

# 非対称二次元ディフューザの性能

赤池志郎・根本光正

## Performance of Unsymmetrical Two-Dimensional Diffuser

Shiro AKAIKE and Mitsumasa NEMOTO

### Abstract

The performance of symmetrical diverging diffuser has been investigated in detail for a long time, but few studies have been carried out concerning unsymmetrical diffuser. Experimental studies are made for two configurations with air flow. They are expanded only by one sided wall. The diverging wall of diffuser A is set by a single straight wall, while the diffuser B is tandem type and composed of two wall segments whose angles of divergence differ with each other. The velocity distribution and the pressure recovery are measured along the diffuser walls and the results obtained are compared with those of symmetrical diffuser.

The flow regimes in the diffuser are made clear. The region of no appreciable stall in the diffuser A is about the same as that of symmetrical one. Generally, the pressure recovery coefficient  $C_p$  of the unsymmetrical diffusers is less than that of symmetrical one. When the wall angle of divergence becomes larger than  $15^\circ$ ,  $C_p$  of the diffuser A decreases considerably because of the occurrence of large stall. In that case, the diffuser B is available for practical design.

### 1. ま え が き

流体にエネルギーを与えるターボ形流体機械では、羽根車が流体に与えるエネルギーの約半分は運動エネルギーの増加であるから、これを圧力エネルギーとして回収しなければならない。そのために、流れの速度を減速して運動エネルギーを圧力エネルギーに変換するための広がり流路、すなわち、ディフューザが機械内に設けられる。羽根車とともにディフューザは、ターボ機械の性能を左右する重要な構成要素である。

二次元ディフューザの性能については古くから多くの研究が行われており、その性能はほぼ明らかにされている<sup>1)</sup>。しかし、いずれの場合も対称な広がり角をもつ図1のようなディフューザを対象としており、広がり角が

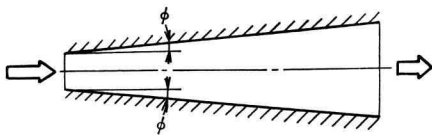


Fig. 1. Two-dimensional diffuser.

非対称な形状のものについての研究はこれまで行われていないようである。実際の機械内のディフューザは構造上、かならずしも対称なものとは限らない。非対称にすることにより対称なものと同じ長さで入口と出口との面積比を等しくするためには、片側の広がりが大きくなるので広がり側壁面に沿う境界層の発達が大きくなり、その性能は当然対称なものより低下するであろう。しかし、前述のように非対称な場合もあるので、どの程度対称なものよりその性能が低下するかを知ることは重要である。

本研究では、片側壁だけを広げた非対称二次元ディフューザの性能を実験的に調べた。片側を直線壁で広げたものでは、当初予想した以上に対称なものに比べて性能が悪かったので、多少とも性能が向上するであろうと予測される片側を二段に広げたものについても実験を加えた。非対称ディフューザ内の流れの状態、広がり角と圧力回復率との関係等を明らかにしたので、ここに報告する。

### 2. おもな記号

AR : ディフューザの入口と出口との面積比

- $C_p$ : 圧力回復率  
 $H$ : 形状係数  
 $l$ : ディフューザ長さ  
 $p$ : 壁面静圧  
 $U$ : 主流速度  
 $U_0$ : ディフューザ入口の主流速度  
 $u$ : 境界層内の速度  
 $u'$ : 流れの乱れ成分  
 $W$ : ディフューザ入口幅  
 $X$ : ディフューザ入口からの流路に沿った距離  
 $Y$ : ディフューザ入口中心からの流路幅方向距離  
 $y$ : 壁面からの距離  
 $\delta$ : 境界層厚さ  
 $\delta^*$ : 境界層の排除厚さ  
 $\theta$ : 境界層の運動量厚さ  
 $\phi$ : ディフューザ壁の広がり角

### 3. 実験装置および方法

測定部の概略を図2に示す。実験は空気流を用いて行った。ディフューザは低速風洞ノズル出口から幅70mm, 長さ185mmの平行流路下流に直接接続されており, 出口は大気に開放されている。高さは $h=500$ mmであるから, ディフューザ入口のアスペクト比 $h/W$ は約7である。上壁は流路内が可視化出来るようにアクリル板製で, その他の壁はアルミ板製で作られている。

供試ディフューザは, 片側は平行壁で図2(a)のように一方を直線壁で広げたA形と, 同図(b)のように一方を二段に広げたB形を用いた。A形は広がり角 $\phi=5^\circ\sim 30^\circ$ で, B形は上流側壁の広がり角 $\phi_1=5^\circ, 7.5^\circ, 10^\circ$ について下流側壁の広がり角 $\phi_2=5^\circ\sim 20^\circ$ と組合せたものを用いて実験を行った。ただし, B形の場合上流側壁

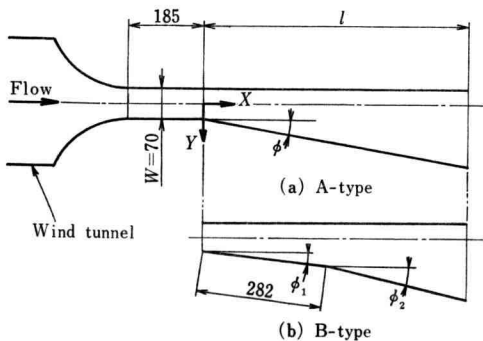


Fig. 2. Arrangement of test sections (unit, mm).

の長さは一定(282mm)である。比較のため図1のような対称ディフューザについても,  $2\phi=6^\circ\sim 20^\circ$ で実験を行っている。

平行壁には流路高さ中央断面上に全圧管および熱線プローブさう入孔と静圧孔( $\phi 0.8$ mm)が設けてある。全圧管は先端部口の形状が $0.5\times 2$ mmで, その圧力はゲッチングン形マンオメータで, 乱れはIプローブを用いて定温度形熱線風速計で, また静圧は多管式マンオメータで測定した。

レイノルズ数 $Re=(U_0W)/\nu \approx 1.4\times 10^6$ ( $\nu$ : 動粘度)で実験を行い, ディフューザ内の流速分布, 乱れ分布, 圧力分布を測定した。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 ディフューザ内の流れ

#### (1) 入口条件

図3にディフューザ入口の流速分布 $u/U_0$ と乱れ分布 $\sqrt{u'^2}/U_0$ を示す。両壁面に沿う境界層の特性値はほとんど相違せず, 境界層の排除面積比 $(2\delta^*)/W$ も約0.03と小さい。主流部の乱れも0.01以下で, 良好な流入条件になっている。

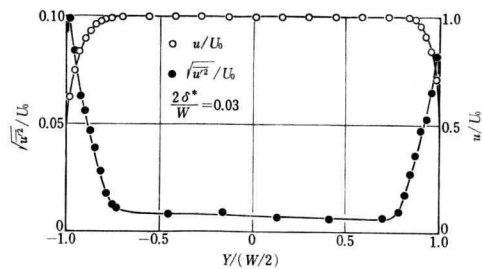


Fig. 3. Inlet condition of diffuser.

#### (2) 対称ディフューザ

流れの一例として, 本実験で最大の圧力回復率を示した $2\phi=10^\circ$ の流速分布を図4に示す。この程度の広がり角では,  $X/W \geq 8$ でわずかに小さなはく離が生じているが, 大規模な流れのはく離は発生しないので, 左右対称の安定した流れになっている。

#### (3) 非対称A形ディフューザ

一例として $\phi=7.5^\circ$ の流速分布を図5に示す。下流になるにしたがい主流は多少広がり壁側に片寄ってくるが,  $X/W=8$ でも境界層のはく離は生じていない。図6に示すように,  $X/W=8$ でも主流部の乱れ $\sqrt{u'^2}/U$

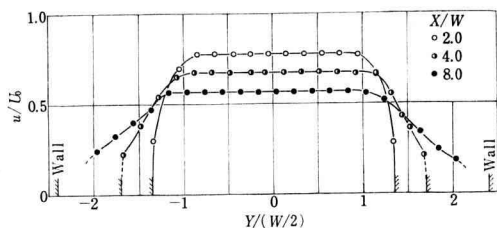


Fig. 4. Velocity distributions in symmetrical diffuser ( $2\phi=10^\circ$ ).

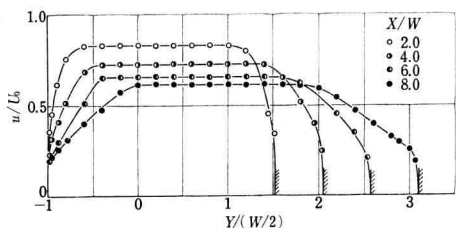


Fig. 5. Velocity distributions in diffuser A ( $\phi=7.5^\circ$ ).

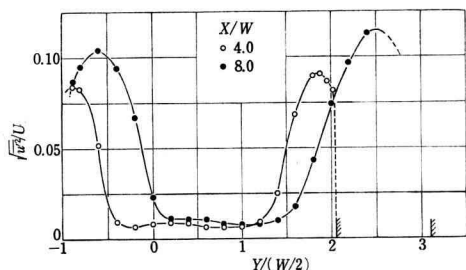


Fig. 6. Turbulent intensity in diffuser A ( $\phi=7.5^\circ$ ).

は 0.01 前後で、ディフューザ内は安定した流れになっている。

壁面に沿う境界層の排除厚さ  $\delta^*$ 、運動量厚さ  $\theta$  および形状係数  $H$  の変化を図 7, 8 に示す。ここに、

$$\delta^* = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy \quad (1)$$

$$\theta = \int_0^\delta \frac{u}{U} \left(1 - \frac{u}{U}\right) dy \quad (2)$$

$$H = \frac{\delta^*}{\theta} \quad (3)$$

$\delta^*$ 、 $\theta$  とも広がり壁 (b 壁) のほうが多少平行壁 (a 壁) より大きい、 $H$  は両者の差がほとんどなく、また流

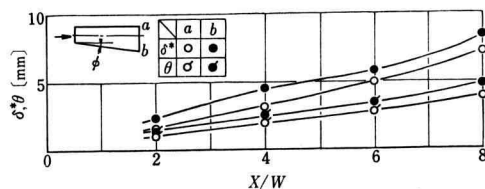


Fig. 7. Variations of  $\delta^*$  and  $\theta$  in diffuser A ( $\phi=7.5^\circ$ ).

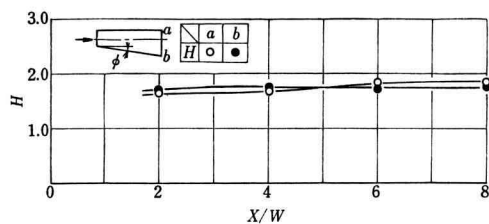


Fig. 8. Variations of  $H$  in diffuser A ( $\phi=7.5^\circ$ ).

路に沿った変化も小さい。

$\phi=7.5^\circ$  では、本実験範囲内では流れのはく離は生じていないが、図 9 に示すように、 $\phi=10^\circ$  の場合  $X/W=5.25$  で広がり壁にはく離が生じるようになる。従来から知られている対称ディフューザのはく離限界<sup>1),2)</sup>に、非対称ディフューザの結果を入れたものが図 10 である。ただし、縦座標は同じ長さで面積比がほとんど一致する片側広がり角  $\phi$  で比較してある。 $\phi=10^\circ$  のはく離限界は、図に示すように対称ディフューザの  $2\phi=10^\circ$  のものとほぼ等しい。ただし、平行壁の壁面にはく離は生じていない。一方、 $\phi=15^\circ$  にするとディフューザ入口直後ですでに流れはく離しており、主流は平行壁にだけ沿って流れるようになる (図 9)。しかもはく離域が入口近くまで広がっている、主流は不安定である。したがって、対称のはく離限界で、非対称の  $\phi=15^\circ$  の場合すでに不安定な逆流域になっている (図 10)。このよ

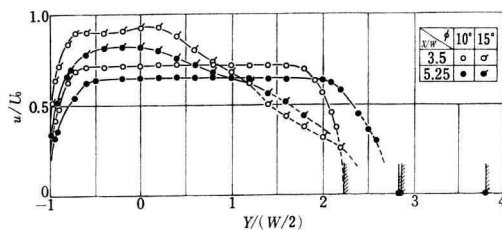


Fig. 9. Stalled flow distributions in diffuser A ( $\phi=10^\circ, 15^\circ$ ).

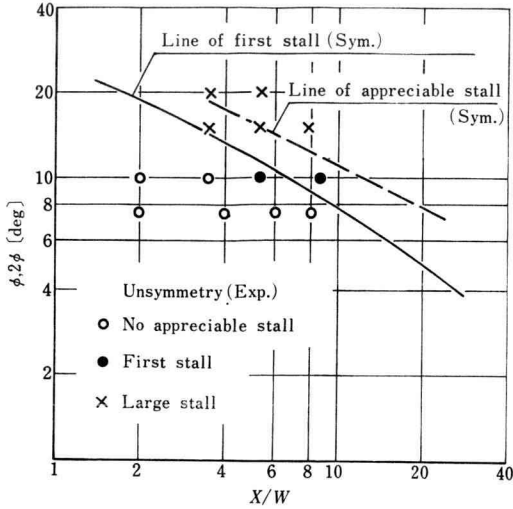


Fig. 10. Diffuser flow regime chart for diffused A<sup>1</sup>.

うに非対称にすると  $\phi \geq 15^\circ$  で広がり壁側に大きなく離が生じるので、性能の低下が著しくなる。したがって、ある距離までは広がり角を小さくして、途中から再び広げてはく離領域をディフューザ入口部まで広げないようにしたB形のほうが、面積比が大きい場合にはA形より有利と考えられる。

(4) 非対称B形ディフューザ

B形の一例として、 $\phi_1=5^\circ$ 、 $\phi_2=10^\circ$ のもの流速分布を図11に、 $\delta^*$ 、 $\theta$ 、 $H$ の流路に沿った変化を図12、13に各々示す。上流側の $\phi_1=5^\circ$ の領域では境界層の発達はいささか、下流側の $\phi_2=10^\circ$ の領域でその発達が大きくなり(図12)、 $X/W \geq 5.5$ で広がり壁側にはく離が生じる(図13で形状係数 $H > 2.0$ になる)。ただし、このはく離領域はA形のように大規模にはならず、しかも流れは安定している。

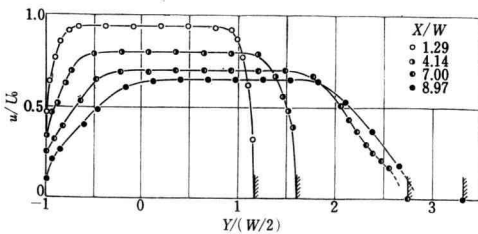


Fig. 11. Velocity distributions in diffuser B ( $\phi_1=5^\circ$ 、 $\phi_2=10^\circ$ ).

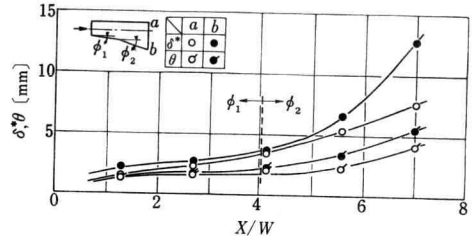


Fig. 12. Variations of  $\delta$  and  $\theta$  in diffuser B ( $\phi_1=5^\circ$ 、 $\phi_2=10^\circ$ ).

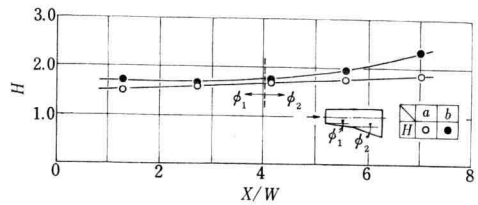


Fig. 13. Variations of  $H$  in diffuser B ( $\phi_1=5^\circ$ 、 $\phi_2=10^\circ$ ).

4.2 圧力回復率

(1) 圧力回復率

流路に沿った静圧  $p_x$  の分布から圧力回復率

$$C_p = \frac{p_x - p_0}{\frac{\rho}{2} U_0^2} \quad (4)$$

を求めた。ここに、 $p_0$ はディフューザ入口の静圧、 $\rho$ は空気の密度である。

図14はA形、B形の流路に沿った $C_p$ の分布の一例を示したものである。入口部ではA形、B形の広がり角が等しいので両者 $C_p$ の分布はほとんど相違しないが、B形ではディフューザ後半の広がり角が $\phi_2=15^\circ$ と大き

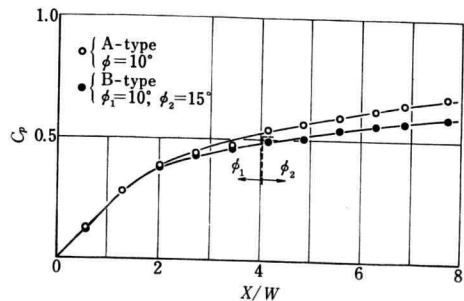


Fig. 14. Distributions of pressure recovery coefficients in diffuser.

いので  $C_p$  は A 形より低くなる。ただし、ディフューザ後半で B 形のほうが A 形より面積比  $AR$  が大きい。このような分布から、以下ディフューザ性能に及ぼす  $AR$ 、無次元長さ  $l/W$ 、広がり角  $\phi$  等の影響を検討する。

(2) A 形ディフューザの性能

面積比  $AR=2$  と  $2.5$  について、対称と非対称ディフューザの  $C_p$  を比較したものを図 15 に示す。対称の  $2\phi$ 、非対称 A 形の  $\phi$  および B 形の  $(\phi_1+\phi_2)/2$  の値が同じ場合、 $AR$  一定で 3 種のディフューザ長さはほぼ等しいので、 $C_p$  は  $2\phi$ 、 $\phi$ 、 $(\phi_1+\phi_2)/2$  で比較してある。いずれの場合にも対称ディフューザが一番高い  $C_p$  の値を示す。A 形の場合、 $\phi \leq 10^\circ$  で対称のものに比べて  $0.1$  程度  $C_p$  は低く、 $\phi$  が大きくなると両者の差はさらに大きくなる。

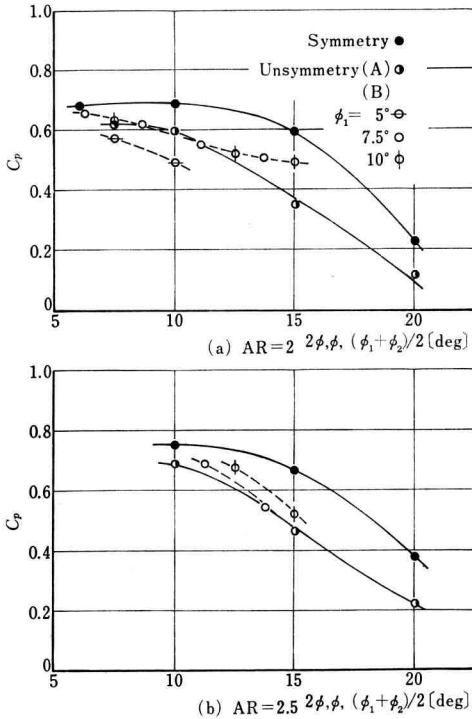


Fig. 15. Comparison of pressure recovery coefficient.

従来から知られている二次元ディフューザの性能図と同様なものを非対称 A 形について示したものが図 16 である。図中には比較のために従来の結果<sup>1)</sup>も入れてある。図中の  $C_p^*$  はディフューザの無次元長さが一定で最大

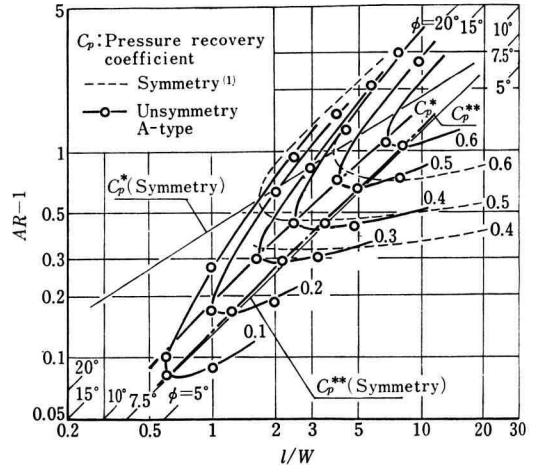


Fig. 16. Performance chart for diffuser A.

圧力回復率が得られる面積比を求める線で、A 形のそれは対称ディフューザよりかなり下になる。対称の場合には最大圧力回復率が小さくなるにしたがって広がり角が大きくなるが、非対称の場合  $C_p^*$  は  $\phi=10^\circ$  (一定) で得られている。すなわち、A 形では  $\phi$  が  $10^\circ$  以上では高い圧力回復率が得られていないことがわかる。 $C_p^{**}$  は面積比が与えられた場合、最大圧力回復率が得られる無次元ディフューザ長さで、A 形は対称とほとんど一致し、 $\phi=7.5^\circ$  で  $C_p^{**}$  が得られている。

(3) B 形ディフューザの性能

前述のように非対称 A 形では、広がり角が大きいところでとくに性能の低下が著しいので、B 形についても実験を加えた。図 15 に示したように、上流側壁の広がり角が小さい場合 ( $\phi_1=5^\circ$ ) には、B 形は A 形より性能が悪いが、 $\phi_1=7.5^\circ, 10^\circ$  にしたものは、広がり角の大きいところで A 形より性能が良くなる傾向をもつ。

全長  $l$  が図 17 に示すように、広がり角  $\phi_1$  の入口部の平行壁長さの 2 倍になる B 形ディフューザについて、 $C_p$  を比較したものが図 18 である。図中には比較のために同様な長さの A 形の  $C_p$  を破線で記入してある。 $AR=$

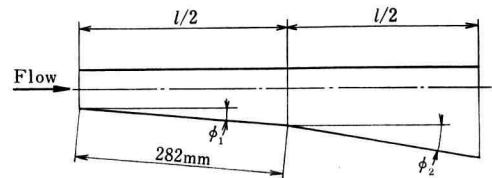


Fig. 17. Unsymmetrical diffuser B.

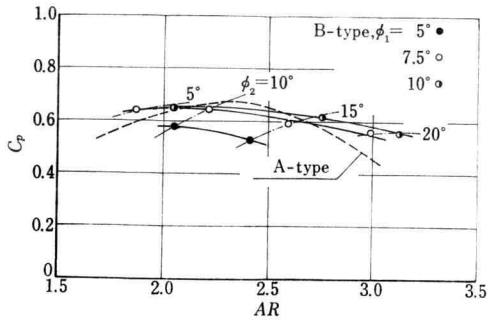


Fig. 18. Performance of diffuser B.

2.2~2.5ではA形のほうがB形より多少  $C_p$  は高いが、 $AR$  の大きいところでA形の  $C_p$  の低下が著しい。やむをえず非対称にする場合、同じ長さで面積比を大きくとりたいときには、B形のように二段に広げたほうがディフューザ性能が向上する。ただし、上流側壁の広がり角  $\phi_1$  ははく離限界の  $\phi_1=10^\circ$  に選定すべきで、 $\phi_1=5^\circ$  では性能の向上はみられない。

### 5. む す び

片側壁だけを広げた非対称ディフューザの性能を実験

的に調べ、対称ディフューザの性能と比較検討した。得られたおもな結果は次のとおりである。

(1) 非対称の広がり角  $\phi$  が約  $10^\circ$  以下では、壁面に沿う境界層のはく離限界は同じ面積比になる対称のものとはほぼ同じであるが、 $\phi \geq 15^\circ$  の非対称ディフューザでは入口直後で大規模なはく離が発生する。

(2) 非対称ディフューザの圧力回復率  $C_p$  は、広がり角が小さい場合にも対称に比べて約0.1低い。

(3) 広がり角が大きくなると、非対称A形ディフューザの性能低下は大きい。

(4) 非対称の場合、広がり角が大きいところでは二段に広げたB形のほうが、A形より性能は向上する。

最後に、本研究にご協力いただいた研究室の多くの卒業生に感謝の意を表します。また本研究の一部は文部省科学研究費によることを付記する。

### 文 献

- 1) Sovran, G. and Klomp, E.D., Fluid Mechanics of Internal Flow (1967), 270, Elsevier.
- 2) Kline, S.J., ほか2名, Trans. ASME, Ser. D, Vol. 81 (1959), 321.