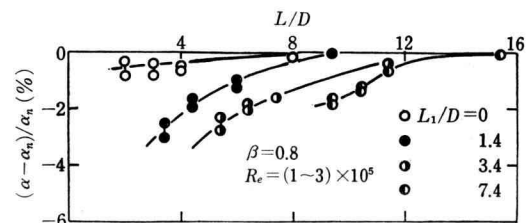


Fig. 27 Relation between  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  and  $L/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind single 90° bend

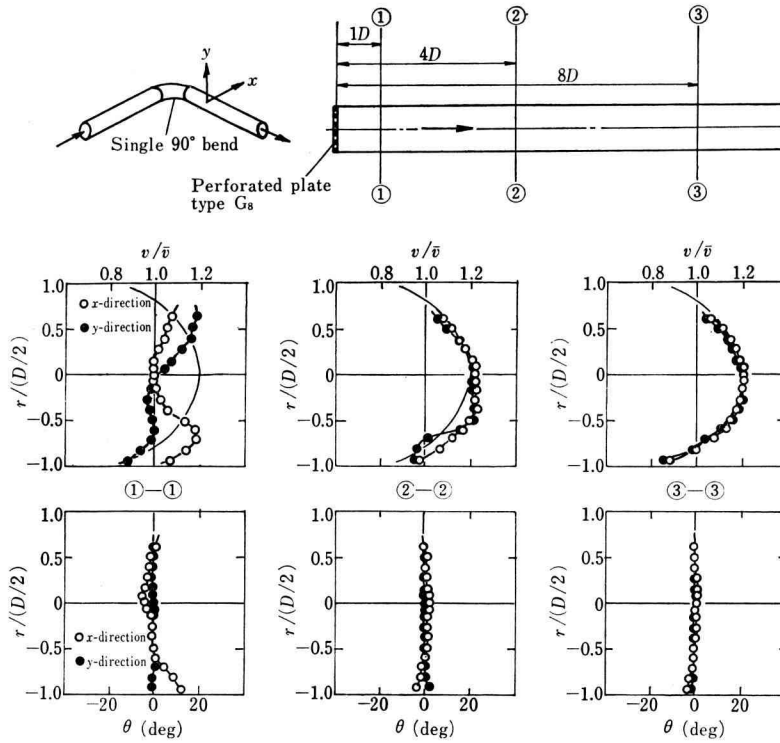


Fig. 28 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section downstream of flow straightener (Single 90° bend, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=0$ ,  $R_e=3 \times 10^5$ )

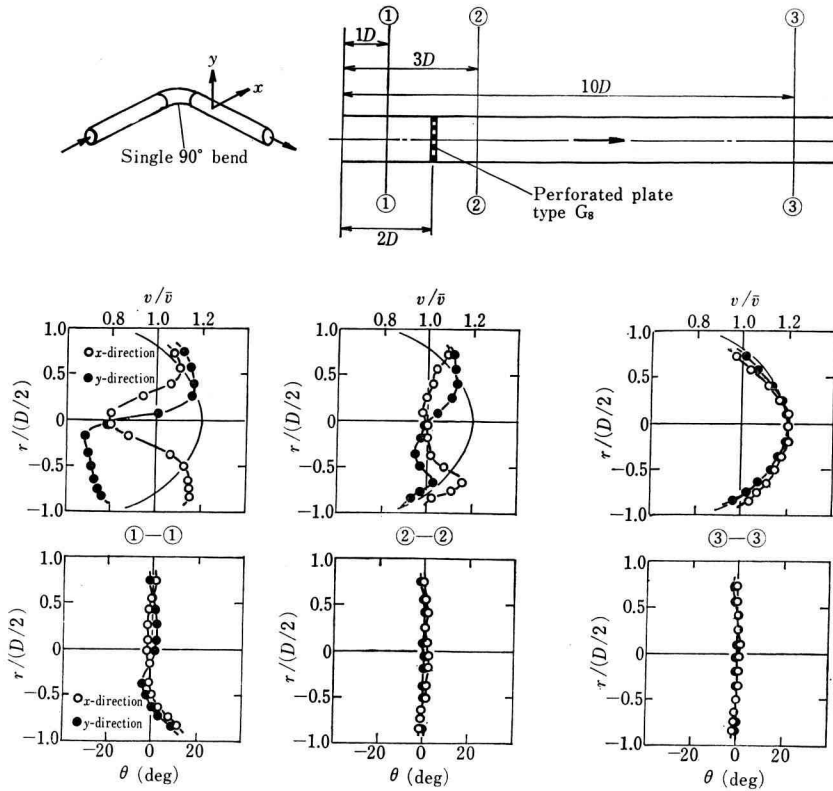


Fig. 29 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section upstream and downstream of flow straightener (Single 90° bend, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=2$ ,  $R_e=3 \times 10^5$ )

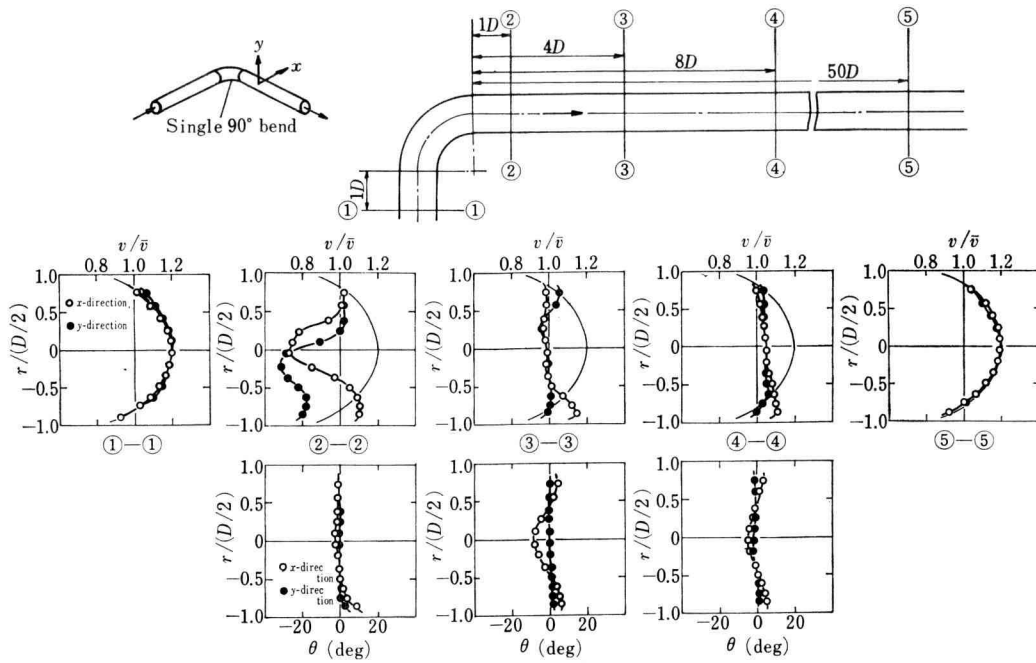


Fig. 30 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section upstream and downstream of single 90° bend without flow straightener ( $R_e=3 \times 10^5$ )

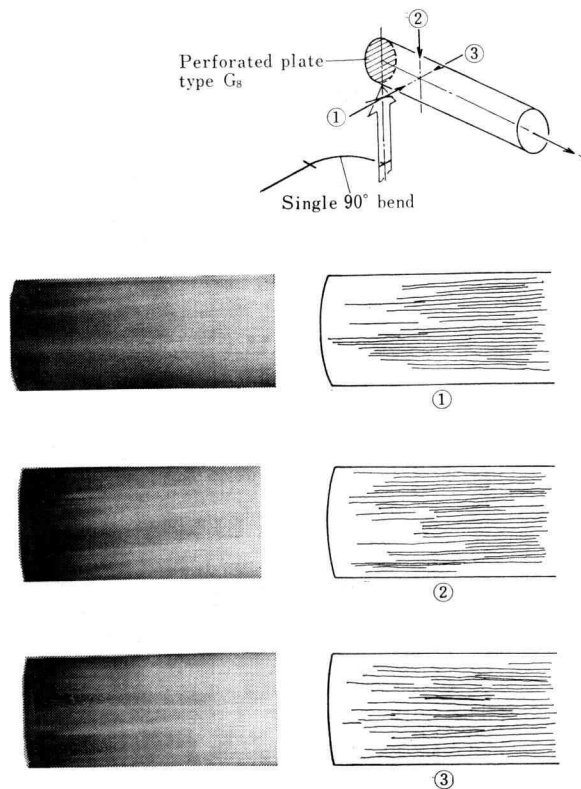


Fig. 31 Oil film patterns downstream of flow straightener (Single 90° bend, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=0$ ,  $R_e=3 \times 10^5$ )

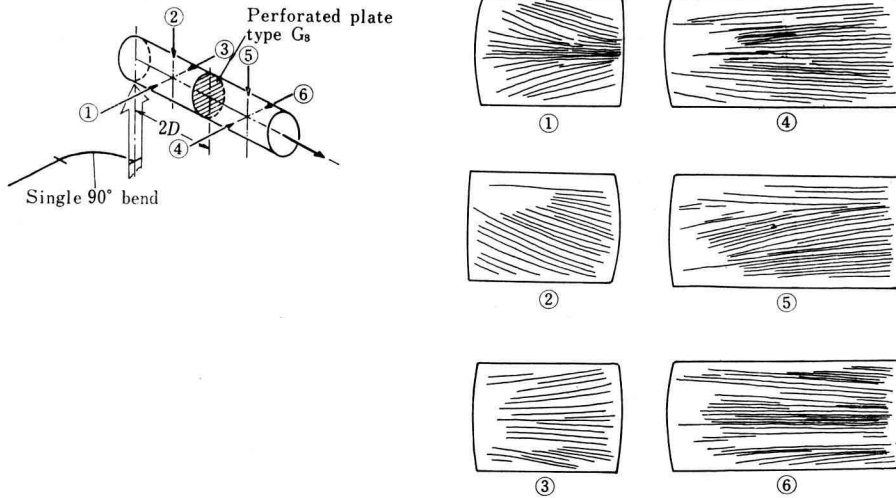


Fig. 32 Oil film patterns upstream and downstream of flow straightener (Single 90° bend, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=2$ ,  $R_e=3 \times 10^5$ )

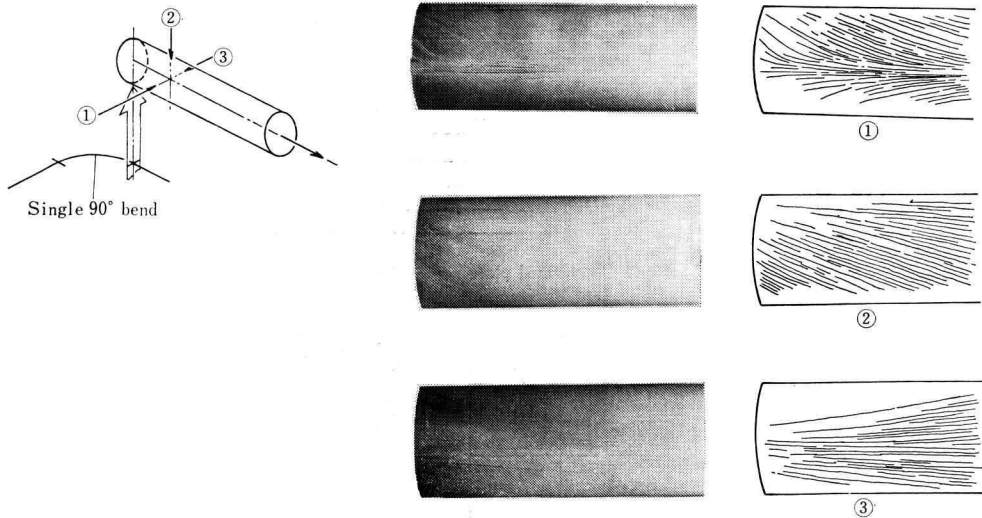


Fig. 33 Oil film patterns downstream of single 90° bend without flow straightener ( $R_e=3 \times 10^5$ )

## 8.2 空間 90° 二重ベンドの場合

図 34 に  $L_2/D=\text{const.}$  (2, 3, 4, 8 の 4 通り) の場合の  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  と  $L_1/D$  の関係を示す。図 35 に  $L_1/D=\text{const.}$  (0, 1.4, 3.4, 7.4 の 4 通り) の場合の  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  と  $L_2/D$  の関係を示す。図 36, 図 37 はそれぞれ図 34 の  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n-L_1/D$  曲線, 図 35 の  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n-L_2/D$  曲線をいずれも  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n-L/D$  曲線として書き直したものである。

図 38 に  $L_1/D=0$  (直結) の場合の整流装置下流の, 図 39 に  $L_1/D=2$  の場合の整流装置上流及び下流の速度分布と旋回角を示す。なを参考として図 40 に整流装置が無い場合のベンド下流の速度分布と旋回角を示す。

図 41 に  $L_1/D=0$  の場合の整流装置直後の流れ, 図 42 に  $L_1/D=2$  の場合の整流装置前後の流れを示す。なお参考として図 43 に整流装置が無い場合のベンド直後の流れを示す。

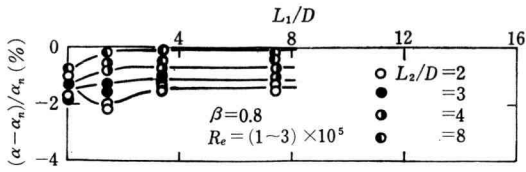


Fig. 34 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $L_1/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind two  $90^\circ$  bends

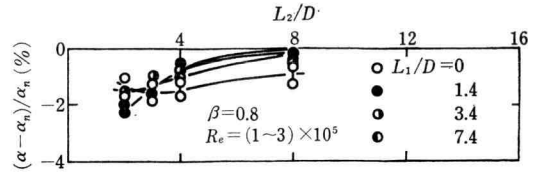


Fig. 35 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $L_2/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind two  $90^\circ$  bends

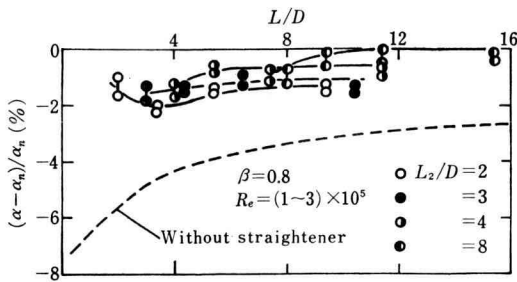


Fig. 36 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $L/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind two  $90^\circ$  bends

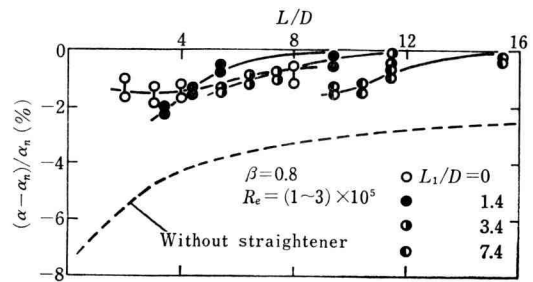


Fig. 37 Relation between  $(\alpha-\alpha_n)/\alpha_n$  and  $L/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind two  $90^\circ$  bends

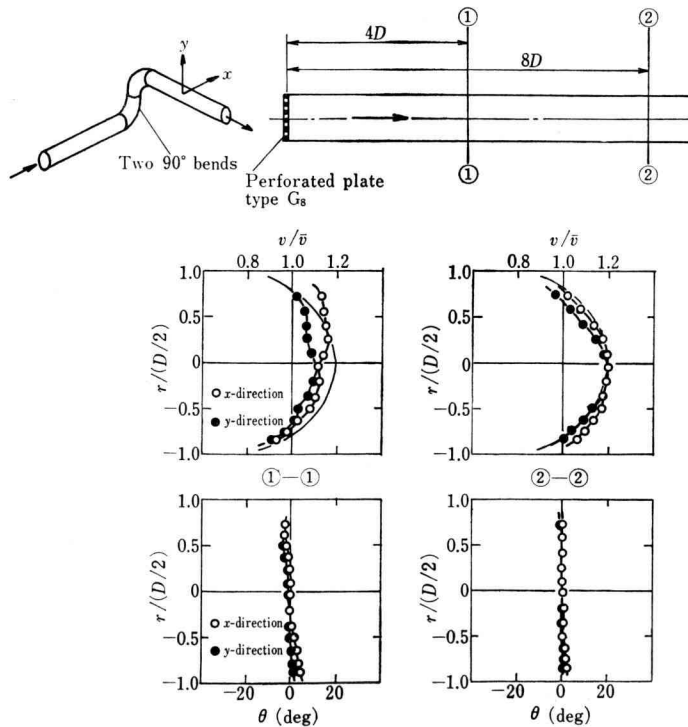


Fig. 38 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section downstream of flow straightener (Two  $90^\circ$  bends, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=0$ ,  $Re=3 \times 10^5$ )

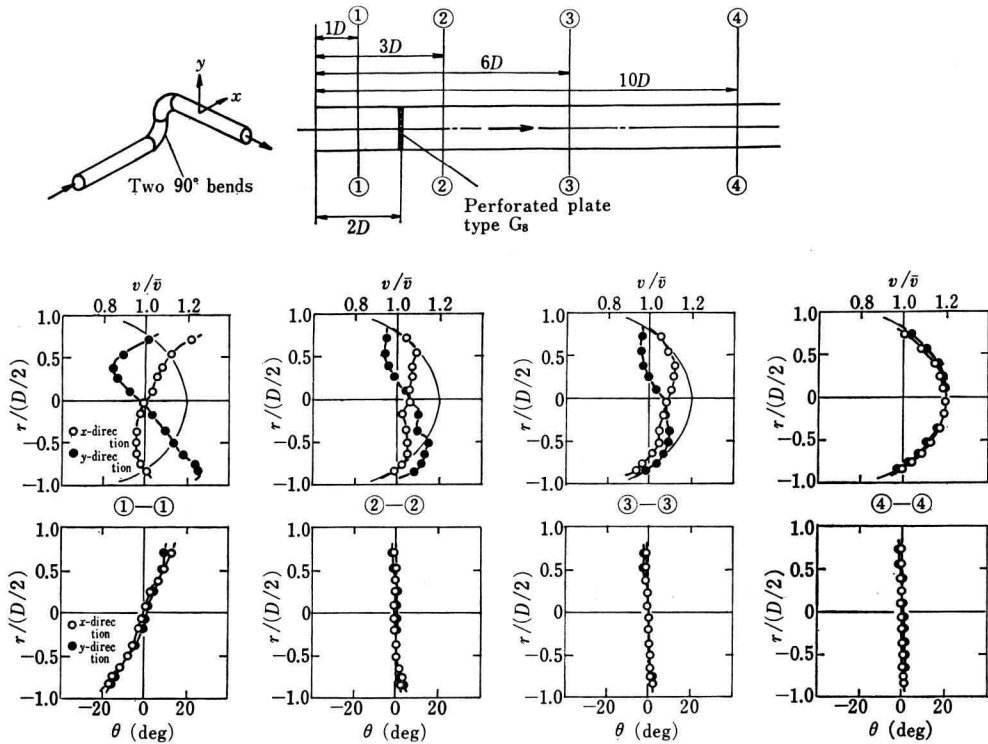


Fig. 39 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section upstream and downstream of flow straightener (Two 90° bends, perforated plate type G<sub>8</sub>,  $L_1/D=2$ ,  $R_e=3 \times 10^5$ )

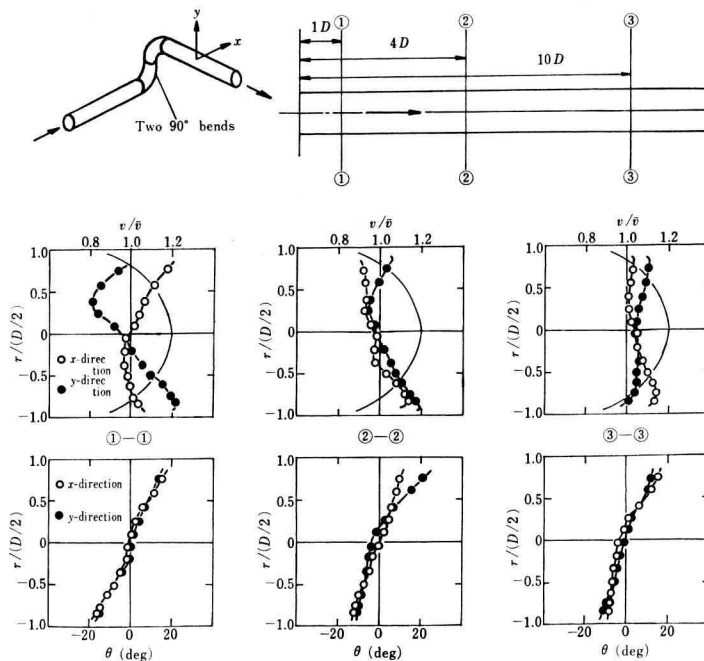


Fig. 40 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section downstream of two 90° bends without flow straightener ( $R_e=3 \times 10^5$ )

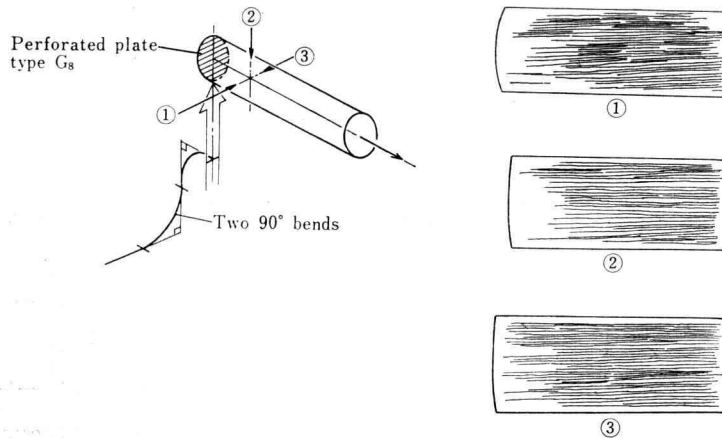


Fig. 41 Oil film patterns downstream of flow straightener (Two 90° bends, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=0$ ,  $Re=3 \times 10^5$ )

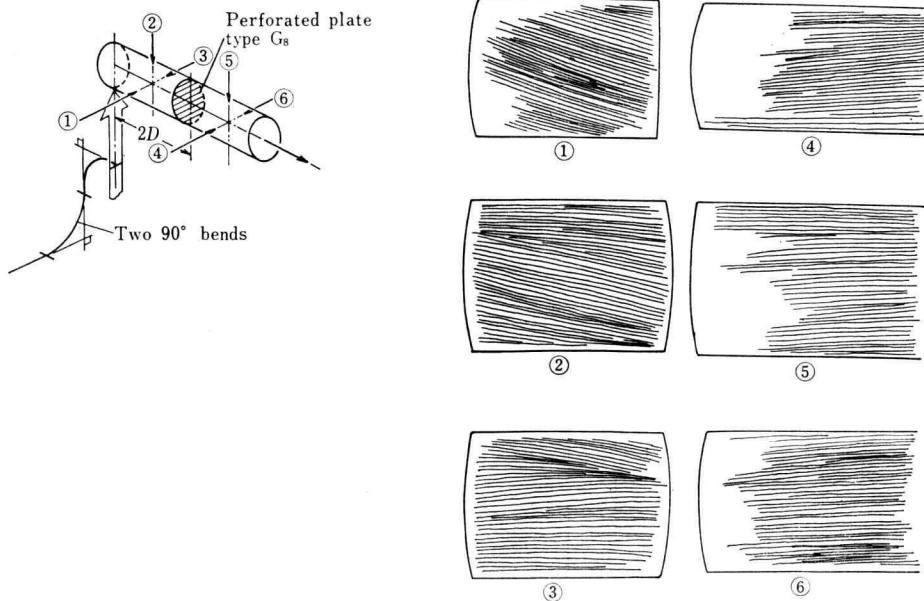


Fig. 42 Oil film patterns upstream and downstream of flow straightener (Two 90° bends, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=2$ ,  $Re=3 \times 10^5$ )



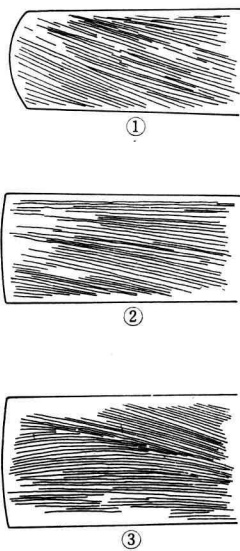
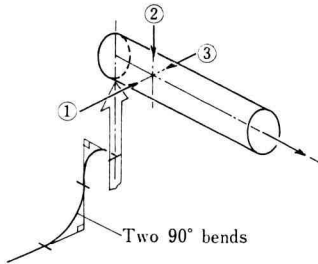


Fig. 43 Oil film patterns downstream of two 90° bends without flow straightener ( $R_e = 3 \times 10^5$ )

### 8.3 空間 90° 三重ベンドの場合

図 44 に  $L_1/D = \text{const.}$  (0, 2 の 2 通り) の場合の  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  と  $L_2/D$  の関係を示す。図 45 は図 44 の  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n - L_2/D$  曲線を  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n - L/D$  曲線として書き直したものである。

図 46 に  $L_1/D = 0$  (直結) の場合の整流装置下流の、図 47 に  $L_1/D = 2$  の場合の整流装置上流及び下流の速度分布と旋回角を示す。なお参考として図 48 に整流装置が無い場合のベンド下流の速度分布と旋回角を示す。

図 49 に  $L_1/D = 0$  の場合の整流装置直後の流れ、図 50 に  $L_1/D = 2$  の場合の整流装置前後の流れを示す。なお参考として図 51 に整流装置が無い場合のベンド直後の流れを示す。

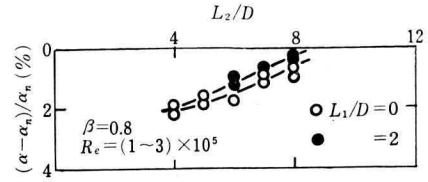


Fig. 44 Relation between  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  and  $L_2/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind three 90° bends

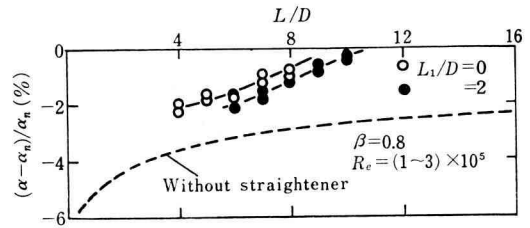


Fig. 45 Relation between  $(\alpha - \alpha_n)/\alpha_n$  and  $L/D$  in the case of perforated plate type  $G_8$  set behind three 90° bends

## 9. ま と め

オリフィスの絞り孔径比  $\beta = 0.8$ , レイノルズ数  $R_e = (1 \sim 3) \times 10^5$ , 90° 単一ベンド及び空間 90° 二重ベンドの範囲における実験であり, 多少厳密さを欠く点もあるが, 一般に旋回流やベンド流れ等の存在に対して, オリフィス流量計の精度を維持するための対策として

- (1) 開孔面積比 約 67%
- (2) 孔径に対する板厚の比 約 1.33

の多孔板 1 枚を使用すれば, 整流装置の損失係数としては極めて小さく (約 1.2), さらに供試オリフィスの流量係数のずれの絶対値は殆ど 0 に近づけることができる。

なお次の条件を満足している場合には, 正規の速度分布が維持され, 且つ旋回流は消失している。

- (1) 90° 単一ベンドの場合には, 上記多孔板をベンドに直結し管内径の約 8 倍の直管長さを有すること。
- (2) 空間 90° 二重ベンドの場合には, 上記多孔板をベンドから管内径の約 2 倍の位置に置き, さらに管内径の約 8 倍の直管長さを有すること。

これに反して空間 90° 三重ベンドの場合は, 上記の 90° 単一ベンド及び空間 90° 二重ベンドの場合の程度では, オリフィス流量計の精度を維持することは困難で, 今後の実験研究を必要とする。

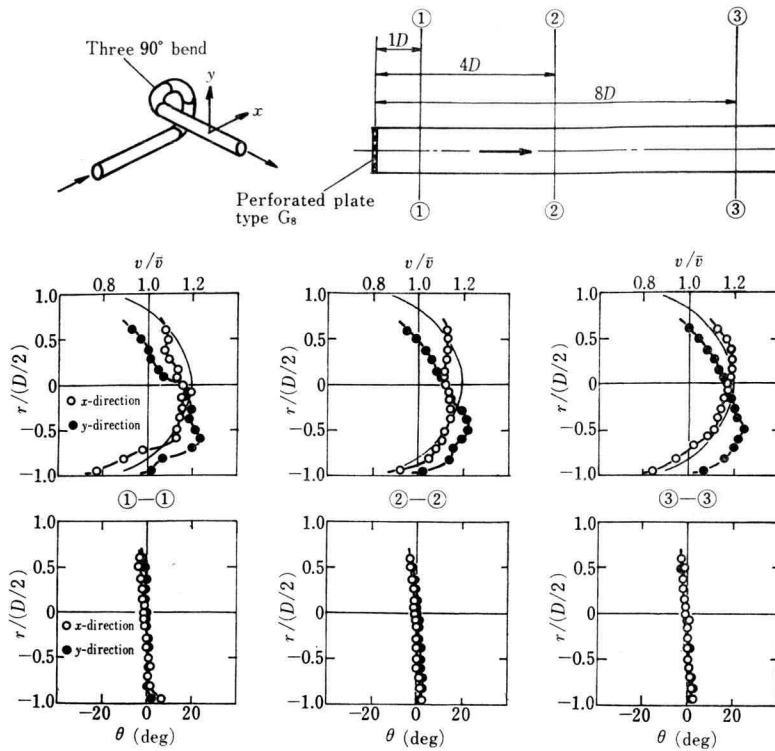


Fig. 46 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section downstream of flow straightener (Three 90° bends, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=0$ ,  $Re=3 \times 10^5$ )

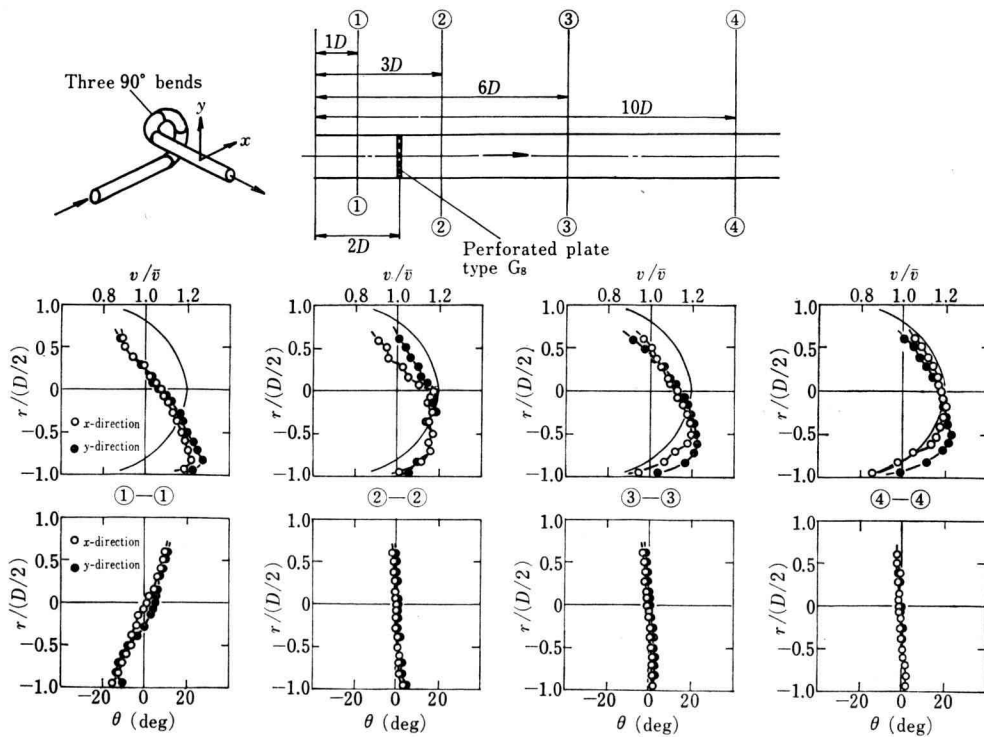


Fig. 47 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section upstream and downstream of flow straightener (Three 90° bends, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=2$ ,  $Re=3 \times 10^5$ )

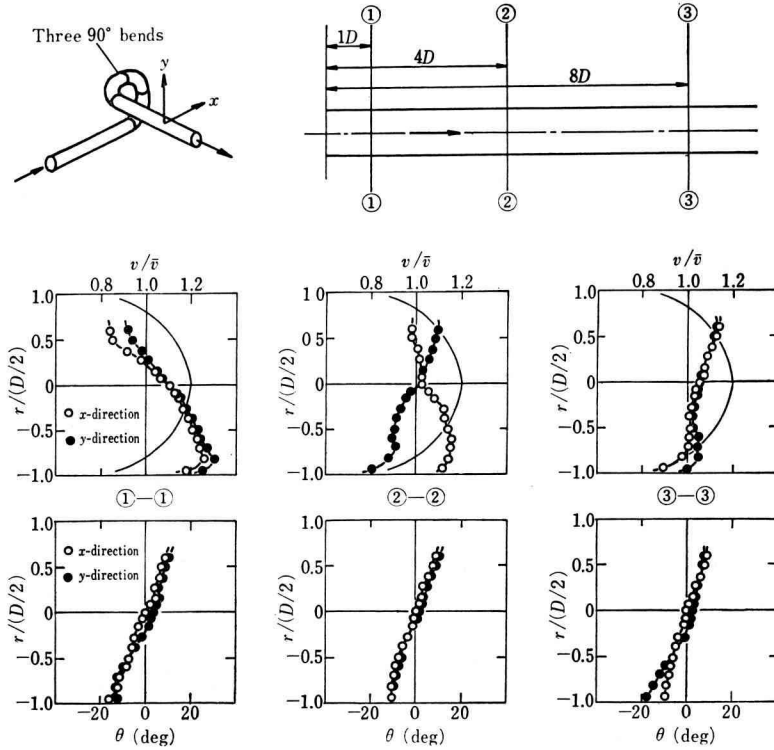


Fig. 48 Distribution of axial velocity and flow angle measured at cross-section downstream of three 90° bends without flow straightener ( $R_e=3 \times 10^5$ )

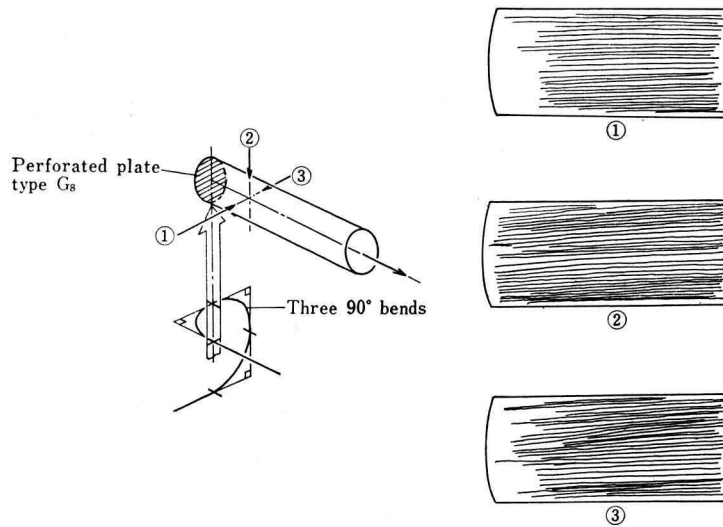


Fig. 49 Oil film patterns downstream of flow straightener (Three 90° bends, perforated plate type G<sub>8</sub>,  $L_1/D=0$ ,  $R_e=3 \times 10^5$ )

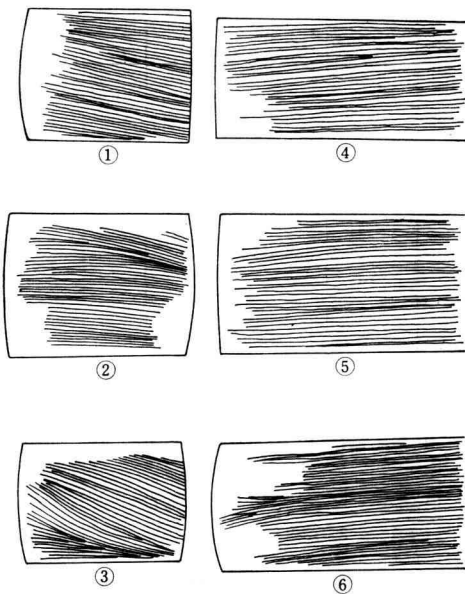
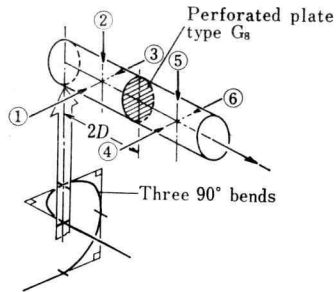


Fig. 50 Oil film patterns upstream and downstream of flow straightener (Three 90° bends, perforated plate type  $G_8$ ,  $L_1/D=2$ ,  $R_e=3 \times 10^5$ )

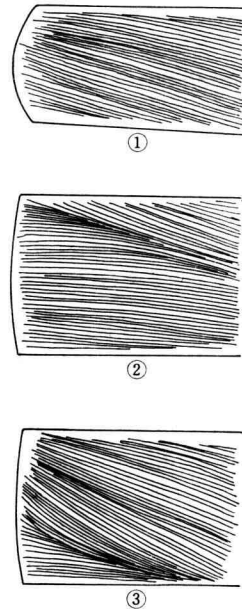
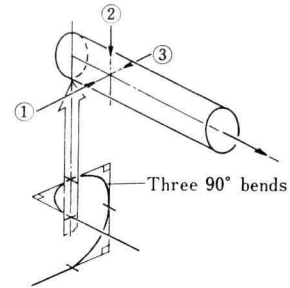


Fig. 51 Oil film patterns downstream of three 90° bends without flow straightener ( $R_e=3 \times 10^5$ )

## 10. あとがき

本研究に御指導を頂いた元幾徳工業高等専門学校鈴木茂哉校長、東京大学石原智男教授に深く謝意を表する。また実験に際しては、幾徳高専昭和44, 45, 46年度各3名, 47, 48, 49年度各4名, 50, 51, 52年度各3名, 幾徳工大53年度6名, 54, 55年度各4名の計44名の学生諸君の協力を得たことを付記する。

## 参考文献

- 1) ISO Recommendation R541 Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates and Nozzles
- 2) JIS Z 8762-1969 絞り機構による流量測定方法
- 3) 石原・古屋, 絞り流量計の問題点—(1) 測定精度におよぼす諸因子の影響—機械の研究, 23-1 (昭46-1), 229
- 4) 大島, 絞り流量計の問題点—(4) 測定規格—機械の研究, 23-1 (昭46-1), 255
- 5) 田中, 管内流における複数抵抗体による整流効果 (軸対称じょう乱の場合), 日本機械学会論文

- 集, 40-339 (昭 49-11), 3122
- 6) 田中, 管内流における抵抗体による整流効果 (S 字状じょう乱速度分布の場合), 日本機械学会論文集, 41-346 (昭 50-6), 1802
- 7) 明石・渡辺・古賀, 流量計測用整流装置の開発, 三菱重工技報, 12-6 (昭 50-11), 665
- 8) 鳥居・根本・市川・尾崎・田代, 流量測定における整流装置の効果について, 日本機械学会講演論文集, 730-11 (昭 48-8), 105
- 9) 鳥居・根本, 流量測定における整流装置の効果について (第 2 報 多孔板損失係数の影響について), 日本機械学会講演論文集, 750-8 (昭 50-8), 261
- 10) 鳥居・根本, 流量測定における整流装置の効果, ターボ機械, 4-10 (昭 51-11), 645
- 11) 鳥居・根本, 流量測定における整流装置の効果について (第 3 報 格子と多孔板, 多孔板と多孔板の間隔の影響), 日本機械学会講演論文集, 770-5 (昭 52-4), 42
- 12) 鳥居・根本・榊原, 流量測定における整流装置の効果について (第 4 報 多孔板の板厚等の影響), 日本機械学会講演論文集, 780-7 (昭 53-4), 171
- 13) 鳥居・根本・榊原, 流量測定における整流装置の効果について (第 5 報 単一ベンド, 二重ベンドおよび三重ベンドの場合の特性), 昭和 56 年 4 月の日本機械学会講演会で発表予定