

Title	横断流送風機に関する研究
Author(s)	西原, 一嘉
Citation	大阪大学, 1974, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/557
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

# 横断流送風機に関する研究

昭和49年9月

西 原



論文目録 大阪大学 報告許予中第1746号 氏名 西原一嘉 主論文 横断流送風機に関する研究 (主論文のうち印刷公表したもの)

なし

(主論文のうち未公表のもの)

1. 横断流送圈機に関する研究

(第1報 ケーシング形状が送風機性能に及ぼす影響) 日本機械学会論文集

投稿中(論文講演)

1. 横断流送風機に関する研究

(第2報 性能曲線と内部流動状態)

日本機械学会論文集

投稿中(論文講演)

# 横断流送風機に関する研究

昭和49年9月

嘉 西 原

第	1	章	ļ	亨			論	•	••••	• • • • •	•••••	•••••	••••	• • • • • •	• • • • •	•••••		••••	••••	•••		1
	1.	. 1	ŧ	黄断	流送	風機	もの	従き	来の	研究	こお、	ょび	本研	究の	自由	<b>5.</b>	•••••	••••	•••••	•••		1
		1.	1.	1	横断	济送	風	機の	の特	長と	問題	夏点		•••••		•••••	•••••	••••	• • • • • • • •	•••		1
		1.	1.	2	従来	の研	Ŧ究	23	曵さ	九方	問題	点夏		•••••		•••••	•••••	••••	• • • • • • • •	•••		3
		1.	1.	3	本研	究の	目	的	•••	••••	•••••	•••••	•••••	•••••			•••••	••••	• • • • • • • •	•••	1	1
	1.	2	1	各章	の概	略	•••	••••	••••	• • • • • •	• • • • •	•••••	• • • • • •	•••••	• • • • • •		•••••	••••	• • • • • • • •	•••	1	2
		1.	2.	]	実験	装置	お	よて	ア測	定さ	7法	(第	2章	)	••••		· · · · · ·	••••	••••	•••	1	2
		1.	2	2	ハウ	シン	・グ	の	各部	形制	くがえ	き風	機の	全田	性俞	۲ L						
				K	及ぼ	す影	響	( 🎓	<b>育</b> 3	章)	•	•••••		• • • • • • •			•••••	••••	• • • • • • • •	•••	1	3
		1.	2.	3	横断	流送	風	機な	う内	部济	これそ	犬態	(第	4章	:)		•••••	••••••	• • • • • • • •	•••	3	3
		1.	2.	4	圧力	一流	量	曲ぇ	泉と	内音	『流』	1のi	挙動	(第	5 貢	至 )	••••	••••	• • • • • • •	•••	1	4
	1.	3	7	本研	究で	用い	った	記り	寻	••••	• • • • •	•••••	•••••	• • • • • •			•••••	••••	• • • • • • • • •	•••	]	5
第	2	章	Ş	疺験	装置	およ	び	測知	言方	法	••••	•••••		•••••			•••••	••••		•••	1	8
	2.	1	¥	者		言	•••	••••	•••••	•••••		•••••	•••••	•••••		•••••	•••••	••••		•••	1	8
	2.	2	Ş	疺 駁	6 装	置	•••	••••	•••••	••••	••••		••••			• • • • • •	••••••	••••	• • • • • • • •	•••	1	8
		2.	2.	1	実験	装置	łの	構质	戉		• • • • •	•••••					•••••	••••	• • • • • • • •	•••	1.	8
		2.	2	2	供試	羽栀	重	のŦ	衫状	•••				••••			•••••	••••	• • • • • • •	•••	1	8
		2.	2.	3	供試	ハウ	ッジ	ン :	グ													
				(	ケー	シン	・グ	と言	舌部	の組	1合 /	っせ	)の	形状			•••••	••••		•••	2	2
	2.	3	ð	則定	装置	およ	び	測知	官方	法		• • • • • •					•••••	••••	• • • • • • • •	•••	2	5
		2.	3.	1	送風	機の	全	压作	生能	の復	一定	••••				•••••	•••••	••••		•••	2	5
		2.	3.	2	3 FL	ピト	_	管∤	с <u>г</u>	るき	《風木	<b>幾</b> の1	内部	流れ	.の潤	『定	••••	••••		•••	2	6
		2.	3. 1	3	熱線	プロ	_	ブレ	τı	-~ る耳	羽根耳	「国の」	翼間	相対	流オ	1の1	肌定	••		•••	2	9
	2.	4	*	吉	711(705	굴	•••										•••••	••••		•••	~	1
笛	3	音	,	ー ハウ	ジン	70	る	部 手	区状	がけ	き風な	<b>勝の</b> ·	全圧	性能	e kr T	519-	十影》			•••	3	2
213	3	1	¥	ŧ.	• •	Ŧ	••••	••••			····		<u>т</u> . ст.	••••			·	••••			3	2
	3.	2	/⊺ ·⊆	自民	金古	口 注			• • • • •								•••••	••••		•••	3	~ 2
	3	3	7	▽朮	「」」	公径	• F	21	日化	目IIの	→検ョ	<del>.</del> †					•••••	••••		•••	3	ני פ
	3.	4	1	5 部	「しい」の影響	」 您	љ 	••••			••••						•••••	••••		•••	3	5
	<b>.</b>	-		ч цю	- 25																0	U

### 目

3.	4.1 基本形ハウジングで舌部のすきまが一定の場合	3 5
3.	4.2 舌部のすきまの影響	6
3.	4.3 舌部の傾き角の影響	88
3.	4.4 舌部先端部の有効長さの検討	89
3.5	吐出弧の大きさの影響	1
3.6	ケーシングの影響	2
3.	6.1 基本形ハウジングで舌部のすきまが一定の場合 4	2
3.	6.2 舌部のすきまの影響	4
3.	6.3 一般形状のケーシングの場合の検討	6
3. 7	結 言	8
第4章	横断流送風機の内部流れ状態	50
4.1	緒言	5 0
4.2	実験方法	50
4.3	赤れの羽根車幅方向の2次元性の検討	51
4.4	流れの区分	52
4.	4.1 流線,静圧分布,および全圧分布	52
4.	4.2 測定円5,6上の流速および圧力の分布	56
4	4.3 第2強制うず	59
4.5	赤れの考察	59
4.	5.1 翼間相対流れの熱線出力波形	59
4.	5.2 測定円5,6上の速度三角形(	32
4.6	偏心うずの考察	34
4	6.1 偏心らず中の強制らずの大きさおよび	
	中心の全圧の計算	<b>5 4</b>
. 4	6.2 流量変化に伴う偏心うずの挙動	66
4.7	効率の検討	3 <b>8</b>
4.8	ピトー管の影響	71
4.9	結 言	73
第5章	圧力-流量曲線と内部流れの挙動	75
5.1	緒言	75
5.2	実験方法	75

	5.	3	舌部	ある	いは	:ケー	シン	グク	)7	方だい	けを	用い	た場	合の	流れ	•••••••	76
		5.3	. 1	測定	円 5	ЪС	全田	分布	•	•••••	•••••	••••		••••	•••••	•••••	76
		5.3	. 2	翼間	相交	流れ	の熱	線出	カル	皮形	••••	•••••	••••	•••••	•••••	•••••	79
	5.	4	语舌	の傾	き角	を変	えた	場合	· <i>თ</i> ł	充れの	の挙	動	•••••	•••••	•••••	•••••	8 0
		5.4	. 1	測定	門 5	Ŀσ	全田	分布	•	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••	•••••	8 0
		5.4	. 2	翼間	相文	流れ	の対	線出	カル	皮形	•••	•••••	••••	•••••	•••••	•••••	82
	5.	5	舌部	のす	すき	を変	えた	場合	$\cdot \sigma_l$	売れの	の挙	動	•••••	••••	•••••		86
	5.	6	ケ <b>ー</b>	シン	グ形	状を	変え	た場	合。	の流っ	nの	挙動		••••	•••••	••••••••	87
		5.6	. 1	基本	:形ハ	ウジ	ング	の場	合	••••	•••••	•••••	•••••	••••	•••••	•••••	88
		5.6	. 2	一般	の形	状の	ハウ	シン	クロ	の場合	合	•••••	••••	•••••	••••	••••••	89
	5.	7	結		言	••••	• • • • • • •	• • • • • • •	• • • • •	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••••••	92
第	6	章	結			論	••••	•••••		•••••	•••••	••••	•••••	•••••	••••••	•••••	94

謝	辞
文	献

1.1 横断流送風機の従来の研究および本研究の目的

1.1.1 横断流送風機の特長と問題点

横断流送風機(Cross flow fan)(図1-1)は我が国では別名貫流フ



図1-1. 横断流送風機の構造(Eck/Laing送風機)

ァン,横流ファン,Tangential fan,Line flow fan とも呼ばれ,最 近ではエアカーテン,ルームクーラ等の換気用,空調用機器の分野で広く用い られるようになった新しい型の送風機で,構造および作動原理は従来の軸流式 や遠心式の場合とはまったく異なっている。その特長と問題点,歴史的展望等 については詳しく説明されているものがあるが<sup>(18),(19)</sup> ここでは簡単にその 概略についてふれておこう。

この送風機は1892年,フランス人モルティエ(Mortier)により発明され、一時期は炭鉱の排気用送風機として使用されたこともあった。しかし、今日の家庭用小型送風機として急速に普及するようになったのは1950年代初めのドイツのエック( $E_{ck}$ )<sup>(1)</sup>とライング(Laing)<sup>(42)</sup>による研究以後のことである。そして現在多くの国特にヨーロッパで実用化されているのは彼らの特許にもとずくものが大部分である。したがって図1-1にはその特徴のあるハウジング形状を代表として示した。

図1-1に示すように,構造は多翼ファン(シロッコファン)と同様,内外 径比の大きい多数の前向きの円弧翼からなる環状翼列羽根車とそれをつつむハ ウジングすなわちケーシングと舌部(もしくは風切り)とから成るが,シロッ コファンとの本質的な違いは羽根車の両端面が閉じられていて,羽根車の約半

-1-

数の羽根が大気に開放され,残り約半数の羽根がケーシングにつつまれている ことである。このため流れの作動原理は従来のシロッコファンや軸流式や遠心 式の送風機とはまったく異なり,羽根車幅方向については,ほぼ一様な2次元 流れと考えてよく,流れは羽根車の軸に垂直な面内を,半径方向に流入し,羽 根車を横断する形で羽根車の翼列を2回通り抜けて,半径方向に流出し,長方 形断面の出口から吐出される。流れの2次元性のために羽根幅をいくらでも大 にできることは,シロッコファンとは決定的に異なる点である。

また図1-1に流線の概略を示すように,羽根車内周近傍の偏心した位置に 中心を持つうずの発生が特徴的である。この偏心うずに代表される内部流れは きわめて微妙で,偏心うずは,ハウジングの形状の変化に応じ,またハウジン グの形状が一定でも流量の変化に応じて,その時に定まる適当な安定位置にす みやかに移動し,同時に全体の流れの様子が大きく変化する。そして性能も変 化する。これもまた他の型式の送風機とは大いに異なる点である。

上に述べたことに関連して,横断流送風機の主な特徴を列挙すれば,次のように要約できる。まずその長所としては

- (1) うずの発生により,うず周辺の流速が加速されることや,流れが翼列を 2回通り抜けるため翼列は本質的には2段の役割をし,そのため流量係数  $\varphi$ ,全圧(圧力)係数 $\psi_t$ は他の型式の送風機よりも数倍も大きく,最大 流量係数 $\varphi_{max} \approx 1.5$ ,最大全圧係数  $\psi_{t, max} \approx 4$ の程度で,これらの 係数に関しては,シロツコファンの約2倍の性能が出ると考えてよい。
- (2) はその構造上のすぐれた特質に基づくもので,特に羽根車幅をいくらで も大きくできることや,入口,出口の断面が長方形であること、装置をコ ンパクトにできること。正逆両用ファン<sup>(45)</sup> など,まったく新しいデザイ ンが考えられることは,空調設備に対しては最も適している。

#### しかし,その欠点としては,

- (1) 舌部がせまいすきまを介して設置されているため、騒音,特にその回転 騒音がきわめて大きいことである。現在のところ,その比騒音レベルK<sup>(19)</sup> は軸流送風機なみで,K=50~55dBときわめて高い状態である。
- (2) はかなり大きい循環うずが中心を羽根車内周近くに偏心して翼列を横切 って存在しているため,多くのエネルギ損失があり,そのため全圧効率 $\eta_t$ は低く,最高でも $\eta_t \Rightarrow 70\%$ 程度で,普通は $\eta_t \Rightarrow 40\%$ 程度である。

(3) として,横断流送風機の性能は,前に述べたように,羽根車形状以外に ハウジングの形状によっても大きく左右されることである。

しかし、以上の欠点は  $E_{ck}^{(1)}$ の指摘するように,小型送風機の場合のよう にレイノルズ数の小さい領域ではほとんど問題にならず,むしろその長所が他 の型式のファンに比してきわ立ったものになってくる。先のエック・ライニン グの送風機は  $q_{max} \neq 1.0$ ,  $\phi_{t,max} \neq 2.0$  程度で,全圧性能はきわめて低いが,  $\eta_t \neq 6.0\%$ と効率は高く,騒音もあまり問題にならない。したがって1960年 代以後は,我が国においても,冷暖房用機器の普及に伴ない,横断流送風機は 多くのメーカーが注目するようになり,現在では冷暖房用ファンユニット,エ アカーテン,サーキュレータ,換気扇,ヘヤードライヤー等の小型の家庭用機 器の他に,電子計算機関係の冷却<sup>(8)</sup>,穀物取入れ用のコンバイン<sup>(33)</sup> など多く の分野で見られるようになった。しかし騒音面の欠点のため大型のものにはま だほとんど使われていない。

1.1.2. 従来の研究と残された問題点

a .研究対象の分類

従来行なわれてきた横断流送風機の研究は,これを研究対象の面から分 類すれば次の4種にまとめられる。

 は羽根車のみを回転させた場合に生ずる非定常流れの研究である。す なわち羽根車のみを自由空間中で回転させても送風機とはならないが、 非対称なハウジングを用いた場合と同様、偏心うずを持つ非対称な流れ を生じる。ただし、この流れは全体として羽根の回転方向にゆっくりと 回転する。

これについては,山藤<sup>(43),(44)</sup>は,羽根車の起動時から定常,回転 に至る流れを可視化の方法で観察することにより,偏心うずの形成の過 程,偏心うず形成限界,羽根車定常回転における非定常流れのフローパ ターン等を明らかにしている。

2)は、内部案内羽根を持つ横断流送風機の研究である。もともと発明者 Mortierの送風機(図1-2)は羽根車内部に、軸および案内体を持ち、また羽根車周囲の大部分が非常にせまいすきまの舌部およびケーシングにより包まれていることに大きな特徴があった。しかし、Sprenger(1938)は,水槽実験によって羽根車内部の偏心うずを発見し そして内部案内体を除くと同時に内部の軸を除けば性能が向上すること を見出した。また $E_{ck}^{(2)}$ とLaing<sup>(42)</sup>は,Mortier 送風機における 舌部とケーシングのすきまを広げる方が渦は強く形成され,しかも羽根 車から吐出された流れが再び吸込み側に逆流するのを防ぐ,いわゆる空 気力学的シールとして使用できることを発見した。したがって横断流送 風機では現在,羽根車内部には軸を設置することはないが,Laakso<sup>(3)</sup> (1957)が直線の内部案内羽根を用いることにより、 $\psi_{t,max} > 4$ の性能を得たと報告したことから,内部案内羽根を持つ横断流送風機の 研究については,その後も,とくにソ連において続けられており,

**Бычков** & KOPOBKHH<sup>(7)</sup>(1962)は円弧状の数枚の内部案内羽根 を用いることにより, $\varphi \neq 1.5$  で  $\psi_{t, \max} \neq 5.2$ , $\eta_t = 5.0\%$  という 驚異的な性能を得ている。そしてLaaksoの送風機と大体同じ形の送風 機で実験したところ $\varphi = 0.55$  で  $\psi_{t, \max} = 2.0$ . $\eta_t = 32.5\%$ の低い 性能しか得られず,Laaksoの資料の正確さには,疑問があると述べて いる。村田・志水<sup>(24)</sup>,<sup>(31)</sup> は内部案内装置がある場合の流れを理論 よび実験の両面から研究したが,実験では案内羽根は一枚の方がよく, また得られた性能は $\varphi = 0.5$  で  $\psi_{t, \max} = 4$  であり,Бычков & KOPO<sup>B</sup>KHH</sub>らの場合よりも低く,内部案内羽根についてかなり多くの問 題点が残されている。

- 3) は、E<sub>ck</sub><sup>(6)</sup>(1960)により提案された揺動羽根を持つ横断流送風機の研究である。羽根の各々が異なった位相で揺動運動をする揺動羽根車の場合には、普通の横断流送風機の場合と違って、偏心渦は完全に羽根車の内部にあるので、偏心渦が翼列を横切ることがない。したがって効率が、かなり上昇する。また流れの任意の方向転換が可能となる。 鳥井・井手ら<sup>(36)、(37)</sup>は、揺動羽根を持つ横断流送風機の流れの機構を水槽実験により研究した。しかし揺動羽根については研究が始まったばかりで、不明な点が多く残されている。
- 4)は内部案内装置を持たない普通の形の横断流送風機の研究であり、 Eckの研究に始まる最も基本的な方式の送風機を対象とするものである。 ところで横断流送風機は、現在では家庭用小型送風機の代表的なものに

- 4 -

なっているが<sup>(15)</sup>,<sup>(21)</sup> 実際の冷暖房用ファンユニットとして組み込ま れる場合にはできるだけファンの寸法を小さくするとか、吸込流れの方 向に無理な制約を与えるとかの種々の問題が生じてくる。そのために各 メーカにおいても研究が行なわれており,たとえば沢井・福永(29) は吸 込口障壁の影響について研究し、ファン吸込側における羽根車への流入 に至るまでの流線の変化は流れの変化をきたし,特性に及ぼす影響が大 きく、ファンを格納する製品の外板を単純な吸込の抵抗として論じ得な いことを示した。また沢井・前川(45)は、収納面が制約された場合につ いて正逆両用可能なクロス・フロー・ファンの構造について研究し、ハ ウジングの半径方向長さは、羽根車外径程度は必要であると述べている。 Коровкин<sup>(23)</sup> もハウジングの出口ディフューサ部の長さ( ldiff )に ついて調べているが,短いディフューザ( $l_{diff} = D_2$ )をつけた場合 には静圧係数の低下を生じるが,全圧係数は,ほとんど変化しないと述 べている。また T<sub>vP Бин</sub><sup>(33)</sup> は穀物取入れ用のコンバインとして横断流 羽根車を用いる場合について、その作動に及ぼす吸込側の傾斜板の位置 の影響について触れている。そして $l \ge 0.25 D_2$ の距離にある傾斜板は 全圧係数と流量係数には、本質的な影響を与えないと述べている。さら に村田ら<sup>(27)</sup>は,吸込側にハウジングを持つ横断流送風機について研究 しているが、その結論は、吸込側のハウジングはない方がよいというこ とであった。

さて以上の各種横断流送風機のうち本論文の対象は(4)の内部案内装置を持た ない,吸込側開放の横断流送風機に限ることにする。

b . 横断流送風機の各種性能曲線

前述のように横断流送風機は、遠心送風機などに比べると、きわめて複 雑で羽根車の幾可学的な形状ばかりでなく、ハウジングの各部の形状をわ ずかに変更しても、空気力学的特性が著しく変わる。また性能曲線に大き な不安定領域( $\varphi$ の増加とともに $\psi_t$ が大になる部分)を生ずる可能性が ある。そこで良好な性能を得るための種々の型の送風機が考案されている。 ここではその代表的なものについて述べる。まず第1は図1-1に示した 特徴的な舌部を持つ $E_{ck}$ /Laingの送風機である。 $E_{ck}$ は、ハウジングに よって偏心うずを制御するという考えから各種の実験を行ない、図1-1

- 5 -





図1-2. Mortier送風機

図1-3. Coester送風機

のハウジングを得たが、その性能曲線は,不安定領域を持ち,また性能も 低い。

Coester<sup>(5)</sup>は,  $E_{ck}$ の考えをさらに進めて特殊なポケット状の舌部 とケーシング(図1-3)により循環うずを積極的に作り出すことを考え 小流量高圧力の性能を持つ送風機を開発したが構造が複雑であるため実際 にはあまり製作されていない。その後も高性能,安定性能の送風機が種々 考案されている。安定な性能を持つ送風機としては図1-4のDätwyler 図1-5のZenkner<sup>(10),(28)</sup>の送風機がある。



図1-4. Dätwyler送風機



図1-5. Zenkner送風機

すなわち Dätwylerは、多段送風機として使うためには安定特性を得る 必要があると考えた。そして図1-4に示すように直線もしくはS字状の 板状舌部と平均流速が180°曲げられるような吐出空間のきわめて広いス パイラルケーシングを用いれば、締切圧力の高い、いわゆる安定右下りの 性能曲線が得られると報告している。またZenknerは、図1-5.に示す ように、吸込弧と吐出弧をほぼ等しくし、くさび形状の舌部とかなり吐出 空間の広いケーシングを用いれば、安定右下りでかつ高い性能の曲線が得 られると報告している。

上述の $E_{ck}$ , Zenkner , Datwylerの送風機によって図1-6に示す ように,右上りから右下りまでの各種性能曲線が得られるが.村田・井家  $L^{(19)}$ は,同一の羽根車について,ハウジング形状を変化させることにより 図1-6と同様の種々の性能曲線が得られることを示した。(図1-7)



c .送風機の性能の問題点

なお送風機の性能としては,全圧,効率,騒音の3つの面を考えるべき であるが,各性能についての各部形状の影響は,異なると考えられる。効 率については一応参考までに測定されている場合が多く,現在,効率が低いけれども,これがどの程度上昇できるかという効率の限界について,あるいは大きい損失はどこで生じているかという損失の配分についてはほとんど研究されていない。また騒音については,現在では横断流送風機の大型化を妨げている最大の原因になっているため(さらに騒音の低減の可能性も大きいため)最も解決を急がねばならぬ問題であるが,これについては村田・井家上<sup>(13)</sup>,<sup>(19)</sup>が若干の特徴を明らかにしただけで.他に研究例は見られない。

そして現在のところは主として全圧性能や安定性能が問題になっている。 d.各部形状パラメータの影響

羽根車の性能に及ぼす影響は,きわめて大きく,設計の悪い羽根車はい かにハウジング形状を選んでも性能は,良くはならないが<sup>(19)</sup>,後述のよう に羽根車の形状パラメータの最適値の大体については,ほぼ定まっている と思われる。なお羽根車に関しては,羽根の形状を2円弧とか他の形で表 わせば,また異なった性能が得られる可能性もあり,また1円弧の場合で も羽根車を大型にした場合,すなわち外径の影響とか,あるいはエアーカ ーテン等で幅比を非常に大きくした場合の流れの片寄りなどの問題が考え られるがこれらについての研究は,まだ行なわれていない。

ー方、ウジングの影響は,羽根車の影響についで大きい。すなわち,上 記の最も一般的な羽根車についても,ハウジング形状によって性能が大幅 に変化する。ハウジングの影響については,以前の論文は大部分 Eckのハ ウジングについて各部形状の最適値を調べたものであるが,これについて は寸法の記載がなく.また性能も低いので重要ではない。村田・井家上<sup>(19)</sup> は図1-7に示した板状の舌部を用いて,舌部の位置,形状,ケーシング の大きさ,吐出弧と吸込弧の長さの比等により性能が大幅に変化すること を示した。また生井ら<sup>(26),(32)</sup> も板状舌部を持つハウジングについて2. 3実験を行ない,舌部形状とケーシング形状の間には相関関係があること, すなわち吐出し側ケーシング形状は舌部形状に応じてそれぞれ最適の形状 を選ぶ必要があり,現象はきわめて複雑であることを指摘した。しかし, 生井らの用いた羽根車は,内径の小さいもので,内部うずが十分発達でき ず,このため�<sup>(89)</sup>は, 種々の興味ある指摘を行なっている。まずEckのハウジングに対し,その ポケット部を除き,単純な舌部にした方が性能が大幅に向上することを示 し,さらにケーシングについてもDätwylerの型に注目し、さらに系統的 な研究の必要性について述べている。

e・横断流送風機の内部流れの測定

さて羽根車内部の流れについては Eckの型のハウジングについて Eck<sup>(1)</sup> Tramposch<sup>(8)</sup>らの水槽実験があり,またCoester<sup>(5)</sup>はピトー管を用 いた空気実験により羽根車内、外周上の全圧分布を求め、前述したポケッ ト部による流れの改善の効果を示した。そして偏心うずのコア部は、死水 域と見なして無視し、羽根車内周上に中心を持つ自由うずのモデルを考え た。これは羽根車内部の流れの第1近似として用いられる。 Irberg & Sadeh<sup>(14)</sup>は、3孔ピトー管を用いた空気実験により羽根車内部の流れを 詳細に測定し,偏心うず中の強制うずの大きさおよび中心の位置を測定し 羽根車内部の流れは、自由うずに囲まれた強制うず、すなわち組合わせう ず(ランキンうず)という主要部の流れと羽根の境界条件を満たすための ポテンシャル流れとの和から成るモデルを考えた。なお上述の流れの測定 は羽根車幅の中央横断面内におけるものであるが、羽根車幅方向の流れに ついてはTvn EuH<sup>(33)</sup>は送風機出口の速度場は,幅方向にはほぼ一様であ るが高さ方向にはハウジング形状によって種々異なると報告している。し かし矗(16) は、5孔ピトー管を用いた空気実験により羽根車内部および外 部の円周上で流れを測定し、そこでの速度三角形は回転数が変わっても相 似であるが,流れは中央横断面以外は壁面に平行ではないと報告している。 また小泉ら<sup>(30)</sup>は、大流量域における横断流送風機の特性の急変の現象を 見出し、この現象は、横断流送風機に固有のものであることを示し、また その原因は, うずの崩壊によるものであると報告している。この問題につ いては、さらに検討する必要があると思われる。

なお横断流送風機の内部流れについては,偏心うずの移動を考慮する必要がある。 Preszler & Lajos (52)は,Eck 型のハウジングについて, $\varphi = 0.85$ ,0.6,0.25の各場合について羽根車内外の流れを詳細に測定して流線,等エネルギ(全圧)線を描き,羽根車内部のうず度,乱れ度の分布を測定している。しかし,Eckのハウジングではうずの移動がほとんど

- 9 -

ないので,あまり一般的ではない。村田・井家上<sup>(19),(22)</sup>は,水槽実験に よりうずが羽根車の内周上を周方向に大きく移動する例を示し,また熱線 プローブを翼間に取りつけた空気実験<sup>(20)</sup>により,性能曲線に対するうず の移動について2,3の特徴を明らかにした。

しかし,性能曲線の形と流れとの関係については,定量的を測定には至 らなかった。同様なことは Porter & Markland<sup>(39)</sup> によっても実験さ れている。すなわち前述のようにDatwyler型のハウジングに注目し,性 能を向上するためには,Eckのハウジングのようにうずを固定させるより も周方向に自由に動けるようにすべきであると考えて,単純な直線状舌部 と,らせん形ケーシングを用いた水槽実験により,その改善の効果を示し ている。

以上が性能おれび流れについての従来の実験的研究の概要である。 f.横断流送風機の理論的研究

横断流送風機の流れの理論的研究としては,まず Eck<sup>(1)</sup>は、羽根車を 直線翼列に置き換えて,羽根車入口,出口の速度三角形の考えにより,吸 込側の流れの施回方向を考慮して, $\phi_t = 4$ 程度の性能が得られるとした が、これによると羽根角度の影響は、ないという結果になり、実験とは合 わない。羽根車内部の流れをポテンシャル流れであると仮定し、環状翼列 としてはじめて理論的に解析を行なったのは, Coester<sup>(5)</sup>である。彼は 羽根車内部の流れは、円周上に中心を持つ自由うずにより表わされるとし た。これは前述したように流れの第1近似として使われるが、これ以上の 進展はない。Coester のポテンシャル流れの仮定の下,さらに進んでポ テンシャルらずが,羽根車内任意の位置にあるとして,羽根車の外周羽根 角.内外径比また簡単な直線ケーシングを考慮してより総合的な解析を行 なったのは,村田・井家上(11),(12),(17)である。そしてうず位置をパラ メータとした理論性能を求めている。これによると、うずが径方向に動く よりも周方向に動く方がより高い性能が得られることが示されるが、まだ 実際の性能を予測するには至っていない。また解析にあたっては,うず中 心の位置は初めから与えられたものとして扱い、うず中心がどのように移 動し、ハウジング形状とどのような関係にあるかということは今後の課題 として残した。

-10 -

ポテンシャル流れの仮定を離れ、羽根車内部の流れは、組合わせうず すなわち自由うずに囲まれた強制うずと、羽根車内周上の境界条件を満た すように決められた周期ポテンシャル流れとの和として示したのは、 Ilberg & Sadeh<sup>(14)</sup>であるが、周期ポテンシャルは1つの場合の実測 値にあうように、フーリエ級数で求めたもので一般的ではない。また性能 に関しては何ら言及していない。Lajos & Preszler<sup>(47)</sup>、<sup>(53)</sup> は、前 述のように羽根車をうず分布で置き換え、流れはこのうず分布およびその 流出うずによる流れと角をまわる流れとの3つの和より成るという流れの モデルを提案しているが、この場合には実際には存在している偏心うずが 生じないという欠点があり、角をまわる流れの角度をどう与えるかという ことも問題である。

以上のように理論についても十分なものは得られていない。

1.1.3. 本研究の目的

前述のように現在横断流送機の研究は理論面での進展がないが,このために はさらに十分な基礎的な実験研究が必要とされている。すなわち(1)ハウジング 形状の性能に及ぼす影響を明らかにすること。(2)性能曲線の形と内部のうずの 挙動との関係を明らかにすることがそれである。

したがって本論文では,ハウジング形状が送風機内の流れおよび送風機性能 に及ぼす影響を実験的に明らかにする。

さてハウジング形状の性能に及ぼす影響を知るためには,2つのアプローチ の方法が考えられる。1つは,数多くのハウジングについて性能を測定するこ とにより,統計的な処理によってその間の法則性を知る方法である。このため には広範囲にわたる系統的な実験が必要であるが,従来はそれらの形状の多様 性と影響の複雑さのために,系統的な実験は,ほとんど行なわれていない。す なわち従来の研究は,たまたま高性能を得たファンのハウジングの1つの形状 について発表したものが多く,また寸法の記載に不明な点も多く,それらの資 料を利用することができない。

他のアプローチの方法は,特徴的な性能を示すハウジングについて送風機の 流れを詳細に測定し,流れの特徴を明らかにすることによってハウジングの影 響を知る方法である。この方法は,困難であり現在のところあまりうまく行っ

-11-

ていない。しかし,ハウジング形状の変化による性能の変化は,送風機の内部 流れの挙動(特に偏心うずの移動)とは密接に関連していると思われるので, 送風機の内部流れの状態および内部流れの挙動についても十分研究しておく必 要がある。したがって,本論文では研究は以下の3段階に分けて行なった。

すなわち(1)まずハウジング形状を系統的に変化させることによって種々の形の性能曲線を作り出し、何が最も主要なパラメータであり、そのパラメータは 性能にどのように影響するかを明らかにする。そしてこれが、一般のハウジン グについても十分適用性のあることを明らかにする。(第3章) (2)は、1つ のハウジングについて内部流れの状態を種々考察する。すなわち流れの流入, 流出の状態、内部流れの機構、全圧性能や効率性能などをピトー管により測定 した全圧分布や熱線ブローブにより得られる翼間相対流速の 熱線出力波形を 用いて種々の考察をする。そして羽根車内周上の全圧分布の形によって内部流 れが十分把握できることを示す。(第4章) このようにして、流れの一般的 な特性を明らかにした後、(3)は、この内部流れがハウジング形状を変化させた ときにどのような挙動を示すかを研究する。すなわちハウジング形状の影響の 流れの面からの考察である。具体的には(1)で明らかにした主要な形状パラメー タを変化させることにより代表的な性能曲線を作り出し、この時の羽根車内周 上の分圧分布の変化から内部流れの挙動を調べる。そして流れの測定から(1)の 一般性への適用の根拠をさらに拡げる。(第5章)

なお,研究の対象とした横断流送風機は,吸込側が開放でかつ内部案内装置 は持たない。また羽根車は,一円弧翼から成る板金製の羽根車であり,ハウジ ングも板金製で板状の舌部を持つハウジングである。

1.2 各章の概略

1.2.1 実験装置および測定方法(第2章)

本章では,空気実験における装置の構成,実験に用いた羽根車およびハウジ ングの形状と性能および流れの測定の方法について述べている。

ハウジングとしては,単一円弧(半径は羽根車の外径に等しい)と直線より 成るハウジング(舌部も直線)(これを基本形ハウジングと名付ける。)とそ の他一般形状のハウジングを代表する数種のハウジングを用いている。基本形 ハウジングによって前述のEck, Zenkner, Datwyler の代表的を性能曲線,あるいは村田・井家上の得たような種々の形の性能曲線が得られる。流れ の測定には外径40の円筒型3孔ピトー管を用い,また適宜外径10の円筒型 単孔ピトー管を用いた。また羽根車幅の中央横断面内の翼間に熱線ブロープを 取りつけて,翼間相対流れを測定したが,本研究では,うずの中心位置と流れ の変動の程度がわかればよいと考えて,熱線の検定は行なわず,同一設定条件 における熱線出力のシンクロスコープ写真の比較により流れを考察した。

12.2 ハウジングの各部形状が送風機の全圧性能に及ぼす影響(第3章)

本章ではまず羽根車直径による相似則を確認し,次に基本形状のハウジング について舌部,ケーシングそれぞれの影響を調べ,またその結果をさらにくさ び形舌部や折線形舌部あるいは一般の形状のケーシングを用いて種々検討した 結果,主要な形状パラメータを導く過程を述べている。すなわち基本形ハウジ ングとくさび形舌部を持つハウジングとの比較から舌部の吸込側の傾き角が重 要であることを示した後,吐出高さ一定で先端部が折線の舌部ですきまおよび 傾き角を変化させた場合と,基本形ハウジングの場合との比較から舌部のすき まおよび傾き角が主要な形状パラメータであることを示し,そしてこの主要パ ラメータに比べれば吐出高さの影響は,小さいことを述べ,こ れと吐出高さの影響が小さいことの2点から,吐出方向を基準としたある角度 の位置で代表される部分のケーシングの大きさ,すなわちr(*θ*=240°)が 主要な形状パラメータであることを明らかにした。

1.2.3. 横断流送風機の内部流れ状態(第4章)

本章では,まず羽根車幅方向の流れの2次元性を確認した後,羽根車幅中央 横断面内における流れの測定結果から,横断流送風機の内部流れ状態に関して 種々の考察を考なった。すなわち,1つのハウジングを選んでまず全体の流れ の流線,静圧分布,全圧分布,羽根車内,外周上の流速および圧力分布から内 部流れはポテンシャル流れの領域,強制うずの領域およびその中間の領域に区 分できることを示し,さらに羽根車内周上の全圧分布から一般には,2つの強 制うずを考えるべきであることを述べた。次に翼間相対流の熱線出力波形や羽 根車内,外周上の速度三角形と前述の流線との対応から羽根車の各部について 流れの流入,流出の状態を考察した。さらに羽根車内周あるいは、9ず中心を 通る直径上の流速や圧力の分布から強制9ずの強さ,大きさを求める簡単な式 を導き,これを用いて流量変化に伴う偏心9ずの挙動を考察した。

さらに羽根車内,外周上の流れの測定結果から送風機の全圧性能や羽根車の 効率を求める計算方式を確立し,以上の諸式から羽根車の各部についての局所 全圧効率や羽根車の全圧効率を計算して,効率の問題について若干のアプロー チを試みた。このように流れの測定結果から性能,効率を求める場合には,正 しい測定が必要であるが,流れの測定中にピトー管をある位置に設置した場合, 流れが急激に変化1,性能が大幅に低下する現象が判明した。そしてこのピト 一管の影響を生じさせないように10の単孔ピトー管を3孔ピトー管として用 いる方法についても考察した。

本章の結果として羽根車内周上の全圧分布によって内部流れ状態を把握できることがわかった。

1.2.4. 圧力 - 流量曲線と内部流れの挙動(第5章)

本章ではハウジングの主要を形状パラメータを変化させた場合について、羽 根車内周上の全圧分布を用いて、圧力・流量曲線の形と内部流れの挙動との関 係を明らかにし、第3章で得られた結果の一般性の根拠をさらに拡げた。すな わちまず舌部のみ用いた場合にも安定した流れが生じることに着目した。この 場合、舌部の傾き角によって熱線の出力波形の形には、それぞれ特徴のあるこ とを示した。次にハウジングの完備した場合について舌部の傾き角を変化させ た場合の羽根車内周上の全圧分布と翼間相対流の熱線出力波形とを舌部のみ用 いた場合のそれらと比較することにより、舌部傾き角の影響を流れの面から解 明した。そして流れの面から考えて、性能曲線は、 $\varphi < 0.3 \sim 0.4$ の小流量域と  $\varphi > 0.3 \sim 0.4$ の中、大流量域に分けて考えねばならないことを示した。さらに 舌部のすきまを変化させた場合やケーシング形状を変化させた場合についての 流れから、中大流量域では普通の大きさのハウジングでは舌部の影響がかなり 支配的であること、また小流量域では吐出弧とケーシングの大きさの両者が性 能および流れに影響することを示した。さらにその影響の仕方についても調べ た。

-14-

なおケーシング形状の影響については基本形状のハウジングの場合と別の2 つの設計方式による一般形状のハウジングの場合との流れの比較から第3章の 結果の一般性の確認を行なった。

結果として,流れの面から考えれば舌部とケーシングのいずれを変化させて も得られる性能曲線の形と内部流動状態の間には,一定の関係のあることがわ かった。

1.3 記 号

本研究で用いたおもな記号は、次のとおりである。

- D : 直径 (mm)
- D1, D2: 羽根車の内径および外径(mm)
  - h: ケーシングの吐出高さ (mn)
  - L : 羽根車幅 (mm)
  - n : 羽根車の回転数 (rpm)
  - **p** : 圧力 (*mm*Aq or Kg/m<sup>2</sup>)
- $p_s, p_t, p_v$ :静圧,全圧および動圧(mmAq),  $p_v = \frac{\rho}{2} v^2$ 
  - $(p_t)_0$ :強制うず中心における全圧(静圧でもある)(maAq)(図4-16)
    - $(p_t)_1$ : ポテンシャル流れ領域における全圧 (mAq)(図4-16)

 $\Delta p_{t}$ :1つの流線上で羽根が与える全圧上昇(mag)

- $(\Delta p_t)_{th}$ : 1つの流線上で羽根が与える理論全圧上昇(mAq)
  - Q :送風機の吐出流量(*m<sup>3</sup>*/s)
  - **q** : 羽根車幅中央単位幅当りの送風機の吐出流量(m<sup>2</sup>/s)
  - R : ケーシング円弧部の曲率半径 (mm) (図 2 8)
  - R' :円形うずの円の半径 (mm) (図 4 15)
  - R'f : 強制うずの境界における R'(mm)(図 4-15)
  - **r** : 半径方向の座標 (mn) (図2-16)
- **r**1,**r**2: 羽根車の内半径および外半径(mm)
- $r_5, r_6$ : 測定円 5 および 6 の半径 (mm) (図 4-19)
  - **r**<sub>A</sub>: 偏心うず中心の座標 **r** (mm)
  - $\boldsymbol{r}_{\kappa}$ : 測定円の半径( $\hat{\boldsymbol{m}}$ )(図2-16)

 $r(\theta = 240^{\circ}): \theta = 240^{\circ}$  におけるケーシングの大きさr(mn) (図2-9)  $u : 2\pi rn/60(m/s)$ 

**u**,,**u**。:羽根車の内周および外周上の周速度(m/s)

 $u_5, u_6$  : 測定円 5 および 6 上で考えた速度 u(m/s)

**v** :流速(m∕s)

**v**<sub>f</sub> :強制うずの境界における流速 v (m/s)(図4-15)

 $v_{r}, v_{\theta}$ :流速  $v \circ r$ ,  $\theta$  方向の成分(m/s)

**w** : 羽根車に対する相対流速(m/s)

α : 単一円弧ケーシングのすきま最小の位置とケーシング先端間の
 部分が羽根車中心に対してなす角(度)(図3-18)

β,,β。: 羽根車内周および外周羽根角(度)(図2-7)

β'<sub>1</sub>, β'<sub>2</sub>: 羽根車内周および外周上における流れの相対流入あるいは相対 流出角(度)(図4-12)

- $\Gamma$  : 円形うずの円上で考えた循環  $(m^2/s)(図_{4}-15)$
- γ :空気の比重量(Kg/m<sup>3</sup>)
- δ2: 舌部を構成する平面がその先端における羽根車の周方向となす
   角(度)(図2-8)
- δ<sup>2</sup> : 舌部を構成する吸込側平面がその先端における羽根車の周方向 となす角(度)(図3-11)

 $(\delta_2)_{opt}: 1$ つのケーシングについて $\delta_2$ を変化させた場合の $\delta_2$ の最適値(度)

 $\epsilon_1, \epsilon_2$ : ケーシングおよび舌部の先端部の最小のすきま(mn)

η :羽根車の局所全圧効率(羽根車幅中央横断面内)〔式(4-23)〕

- $\eta'$ :羽根車の全圧効率(羽根車幅中央横断面内)  $\left[ 式 (4-27) \right]$
- **η**<sub>t</sub> :送風機の全圧効率〔式(2-7)〕
- η': :送風機の全圧効率(羽根車幅中央横断面内,ハウジング吐出口)
   〔式(4-31)〕

η<sup>"</sup><sub>t</sub>: 送風機の全圧効率(羽根車幅中央横断面内,測定円 6 上)
 〔式(4-33)〕

 ・ケーシング円弧部のすきま最小の位置までの中心角(度)
 (図 2-8)

θ	:吐出方向を基準として羽根車の回転方向に測った角(度)
	(図2-16)
$\theta_{2}$	: ケーシングのすきま最小の位置を基準とした場合の舌部先端の
	取りつけ角(废) , $ heta$ $_2=\delta_2+oldsymbol{ heta}$ (図 $2-8$ )
$\theta_{A}$	:偏心うず中心の角 $ heta$ (図 $2-1$ $6)$
$\theta_{\rm C}$	:ケーシング先端の角 $ heta$ (図2-16)
$\theta_{\rm D}$	:吸込と吐出の変換点の角 $ heta$ (図 $2-18$ )
$ heta_{ m d}$	: $ heta$ = 270°を基準とした場合の舌部先端の取りつけ角(度),
	直線状舌部の場合は $ heta_{ extsf{d}}=oldsymbol{\delta}_{2}$ (図 $2\!-\!8$ )
$\theta_{_{\mathbf{M}}}$	: 循環うずの境界の測定内 5 あるいは 6 上での角 $ heta$ (废)(図4-4)
$\theta_{\rm v}$	:舌部先端とうず中心のなす角(度)
	$\theta_{\rm V} = \theta_{\rm Z} - \theta_{\rm A} \ (\boxtimes 2 - 1 \ 6 \ )$
$\theta_z$	:舌部先端の角 $ heta$ (度)(図2-16)
p	:空気の比質量(Kg <sup>S<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)</sup>
arphi	:送風機の流量係数〔式(2-1)〕
arphi'	:羽根車幅中央単位幅当りの送風機の流量係数〔式(4-30)〕
Ψ	:流れ関数(m <sup>2</sup> /s)
$\psi_{\mathfrak{t}}$	:送風機の全圧係数〔式(2-1)〕
$\psi_{\mathrm{t}}$ ( $\varphi\!\!=\!\!0.6$ )	: $\varphi = 0.6$ における $\psi_t$
$\psi_t (\varphi = 0)$	: $\varphi = 0$ に おける $\psi_t$
$\psi_{\mathrm{open}}, \psi_{\mathrm{close}}$	:ダンパ全開時および全閉時の $\phi$ (図1-7 )
$\psi_{ ext{max}}$ , $\psi_{ ext{min}}$ in	$: \phi_t - arphi$ 曲線のダンパ全閉時を除く部分での極大値および極小
ω	:羽根車の回転角速度(1/s)
$\omega_{f}$	: 強制うずの角速度(1/s)
添字 *	:無次元量,たとえば $v^*=v/u_2$ , $p^*=p/rac{\rho}{2}{u_2}^2$

 $\psi_{\mathfrak{t}}$  $\psi_{\mathfrak{t}}$ 

-17-

#### 第2章 実験装置および測定方法

#### 2.1 緒 言

横断流送風機の吐出流れは,羽根車の幅方向にはほぼ一様な流れであるが, 高さ方向については一様でない。そして高さ方向の静圧分布が一定になるまで にもかなりの距離を要する。したがってどこまでがハウジングで,どこからダ クトであるかがはっきりしていない。しかしこの問題についての規約はないの で,本論文では,羽根車中心から1.5~2.0D2 の位置をハウジング出口と考え この位置における性能をJIS B 8330に準じて測定した。

なお本研究では、ハウジング形状を種々変化させるので吐出高さが種々変化 する。さらに、これらの取りつけ取りはずしを迅速に行なうために種々の工夫 が必要である。その他ピトー管による流れの測定では、羽根車を片持ちにする 必要がある。また熱線による翼間相対流の測定の際にはまた別の測定装置が必 要である。これらについても種々の考案を行なった。

#### 2.2 実験装置

2.2.1 実験装置の構成

横断流送風機の実験装置の概略を図2-1に示した。実験装置は,羽根車と



それを包むハウジンク(舌部およびケーシンクの組み合わせ)・連絡ダクト, 計測ダクトより構成されている。ここでピトー管による流線測定と熱線による 翼間相対流の測定がいずれも可能なように側板の部分は .種々な目的に用いる

ことができる構造になってい る。すなわち流線測定の場合 は,羽根車を片持ちにする必 要があるので,羽根車の自由 端となる側のベアリングボッ クスは,取りはずし可能であ る。(図2-2) また,翼 間相対流測定の際には,回転 する翼に取りつけた熱線プロ ーブのリード線を導くために ベアリングボックスのかわり



図2-2 3孔ピトー管による流線測定

に水銀接点のスリップ・リング(スイスVibrometer 社製)を取りつける。 (図2-3) そして羽根車の自由端は、羽根の形の切り込みを入れたアクリ



図 2-3. 熱線プローブによる翼間相対流の測定

ル板(厚さ10mm) をはめ込み、これとスリップ・リングのロータとをフレキ シブルなカップリングで連結する。(図2-4)

実験に用いた羽根車は、板金製で幅L=280mmで外径が $D_2=120mm$ と $D_2=240mm$ の2種である。(図2-5)  $D_2=120mm$ の羽根車は、羽根車の両端で支持されるが、 $D_2=240mm$ の羽根車は、片持ち支持で、羽根の自由端は



a. 熱線風速計
 b. シンクロスコープ
 c. 接写装置
 d. スリップリング
 e. カップリング
 f. アクリル板
 図 2 - 4. 翼間相対流れ測定装置写真



(a)  $D_2 = 120 \, \text{mm}$ ,  $L = 280 \, \text{mm}$ 



(a) 直線舌部



図.2-5. 羽根車写真



(b) ケーシング(直線部 および円弧部)

図2-6. 基本形ハウジング写真

鋼のリングで固定している。

ただし,いずれの場合も羽根車の軸方向すきまは0になるような構造にして ある(図2-2参照)。

すなわち,羽根の幅は側板間隔に等しい。なお実際の実験の際には,D<sub>2</sub>= 120mmではハウジングは上側吸込みで,D<sub>2</sub>=240mm では下側吸込であるが この場合底板と羽根車との間隔はD<sub>2</sub>以上あり影響はまったくなかったので<sup>(33)</sup>, ハウジングはすべて上側吸込として描いている。図2-6.には実験に用いたハ ウジングの一例を示す。これは円弧と直線から成る最も単純な形状のハウジン グの場合である。なおハウジングはすべて厚さ 0.4~0.5 mmのブリキ板で出来て いる。実験では各種ハウジングを用いるため迅速な取りつけ,および取りはず しの必要がある。このため両側の側板の内側に位置決めのためのプリキ板を固 定しておき.それにハウジング形状をあらかじめ描いておき,その位置にハウ ジングの構成要素をガムテープ,ビス等で固定する。舌部のすきまの設定には さらにすきまジグを用いることに、より正確を期した。また側板は、図2-4.の 写真のように一部羽根車軸のまわりに回転できる回転側板から成っている。

回転側板にピトー管を取りつければ,羽根車の30mm外部の領域内では,任意の角度における流れの測定が可能である。なおピトー管の支持には.ユニオンジョイントを利用した。

2.2.2 供試羽根車の形状

横断流送風機の羽根車の形状は、シロッコファンのそれとよく似ている。す なわち、内外径比の大きい、多数の前向きの円弧翼から成っている。内部案内 装置によってモーメントが与えられない場合には、内周羽根角 $\beta_1$ は、理論的 には90°が最適であり<sup>(19)</sup>大部分はこの値が採用されているが、実際にはす べりがあるため、これと異なってくる。羽根車の形状パラメータの最適値につ いて比較的くわしく研究したものにTypEuH<sup>(33)</sup>、Preszler & Lajos<sup>(46)</sup>ら の研究がある。これらの結果をまとめると、内周羽根角 $\beta_1 = 90^\circ \sim 97^\circ$ 、外 周羽根角 $\beta_2 = 22^\circ \sim 30^\circ$ である。(ただし羽根角としては図2-7に示すよ うに羽根車の内、外周において羽根に引いた半径方向外向きの接線と羽根車の 周方向とのなす角で定義する。)また内外径比D<sub>1</sub>/D<sub>2</sub>=0.80~0.86、羽根数 Zの最適値は、節弦比(pitch chord ratio) $\tau = \frac{p}{c} = \frac{\pi D_2}{Zc}$ (pは翼列のビ

-21-

ッチ、Cは翼弦長)によって整理することができ、 $\tau = 0.94 \sim 1.0$ である、ただし $D_1 / D_2$ の値については上記の値よりもかなり広い範囲にとっても、性能はそれほど低下しないようである。

また羽根車幅しにつ いてはКоровкин<sup>(23)</sup> の研究があり、幅比し /D<sub>2</sub>>1.0~1.5 であ ればLによる性能の低 下はなくなると報告さ れている。そこで本研 究では図2-7に示す ように,上の条件をす べて満たす形状・寸法 であり、羽根車外径の 異なる2種類の羽根車 を用いて実験を行なっ た。いずれの羽根車も L = 280 mm, Z = 30,  $\beta_1 = 90^{\circ}$ ,  $\beta_2 = 25^{\circ}$ の円弧翼羽根車で幾可 学的形状は,ほぼ相似 である。なお羽根車の 回転数πについては、 性能の相似則は、ほぼ



図 2-7 供試羽根車の形状・寸法

成立すると考えてよいので<sup>(14),(16)</sup>  $D_2 = 120$  mmの羽根車については n = 1200 rpm,  $D_2 = 240$  mm については n = 600 rpm で実験した。

223 供試ハウジング(ケーシングと舌部の組合わせ)の形状

前述のように舌部としては直線舌部を用いることは実際的にも十分意義があ ると考えられ、またケーシング形状もできるだけ単純でしかも高い全圧性能が 得られ、しかも種々の性能曲線の得られるものが望ましい。本論文ではハウジ ング製作の経験上,図2-8に示す ように単一円弧と直線より成る最も 簡単な形状のハウジング(これを基 本形ハウジングと呼ぶ)を用いて実 験し,性能に及ぼす主要な形状パラ メータの影響を明らかにし,さらに 後述のような種々の形状のハウジン グを用いて,その結果の一般性を検 討する。

さて図 2 - 8のハウジングでは, (1)円弧部分の半径 B は羽根車の外径 D 2 に等しく,(2)円弧の中心の位置 図 2-8 ハウジング形状の単純化 は羽根車内周上にあり,(3)ケーシングの直線部分と舌部は平行であり,また(4) ケーシングはすきま最小の位置から巻き始めるようにしている。 吐出方向を基準にすると,図 2 - 9 に示すようにケーシングの円弧部分の中心 角のだけを変化させることによって種々の形状のケーシングを作ることができ る。たとえば図 2-10に示すように舌部先端を $\theta_2 = 150^\circ$ の位置に固定して,



-23-

図 2-9 基本形ハウジングの組合わせ

図2-10 ケーシングの $\Theta$ の変化



 $\Theta \geq 90^{\circ} \sim 150^{\circ} \pm c$ 変化させると、条件(3)によって $\delta_{2} \leq 60^{\circ} \sim 0^{\circ} \pm c$ 変 化し、舌部の方向とともに吐出方向が変化することになる。これを吐出方向を 基準にすると、図 2-9の $\theta = 90^{\circ} \sim 150^{\circ}$ のケーシングと $\delta_{2} = 60^{\circ} \sim 0^{\circ}$ の舌部の組合わせが得られる。ただしのを変えた場合には、ケーシングの巻き 始めの位置が変化することと吐出高さhが変化することは一般の形状のハウジ ングを代表させるためには問題であるが、これについては後に検討する。図2 -9のハウジングの組合わせにおいて、 $\theta = 90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 、 $\delta_2 = 0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の範囲で実験を行なった。ここで図2-8のハウジングの条件は、製作の経験 上定めたものであるが,図1-1のEck<sup>(2)</sup>,図1-4のDätwyler<sup>(9)</sup>のい ずれの図も、ケーシング曲線部の曲率および中心位置はほぼ上述の条件に近い。 すなわち $\Theta = 80^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ,  $\delta_{2} = 40^{\circ}$ 程度にすればEckのハウジングに近く,  $\Theta = 180^{\circ}$ ,  $\delta_2 = 45^{\circ}$  程度にすれば図 1 - 4の Datwyler (9)のハウジング に近い。また $\theta = 140^\circ$ ,  $\delta_2 = 40^\circ$  程度にすれば図1 - 5のZenkner<sup>(28)</sup>の ハウジングを大略近似できる。すなわち図2-8のハウジングは代表的なすべ ての型を含んでいることになり、この型のハウジングは基本的には図1-6や 図1-7の全圧曲線のすべての形式を引き出すのに適している。

なおケーシングのすきま $\varepsilon_1$  と舌部のすきま $\varepsilon_2$  の影響については騒音特性 の面から2.3の実験が行なわれている。<sup>(12)、(13),(46)</sup> すなわち,まず $\varepsilon_1$ については $\varepsilon_1$ /D<sub>2</sub>=2~10%の広い範囲にわたり実験を行なっているが、フ ァンの全圧性能はほとんど変化せず、 $\varepsilon_1$ が小さいと比騒音レベルだけ増加す るので $\varepsilon_1$ /D<sub>2</sub>=8~10%が推奨されている。そこで本論文では(1)(2)の条 件からわかるように $\varepsilon_1$ =(D<sub>2</sub>-D<sub>1</sub>)/2となり、 $\varepsilon_1$ の値は一定である。す なわちD<sub>2</sub>=120mmに対しては $\varepsilon_1$ =12mm( $\varepsilon_1$ /D<sub>2</sub>=10%),D<sub>2</sub>=240mmに 対しては $\varepsilon_1$ =20mm( $\varepsilon_1$ /D<sub>2</sub>=8.3%)とした。

また  $\varepsilon_2$  についても板状舌部を用いた場合  $\varepsilon_2$  /  $D_2 = 3 \sim 6 \%$  にすれば  $\psi_t$  に それほど影響を与えず騒音を低下できることが示され,また Eckの型のハウジ ングの場合には  $\varepsilon_2$  /  $D_2 = 4 \sim 5\%$  で最もよい結果が得られている。

このように舌部すきま € 2 については騒音対策の面から 2,3調べられてい るが,性能曲線全体に及ぼす効果については見落しがある。また他の研究にお いても舌部のすきまの寸法を明記したものは少ない。

本研究では後述のように舌部のすきま €2 が性能に及ぼす影響はきわめて大

きく, € 2 を小さくすると高性能で安定に作動するいわゆる右下りの性能曲線 が得られることを見出した。

e e

そこで次章では  $\varepsilon_2/D_2 = 1.25 \sim 7.5\%$  の範囲で変化させて性能曲線の形に 及ぼす、すきまの影響を調べている。

2.3 測定装置および測定方法

2.3.1 送風機の全圧性能の測定

次に性能の測定方法について述べる。図2-1で計測ダクトの横断面は長方 形で,幅はB=280mmである。本研究では2種類の羽根車について各種のハウ ジングを用いるため、送風機の吐出の高されはいろいろに変化する。これと計 測ダクトをつなぐために連絡ダクトを用いるが、これはそのつど、拡がり、せ ばまりの損失が無視できる程度のテーパで用いるのが望ましい。このため計測 ダクトの高さHは80~280mmまで40mm ごとに6段階の値を取り得るように し、送風機の吐出高されに応じて、これに近い適当なダクト高さHを選び、ま た適当な長さの連絡ダクトを用いることによって上記の目的を達し得るように した。ダクト断面積を変えると静圧性能は変わるが、本研究では全圧性能を問 題にしているので、上述のような実験方法を選んだ。

流速測定は、ダクト断面積Aを幅方向に4等分、高さ方向には40mm ごとに 等分し、N個に等分割された小断面積A=70mm×40mmの中央の位置に、全圧 測定用の40の円筒型単孔ビトー管(受圧孔10)をトラバースし、同じ断面 における壁面の静圧との差より、各小断面積の中央の点における動圧 $(p_v)_i$ 、 これより流速 $v_i$ を求め、これを小断面積内の平均値として、これらの値を各 小断面を通る流量によって重みづけ平均して、断面内の平均動圧 $\tilde{p}_v$ 、平均流 速 $\tilde{v}$ を求めた。また送風機吐出口における静圧 $\tilde{p}_s$ は、静圧測定孔における測 定値 $p_s$ にダクトの摩擦損失分を加えた。

以上の測定から送風機吐出口における無次元性能すなわち流量係数φ,全圧 係数ψt,静圧係数ψs,が求められる。すなわち

$$\varphi = \frac{Q}{D_2 L u_2}, \psi_t = \frac{\widetilde{p}_t}{\frac{\rho}{2} u_2^2}, \psi_s = \frac{\widetilde{p}_s}{\frac{\rho}{2} u_2^2}$$
(2-1)

-25-

$$Q = A \widetilde{v} = \sum_{i=1}^{N} A_i v_i = \frac{A}{N} \sum_{i=1}^{N} v_i \qquad (2-2)$$

$$\widetilde{p}_{t} = \widetilde{p}_{s} + \widetilde{p}_{v} = p_{s} + (1 + \lambda \frac{l}{d_{e}}) \widetilde{p}_{v} \qquad (2 - 3)$$

$$\widetilde{p}_{v} = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^{N} (p_{v})_{i} \cdot A_{i} v_{i} = \frac{\sum_{i=1}^{V} (p_{v})_{i} \cdot v_{i}}{\sum_{i=1}^{N} v_{i}}$$
(2-4)

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \cdot d_e = \frac{2 H B}{H + B}, \quad R_e = \frac{v d_e}{v}$$
 (2-5)

$$\lambda = 0.0032 + 0.221 \cdot R_e^{-0.237} (R_e > 10^5)$$
  
= 0.3164 R<sub>e</sub>  $\frac{1}{4}$  (2320 < R<sub>e</sub> < 10<sup>5</sup>) (2-6)  
= 64 / R<sub>e</sub> (R<sub>e</sub> < 2320)

ここで 
$$u_2$$
:羽根車の外周速度 $(m/s)$ 

$$\rho$$
、 $\nu$  :空気の比質量  $\left(\frac{K_{g}s^{2}}{m^{4}}\right)$ .および動粘性係数  $\left(\frac{m^{2}}{s}\right)$ 

Re:レイノルズ数

λ :ダクトの摩擦損失係数

*l* :送風機吐出口と静圧測定孔の距離(*m*)

H,B, $d_e$ : ダクトの高さ,幅および相当管径(m) である。また効率の考察のために全圧効率 $\eta_t$ も一部測定した。

すなわちあらかじめ検定してあるトルクピックアップを用いて羽根車の正味の軸トルクT(Kgm)を測定すると、 $\eta_t$ は

$$\eta_t = \mathbf{Q} \cdot \widetilde{p}_t / \left(\frac{2\pi n \mathbf{T}}{60}\right) \tag{2-7}$$

で計算される。なお本研究の目的は各形状パラメータによる性能の大幅な変化 を知ることが主であるので,上述の測定法で十分であると考える。

#### 23.2 3孔ピトー管による送風機の内部流れの測定

流線測定は図2-11に示すように羽根車幅中央横断面内で外径40の円筒型 3 孔ピトー管により行なった。図2-12に流線測定孔の位置を示す。測定孔を



図 2-11 円筒型 3 孔ピト - 管

通る円を測定円、測定孔を通る半径 の角度を測定角と名づける。たとえ ば測定円5は半径 $r_{\rm K} = 0.094m$ の 円で,測定角4は $\theta$  = 40° の場合 を示す。測定円5.6は羽根車内, 外周に近いので、この測定円上の測 定値を近似的に羽根内,外周上の値 として用いた。測定円1~8はピト - 管を取りつけたまま側板を自由に 回転できるので任意の測定角で測定 できる。

3孔ピトー管は図 2-11に示すよ うに先端部は中実の真鍮棒に 0.4~ 図 2-12 流線測定孔の位置  $0.5\phi$ の測定孔を半径の方向に約 $45^\circ$ の間隔で設け、これを軸方向に導いてい る。そして羽根車の回転方向に受圧孔1,2,3と名付け、そこでの圧力を p1 𝒫₂ , 𝒫₃ とし,別の検定用風洞でビトー管の方向係数 ζ ,動圧係数 ζ ,静圧 係数 ξ。を△2の関数として検定しておく(図 2-13)。



$$z z z \xi = \frac{p_1 - p_3}{2p_2 - p_1 - p_3} = -\frac{(p_2 - p_1) - (p_2 - p_3)}{(p_2 - p_1) + (p_2 - p_3)} (2 - 8)$$

$$\xi_d = \frac{p_v}{2p_2 - p_1 - p_3} = \frac{p_v}{(p_2 - p_1) + (p_2 - p_3)}$$
(2-9)

$$\xi_{s} = \frac{p_{2} - p_{s}}{p_{v}} \tag{2-10}$$

である。図2-13に示すように円筒型ピトー管では上の係数は速度により変わ らない。したがって実際の流れの測定の際には、測定値( $p_2 - p_1$ ),( $p_2 - p_3$ ),  $p_2$ の値より $\xi$ を求めれば、検定曲線より、 $\xi_d$ 、 $\xi_s$ が求められる。これより 流速 v、静圧  $p_s$ 、全圧  $p_t$ が求められる(ただし $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ がアルコール 柱で測定される時は水柱に直しておく)(図2-14)。



図2-13 3孔ピト-管の検定曲線

図2-14 3孔ピトー管による流れの測定

 $\begin{array}{ll} \ddagger \pm \pm \pm 5 & p_{v} = \xi_{d} \left( 2 p_{2} - p_{1} - p_{8} \right) & (2 - 11) \\ p_{s} = p - \xi_{s} p_{v} & (2 - 12) \\ p_{t} = p_{v} + p_{s} & (2 - 13) \\ v = \sqrt{2 p_{v}} / \rho & (2 - 14) \\ v_{r} = - v_{COS} \left( \vartheta + \Delta \vartheta \right) & (2 - 15) \end{array}$ 

$$v_{\theta} = -v \sin(\vartheta + \Delta \vartheta)$$

(2-16)

ただし $v_r$ ,  $v_{\theta}$  は速度の径方向および周方向成分であり,  $v_{\theta} > 0$  は羽根車の回転方向,  $v_r > 0$  は流出を意味する。なお流れの測定の際には後述のビトー管の影響をなくすため、この時は外径10の単孔ビトー管(受圧孔0.4 $\phi$ )を±45°回転させることにより3つの圧力 $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ を測定し、これを3孔ビトー管と同様に扱えば流速v,静圧 $p_s$ , 全圧 $p_t$  が正確に求められる。すなわちこの場合にも図2-13と同様の検定曲線(図2-15)が得られる。

また幅方向の流れの2次元性を検討 する場合にも10の単孔ピトー管に より流れを測定した。ただしこの時 は軸方向に多くの受圧孔を設けてお き,幅方向任意の位置の受圧孔だけ を開放にして.他をふさいでおけば 各位置における流れの測定がまった く同一の条件下に行なえる。すなわ ちこの場合にはピトー管そう入に伴 う流れへの影響をまったく同じ条件 にすることができる。

### 2.3.3 熱線プローブによる羽根車 の翼間相対流れの測定

1.0 ىر ئىر ٤d ົາມ 0,5 D.  $\frac{P_{1}}{2P_{2}-P_{1}-P_{1}}$ P2 - Ps <sup>0</sup>-40 - 30 -20 -10 10 20 - 30 40 ۵₫ -0,5  $= 20 \, \text{m/s}$ d =1 mm

図2-15 10円筒型単孔ピト-管の検定曲線

ξs

翼間相対流れの測定の際には図2-3に示す装置と取り換えて行なう。一枚 の翼は取りはずし可能として,熱線ブローブの取りつけが便利なようにした。 ブローブの先端は翼間通路幅のほぼ中央の位置H1 および翼の腹側の位置H2 の2ヶ所で羽根幅の中央に30mm離して取りつけた。それぞれをH1,H2プロ ーブと呼ぶ。熱線プローブからのリード線は図2-4の写真で示すように羽根 車の自由端にはめ込まれたアクリル樹脂板に沿って配線され,カップリングの 中空軸中を通って水銀接点のロータ端子に接続される。水銀接点の端子からの リード線は熱線風速計(DISA55D01)のブローブ端子に接続される。そし て熱線風速計の出力電圧はシンクロスコープに入れられ,スクリーン上の出力 波形は接写装置によって写真撮影される。なおトリガリング(掃引)を行なわな

-29-
ければ熱線波形の観察は不可能であ る。このトリガリングは水銀接点に 付属しているパルスピックアップの 出力電圧をシンクロスコープのトリ ガ入力端子に入れることによって行 なわれる。図 2-1 6 は流線測定に おける記号の説明図である。

図に示すようにH<sub>1</sub> プローブでは 熱線のシンクロスコーブ信号波形は パルスピックアップにより常に148<sup>°</sup> の位置より掃引を開始するようにし ている。すなわち水銀接点ロータに は6個の突起が設けられており、こ



図 2-17 トリガ波形



θ=270°

図 2-16 流線測定における記号の説明

は6個の突起が設けられており、これらが回転してピックアップの磁界を切る ために、ビックアップの端子間には、周期60°の正弦波状の電圧が生じる。 この6個の突起のうち1個は他の5個よりも高いため、羽根車一回転について

一度だけ波形の振幅が約2割大きくなる(図2-17)。

この大きな正弦波の山か谷で掃引を 開始させることができる。

すなわちこの山か谷に対応するロー タの位置は水銀接点の回転部分と固定 部分にしるされている2つのマークを 合わせることによって知ることができ る。

羽根車回転数が n = 600 rpm の場合 には1回転に要する時間は 0.1 secで

あるから, sweep time を 1 目盛

10msecにとれば10目盛のスクリーン上にはちようど一周期分の熱線波形が 写し出される(図2-18)。

さて熱線出力電圧Eと風速vの間には一般にKingの式 $E^2 = a v + b(a, b)$ は定数)の関係が成り立つから、縦軸のEは風速には比例しない。しかし本

研究では流れの乱れの程度については定性的な変化を知ればよいので,熱線の 検定は行なわず,同一設定条件における出力波形の比較から流れの変化を考察 する。



図 2-18 熱線出力波形の一例

#### 2.4 結

言

本研究ではハウジング形状をできるだけ単純化して変化する要因を少なくしたことに特徴を有する。これにより,はじめてハウジング形状を系統的に変えることが可能となった。また流れの測定はピトー管と熱線の両方の手段を用いたが,前者により時間平均的流れを,後者により時間変動的流れを測定できる。

-31-

第3章 ハウジングの各部形状が送風機の全圧性能に及ぼす影響

## 3.1 緒 言

前述のように横断流送風機(Cross flow fan)(図1-1)はMortier (1892)により考案されて以来,Eck<sup>(1)</sup>,Laakso<sup>(3)</sup>,Coester<sup>(5)</sup>, Бычков および Коровкин<sup>(7)</sup>,Zenkner<sup>(10)</sup> など多くの研究者により研究が 行なわれた。そして近年この送風機がエアカーテン用,換気用,空調用などの 小型送風機として多くの分野で使用されるようになった関係でその後も研究が 盛んであり,Ilberg & Sadeh<sup>(14)</sup>,Kopobkne<sup>(23)</sup>,TypEne<sup>(83)</sup>, Porter & Markland<sup>(39)</sup>,Preszler & Lajos<sup>(52)</sup>,<sup>(53)</sup>,Ikegami & Murata<sup>(17)</sup> などによって研究が行なわれている。しかしながら送風機の各部 形状.とくにハウジング(舌部とケーシングより成る)の形状が性能に及ぼす 影響.偏心うずを含む羽根車内部の流れの挙動などの面で解明しなければなら ない問題が多数残されている。本章ではハウジングの設計法を確立することを 目標として,内部案内装置を持たない横断流送風機(吸込側開放)についてハ ウジング形状が性能に及ぼす影響を明らかにした。

一般に舌部の位置形状およびケーシングの形状を変化させると、横断流送風 機の性能は大きく変化し、図1-6あるいは図1-7に示したように右上りか ら右下りまでの種々の形の性能曲線が得られる。しかしその数量的関係は従来 明らかでなかった。本論文ではまず、断面形状が図2-8に示すように単一円 弧と直線より成る最も簡単な形状のハウジング(基本形ハウジング)を用いて 実験し、さらにくさび形舌部や折線形舌部を持つハウジングあるいは一般の形 状のハウジングについても種々検討した結果、全圧性能に及ぼす主要な形状パ ラメータの影響を明らかにした。

## 3.2 実験方法

実験装置は図 2 - 1 ,羽根車は図 2 - 7 に示した  $D_2 = 120 \text{ mm}$ ,  $D_2 = 240 \text{ mm}$ の 2 種類用い、ハウジングは主として図 2 - 9 に示した基本形ハウジングを用 いた。また羽根車の回転数は  $D_2 = 120 \text{ mm}$ に対しては n = 1200 rpm,  $D_2 = 240 \text{ mm}$ に対しては n = 600 rpmである。図 2 - 9 の基本形状ハウジングにお いては  $\sigma_2 = 0^\circ \sim 90^\circ$ ,  $\Theta = 90^\circ \sim 180^\circ$ ,  $\varepsilon_1 \neq D_2 = 10\%$  ( $D_2 = 120 \text{ mm}$ ), あ るいは 8.3% ( $D_2 = 240 \text{ mm}$ ) 一定で  $\varepsilon_2 \neq D_2 = 1.25 \sim 7.5\%$  の範囲で変化させ た。

ハウジング出口における流量係数 $\varphi$ ,全圧係数 $\psi_t$ の定義は式(2-1)の とおり、その他の記号は1.3節のとおりである。

なお舌部のすきま  $\epsilon_2$  の値が性能に及ぼす影響は次のようにして実験した。 後述のように図 2 - 7の 2つの羽根車について性能の相似則が成り立つことが 確認できるので、まず $D_2=120mm$ 、 $\epsilon_2=9mm$ ( $\epsilon_2/D_2=7.5\%$ )の場合につい て、 $\epsilon_2$ 以外の形状パラメータが性能に及ぼす影響を調べ、さらに $D_2=240mm$ の羽根車については  $\epsilon_2=3\sim18mm$ ( $\epsilon_2/D_2=1.25\sim7.5\%$ )の範囲に変化さ せて、 $D_2=120mm$ の場合に得られた結果が、 $\epsilon_2$ によりどのように影響され るかを調べた。

3.3 羽根車の径による相似則の検討

羽根車の径を極端に小さくすると $\varphi$ ・ $\psi_t$ が小さくなるととは経験上知られ、 ている。したがって羽根車の径を変えても性能があまり変化しない羽根車直径 の範囲で実験することが望ましい。

そこで図2-7の2種の羽根車の,直径D2による性能の相似則について検

討した。実験は図2-9の基本形ハウ ジングで $\theta$ =90°.120°,150° の3種のケーシングについて,舌部は  $\varepsilon_2$ /D<sub>2</sub>=7.5%で $\delta_2$ =0°~90° と 変えて行なった。図3-1に $\theta$ =90° で $\delta_2$ =50°,70°,90°と変化させ た場合の性能曲線を示した。なおD<sub>2</sub>= 120mmの場合には大流量域において性 能が急激に低下している部分が見られ る。これについて考えてみる。本研究 では性能測定は図2-1からもわかる ように計測ダクト入口における値を計 算しているので,連絡ダクトの拡がり



が大きい場合には拡がり損失による性能の低下が考えられるが,前述のように これはそれほど大きくならないように考慮している。性能の急落の前後には音 が変化するので,これによって流れがまったく異なることが確認された。すな わち性能急落前に回転音が高く,毛糸の観察では舌部先端部の流れは舌部に沿 って流れていたが,性能急落後は回転音がほとんどなくなり,うず音が大きく 舌部先端部で強い逆流が生じる。そして流れの変動が大きい。したがってこの 現象は小泉ら<sup>(30)</sup> により報告された。大流量域における性能の急落の現象と同 じものと思われる。いずれにせよ,性能急落の前後では流れはまったく異なっ ているので, $D_2=120mm$ で性能の低下した部分と $D_2=240mm$ で性能が低下 していない部分とを単に比較して相似則について論じることはできない。そし て $D_2=240mm$ では性能の急落が生じなかったけれども, $D_2=120mm$ の場合 にもダクトの抵抗が少し増すだけで性能の急落部はなくなるので,この部分は 送風機の性能を論じる場合には除外して考えるべきで,本質的な事柄ではない と思われる。したがって性能の急落部を除外して考えたときには, $D_2$ の違い による性能の差は小さいと言える。

なおこの現象が生じるのは 32 あるいは 8が小さい場合に生じやすかったことから、9ずの安定性に大きな関連性があると思われるが、本研究における装置ではダンパ開放以上の流量が得られないので研究の対象外とした。しかし本・研究によって、小泉らの言うように羽根取付角によってこの現象が影響される

他にハウジング形状によってもこの 現象が影響されることが明らかとなった。 $\theta = 120^\circ$ ,150°の場合に も図3-1と同様の結果が得られた。

図  $3 - 2 \text{ ktd} \varphi = 0.6 \text{ の時の} \phi_t$ の値を示し、 $\Theta = 90^\circ$ ,  $120^\circ$ .  $150^\circ$ の場合の $D_2 \text{ ktatheom}$ 較を示した。ただし横軸は $\delta_2$ の代 わりに $\theta_2 = \delta_2 + \Theta$ で表わしてある。 図 3 - 2から, 舌部とケーシングの 性能に及ぼす影響は羽根車の形状パ ラメータによってほとんど影響を受 けないことがわかる。



図3-2 羽根車径による相似則の検討

すなわちD2を変えた場合の性能の相似則は上記のD2 の範囲内では十分成

立していると結論できる。

なお図3-1は羽根車直径の影響を表わしていると同時にL/D2の影響も表 わしていると考えることができる。すなわち羽根車の直径,幅比の両者の影響 がすべての流量係数の範囲で,大きさが等しく正負が逆の作用をすることは考 えられないので,性能曲線がほぼ重なるということは小流量域も含めて,L/ D2の影響も受けていないと結論することができる。

3.4 舌部の影響

3.4.1 基本形ハウジングで舌部のすきまが一定の場合

本節では図 2 - 9 に示す基本形ハウジングで  $D_2 = 120 \text{ mm}$ 、 $\varepsilon_2 = 9 \text{ mm}$  ( $\varepsilon_2 / D_2 = 7.5\%$ )の場合について舌部の影響を調べた。



図2-9でケーシングー定で舌部 位置を変化させて性能を測定した結 果の一例( $\Theta = 100^{\circ}$ の場合)を図 3-3に示した。図で $\varphi = 0$ の時の  $\psi t$  はほとんど変化なく、 $\varphi = 0.3$ ~0.9 の範囲の中流量域では性能曲 線はほぼ直線的で、その傾きは $\sigma_2$ が大きくなるほど小さくなっている。  $\varphi > 0.9$ の範囲の性能曲線で、ほぼ 垂直的な低下の部分は前述の大流量 域における性能の急落の現象であり この部分は除外することができる。

さてどの性能曲線を見ても $\varphi = 0 \sim 0.3$ の小流量域,  $\varphi = 0.3 \sim 0.9$ の中流量域 および  $\varphi > 0.9$ の大流量域と分けた場合,それぞれの領域では別な要因に支配 されているようであり,また中流量域の直線部を $\varphi = 0$ のところまで延長した 点の $\psi_t$  はほぼ 2.5 近傍であることなどを考慮すると,  $\varphi = 0.6$ および $\varphi = 0$ の時の $\psi_t$ の値の変化によって,全体の $\psi_t - \varphi$ 曲線の変化を予測することが できると考えられる。図 3-4,図3-5 には $\varphi = 0.6$ および  $\varphi = 0$ の時の $\psi_t$  に 及ぼす  $\Theta$ および  $\delta_2$ の影響を示した。図 3-5 から  $\Theta$ が一定の場合,小流量域 ( $\varphi = 0$  で代表)の $\psi_t$ の値は $\delta_2 > 20^\circ \sim 30^\circ$  では $\delta_2$  が変化してもあまり



図 3-4  $\delta_2$ の影響( $\varphi=0.6$ )

図3.-5  $\delta_2$ の影響( $\varphi = 0$ )

変化しないことがわかる。また図 3 - 4 より中流量域( $\varphi$  = 0.6 で代表)の $\psi_t$ の値は $\delta_2$  により変化し、 $\delta_2$  = 10° ~ 20° 近傍で $\delta_2$  の最適値が存在することがわかる。

 $x \Rightarrow \boxtimes 2 - 9$ の場合には $\delta_2 \ge h$ がいっしょに変化するので、上述の $\psi_t$ の変化は $\delta_2 \ge h$ のいずれの影響によるかはわからない。

3.4.2 舌部のすきまの影響



-37-

示したが,この場合にも図3-8の場合とほぼ同様の傾向がある。図 3-10に  $t \varphi_t (\varphi=0.6)$ の値の  $\delta_2$  による変化を示したが.図より各  $\epsilon_2$  に応じて最適

の $\delta_2$  (これを( $\delta_2$ )<sub>opt</sub>とする) が異なることがわかる。すなわち,  $\varepsilon_2 = 18m(\varepsilon_2/D_2 = 7.5\%)$ では 前節と同様( $\delta_2$ )<sub>opt</sub>=10°~20° であるが, $\varepsilon_2 = 3m(\varepsilon_2/D_2 =$ 1.25%)では( $\delta_2$ )<sub>opt</sub>=30°~ 40°である。そして全体的に( $\delta_2$ ) opt=10°~40° であることが注 目される。



3.4.3 舌部の傾き角の影響

本項では舌部が性能に及ぼす影響  $図 3-10 \epsilon_2 \ge \delta_2$ の影響( $\varphi = 0.6$ ) としては、舌部の吸込側と吐出側のいずれが大きいかを検討した。Z = 9で  $D_2 = 120 mm, \Theta = 120^{\circ}$ の同一のケーシングに対し、 $\epsilon_2 = 9 mm (\epsilon_2 / D_2 = 7.5)$ %)の直線舌部にさらに舌部を一枚加えてくさび形状として(Z = 3 - 11), 吸



図 3-11 くさび形舌部

込側の傾き角 $\delta_2'$ を種々変化させ た。ただし $\delta_2 = 60^\circ, 40^\circ,$ 20°の場合について(したがっ て3種の異なるんについて)行な った。図3-12は $\delta_2 = 60^\circ$ で  $\delta_2'$ を変化させた場合の性能曲線 を示す。ただし $\delta_2' = \delta_2$  となる のはくさび形舌部が一枚に重なっ た場合を表わしている。図3-12





= 1.0 の時の $\psi_t$  の $\delta_2'$ による 変化を示したが、その様子は  $\delta_2$  によってあまり変わらず  $\delta_2' = 10° \sim 20° で \psi_t$  は 最大となる。図 3 - 4 と図 3 - 3 を比較してわかることは 直線舌部の場合の $\psi_t - \delta_2$ の関 係とくさび形舌部の場合の $\psi_t$ 

 $-\delta_{2}'$ の関係がほぼ同じであることから,舌部として吸込側の傾き角が重要であり,したがってまた図 2-9の直線舌部の傾き角 $\delta_{2}$ は主として吸込側の傾き角を表わしていると考えられる。

3.4.4 舌部先端部の有効長さの検討

前項では舌部の吸込側の傾き角が重要なことを示したが,本項では舌部先端 部の有効に働く部分の長さはどれぐらいであるかを調べ,またhの影響と $\delta_2$ の影響をまったく独立に調べるために,図3-14の折線形舌部について検討 した。すなわち図2-9のD2=240mm. $\Theta$ =120°のケーシングで,h=一定 の直線舌部の先端部を長さlだけ折り曲げて,この部分のすきま $\epsilon_2$ と傾き角



図 3-14 折線形舌部

<sup>1</sup>5=120

. 02=160

~ 0, = 40°

 $\delta_2 & e \ get (2 \ det \ contended contend$ 



 $(l = 30, l_0 = 20)$ 



l=20, lo=10, 20, 30

ただし折線形舌部のすきま $\epsilon_2$ が折れ曲がり部のすきま $\epsilon_2'$ よりも大きくなるような場合もしくは折線部が吸込側に折れ曲がるような場合は除外した。なお図3-14で,長さlの折線部を吐出の方向に向ければすべて直線舌部となってしまい、lの区別はなくなる。したがって図3-17で直線舌部の場合の

さて $\theta = 120^{\circ}$ の同一のケーシン クに対して、図3-10は図2-9の 直線舌部で、各 $\epsilon_2$ について $\delta_2$  と んをいっしよに変化させることによ り得られたもので、図3-17は、図 3-14の折線形舌部でんを一定とし



 $\tau \delta_2$ だけを変化して得られたものである。このことからケーシングが同一の 場合、中流量域における性能は舌部先端部のごくわずかの部分の $\epsilon_2 \geq \delta_2$ によ りほぼ決定されてしまい,hの影響はきわめて小さいと考えられる。なお本項 では $\psi_t$ ( $\varphi=0$ )の値についてはふれていないが、これは図3-5に示すよう に $\delta_2 > 30^\circ$ のときには $\psi_t$ ( $\varphi=0$ )の値は $\delta_2$ に無関係に一定であり、本項で は $\delta_2 \geq h$ の分離やlの影響を調べるのが目的であり、これらの値が $\psi_t$ ( $\varphi=$ 0)の値に及ぼす影響は大きくないからである。

3.5 吐出弧の大きさの影響

図 2 - 9 ではケーシングはすきま最 小の位置から巻き始めるようにしてい るが、本節では図3-18に示すように  $\Theta = 120^{\circ}$ の場合について,その円弧 部をさらに角αだけ延長し,αを変化 させることによりケーシングの巻き始 めの部分の影響を調べた。ただし舌部 は $\varepsilon_2/D_2 = 7.5\%$ 、 $\delta_2 = 20^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ 60°の場合について検討した。ここ



図3-18 ケーシングのα

でαを変化させるとケーシングの先端のすきま $\epsilon_1'$ が変化するので、( $\theta_2 + \alpha$ ) は厳密な意味での吐出弧の大きさとは言えないが、前述のようにケーシングの すきまの影響は小さいので、( $\theta_2 + \alpha$ )によって吐出弧の大きさを示すことが できると考えられる。図 3-19に $\delta_2 = 60°$ でαを変化させた場合の性能曲線

を示す。 $\alpha$ により大流量域の性能が 若干変化し, $\alpha$ =30°で最も高い。  $\delta_2$ =40°,20°の場合にも同様の 傾向がある。大流量域の性能を代表 させて, $\varphi$ =1.0 なよび $\varphi$ =1.2 の場 合の $\Psi_t$ の $\alpha$ による変化を( $\theta_2$ + $\alpha$ ) の形で図 3-20に示した。図で $\delta_2$ の違った各曲線の左端の点は $\alpha$ =0° の場合である。( $\theta_2$ + $\alpha$ )を変えて も $\Psi_t$  はあまり変化しないが,いず れの場合にも $\theta_2$ + $\alpha$ =220°近傍で  $\Psi_t$ は最も高い。

3.6 ケーシングの影響

3.6.1 基本形ハウジングで舌部の すきまが一定の場合

本項では図 2 - 9 のハウジングに ついて,D<sub>2</sub>=120mm, $\epsilon_2$ /D<sub>2</sub>= 7.5% の場合についてケーシング形 状の影響を調べた。図3-21にケー シング形状を変化させた場合の性能 曲線の一例( $\delta_2$ =10°の場合)を 示した。図3-21からわかるように 舌部を一定にしてケーシングの大き さ $\Theta$ を変化させると性能曲線の形状 が大きく変化し,右上りから右下り 傾向の性能曲線が連続的に得られる。





 $(\varphi = 1.0, 1.2)$ 



ケーシングの影響としては, $\theta = 180^{\circ} \sim 300^{\circ}$ におけるrの大きさが問題になると考えられる。 後述のように,この範囲のrの大きさはその中間 たとえば $\theta = 240^{\circ}$ におけるrによって代表させ ることができる。

しかし図 2 - 9 のケーシングでは  $r(\theta = 240^\circ)$ 



すなわちのが小さいと右上りの性 能曲線が得られ,のが大きいと右下 りの性能曲線が得られる。この傾向 は他の  $\delta_2$  についても変わらなかっ た。ただし $\delta_2$  が大きくなると性能 曲線は全般的に右下り傾向になって くる。

さて3.4で図2-9の $\Theta$ =一定の ケーシングの場合には,中流量域の 性能は吐出高さんにはほぼ無関係に 舌部先端部の $\varepsilon_2$ , $\delta_2$ により定めら れ.また3-5でケーシングの巻き 始めの部分の影響は小さいことを示 した。以上のことから,図2-9の



とのとの間には図3-22に示すよう に、ほぼ直線的な関係があるので、  $r(\theta=240^\circ)$ の代わりに $\Theta$ そのまま で、 $\theta=180^\circ \sim 300^\circ$ のrを代表

-43-



させることができる。図3-23,図 3-24には $\delta_2$ のいろいろな場合に 対し、 $\psi_t(\varphi=0.6)$ .および $\psi_t(\varphi$ = 0)の $\theta$ による変化を示した。図 3-23で、一般に $\psi_t$  は $\theta$ が大きく なると減少するという傾向があるが  $\delta_2=10^\circ \sim 50^\circ$ の範囲では $\theta=$  $90^\circ \sim 120^\circ$ の間は $\psi_t$  はほぼ一定 である。すなわちこの範囲では $\theta$ の 影響は小さく、 $f - \frac{1}{2} \sqrt{7}$ 形状の大きさ にはかなりの幅が許される。また図3-24で、 $\psi_t$  は一般に $\theta$ とともに増 加する傾向があるが、 $\delta_2>30^\circ$ の 場合には $\delta_2$ による差異は小さい。

すなわち $\delta_2 > 30^\circ$ では $\Theta$ がきまれば締切時の $\phi_t$ がほぼ定まる。 このことは すでに図 3-5 の場合にも述べている。 6

## 3.6.2 舌部すきまの影響

本項では,図2-9のハウジング で $\varepsilon_2$  =一定の場合に得られたハウ ジング形状の影響が $\varepsilon_2$  によりどの ように変化するかを $\Theta$  = 90°,120° 150°の場合について検討した。  $\delta_2$ =40° で $\Theta$ を変化させた場合の 性能曲線を図3-25,図3-26に示 した。ただし $\varepsilon_2$ =18mm( $\varepsilon_2$ /D<sub>2</sub>= 7.5%)および $\varepsilon_2$ =3mm( $\varepsilon_2$ /D<sub>2</sub>= 1.25%)の場合である。これらの図 から $\varphi$ =0.3~0.9の中流量域の性能 曲線は $\varepsilon_2$ =18mmでは右下り傾向で あるが, $\varepsilon_2$ =3mmでは,大流量域の



-44-

 $\psi_t$  はあまり変わらず,とくに小流 量域の $\psi_t$  が高くなることにより, 性能曲線は右下り傾向に変化してい ることがわかる。この傾向は $\Theta$ によ って差異がない。

図 3-27, 図 3-28 には  $\psi_t$  ( $\varphi = 0.6$ ) かよび  $\psi_t$  ( $\varphi = 0$ )の  $\theta$ による変 化を示した。 $\theta$ は前述のように $\theta = 180^\circ \sim 300^\circ$  におけるケーシン グの大きさ r を代表する。図 3-7で  $\psi_t$  ( $\varphi = 0.6$ ) で代表される中流量 域の  $\psi_t$  は  $\theta$  が大きくなると減少す る傾向がある。この傾向は  $\varepsilon_2$  の大 小には関係しないが, $\varepsilon_2$  が小さい と  $\psi_t$  の高い値で成立する。また図 3-28 で小流量域の性能を代表する 締切時の  $\psi_t$  は  $\theta$  とともに増加し,





-45-

また $\delta_2 > 30°では\delta_2 による差異がほとんどなくなる。この傾向も<math>\epsilon_2$ の大小には関係しない。ただし、この場合にも $\epsilon_2$ を小さくすると $\phi_t$ の値は高くなる。



3.6.3 一般形状のケーシングの場合の検討

ここでは一般の形状のケーシングとして,図1-7のケーシング(図3-29) と,これとほぼ同一の舌部を持つ図3-30,図3-31のケーシングを用いた。 いずれも舌部は直線でなく,S字形板状舌部であり,吐出弧および吐出高さん が一定で,ケーシングの曲線部の大きさだけが変化する。この場合と,吐出弧 と吐出高さがいっしょに変化する図2-9の場合とを比較することにより,一



図3-29 ケーシング(図1-7)



 $\boxtimes 3 - 30$  C - 8 - C - 13 f - yy y

-46-

般の形状のケーシングの影響がどの 程度予測できるかを調べた。図3-32 は図3-30に対応する性能曲線であ る。図 3-29,図3-30,図3-31 の場合には $r(\theta=240^\circ)$ によっ てケーシングの大きさを代表させた。 図 3-33にはこれらのケーシングの  $r(\theta=240^\circ)/D_2$ に対する $\psi_t$ ( $\varphi=0.6$ ), $\psi_t$ ( $\varphi=0$ )の変化を示 した。図 3-29のS字形舌部の傾き 角を 50° と見なして,図3-33に は比較のため,図2-9のハウジン グで $\varepsilon_2$ / $D_2=7.5\%$ , $\delta_2=50^\circ$ と



図3-31 C-3~C-7 ケーシング

して $\theta = 90^{\circ} \sim 180^{\circ}$  と変化させた場合の $\psi_t(\varphi=0.6) \ge \psi_t(\varphi=0) \ge r$ ・ ( $\theta = 240^{\circ}$ )/D<sub>2</sub> との関係を点線で示した。図3-33 より,一般の形状の ケーシングに対しても, $r(\theta = 240^{\circ})/D_2$ を大きくして行くと中流量域の



-47-

ψtが減少し,小流量域のψtが増加する傾向がある。この傾向は前節の図3-27,図3-28の場合とよく似ている。

図  $3-29 \operatorname{ctl} \varepsilon_2 / D_2 = 3\% (\varepsilon_2 = 6 \operatorname{mn})$ ,図 3-30,図  $3-31 \operatorname{ctl} \varepsilon_2 / D_2 = 5\% (\varepsilon_2 = 6 \operatorname{mn}) \varepsilon_1 \varepsilon_2 / D_2$ が若干異なることを考慮すれば,図 3-33にかける実線と点線の差異はそれほど大きくない。したがって一般のケーシングの場合も、図 2-9のケーシングの場合に得られた結果より、性能を予測し得ることになる。なか第5章 では内部流れの面からこの一般性の根拠をさらに広げている。

#### 37 結 言

内部案内装置を持たない横断流送風機について,ハウジング形状が性能に及 ぼす影響を数量的に明らかにするため,主として単一円弧と直線より成る最も 簡単な形状のハウジングについて,その形状パラメータを種々変化させて性能 を測定し、またくさび形舌部や折線形舌部を持つハウジングあるいは一般の形 状のハウジングについても種々検討した結果,次の結論を得た。

- (1) 横断流送風機の性能を決定するハウジングの主要な形状パラメータは, 舌部先端部の無次元のすきま $\epsilon_2$ /D<sub>2</sub>,舌部の吸込側の傾き角 $\delta_2$  および 吐出方向を基準として羽根車の回転方向 $\theta = 240^\circ$ の付近におけるケーシ ングの無次元の大きさ $r(\theta = 240^\circ)$ /D<sub>2</sub>である。
- (2) ケーシングの巻き始めの位置や吐出高さhの影響は,(1)に述べた主要な 形状パラメータの影響に比べればきわめて小さい。
- (3) €2 が性能に及ぼす影響はきわめて大きく、とくに高性能で安定な右下りの性能曲線を得るためには、€2 をなるべく小さくする必要がある。ただし実際の設計に当っては、本研究では検討をしていない騒音性能に対する影響を考えなくてはならないであろう。
- (4) ケーシングが一定で $\epsilon_2$ /D<sub>2</sub>が一定の場合には,舌部先端の位置,傾き 角度を変化しても $\delta_2 > 20^\circ \sim 30^\circ$ では小流量域の性能はあまり変化しな いが,中流量域の性能はhには無関係に $\delta_2$ によりほぼ決定される。そし て $\delta_2$ には最適値( $\delta_2$ ) optがある。
- (5)  $(\delta_2)$  opt は $\varepsilon_2$ /D<sub>2</sub>により若干異なる。すなわち $\varepsilon_2$ /D<sub>2</sub>=7.5% で は  $(\delta_2)$  opt = 10°~20° であるが、 $\varepsilon_2$ /D<sub>2</sub>=1.25% では  $(\delta_2)$  opt = 30°~40° と変化する。全体的には  $(\delta_2)$  opt = 10°~40° である。

- (6)  $\epsilon_2/D_2 = -$ 定の場合,  $(\delta_2)$  opt における圧力係数 $\psi_t$  の値はケーシング形状が変われば変化するが,  $(\delta_2)$  opt の値はどのケーシングについてもほぼ同じである。
- (7) ケーシングの巻き始めの部分を少々変化させても,性能に及ぼす影響は あまり大きくないが、吐出弧の大きさは約220°が最適である。
- (8) 舌部が同一( $\epsilon_2$ /D<sub>2</sub>も一定)で,ケーシングの $r(\theta = 240^\circ)$ を変 化させると右上りから右下りまでの種々の形の性能曲線が連続的に得られ る。すなわち $r(\theta = 240^\circ)$ が小さいと右上りの,rが大きいと右下り の性能曲線が得られる傾向がある。
- (9)  $\epsilon_2/D_2 = -$ 定の場合,舌部の $\delta_2$ が変化しても(8)の傾向は変わらない。 ただ $\delta_2$ が大きいほど性能曲線は全体的に高い $\phi_t$ において表われる。
- (10) 上の(8),(9)の傾向は $\varepsilon_2$ /D<sub>2</sub>の大小には無関係である、ただし $\varepsilon_2$ /D<sub>2</sub> が小さいと、この傾向は全体的に高い $\Psi_t$ において表われる。

# 第4章 横断流送風機の内部流れ状態

## 4.1 緒

言

前章では横断流送風機の各部形状が全圧性能に及ぼす影響を明らかにした。 本章では送風機の内部流れ状態について種々の考察を行なった。

横断流送風機の内部の流れについては $Eck^{(1)}$ , Coester(5),  $\overline{a}^{(16)}$ , 村 田・井家上<sup>(12),(17),(20)</sup>らの研究があるが,それ以後の研究としては Ilberg & Sadeh<sup>(14)</sup>による組合わせうずを用いた内部流れの表示, Porter & Ma rkland<sup>(39)</sup>によるDatwyler 型のケーシングに関するらずの周方向移動の測 定,Laios & Preszler<sup>(52)</sup> によるうず度分布の測定などが注目される。と れらの研究において.羽根車内部の流れは偏心うずにより代表され,そして偏 心うずは近似的に組合わせうず(ランキンうず)からなる機構が一般に認めら れている。本研究においても基本的にはこの機構を前提としている。しかし従 来の研究ではその偏心らず中の強制らずの大きさやらずの強さおよびらず中心 の移動について系統的に調べたものはなく,さらに偏心らずの機構そのものに ついてもなお不明な点が多く,現在のところ,流れのより実際的なモデルは得 られていない。偏心うずの移動に代表される内部流れの挙動と性能との関係に ついては別に章を設け(第5章),本章では最も代表的なハウジングを選んで, その流線,静圧分布,全圧分布の様子を把握し,さらに羽根車内周上の全圧分 布や翼間相対流の熱線出力波形を用いて,流れの流入,流出の状態や偏心うず の挙動について考察する。さらに偏心うず中の強制うずの強さ,大きさや,羽 根車の効率・性能を計算する手法を確立し,その効率や性能についても2,3 の考察を試みた。

## 4.2 実験方法

40の円筒形3孔ピトー管による流れの測定および熱線プロープによる翼間 相対流の測定は羽根車幅中央の横断面内で行なった。

なお後述のように40ピトー管が流れに影響を及ぼす場合には10の円筒型 単孔ピトー管を用いることによりできるだけ正しい測定を行なう。また流れの 幅方向2次元性の検討の際には、5孔ピトー管を幅方向に挿入する方式では、 挿入する支柱の長さに比例して,流れに対する抵抗が変化し流れが変化する。 したがって各断面の測定に当っては羽根のほぼ全幅にわたる10の円筒型単孔 ビトー管を設置する。これより流れに対し同一の抵抗条件の下に羽根幅方向の 流れの違いを知ることができる。

実験は $D_2 = 240$ mmの羽根車について行なった。ハウジングは図3 - 14の折線形舌部が直線となった $\epsilon_2 = 3$ mmの場合を選んだ(図4 - 3)

流線測定における記号の説明は図 2-16のとおりであり,熱線は図 2-3に示すように翼間通路の中央  $(H_1)と腹側(H_2)の2種用いて$ いる。また熱線による翼間相対流の 測定については同一設定条件におけ るシンクロスコープの出力波形その ままの比較によって種々の考察をす る。そして熱線波形写真は時間的な 変化を知るため5回の掃引(羽根車 5回転分)波形を重ねた。



4.3 流れの羽根車幅方向の2次元性の検討

L/D2>1.0~1.5であれば羽根車幅比による性能の低下はない<sup>(23)</sup>ことは, 本研究の羽根車の場合にも言えるが(図3-2),その幅方向の流れは端面の 影響があるため完全には2次元ではない。

 $\mathbf{a}^{(16)}$ も羽根幅中央以外は流れは 2次元ではないと報告している。しかし羽 根幅方向の流れの 2次元性が羽根幅の何割の部分で成立しているかあるいはそ の 2次元性の流量による変化はどの程度であるかについては明らかでないので 本節では図 2 - 9の基本形、ウジングで  $\Theta = 120^\circ$ ,  $\epsilon_2 = 3$  mm,  $\delta_2 = 40^\circ$ の 場合について羽根車中心および吐出口中央における測定位置(図2-12)において流れの 2次元性を検討した。ただし流れの測定には前述の 1 Øの円筒型単 孔ビトー管を用いた。 3次元流れの測定に対しては本来は 5 孔ピトー管を用い るべきであるが, 5 孔ピトー管では測定位置に応じて流れ中のピトー管の支柱 の長さが変化し,流れに及ぼす影響は同一ではない。また 2 次元性の範囲は羽 根幅方向の全圧分布により十分知ることができるので上記の方法を用いた。

図 4 - 1 , 図 4 - 2 に吐出口中央および羽根車中心における 、全圧  $p_t$  および 流路高さ方向の流れ角 $\vartheta$ の羽根幅方向の分布を示した(基準の方向を $\vartheta = 0$  と



<sup>(</sup>吐出口中央)

する)。  $x \Rightarrow \varphi = 0$ の場合吐出口中央は死水域の中にあるので $\vartheta$ の値はないが 羽根車中心では強い循環流れが存在し、 $\vartheta$ の値も存在する。これらの図から、  $\varphi$ が小さいほど 2次元性の範囲は広いが、すべての $\varphi$ について両端より 4.0 mm 程度の羽根幅中央部では流れに対する 2次元性が保たれていると言える。した がって以下の流れの測定は羽根車幅中央横断面内に限ることにする。

4.4 流れの区分

本章の以下の部分は、図4-3に示す $\Theta$ =120°、 $\varepsilon_2$ =3m、 $\delta_2$ =50°の 直線舌部を持つハウジングについての流れの測定結果の考察である。

4.4.1 流線,静圧分布および全圧分布

内部流れの模様を明らかにするため,まず流量の変化に伴いうずが周方向に 移動する場合の流線を図4-4に示した。これは図4-3の性能曲線の $\varphi$ = 1.23(ダンパ全開時), $\varphi$ =0.64, $\varphi$ =0(ダンパ全閉時)の各場合である。 図4-5,図4-6には $\varphi$ =1.23, $\varphi$ =0の場合の静圧および全圧分布を示 した。等圧力線は図2-12の測定円上あるいは測定角上の圧力の等しい点の位置を結んだ等高線として容易に求められる。

<sup>|4-2</sup> 流れの2次元性 (羽根車中小)



(a)  $\varphi = 1.23$ 



図 4 - 4 流線〔流れ関数 $\psi(m^2/s)$ の値を示す〕



図 4-4の流線は流れ関数 Ψ=一定の等高線である(羽根車中心を通る流線 をΨ=0としている)ここで流れ関数Ψは測定角上の vθ の分布から求めた。 すなわち

$$v_{\theta} = -\frac{\partial \Psi}{\partial r} \qquad \therefore \Psi = -\int_{0}^{r} v_{\theta} dr \qquad (4-1)$$

である。すなわち流線は測定角上の単位幅当りの通過流量である。流線を流れ 関数で表わしておけば,ある2点間を通過する単位幅当りの流量は流れ関数の 差として容易に求められる。したがって2つの流線 a , b 上の流れ関数を♥(a), ♥(b)とすると流線間の単位幅当り通過流量q (m<sup>2</sup> / s)は

 $q = \Psi(\mathbf{b}) - \Psi(\mathbf{a}) \tag{4-2}$ 

で求められる。たとえば図 4-4(a)の流線では  $\Psi$  = 1.1内の流線は水槽実験の場 合には明瞭に見出される偏心うずすなわち循環する流れである。そして $\Psi$ (b)= 1.1と $\Psi$ (a)=-1.1の流線間の流れがハウジングから吐出される流れである。 したがってこの時の流量係数 $\varphi' = \frac{q}{D_2 u_2} = \frac{2.2m^2 / s}{0.240m \times 7.5 4m / s} = 1.22$ となり、 計測ダクトによる実測値  $\varphi$  = 1.23とほぼ一致する。図 4-4(b)の場合には $\Psi$  $\ge 0.5$ が循環うず, -0.7  $\le \Psi \le 0.5$ が吐出流れ、 $\Psi \le -0.7$ がハウジング外への 逆流であり、この時は $\Psi$ (b)=0.5、 $\Psi$ (a)=-0.7で $\varphi'$ =0.66となり実測値 $\varphi$ = 0.64とよく一致する。図 4-4(c)では $\Psi \ge 0.1$ の循環流れと $\Psi \le -0.1$ の 逆流流れとにはっきりと分かれる。もちろん $\varphi' = \varphi = 0$ である。(a)、(b)、(c) いずれの場合でも舌部先端が吸込と吐出の仕切板としての役割を果たしている。 またうずはほぼ羽根車内周近傍にある。

さて図 4-4(a)にもどって、 $\bigcirc$ と×印は後述の測定円 5 上の v, p分布で  $v_r$ = 0 あるいは  $p_t$  が最小となる  $\theta$  を示すために羽根車内周上にとった点である。  $\bigcirc$ 印はもちろんうず中心であり、×印はケーシング先端付近における流れの流 入と流出の変換点に相当する。なおうず中心近傍では流線は円に近い。図 4-5 (a)の静圧分布は図 4 - 4 (a)の流線の形とあまり対応していない。すなわち  $p_s$ は羽根車内に入るにつれて負となり、うず中心で最小である。そして羽根車外 へ吐出されるにつれて増加して行く。そしてこの場合  $p_s = -20 \max Aq$  の程度 までは円形に近い。ハウジング内でのゆがみはあるが、静圧分布に関しては低 に円形と見なしてよく、この分布から直接流線の形を想像することはできない。 しかし図 4 - 5 (b)の全圧分布は流線の形とよく対応している。すなわち  $p_t \leq$  -40 mmA qぐらいは等高線は円形に近い。うずの半径が羽根車の内,外半径差程 度の範囲では流線も静圧,全圧分布も円形に近く,この範囲は確実に円形の強制 うずであると考えられる。また羽根車内で $p_t = 0$ の等高線間の領域は図4-4(a) の吐出流れの流線にほぼ対応している。もちろん吐出流れの部分は羽根車外で は $p_t = 0$ であり,吸込 側翼列でほぼ一定の全圧を与えられ、吐出側翼列でさ らに全圧を与えられる様子がわかる。図4-4の流線の作図はかをりの手数を 要するが,図4-5(b)の全圧分布は容易に求められる。そして全圧分布によっ て流れの様子が知れるのはきわめてつごうがよい。図4-6の $\varphi = 0$ の場合の 流線,静圧分布,全圧分布の関係についても図4-5と同様のことが言える。

すなわち要約すると流れは一般に偏心うず(循環うず)部分,吐出流の部分, 逆流の部分に区分され,舌部先端が吸込と吐出しの境界となっている。そして 全圧分布によればも〜ともよく全体の流れを把握することができる。

4.4.2 測定円5,6上の流速および圧力の分布

前節の流線,静圧分布および全圧分布をさらに量的に表現するため,図4-7,図4-8,図4-9には図4-4(a),(b),(c)の各 $\varphi$ に対応する測定円5, 6上の静圧および全圧分布,速度の径方向,周方向の分布を示した( $\theta_z, \theta_A, \theta_C$ については図2-17を参照のこと)。 $\theta_D$ は図4-4の×印で示すように測定円 上で $v_r = 0$ となる $\theta$ であるが,測定円5,6上であまり変化がない。 $\theta_M$ は 図4-4 の循環うずの境界の測定円5あるいは6上での角を示す。すなわち



(a) 測定円 5 上(羽根車内周近傍)
 (b) 測定円 6 上(羽根車外周近傍)
 図 4 - 7 測定円 5 , 6 上の流速および圧力の分布(φ=1.23)



図 4 - 8 測定円 5,6 上の流速および圧力の分布(φ=0.64)



(a) 測定円 5 上 (b) 測定円 6 上

図 4-9 測定円 5,6上の流速および圧力の分布( $\varphi = 0$ )

 $\theta_{M} \sim \theta_{2}$ が循環うず部に当るが,流線が曲げられるため測定円5.6上ではそれぞれ異なる。

なお図 4 - 7 (b)の測定円 6 上の点線で示したのはビトー管により流れが変化した場合である。これについては後述する。さて前項では,全圧分布によって流れの全体が把握されると述べたが,本項においてもこのことが確認できる。すなわち  $p_t$  分布がわかれば  $p_s$ ,  $v_r$ ,  $v_\theta$  分布は予測できる。すなわちこれ 6 4 つの分布はよく対応しているからである。とくに測定円 5 上の  $p_t$  分布 によりポテンシャル部,うず部などの流れの区分を最もよく知ることができる。 測定円 5 上の各量の分布の対応を図 4 - 7 (a)について説明しよう。図で  $v_r > 0$  は流出,  $v_r < 0$  は流入を示1, また  $v_\theta > 0$  は羽根車の回転と周方向,  $v_\theta < 0$  は回転と逆方向を示す。羽根車の与えるヘッド差が小さく全圧がほぼ一定 の場合にはこの領域をポテンシャル流れと見をせるが,  $p_t$  分布がくぼむ場合 は, この部分に強制 5 ずを考えれば説明できる。ただしポテンシャル領域と強

-57-

制うず領域がはっきりと分かれるわけではないので、ここでは $p_t > 0 \ cp_t$ が ほぼ一定の領域をボテンジャル流れの領域と考える。ボテンジャル流れの内側 が大体循環うずの領域である。図4-17にはうず中心断面上の $v_{\theta}$ ,  $p_t$  分布 と後述の式で求めた理論的な強制うずの大きさを示しているが、図4-7(a)の 測定円5上ではほぼ $p_t = 0$ 近くに当る。また図4-17で $v_{\theta}$  が直線的に変化 する部分は純粋な意味での強制うずの領域である。この領域は図4-7(a)の $p_t$ 分布では $p_t < 0$ のかなりせまい範囲に当る。強制うずをこのような意味に限 れば、ポテンジャル流れの領域と強制うずの間の中間の領域はかなり広いと言 うことができる。以上の流れの区分については図4-8の $\varphi = 0.64$ および図4 -9の $\varphi = 0$ の場合にもほぼ同様である。ただし $\varphi = 0$ の場合にはポテンジャル流れの領域と循環うずの領域は一致しない。

この場合吐出側翼列ではすべて循環うずの中に入ってしまい,羽根車から吐 出された全圧の高い部分が羽根車内へ逆流し循環するため羽根車内での $p_t$  も 高くなると考えられる。次に $v_r$ , $v_\theta$ , $p_s$ , $p_t$ の対応について述べる。羽根車内 周上の全圧分布の最も典型的な分布は図 4-10のような形である。この場合は 無次元の $v_r^*$ , $v_{\theta^*}$ , $p_t^*$ , $p_s^*$ で示した。図 4-10は後述のように,ケ -シンクをつけずに舌部( $\varepsilon_2 = 18 \text{ mm}$ , $\sigma_2 = 30^\circ$ )のみを用いた場合であるが, 後述のように安定した流れが測定できた。 $p_t$ 分布では図 4 - 7(a)よりも図 4 - 8(a) の分布の方により近い。さてこの時の羽根車では $u_1/u_2 = r_1/r_2 =$ 0.8 3 3 であるが,図 4 - 1 0 のポテンジャル流れの領域( $\theta = 0^\circ \sim 200^\circ$ )) では  $v_{\theta^*} = 0.8 3 3$ に近いので, $v_{\theta}$ 

(さらに羽根流入直前の全圧=0と 仮定すれば),速度三角形から,



図4-10 測定円 5上の $p_t^*, p_s^*, v_r^*, v_\theta^*$ の代表例 -58-

 $p_t = \rho u_1 v_\theta$  ( $v_\theta$  は羽根車内周における値)

の全圧が与えられる。したがって $v_{\theta}^* \ge p_t^*$ の分布はまったく一体的となり さらに $p_s$ , $p_t$ は前述のように強制うず中心において、ともに最小となり、 うず中心を離れるとともに増加して行くので、 $p_s$ , $p_t$ の分布もほぼ一体的と 考えられる。したがって定性的には $v_{\theta}^*$ , $p_s^*$ 、 $p_t^*$ の3つの分布は常に一 体的である。

νθ\*<0の部分は強制うずより説明される。すなわち強制うずが測定円にか かる部分ではうずの速度は風速と逆になるからである。

以上のことから結局,羽根車内周上(測定円5上)の全圧分布によって流れ の全体が把握されることになる。

4.4.3 第2強制うず

図4-10 で $p_t$  ほぼ一定のポテンシャル流れの領域も $v_r = 0$  の付近にわず かのくぼみが見られ,同時に $v_{\theta}$ \*が少し盛り上がっている。

これに対しては、この位置に弱い強制うずがあると考えれば説明できる。な ぜならば、この時強制うずの回転方向は羽根車の回転方向と逆と考えられるの で、この弱い強制うずにかかる部分での測定円5上ではうずの速度は周速の方 向と一致するためである。ボテンシャル領域のくぼみは図4-7、図4-8、 図4-9でも認められるが、最も典型的な分布は次章図5-12のダンパ全開時 ( $\varphi = 1.40$ )の場合に見られる。 $p_t$ 分布からは明らかに2つの強制うずを考 えなければならない。したがってこれを第2強制うずと呼ぶ。すなわち一般的 には羽根車内部の流れとしてボテンシャル流れの領域と2つの強制うずの領域 と2つの中間の領域を考えるべきと思われる。しかし第2強制うずは水槽実験 では観察されず、また後述の熱線波形での大きな乱れと失速の状態から、この 部分は消滅生成する小さなうずの集まりあるいは翼の死水域の部分と考えられ る。図2-9の基本形ハウジングでの実験では $\delta_2$ あるいは $\Theta$ が大きい場合の ダンパ全開時に現われやすい。

4.5 流れの考察

4.5.1 翼間相対流の熱線出力波形

本項では,異間相対流の熱線出力波形を用いて流れの変動を考察する。図4



(iii)  $\varphi = 0.41 (\psi_{\min})$  (iv)  $\varphi = 0 (\psi_{close})$ 

図4-11 翼間相対流の熱線出力波形( $\varepsilon_2=3$  mm,  $\delta_2=50^\circ$ )

~11には図4~3の性能曲線についての波形を示した。H1,H2で翼間中央 および翼腹側の熱線プローブを表わしている,縦軸は出力電圧,横軸は周方向 の角度 $\theta$ である。掃引開始位置は $H_1$  プローブでは $\theta$ =148°,  $H_2$  プローブ ではθ=145°である。図は5回の掃引を重ねたものであり,熱線の検定をし なくても,波形からうずの中心の位置や大きさなどの測定を簡単に行なうこと ができる。また5回の波形の時間的順序はわからないけれども,波形が時間的 にそれほどの変動をしていないことがわかる。さてH1,H2の位置は図2-3 に示すように羽根車内周上に近いため,吐出側の翼列では翼間入口での速度を 感じるので,翼のはくりによる乱れは感じにくい。その反面吸込側の翼列では 翼間出口での速度を感じるためはくりの影響は大きく出る。したがって吸込側 翼列でH1,H2の波形がともに乱れていない場合は,はくりは生じていないと 考えられる。H1,H2の波形から流れの変動の様子がわかる。図4-4(a)には  $\varphi = 1.23$ の場合について示した。 すなわち $\theta = 328^{\circ} \sim 350^{\circ}$ では乱れのな い流入であり, $\theta = 65^{\circ}$  で吸込領域 に おける速度の谷間があり, $\theta = 110^{\circ}$ で 吸込流れが終り, $\theta$ =110°~170°では流れは完全に失速している。 $\theta$ =170° ~193°では失速あるいは非失速と変動する。 $\theta ≥ 193°$ で強い吐出流があり、 循環らずの境界の $\theta$ =243°付近では最大流速に達し、 $\theta$ =258°まで強い吐 出流がある。 $\theta$ =294°~320°ではうずの吸込側であるが波形に変動がある。 すなわち,この部分ではH1 に よる流速は速いが,H2 による流速は失速して かつ変動している。

したがって、この部分は衝突によるはくりの変動が生じていると思われる。 波形では $\theta = 278^{\circ} \sim 294^{\circ}$ のうず核の部分には $H_1$ 、 $H_2$ いずれも乱れがな いが、この部分は翼間内での逆流に相当するものであると思われる。また波形 の乱れのあるうず核周辺のうず部では羽根からいったん吐出された流れが再び 流入してくる流れに相当すると思われる。全般的にボテンシャル流れの部分で は流入、流出の流れの乱れはないが、 $\theta_D$ 部分では各翼間で流れの失速があり、 その失速位置も変動している。循環うずの部分ではうず核を除いて激しい衝突 があると考えられる。このように熱線波形、特に $H_1$ の波形によって流れの変 動を知ることができる。

-61-

4.5.2 測定円5,6上の速度三角形

とこでは測定円5,6上の速度三角形から羽根車内,外周上の流れの流入, 流出の状態を考察する。図4-12に図4-4(a)の $\varphi$ =1.23の場合の羽根車内, 外周上の速度三角形を示した。吸込側では $v_r < 0$ ,吐出側では $v_r > 0$ である。 v.u,wはそれぞれ絶対速度,羽根の周速および羽根に対する相対速度を表 わす。羽根車内,外周上における相対流入(流出)角を $\beta'_1$ , $\beta'_2$ で表わす。  $\beta'_1 = 90^\circ$ , $\beta'_2 = 25^\circ$ であれば相対流は羽根に無衝突の流出入をしていること になる。さてw, $\beta$ は $v_r$ ,  $v_\theta$ を用いて次式で計算される。すたわち

 $w = v_r / \sin \beta', \ \tan \beta' = v_r / (v_\theta - u_1)$  (4-3)

 $v_r$ ,  $v_{\theta}$ は羽根車内,外周上の値を用いるべきであるが,図4-12には測定 円5,6上の値で代用した。多少の誤差は入るが流れの様子を知るには十分で ある。図4-13には $\varphi$  = 1.23の場合のwの値を示した。wの分布は図4-7

の $v_r$ の分布とほぼ同 様となることがわかる。 図4-14には各 $\varphi$ につ いての $\beta$ の値を示した。 図4-14(a)の $\beta_1$ の分 布では $\theta = 100^\circ \sim$ 150°および $\theta = 260^\circ$ ~300°のうず部を除 けば吸込側翼列では,  $\beta_1 \neq 75^\circ$ であり,吐 出側翼列では $\beta_1 =$ 100°~120°であり 羽根によって流れが十 分に曲げられずへッド が十分に与えられない

ことを示している。ま



図4-12 羽根車内,外周上速度三角形(φ=1.23)

た外周上でも吐出側翼列では $\beta'_{2} = 40^{\circ}$ で、この場合にも羽根による曲げが十分に与えられていない。 $\beta'_{1}$ 、 $\beta'_{2}$ の全体として図4 - 4(a)のポテンシャル流れの部分では $\pm 15^{\circ}$ の範囲内であるが全圧にそれほどの低下はない。しかしう



図 4-13 羽根車内,外周上の 相対速度(φ=1.23)



(a)  $\varphi = 1.23$ 



(b)  $\varphi = 0.64$ 

(c)  $\varphi = 0$ 

図 4-14 羽根車内,外周上の相対流入(流出)角(*ε*<sub>2</sub>=3,*σ*<sub>2</sub>=49)

ず部では激しい衝突が起っていることを示している。図4-14(b),(c)の場合に も(a)の場合とほぼ同様であるが,吐出側翼列での $\beta'_1$ は $\varphi$ の減少とともに増加 している。すをわちこの部分の衝突による損失が増加することを示している。 4.6 偏心うずの考察

4.6.1 偏心うず中の強制うずの大きさおよび中心全圧の計算

前述のように,羽根車内部の流れの機構としては一般的には2つの強制うず を考えるべきであるが,基本的には1つの強制うずで十分である。(図4-15) さらに簡単にして図4-16のような組合わせうずを考えることができる。そし て円形のうずを仮定すれば,その大きさ $r_f$ ,循環 $\Gamma_f$  を推定することができ る。すなわち図4-16で流線が円の場合には運動方程式は





図4-15 組合わせうず各部の記号

図 4-16 組合わせうずの v, p<sub>s</sub>, p<sub>t</sub>分布

)

 $\frac{d p_{s}}{d R'} = \rho \frac{v^{2}}{R'}$ (4-4)

で,強制らずの場合には

 $v = \mathbf{R}' \omega_f$  ( $\omega_f$ は強制らずの角速度) (4-5) であるので

$$\frac{dp_s}{dr} = \rho \mathbf{R}' \, \omega_f^2 \qquad (4-6)$$

$$R' = 0 \ \tau \ p_s = (p_t)_0 \ \varepsilon \ L \ \tau \ d \beta \ d \delta \ d \delta$$

となる。すなわち強制らず内の各点について常に

 $v/R' = \omega_f, p_s - p_v = (p_t)_0 = \text{const}$  (4-8) が成り立つ。上式より強制うず内の v, pの値から強制うずの角速度 $\omega_f$  およ び中心における全圧( $p_t$ )<sub>0</sub>が推定できる。次に自由うずの場合には

$$v = \frac{\Gamma_f}{2\pi R'} \quad (\Gamma_f = \text{const}) \quad (4-9)$$

であるので、 $\mathbf{R}' = \infty$ で $p = (p_t)_1$ として式(4 - 4)を積分すると  $p_s = -p_v + (p_t)_1$  (4-10)

となる。すなわち自由うず内の各点については

$$p_s + p_v = p_t = (p_t)_1 = \text{const}$$
 (4-11)

である。  $p_t$ の分布が図 4-16 に示すほど簡単な分布をしていない場合には, 便宜上強制うずのまわりの  $p_t$ の最大の値を ( $p_t$ )<sub>1</sub> とおくことにする。また 図4-16で強制うずと自由うずの境界  $\mathbf{R}' = \mathbf{R}_f'$ における圧力の連続から

$$(p_s)_f = (p_v)_f + (p_t)_0$$
 (強制らず)  
= - (p\_v)\_f + (p\_t)\_1 (自由らず) (4-12)

これより

$$2 (p_{v})_{f} = (p_{t})_{1} - (p_{t})_{0}$$
  

$$\therefore v_{f} = \sqrt{\frac{(p_{t})_{1} - (p_{t})_{0}}{\rho}} \qquad (4-13)$$

また強制うずの大きさ $\mathrm{R}_{f}'$ と循環 $arGamma_{f}$ は

 $\mathbf{R}_{f}' = v_{f} / \omega_{f}' \quad , \ \Gamma_{f} = 2\pi \, \mathbf{R}_{f}' \, v_{f} \qquad (4-14)$ 

上式より $v_f$ ,  $\mathbf{R}_f'$ ,  $\Gamma_f$ を計算することができる。

次に強制うずの部分の測定円上の $v_r$ ,  $v_\theta$ ,  $p_s$ ,  $p_t$  分布を考える。 $\theta' = \theta - \theta_A$  と, うず中心に座標をうつすと. 図 4-15の円形うずの場合には図形の関係から

$$v_r = -\frac{v}{\mathbf{R}'} r_{\mathbf{A}} \sin\theta' , v_{\theta} = -\frac{v}{\mathbf{R}'} (r_{\mathbf{A}} \cos\theta' - r_{\mathbf{K}}) \qquad (4-15)$$

$$-65-$$
$$R' = \sqrt{r_{A}^{2} + r_{K}^{2} - 2r_{A}r_{K}\sin\theta'} \qquad (4-16)$$

となり、上述の諸式から $v_r$ , $v_\theta$ , $p_t$ , $p_s$ の測定円上の分布を計算できる。 強制らず上では、さらに簡単になる。すなわち $v = \mathbf{R}' \omega_f$ であるので式(4-15)

$$v_r = -\omega_f \cdot r_A \sin \theta' \tag{4-17}$$

$$v_{\theta} = -\omega_f \left( r_A \cos \theta' - r_K \right) \tag{4-18}$$

 $\theta' \Rightarrow 0$ ではsin $\theta' \Rightarrow \theta'$ となり $v_r$ 分布は直線に近い。 $v_r$ 分布の傾きから円形の強制うずの角速度 $\omega_f$ とうず位置 $r_A$ が求められる。すなわち上の2式より

$$\left(\frac{dv_r}{d\theta'}\right)_{\theta'=0} = -\omega_f \cdot r_A \qquad (4-19)$$

$$\left(\frac{v_{\theta'}}{\theta'}\right)_{\theta'=0} = -\omega_f \left(\frac{r}{r} - r_Y\right) \qquad (4-20)$$

$$\omega_f = \frac{1}{r_{\rm K}} \left\{ \left( v_{\theta'} \right)_{\theta'=0} - \left( \frac{d v_r}{d \theta'} \right)_{\theta'=0} \right\}$$

$$(4-21)$$

$$r_{\rm K} = \frac{-r_{\rm K} \left(\frac{d v_r}{d \theta'}\right)_{\theta'=0}}{\left(v_{\theta'}\right)_{\theta'=0} - \left(\frac{d v_r}{d \theta'}\right)_{\theta'=0}} \qquad (4-22)$$

 $\omega_f \ge r_A$ は式 (4-21)(4-22)を用いれば測定円 5 上の $v_r$ ,  $v_\theta$  分布に より求められ式(4-8),(4-13),(4-14)を用いれば $\theta'=0$ の測定角 上の $v_\theta$  分布の方法でも求められる。うずが円形でないため上式の2つの方法 で計算した $\omega_f$ ,  $r_A$ ,  $r_f$ ,  $\Gamma_f$  などが異なってくるが,その大体の値を知るこ とができる。

### 4.6.2 流量変化に伴う偏心うずの挙動

前項で導いた諸式から図4-4の各 $\varphi$ についての偏心うずの挙動を調べるため,まず図4-17に $\varphi$ =1.23の場合についてうず中心断面上の $v_{\theta}$ , $p_{t}$ ,

 $p_s$ 分布を示した( $v_r$ はほぼ0に近いので省略)。うず中心は羽根車内周上もしくは羽根の内部にあるが,うず中心の全圧(=静圧)は式(4-8)により推定した。 $v_{\theta}$ 分布で強制うずの部分ははっきりしないが,平均的に直線と見なして $\omega_f$ , $\mathbf{R}_f'$ , $\Gamma_f$ を求める。図4-18には $\varphi=0.64$ , $\varphi=0$ の場合のうず中



心断面上の $v_{\theta} \ge p_{t}$  の分布を示した。図4-17 で破線によって強制うずの理論的な大きさを示しているが, $v_{f}$  は実際の $v_{\theta}$  の最大速度に近く,強制うずの大きさも妥当なものである。羽根車内で $p_{t} < 0$ の範囲が大略強制うずの大きさを表わすと考えてよい。測定角上の $v_{\theta} \ge p_{t}$ の分布からも羽根車内の領域を区分できる。すなわちポテンシャル流れの領域では $p_{t}$  はほぼ一定であり,強制うずの領域では, $v_{\theta}$  分布はほぼ直線的である。すなわちこの場合の強制うずとして純粋な意味における強制うずを考えている。このように区分すると中間の領域はかなり広いことになる。図4-18の場合にもほぼ同様なことが言える。表4-1には,各 $\varphi$ について強制うずの角速度 $\omega_{f}$ 強さ $\Gamma_{f}$ 大きさ $\Gamma_{f}'$ の値を示した。実際にはうず流線は円形ではないので,径方向および周方向速度分布より求めた値は異なるが大体の検討はつく、ここでダンパ全開時では $\Gamma \Rightarrow 2\Gamma_{th}$ で,その他の場合は $\Gamma \Rightarrow \Gamma_{th}$  であるのが注目される。

うずの大きさは $\mathbf{R}_{f}'=30\sim 50$  m の範囲である。とくに $\varphi=0$ の場合に言えることであるが循環うずの大きさと強制うずの大きさは、一般には一致しない。

·		径方向速度分布より計算			周方向 速度分布より計算		
φ	Vf(m/s)	$W_{f}(1/s)$	$R_{f}(m)$	[ <sup>7</sup> f (m²/s)	$\omega_{\rm f}(1/s)$	$R'_{f}(m)$	$\Gamma_{\rm f}({\rm m}^2/{\rm s})$
1.23	25.9	547	0.0472	7,67	547	0.0473	7,68
0.64	19.0	488	0.0389	4,64	593	0,0320	3.82
0	1 <b>8.</b> 6	523	0,0355	4.14	454	0.0409	4.77

表4-1 強制うずの角速度,大きさ,強さの比較

なお図4-4の性能曲線は右下り安定曲線を示す場合で,この場合には,う ずの大きさはあまり変わらないが,後述の右上り不安定曲線の場合には $\varphi = 0$ のうずは,きわめて大きく吐出弧の全範囲が強制うずの中にはいって $p_t < 0$ となる。

4.7 効率の検討

横断流送風機の効率は低いが,なぜ効率が低いのか,その効率の配分はどうかといった問題がある。ここでは効率の問題について1つのアプローチを試みた。まず図4-4(a),(b)について羽根車の局所全圧効率,すなわち各流線上で 羽根車により与えられる全圧効率を求める。図4

-19には、測定円5,6上の全圧分布と速度三 角形から羽根車の局所全圧効率を計算する場合の 記号を示した。局所全圧効率7は各流線について 羽根車により与えられる実際の全圧上昇 $\Delta p_t$ と オイラーヘッドにより与えられるべき理論全圧上 昇( $\Delta p_t$ )thとの比で与えられる。 すなわち

 $\eta = \Delta p_t / (\Delta p_t)_{th} \qquad (4-23)$ 

ここで羽根前後の値に添字sとdを用いると



$$=(p_t)_6 - (p_t)_5$$
  
(吐出側翼列)

 $(P_{1})_{5}$   $(P_{1})_{6}$   $(P_{1})_{6}$   $(P_{1})_{6}$   $(P_{1})_{6}$   $(P_{1})_{6}$   $(P_{1})_{6}$   $(P_{1})_{6}$   $(P_{1})_{6}$   $(P_{1})_{6}$ 

図 4-19 羽根車の局所全圧効率の計算記号

(4 - 24)

ただし $(p_t)_5, (p_t)_6$ は各流線の測定円5,6上での全圧である。

また(△pt)thは流体の単位量当りの運動量モーメントの差Mから次のよう にして求められる。すなわち,羽根車の回転の角速度をOとすると,まず

$$M = \frac{1}{g} \left( (v_{\theta} r)_{d} - (v_{\theta} r)_{s} \right) \qquad (4-25)$$

$$\left( g : 重力加速度 \right)$$

$$\therefore (\Delta p_{t})_{th} = r M \omega = \rho \left( (uv_{\theta})_{d} - (uv_{\theta})_{s} \right)$$

$$= \rho \left( (uv_{\theta})_{5} - (uv_{\theta})_{6} \right) \quad (吸込側翼列)$$

$$= \rho \left( (uv_{\theta})_{6} - (uv_{\theta})_{5} \right) \quad (吐出側翼列)$$

$$(4-26)$$

ただし $\gamma$ は空気の比重量で,  $(uv_{\theta})_5$ ,  $(uv_{\theta})_6$ はそれぞれ測定円5, 6 上の $uv_{\theta}$  ( $u = \frac{2\pi rn}{60}$ とする)である。図4-20には上式で求めた $\eta$ を示し



### 図4-20 羽根車の局所全圧効率

た。ただし横軸は流線の測定円 5 上での角度を表わす( $\theta_{Z}$ ,  $\theta_{A}$ ,  $\theta_{M}$ ,  $\theta_{C}$ ,  $\theta_{D}$ は図 4 - 7 を参照のこと)。  $\varphi$ =1.2 3の場合舌部近傍の吸込側で  $\eta$ は1 0 0 % 近くなることはあるが,それ以外の部分では  $\eta$ は低く吐出流れの領域でも  $\eta$ = 5 0~7 0% 程度であり,あまり良好とは言えない。

循環うず部および変換点θ<sub>D</sub> 近傍ではηはとくに低く,羽根車の全圧効率は さらに低下するものと思われる。次に羽根車の全圧効率η'を求める。横断流送 風機の与えるヘッドは(遠心羽根車の場合と異なり)各流線ごとに異なりした がってこれらの平均値により示される。すなわち式(4-24),式(4-26)に

-69-

測定円上を通過する流量を掛けて重みづけ平均をしなければならない。実際に は羽根車内部では内部案内羽根がないので運動量モーメントの総和は0であり、 またエネルギの増減もないと考えれば,羽根車により与えられる全エネルギの 実際値Eと理論値Ethは測定円6上の運動量モーメントの総和あるいはエネル ギ流量の総和として求められる。 すなわち

$$\eta_t' = \frac{E}{E_{th}}$$
 (4-27)

$$\mathbf{E} = \oint_{6} \triangle p_t (r u_r) d\theta = r_6 \oint_{6} (v_r p_t) d\theta \qquad (4-28)$$

$$E_{th} = \oint_{6} (\triangle p_t)_{th} (rv_r) d\theta = \rho u_6 r_6 \oint_{6} (v_r v_\theta) d\theta \qquad (4-29)$$

ただし添字6で測定円6上の値を示す。図4-21,図4-22 には,測定円



6上の運動量モーメント( $v_r v_\theta$  で代表)およびエネルギ流量( $v_r p_t$  で 代表)の分布を示した。 $v_r v_\theta$ ,  $v_r p_t$ のいずれも吸込側翼列における値は小 さく吐出側翼列における値が圧倒的に多いことがわかる。

なお流線測定の結果得られる上述の諸氏から羽根車幅中央横断面内における 送風機の全圧効率 $\eta_t'$ , $\eta_t''$ を計算することができる。ただし $\eta_t'$ , $\eta_t''$ はそ れぞれ式(4-28)と同様の積分を図2-12のハウジング吐出口における測

-70 -

定断面 I 上あるいは測定円 6 上で行なって求めた E',E"を式(4-29)の Eth で割って求めたものである。すなわち測定断面 I については

$$E' = \int_{I} (p_{v} v) dh$$
 (4-30)

$$\eta_t' = \mathbf{E}' / \mathbf{E} \tag{4-31}$$

また測定円6上では流線a,b間の流れがハウジング内に吐出されるとすれば

$$E'' = \int_{a}^{D} (p_{t} \gamma v_{r})_{6} d\theta = \gamma \int_{a}^{D} (v_{r} p_{t})_{5} d\theta \qquad (4-32)$$
  
$$\eta_{t}'' = E'' / E \qquad (4-33)$$

表 4 - 2 に  $\eta'$ ,  $\eta_t'$ ,  $\eta_t$  の値を示した。ただし  $\eta_t$  は式 (2-7)で求めた送 風機の全圧効率である。

φ	η′	η <sub>t</sub>	η <sub>t</sub>
1.23	0.48	0.32	0.30
0.64	0,52	0.46	0.40

表4-2 効率の計算値および実測値の比較

η' がη, に近いことは送風機内の流れが羽根車幅方向についてほぼ 2 次元 あるいは流線測定によってもη, の値が計算できることを示している。また羽 根車の全圧効率η'が50%に近い値であることがわかる。なおη'とη,'の差は ケーシング内での損失と考えるべきであるが, これについてはさらに系統的な 精度のよい測定が必要と思われる。

4.8 ピトー管の影響

横断流送風機では測定中のピトー管により流れが変化して性能が急落することがあるので,測定に当っては注意が必要である。

すなわち40の円筒型3孔ピトー管による流線測定の際には羽根車内部では ほとんど影響はないが,羽根車外部で羽根車近くの吐出流の速い部分にピトー 管を設置すると性能が著しく低下することがあった。図4-23は図2-12の 測定円(6-270)(測定円6上 $\theta$ =270°の位置)に4 $\phi$ のピトー管を置いた場合 の図4-3の性能曲線の低下を示した。ダイバ全開時付近で性能が低下してい る。図4-24には、ダンバ全開時におけるピトー管の外径の影響を示した。ピ



ていた。(図4-26) これは単にピトー管の抵抗によるものではなく横断流 送風機のうずの不安定さに起因していると思われる。



図4-25 ピトー管の影響の生ずる位置 図4-26 ピトー管による流線の変化

この現象は前述の大流量域における性能の急変の現象ともよく似ているが, その関係は明らかでない。この現象は,うずの不安定さの解明に役立つと思わ れるが,深く立入らないことにした。

# 4.<sup>9</sup>結

本章ではビトー管による送風機の内部流れの測定および熱線による翼間相対 流れの測定の2つの方法により,横断流送風機の内部流れの状態について種々 考察を行なった。

結果は次のとおりである。

言

- (1) 本論文の羽根車については,すべての φ について,羽根幅中央部では流 れに対する 2 次元性がほぼ保たれている。
- (2) 羽根車内周上の全圧分布と翼間相対流の熱線出力波形を用いて、全体の 流れおよびその変動の様子が把握できる。
- (3) 羽根車の内部の流れの機構としては一般的には、ポテンシャル流れの領域と2つの強制うずの領域とその中間の領域を考えるべきものと思われる。
- (4) 測定円 5 上の全圧分布では  $p_t < 0$  の範囲が大略の循環うずの範囲である。 純粋 な意味での強制うずの範囲は  $p_t < 0$  のかなりせまい範囲に相当する。

- (5) 第2強制うずは実際には小さなうずの集まりあるいは死水域の部分と考えられる。
- (6) 速度三角形から考えて、ポテンシャル流れの部分でも羽根による曲げが 十分与えられていない。また、うず部分では激しい衝突が起っていると考えられる。
- (7) 周方向あるいは径方向の流速分布から組合わせうずの大きさ,強さ,中 心の全圧を計算する簡単を式を導いた。これによると,うずの大きさは大 略  $R'_{f} = 30 \sim 50^{mm}$  ( $D_{2} = 240^{mm}$ の場合)程度であり,強さはダンパ全開時 には $\Gamma_{f} = 2\Gamma_{th}$ に近いが,他は $\Gamma_{f} = \Gamma_{th}$ に近い。(ただし $\Gamma_{th} = 2\pi r_{1}u_{1}$ )
- (8) 流れの測定値から羽根車の局所全圧効率ηおよび羽根車の全圧効率η を求める簡単な式を導き効率の問題への1つのアプローチを試みた。 これによるとポテンシャル流れ部においてもη = 50~70% であまり 良くない。
- (9) 横断流送風機では流れがピトー管により大きく影響され性能が急落する 現象が生じる。これはうずの不安定性に起因していると思われる。
- 1 Øの単孔ピトー管を3孔ピトー管と同様に扱うことにより流れを正しく測定できる。

第5章 圧力 - 流量曲線と内部流れの挙動

5.1 緒 言

第3章では横断流送風機のケーシングおよび舌部の形状が圧力-流量曲線に 及ぼす影響を明らかにし,第4章では偏心うずで代表される横断流送風機の内 部流れの状態について種々の考察を行なった。本章では圧力-流量曲線の形と 偏心うずを含む羽根車内部の流れの挙動との関係を述べている。

偏心うずの移動を取り扱ったものとしては村田・井家上 (20), Porter & (39) Markland などの研究がある、これによると偏心うずの位置は流量の変化に 伴ない移動し、またその移動経路はハウジングの形状により異たる。そして性 能曲線の形とも密接を関連性のあることが指摘されている。しかし従来の研究 はいずれも内部流れを圧力ー流量曲線の形と関連づけていないか,あるいは特 定の形状の圧力・流量曲線の場合についてのみ研究を行なっており、系統的に 圧力-流量曲線と内部流れの関係を研究したものはないように思われる。すで に第3章で種々の形の圧力 - 流量曲線を扱い、また舌部の傾き角 $\delta_2$ , 舌部の すきま $\epsilon_{g}$ ,ケーシングの大きさ $\Theta$ あるいは $r(\theta=240^{\circ})$ が主要な形状パラ メータであることを示し,また第4章では測定円5上の全圧分布あるいは翼間 相対流の熱線出力波形(H<sub>1</sub> プローブ)により,全体の流れ状態を把握できる ことを示した。本章では上記主要形状パラメータを変化させた場合について流 れを測定し、全圧分布あるいは熱線波形を用いて圧力-流量曲線の形と内部流 れの挙動との関係を調べた。ここで内部流れの測定には前章で示した2つの方 法を用いている。すなわち羽根車幅の中央横断面内における羽根車内周上(測 定円 5 で代用)の全圧分布のピトー管による測定と翼間相対流の熱線(H<sub>1</sub> プ ローブ)による測定である。前者により流量変化に伴う偏心うず中の強制うず の大きさ,強さ,中心における全圧および中心の移動経路などを,後者により 翼間相対流の乱れとその時間的変動などを知ることができる。

5.2 実 験 方 法

前章で示したように横断流送風機の流れは羽根車内周上の全圧分布によって 把握できる。また偏心うずの挙動としてはうず中心の移動がとくに目立ち,う ずの強さ $\Gamma_f$ や大きさ $\mathbf{R}_f$ 角速度 $\omega_f$ などの変化はあまり目立たないので,偏心 うずとしてはとくに中心位置 $\theta_v$ ,中心における 全圧( $p_t$ ) $_0$ (式(4-13)よ  $bv_f$ が求められる)の 2 つの量を選んだ。

ここで流線測定における記号は図2-16のとおりであり,また熱線波形にお ける記号も図2-18のとおりである。本研究では舌部あるいはケーシングの一 方のみ用いた場合の全圧分布と熱線波形に着目した。

5.3 舌部あるいはケーシングの一方だけを用いた場合の流れ

舌部あるいはケーシングの一方のみを用いた場合にも安定な流れが測定された。これについては $E_{ck}^{(1)}$ も測定例をあげているが、吐出側の速度分布の例を示しているだけで、舌部とケーシングを組み合わせた場合の性能とどう関係するかについては、まったく触れていない。しかし後述のように、全圧分布の測定値から得たうず中心の位置 $\theta_v$ 、全圧( $p_t$ )<sub>0</sub>の値から、あるいは翼間相対流の熱線波形から、舌部とケーシングを組み合わせた場合の中一大流量域( $\varphi$ >0.3~0.4)における流れは舌部のみを用いた場合の流れに近いことを示した。

5.3.1 測定円5上の全圧分布

図 5-1 の $\varepsilon_2 = 18_{\text{RR}}, \delta_2 = 30^\circ$ の 舌部のみを用いた場合あるいはその吐出 側に(a)または(b)の抵抗板を置いた場合の測定円 5 上の  $p_t$  分布を図 5-2に示し た。抵抗板はダンパ開度を変化させた場合の送風機の流れと対比するために設



図5-1 抵抗板(舌部のみ使用の場合)

図5-2  $p_t$  分布(図5-1の場合)

置した。抵抗板のない場合では $\theta = \theta_{D}(=90^{\circ})$ 付近の $p_{t}$ のくぼみが大きい。 (a)の場合ではうず中心は舌部側にもっとも近づき, $\theta_{\rm D}$ における $p_t$ のくぼみが 取れ,ptが一定の領域が増す。(b)の場合ではうずは舌部から再び離れる。図 5-5 に示すように、 $\delta_2 = 20^\circ \sim 60^\circ$ と変えても同様の傾向が見られる。す なわち抵抗板によるうず中心の $\theta_{\mathbf{v}}$ は(a),(b)に対して 30°20°40°と変化す る。一方図5-3に示すようにθ=90°のケーシングのみを用いた場合には, 図の実線と破線で示す2つの安定状態の間を変動するのが観測された。2つの 状態は音あるいは流れによって、はっきりと区別できるので,それぞれの状態 が出現するのを待って,すばやく流れを測定した。実線の場合には強い吐出流 れがあるが,破線の場合には羽根車内すべての範囲でpt <0 となり吐出流は ほとんどたい。 🖯 = 120° のケーシングのみを用いた場合にも流れの変動は激 しく、この場合には図5-3の実線のような吐出流の強い状態は得られなかっ た。 🖯 = 180° のケーシングのみ用いる場合には安定な流れを測定でき,図 5-4に示すように抵抗板によりうず位置が変化する。図5-5にはε。=18 ma と  $\epsilon_2 = 4.5$  ma (  $\sigma_2 = 20^\circ$  ,  $60^\circ$  では  $\epsilon_2 = 3$  ma の 場合も示す ) の 場合の , - ( $p_t$ )<sub>0</sub>,  $\theta_v$ ,  $r_A$  を示した ( $r_A$  はうず中心の半径位置)<sub>0</sub> 図 5-5 から $\delta_2$ を変化させても, 6 。が ―定の場合には抵抗板によるうず中心の移動の模様が



 $図5-3 p_t 分布(ケーシング<math>\theta=90^\circ$  図5-4 抵抗板の影響(ケーシング $\theta=$ のみ用いた場合) 180°のみ用いた場合)

ほとんど同様であるこ と、またすきま 6g が 小さいほど $\theta_v$ が大き いことがわかる。そし  $\tau - (p_t)_0$ の分布が  $\varepsilon_2 = 1.8 \text{ mm} \text{ Clt} \delta_2 =$  $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ,  $\varepsilon_2 = 45$  $m c t \delta_2 = 40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ でピークを示すことは 第3章で述べたように  $(\delta_2)_{opt}$  ot star よる変化の場合とよく 似ている。このことか ら、また後述のように 中,大流量域の流れが この場合の流れに近い ことから,第3章で,  $\varepsilon_2 = 3$ mm ,  $\delta_2 < 3.0^\circ$  V おいて $\psi_t$  が低いのは  $r_A - \delta_2$  曲線からわ かるように、うずが羽 根車の内側に移動して -(pt)o が小さくな るためと考えられる。

図 5 - 6 には強制う ずの  $R_f'$ ,  $\Gamma_f$  の値を 示した。うず流線が円 からはずれるため,周 方向および半径方向の 速度分布から前述の計 算方式で求めた値が多







図5-6 舌部のみ用いた場合の $r_f$ , $\Gamma_f$ 

-78-

少異なるが, $\varepsilon_2 = 18 mm$ で抵抗板のない場合を除いて,すべての場合に $\Gamma_f$ の値はポテンシャルうずが羽根車内部にあるとした場合の羽根車内周上の循環 $\Gamma_{th} = 2\pi r_1 u_1 = 3.98 (m^2/s)$ に近く,また $\varepsilon_2 = 18 mm$ で抵抗板のない場合だけ, $\Gamma_f = 5 \sim 6 (m^2/s)$ になっているが, $\delta_2$ による相異はあまりないので,内部流れの比較には適していない。

5.3.2 翼間相対流の熱線出力波形

図 5-7 に  $\varepsilon_2 = 18 \text{ mm}$ ,  $\delta_2 = 10^\circ$ ,  $40^\circ$ 75°の舌部のみ用いた場合の翼間 相対流の熱線出力波形(掃引5回)を示す。各 $\delta_2$ について特徴的な波形が得 られるが, この場合と舌部, ケーシングを組み合わせた場合の熱線出力波形と の比較について後述する。



(a)  $\delta_2 = 10^{\circ}$ 



(b)  $\delta_2 = 40^\circ$ 



(c)  $\delta_2 = 7.5^{\circ}$ 

図 5 - 7 熱線波形(舌部のみ使用の場合)

## 5.4 舌部の傾き角を変えた場合の流れの挙動。

ここでは図5-8に示すように、 $\theta = 120^{\circ}$ のケーシングを用い、 $\delta_2$ を、



10°,40°,75°( $\varepsilon_2 = 18m$ )を 変化させて得られる $\varphi - \varphi_t$ 曲線についてダンパ全開時,圧力係数が極大 なよび極小時,ダンパ全閉時の各状態に対して $p_t$ 分布と熱線波形を求め、性能曲線の形と内部流動状態との対応を調べた。この場合各 $\delta_2$ について $\varphi$ を変化させても $r_A \div r_1$ で,うずは羽根車内周近傍にあり, また $\Gamma_f$ の値も表4-1の値とほぼ同様の変化をし、 $\delta_2$ による $r_A$ ,  $\Gamma_f$ の値の相異はほとんどみられないので以下記述は省略した。

5.4.1 測定円5上の全圧分布

図5-9には $\delta_2=10^\circ$ ,40°,75°について,流量変化に伴う $\theta_v, \varphi_t$ , -( $p_t$ )<sub>0</sub>の変化を,図5-10~図5-12には各 $\delta_2$ に対する $p_t$ 分布の変化を示した。図5-9より性能曲線と内部流れ状態がよく対応していることがわかる。すなわち $\delta_2$ のすべての場合について,うず中心は $\varphi_{open} \rightarrow \varphi_{max}$ で舌部に近づき, $\varphi_{max} \rightarrow \varphi_{min}$ で再び遠ざかり, $\varphi_{min} \rightarrow \varphi_{close}$ で大幅に遠ざかる。( $\delta_2=10^\circ$ のように性能曲線が右上りの場合には $\varphi=0$ で $\varphi_{min}$ と考える)。そして中、大流量域( $\varphi > 0.3 \sim 0.4$ )ではうずの移動は少ないが,小流量域( $\varphi < 0.3 \sim 0.4$ )ではうずは大幅に移動している。

また $\delta_2 = 10^\circ, 40^\circ, 75^\circ$ の順に $\theta_v$ の値は高く,  $-(p_t)_0$ の値は低い。 さて $\delta_2 = 10^\circ \ge \delta_2 = 40^\circ, 75^\circ$ では性能および流れに大きな差異がある。 すたわち $\varphi = 0$ の場合には図5-10( $\delta_2 = 10^\circ$ )において $\theta_c \le \theta \le \theta_2$ すた わち吐出弧の全範囲で $p_t < 0 \ge c$ ちり, また  $-(p_t)_0$ は低い。一方図 5-12 ( $\delta_2 = 75^\circ$ )の場合には $p_t < 0$ の範囲はせまく, また  $-(p_t)_0$ は $\psi_{\min}$ の 場合よりも高い。たおいずれの場合にもうず中心は吐出弧のほぼ中央にある。





図5-11 流量変化にともなう  $p_t$  図5-12 流量変化にともなう  $p_t$  分布 分布の変化( $\delta_2 = 40^\circ$ の場合) の変化( $\delta_2 = 75^\circ$ の場合)

なお図5-12のpt分布から,2つの強制らずが存在することがわかる。 第4章で述べたようにθ<sub>A</sub>における偏心らずを第1うず,θ<sub>D</sub>におけるらずを 第2うずと呼ぶことにする。一般に第2うずは弱く,内部流れに及ぼす影響も 第1うずより弱い。

図5-13には $\varphi = 0$ ,0.3,0.6, 0.9の各場合について, $\theta_v$ , $\phi_t$ ,  $-(p_t)_0$ の $\delta_2$ による変化を示し た。図5-13から $\varphi$ が一定の場合 には $\theta_v$ は $\delta_2$ にほぼ比例的に増加し ているが,この問題については後に 検討する。そして大流量( $\varphi > 0.6$ ) では $\theta_v - \delta_2$ 直線の傾きが小さくな り,そして $\delta_2$ と無関係に 35°~ 40° 前後の値に近づくことがわか る。これは図5-5の抵抗板(b)の場 合( $\varepsilon_2 = 18$  ma)の $\theta_v - \delta_2$ の関係 (ただしこの場合には $\varphi = - 定$ とい う条件はない)とよく類似している。

 5.4.2 翼間相対流の熱線出力波形 次に前項と同様に \$\varphi\_{open}\$,\$\varphi\_{max}\$,

ψ<sub>min</sub>, ψ<sub>close</sub> の各状態の熱線出



力波形から流れを時間的変動の面から調べた。 $\delta_2 = 10^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $75^\circ$ の場合 の熱線波形の変化を図 5-14~16 に示す。図 5-14( $\delta_2 = 10^\circ$ )の場合,  $\psi_{open}$ では $\theta \ge \theta_z$ の吸込側の部分の波形の乱れが激しいが, $\varphi_{max}$ では波形 の乱れはなくなる。そして $\varphi = 0.234$ で吸込側の乱れが再び激しくなり,  $\psi_{close}$ では乱れは吸込側の全範囲に及ぶ。この時は $\theta_D$ の部分は時間的にか なりの変動があり,また吸込領域でも波形の落ち込みすなわち失速状態があり その位置は時間的に変動する。図 5-15( $\delta_2 = 40^\circ$ )の場合,  $\varphi_{min}$ ではう ず核の部分の吸込側にまで乱れは及んでいるが, $\psi_{close}$ ではうずが大幅に舌 部から離れる。図 5-16( $\delta_2 = 75^\circ$ )の場合には,この傾向がさらに顕著に なる。図 5-14~16の $\delta_2$ のすべての場合について, $\varphi > 0.3 \sim 0.4$ における 出力波形(特に $\psi_{max}$ の場合)は図 5 - 7の各 $\delta_2$ に対する熱線波形とほぼ重 ね合わせることができる。また前節の図 5 - 9において $\psi_{max}$ の状態での,



(a)  $\varphi = 0.80 (\psi_{open})$ 



(b)  $\varphi = 0.45 \,(\psi \max)$ 



(c)  $\varphi = 0.23$ 

(d)  $\varphi = 0 \ (\phi \text{ close})$ 

図 5-14 流量変化にともなう熱線波形の変化 (図 5-9の  $\delta_2 = 10^{\circ}$ の場合)

- ( $p_t$ )<sub>0</sub>の値は $\delta_2$ のすべての場合に 30°~45°となり,図5-5 の舌部 のみ用いた場合( $\epsilon_2 = 18$  mm)の値に近い。以上のことから中・大流量域では 舌部の影響がきわめて大きいと考えられる。また図 5-14~16 で $\psi$ close に おける熱線波形の形が舌部のみの場合とまったく異なることなどから $\varphi < 0.3$ ~0.4 の小流量域は中・大流量域とは分けて考えるべきものと思われる。そし て小流量域では舌部とケーシングの両方の影響を受けている。これについては 後に検討する。

ここで小流量域における $\psi_t$ の値が大きい $\delta_2 = 40^\circ$ ,75°の場合は,図5 -15,16の $\psi_{close}$ の状態における波形からもわかるように,流れは図5 -17のように舌部先端とケーシング先端を境として完全に分かれた形となる。



(a)  $\varphi = 1.3 \ 3 \ (\psi_{open})$ 

(b)  $\varphi = 0.9.8 \ (\varphi_{max})$ 



(c)  $\varphi = 0.38 (\varphi_{min})$ 

(d)  $\varphi = 0 (\psi_{close})$ 

図 5-15 流量変化にともなう熱線波形の変化 (図 5-9の  $\delta_2$  = 40°の場合)

また $\delta_2 = 75^\circ$ の場合には第2 うず(図 5-18)により全圧損失を生じ、このため図 5-9 のように中、大流量域で $\psi_t$ の値が低くなるためと思われる。



(a)  $\varphi = 1.40$  (  $\psi_{open}$  )

(b)  $\varphi = 0.80 (\psi_{\text{max}})$ 



(c)  $\varphi = 0.47(\psi_{\min})$  (d)  $\varphi = 0(\psi_{close})$ 図5-16 流量変化にともなう熱線波形の変化(図5-9の $\delta_2 = 75^\circ$ の場合)



図 5-17 ダンパ全閉時の流線 ( ð<sub>2</sub>=40° )



図5-18 ダンパ全開時 の 流 線 ( ð <sub>2</sub> = 75°)

5.5 舌部のすきまを変えた場合の流れの挙動

第3章では $\delta_2 < 30^\circ \ge \delta_2 > 30^\circ$ に対し $\varepsilon_2$ の性能に及ぼす影響が異なる ことを示した。このことを内部流動状態から考察するため本節では $\theta = 120^\circ$ のケーシングについて、 $\delta_2 = 60^\circ$  および 20°の場合の $\varepsilon_2$  と内部流動状態の 関係を調べた。

 $\delta_2 = 60^\circ, 20^\circ$ における $\theta_v, \psi_t, -(p_t)_0$ の  $\varphi$ による変化を図5-19 20に示した。いずれの場合も $\epsilon_2 = 18$ maでは $\psi_{open} \rightarrow \psi_{max}$ でうず中心が一 度舌部に近づくが, $\epsilon_2 = 3$ ma ではこの傾向はほとんどないかあるいはむしろ 離れる傾向がある。 $\delta_2 = 60^\circ$ の場合(図5-19)は $\epsilon_2 = 3$ maの場合の方が,  $\theta_v, -(p_t)_0$ の値が大きく, $\psi_t$ の値も大きい。ところが $\delta_2 = 20^\circ$ の場合 (図5-20)では, $\epsilon_2 = 3$ maの方が $\theta_v, -(p_t)_0$ の値が大きいが, $\psi_t$ の値 は逆に小さくなっていて, $\delta_2 = 60^\circ$ の場合と違っている。



さて $\delta_2$ により $\varepsilon_2$ の影響が異なる理由を調べるためには, $\theta_v$ ,一( $p_t$ )<sub>0</sub>の 値だけではなく,全体の流れを検討しなければならない。図5-21には, $\delta_2$ =60°,20°の場合について, $\varepsilon_2$ =3mm,18mmにおける $\varphi$ =0.6の時の $p_t$ 分 布を示した。いずれの場合にも $\varepsilon_2$ =3mmの方が-( $p_t$ )<sub>0</sub>が大になっている。



(a)  $\delta_2 = 60^\circ$ 図 5-21  $p_t$ 分布によるすきまの影響の比較( $\varphi = 0.6$ )

しかし, $\delta_2 = 20^\circ$ の場合には $\varepsilon_2 = 3m\pi$ では $\theta > \theta_Z$ の舌部近くの吸込側で $p_t$ 分布が落込み,したがって吐出側の $p_t$ も低く.このことが $\varepsilon_2 = 1.8m\pi$ の場合 よりも性能が低下する原因であろうと考えられる。なお図5-19,20 いずれ の場合にも $\theta_v$ が高いほど-( $p_t$ )<sub>0</sub>が高い。 $\delta_2$ を変化させた場合(図5-9) には $\theta_v$ が低いほど-( $p_t$ )<sub>0</sub>が高いが,上述のように $\varepsilon_2$ を変えた場合には傾 向が異なる。すなわち舌部のすきまの影響は他のケーシングパラメータの影響 とは様子が異なるように思われる。

5.6 ケーシング形状を変えた場合の流れの挙動

本節ではケーシング形状が圧力-流量曲線に及ぼす影響を内部流動状態との 関連から調べる。すなわち 5.6.1 では第3章で述べた基本形状ハウジングで舌 部の 62, δ2を一定としてケーシングの大きさ θを変化させた場合の性能と内 部流動との関係を調べ,これを 5.4 の舌部を変化させた場合と比較する。次に 5.6.2において別の2つの設計方式によるケーシングについて,5.6.1で述べた結果の一般性の確認を行なった。

5.6.1 基本形ハウジングの場合

第3章で述べたように舌部の $\varepsilon_2$ , $\delta_2$ を一定としてケーシングののを変化さ せると種々の形の圧力-流量曲線が得られるが,  $(\delta_2)_{opt} = 10^\circ \sim 20^\circ$ の 時に,  $\Theta$ による性能の変化が一番大きく, $\delta_2$ が( $\delta_2$ )<sub>opt</sub>よりも大きくなる と圧力-流量曲線は全体的に右下りとなる傾向があった。したがって本項では  $\varepsilon_2 = 18$ mm, $\delta_2 = 20^\circ$ の舌部について $\Theta = 90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$ と 変化させた場合の性能曲線と内部流動状態の関係を調べた。このときの $\theta_v$ , $\psi_t$ ,  $-(p_t)_0$ の $\varphi$ による変化を図5-22に示す。図5-22で $\Theta$ が小さいほど $\theta_v$ - $\varphi$ 曲線は低く,小流量域を除き,  $-(p_t)_0 - \varphi$ 曲線は高い。これを整理し直し  $\tau\varphi = 0$ , 0.3, 0.6, 0.9の時の $\theta_v$ ,  $\psi_t$ ,  $-(p_t)_0$ の $\Theta$ による変化を図5-23



に示す。図 5-23 で, $\varphi = -c$ では $\theta_v - \theta$ 曲線はほぼ直線的に増加している。 そして $\theta_v - \theta$ 曲線の傾きは $\varphi$ の大きいほど小さく, $\varphi = 0.9$ の場合には $\theta_v$ ー  $\theta$ 曲線は平担になり, $\theta_v$ は $\theta$ に無関係に 35°前後の値に近づいている。上 述の結果は 5.4 節の図5-13の場合とよく似ている。

さてうずの移動については吐出弧 $\theta_2$ の影響が大きい。すなわち $\varphi \ge 0.9$ の 大流量域では $\delta_2$ , $\theta$ に無関係に $\theta_v = 35^\circ \sim 40^\circ$ となり, $\varphi = 0$ では $\theta_v / \theta_2 = \frac{1}{2}$ となる。すなわち $\varphi = 0$ では,うずは吐出弧のほぼ中央で,うずはこの範囲を移動するから, $\theta_2$ が大きいほど, $\theta_v$ の変化は大きい。以上のことから図 5-13、図5-23は次のことを意味していることがわかる。すなわち $\theta \approx \delta_2$ が大きいと $\theta_2$ が大きく, $\theta_v$ の変化は大きく,大流量域における-( $p_t$ )<sub>0</sub>は 低く,小流量域における-( $p_t$ )<sub>0</sub>は高く,性能曲線は右下り傾向を示す。また  $\theta_2$ が小さいと, $\theta_v$ の移動は小さく,大流量域における-( $p_t$ )<sub>0</sub>は高く,小流量域における-( $p_t$ )<sub>0</sub>は低く,性能曲線の形は右上り傾向を示すと考えられる。

5.6.2 一般の形状のハウジングの場合

第3章で,性能に及ぼすケーシングの $r(\theta = 240^\circ)$ の影響が大きく,吐出 高さhの影響は少ないことを示したが,これを流れの面からも考察するために,





図5-24に示すように舌部 $\varepsilon_{2}=18$ ma,  $\delta_{2}=40^{\circ}$ , r - v = v = 0120<sup>o</sup>のハウジングを基準として, 1つは主として吐出高されを変化さ せた R = 200,  $\theta=120^{\circ}$  とR=280  $\theta=120^{\circ}$ のr - v = v = 0して  $r(\theta=240^{\circ})$  を変化させた。 R=210,  $\theta=160^{\circ}$  とR=280,  $\theta=965^{\circ}$ の2系列の設計のr = v = 0

各ケーシングに対する $\theta_v$ ,  $\psi_t$ , -( $p_t$ )<sub>0</sub> と $\varphi$ の関係を図5-25 に 示す。図5-25 で, $\theta$ =120°の主 として吐出高されが変化する系統(実 線で示した)のすべてのケーシング については $\psi_t - \varphi$ 曲線,  $\theta_v - \varphi$ 曲 線は変わっていなかった。すなわち 吐出高されを少々変化させても性能 に及ぼす影響の少ないことは流れの 面からも確認できる。一方 r(θ= 240°)だけを大きく変化させた R=  $280, \theta = 96.5^{\circ} \ge R = 210, \theta =$ 166°のケーシングでは*ψ*t曲線は第 3章で述べたように大幅に変わり, それぞれ図 5-9の $\delta_2 = 10^\circ$ ,  $\delta_2$ = 75°の場合と同じ形の性能曲線で あり、また内部流動も同じよらにな る。すなわち中・大流量域ではr( $\theta = 240^{\circ}$ )が小さいと $\theta_{\rm v}$ は低く,  $-(p_t)_0$ が高く,右下り傾向の性 能を示すが、 $r(\theta = 240^{\circ})$ が大 きいと $\theta_v$ は高く - ( $p_t$ )の が低く 右下り傾向の性能を示す。また小



(図5-24の場合)

流量域では $r(\theta = 240^\circ)$ が大きいと-( $p_t$ )のは $\phi_{min}$ における値よりも高くなり、 $\phi_{close}$ も高いが、 $r(\theta = 240^\circ)$ が小さいと-( $p_t$ )のは $\phi_{min}$ における値よりも低く、 $\phi_{close}$ も低い。

これを前項の $\theta_2$ の影響と比べた場合,次のことが言える。すなわち中・大流量域ではケーシングの大きさがある範囲内ではその影響は小さく舌部の影響 が支配的であるが,ケーシングが極端に大きいか,あるいは小さい場合には舌 部の影響をあまり受けない。これは基準の吐出方向が変化するためと思われる。 しかし $\theta_v$ が小さいと,-( $p_t$ )<sub>0</sub>が高く, $\phi_t$ が高いという,性能曲線と内部 流れとの関係は同じ傾向となる。また小流量域では舌部とケーシングの両方の 影響を受けるが,前項で述べた $\theta_2$ の影響,本項で述べた $r(\theta=240^\circ)$ の影 響から考えて,吐出弧の大きさ $\theta_2$ と $r(\theta=240^\circ)$ の両者が性能および流れ



(a)  $\varphi = 1.11$ 

(b)  $\varphi = 1.14$ 



(c)  $\varphi = 1.01$  ( $\psi_{max}$ ) (d)  $\varphi = 0$  ( $\psi_{close}$ ) 図 5-26 熱線波形 (R=280mm,  $\Theta = 96.5^{\circ}$ ,  $\varepsilon_2 = 18mm$ ,  $\delta_2 = 40^{\circ}$ )

に影響すると思われる。すなわち,いずれか一方が小さいと全閉時の-( $p_t$ )<sub>0</sub> が低く $\phi$  clcseも低い。またいずれかが大きいと-( $p_t$ )<sub>0</sub>は $\phi_{min}$ における場合よりも高くなり $\phi$ closeも高い。

上述のことは熱線波形からも確認できる。たとえば $r(\theta = 240^{\circ})$ の大きい場合(R=210, $\theta = 166^{\circ}$ )の締切時には図5-16の場合と同様の特徴的な波形が見られるが,図5-26に示すように $r(\theta = 240^{\circ})$ の小さい場合(R=280, $\theta = 96.5^{\circ}$ )には図5-14の場合と同様,波形の乱れが激しく,はっきりしたうず核は認められない。なお図5-26のダンパ全開時に見られる性能の不連続時には波形の乱れが観測される。またれの小さいR=200, $\theta = 120^{\circ}$ の場合には,小流量域においても性能の不連続が見られるが,この場合の熱線波形ではうず核内吸込側の乱れが見られた。

### 5.7 結 言

羽根車内周上の全圧分布と翼間相対流の熱線出力波形を併用して,性能曲線の形と,流量変化に伴う内部流れの挙動との関連性を調べた結果次の結論を得た。

- (1) 内部流動状態から考えて、性能曲線は $\varphi < 0.3 \sim 0.4$ の小流量域, $\varphi > 0.3$ ~0.4の中・大流量域に2分できる。2つの領域では流れのパターンはま ったく異なる。そして小流量域では舌部とケーシングの両方の影響を受け、 吐出弧とケーシングの大きさr( $\theta = 240^{\circ}$ )の双方ともに影響する。中・ 大流量域では舌部の影響が支配的である。
- (2) 小流量域での流れのパターンは  $\psi$ close が高い場合と低い場合の 2 つに 分けて考察できる。すなわち  $\psi$ close が低く性能曲線が右上り部を持つ場 合には( $r(\theta = 240^\circ), \theta_2$ が小)熱線波形の乱れは吸込側の全範囲に 及び -  $(p_t)_0$  は低い。 $\psi$ close が高く性能曲線が右下り部を持つ場合( $r(\theta = 240^\circ), \theta_2$ が小)には流れは舌部先端とケーシング先端を境とし て完全に分かれた形となり熱線波形は特徴のある形となる。
- (3) 中・大流量域の流れのパターンは舌部のみ用いた場合のそれに近い。しかしケーシングが極端に大きいかまたは小さい場合には舌部の影響があらわれない。ただしこの場合にも性能と流れとの間には一定の関係がある。
- (4) 性能曲線の  $\psi_{open} \rightarrow \psi_{max} \rightarrow \psi_{min} \rightarrow \psi_{close}$ の状態の変化とうずの移動経路や熱線出力波形の乱れの変化とは密接な関係がある。うず移動については  $\varphi > 0.3 \sim 0.4$  ではうず中心の移動は小さいが  $\varphi < 0.3 \sim 0.4$  では舌部から大幅に離れる。

そして舌部のすきまの広い場合(ε<sub>2</sub>=18mm)にはψ<sub>open</sub>→ψ<sub>max</sub> でう ずが舌部に一度近づくが,せまい場合(ε<sub>2</sub>=3mm)ではうず位置は変わら ず,場合によってはむしろ離れる傾向がある。

- (5) 舌部のすきまが一定の場合,うず中心は大流量時には舌部やケーシング に無関係にほぼ一定の位置にある。( $\varepsilon_2 = 1.8 \text{ mar}$ では $\theta_v = 3.5^\circ \sim 4.0^\circ$ )。 そしてダンパ全閉時には吐出弧のほぼ中央に移動する。
- (6) 舌部やケーシングの性能に及ぼす影響は偏心うず部ばかりでなく、その 周辺部の流れも考えなければならない。たとえば $\Theta = 120^\circ$ 、 $\epsilon_2 = 3$ mm、  $\delta_2 = 20^\circ$ のような場合は、舌部近くの吸込側における $p_t$ 分布の落ち込

みによって性能が低下する。

(7)  $\phi > 0.3 \sim 0.4 \ cr t est が 一定の場合には <math>\theta_v$ が小さいほど -  $(p_t)_0$  は高いが, t est だけを変化させる場合には  $\theta_v$ が大きいほど -  $(p_t)_0$  は高い。 このようなことからすきまの影響と他のパラメータの影響とは傾向が異なるように思われる。

# 第6章 結

論

横断流送風機は,他の型式の送風機に比して,多くの特長を持つため,最近 は,空調の多くの分野で使用されるようになった。

また研究の面では, E<sub>ck</sub>,村田・井家上はじめ多くの研究者により研究が行 なわれてきた。

しかしながら,送風機の各部形状,とくにハウジングの形状が性能に及ぼす 影響の法則性,偏心うずを含む羽根車内部の流れの挙動などの面で解明しなけ ればならない問題が,多数残されている。

本論文ではハウジングの設計法を確立することを目標として,内部案内装置 を持たない送風機について,ハウジングの各部形状が,全圧性能および送風機 内の流れに及ぼす影響を実験的に明らかにした。すなわち

- (1) まず最も簡単な形状のハウジングを用いることにより系統的な実験を行ない、全圧性能に影響を及ぼす主要な形状パラメータを明らかにし、この結果がさらに一般の形状のハウジングについても適用できることを示した。 (第3章)
- (2) 次に送風機の流れの測定により,流れは羽根車内周上の全圧分布あるい は翼間相対流の熱線波形により把握できること,偏心うずは,その中心の 位置 $\theta_v$ と中心の全圧( $p_t$ )。により代表できることを示した。(第4章)
- (3) そして(1)で明らかにされた主要な形状パラメータを変化させることにより代表的な圧力-添量曲線(全圧性能)を作り出し、(2)で明らかにした羽根車内周上の全圧分布などを用いて、圧力-流量曲線の形と流量変化に伴う流れの挙動との関係を明らかにした。(第5章)

以上の実験の結果,得られたおもな結論は,つぎのとおりである。まず第3 章ハウジングの形状が性能に及ぼす影響,に関しては次のとおりである。

- (1) 横断流送風機の性能を決定するハウジングの主要な形状パラメータは, 舌部先端部の無次元のすきま $\varepsilon_2$ / $D_2$ および舌部の吸込側の傾き角 $\delta_2$  と 吐出方向を基準として,羽根車の回転方向に測った角度240°の付近にお けるケーシングの無次元の大きさr/ $D_2$ である。
- (2) ケーシングの巻き始めの位置や吐出高されの影響は、(1)に述べた主要形状パラメータの影響に比べれば、きわめて小さい。

- (3) 舌部のすきま E 2 が性能に及ぼす影響は、きわめて大きく、とくに高性能で安定な右下りの性能曲線を得るためには、E 2 をたるべく小さくする必要がある。ただし実際の設計に当っては、本研究では検討をしていたい騒音性能に対する影響を考えたくてはならたいであろう。
- (4) ケーシングが一定で $\epsilon_2$ /D<sub>2</sub>が一定の場合には,舌部先端の位置,傾き 角度を変化しても $\delta_2$ >20°~30°では締切時の性能は,あまり変化した いが,中流量域の性能は,hには無関係に $\delta_2$ によりほぼ決定される。そ して $\delta_2$ には最適値( $\delta_2$ )ontがある。
- (5) 舌部が一定で $\epsilon_2 = -$ 定の場合,ケーシングの $r(\theta = 240^\circ)$ を変化させると、右上りから右下りまでの種々の形の性能曲線が、連続的に得られる。 すなわち $r(\theta = 240^\circ)$ が小さいと右上りの、 $r(\theta = 240^\circ)$ が大きいと右下りの性能曲線が得られる傾向がある。

次に第4章横断流送風機の内部流れ状態および第5章圧力一流曲線と内部流 れの挙動に関しては次のとおりである。

- (6) 羽根車内周上の全圧  $p_t$  の分布から横断流送風機の流れの模様を知るこ とができる。しかし偏心うずは、その中心の位置 $\theta_v$ 、全圧( $p_t$ )<sub>0</sub> によって代表させることができる。
- (7) ∂2 あるいはΘが大きい場合の全圧分布では,2つの強制うずがあらわれる。第2の強制うずはケーシング端に生ずるが,流れに及ぼす影響は小さく,しかもその位置は時間的にかなりの変動がある。
- (8) 内部流動状態から考えて,性能曲線は $\varphi < 0.3 \sim 0.4$ の小流量域, $\varphi > 0.3 \sim 0.4$ の中・大流量域に2分できる。2つの領域では流れのパターンは まったく異なる。そして小流量域では舌部とケーシングの両方の影響を受け,吐出弧とケーシングの大きさ $r(\theta=240^\circ)$ の双方ともに影響する。 中・大流量域では舌部の影響が支配的である。
- (9) 小流量域での流れのパターンは、 $\psi_t$  が高い場合と低い場合の2つに分けて考察できる。すなわち $\psi_t$  が低く性能曲線が右上り部を持つ場合(r( $\theta$ =240°,  $\theta_2$ が小〕には、熱線波形の乱れは吸込側の全範囲に及び、 -( $p_t$ )<sub>0</sub>は低い。 $\psi_t$  が高く性能曲線が右下り部を持つ場合(r( $\theta$ =240°)  $\theta_2$ が大〕には、流れは舌部先端とケーシング先端を境として完全に分かれた形となり熱線波形は、特徴のある形となる。

- (0) 中・大流量域の流れのパターンは、舌部のみ用いた場合のそれに近い。 しかしケーシングが極端に大きいかまたは小さい場合には、舌部の影響が あらわれない。これは吐出方向が変化したためと思われる。ただしこの場 合にも性能と流れとの間には一定の関係がある。
- (11) 性能曲線のダンパ全開時,圧力係数が極大および極小時,ダンパ全閉時 の各状態を全圧係数 $\psi_0$ , $\psi_{max}$ , $\psi_{min}$ , $\psi_c$ とすると, $\psi_{open} \rightarrow \psi_{max}$  $\rightarrow \psi_{min} \rightarrow \psi_{close}$ の性能の変化と,うずの移動経路や熱線波形の乱れの 変化とは密接な関係がある。うず移動については $\varphi > 0.3 \sim 0.4$ では、舌部 から大幅に離れる。そして舌部のすきまの広い場合( $\varepsilon_2 = 1.8$  ma)には,  $\psi_{open} \rightarrow \psi_{max}$ でうずが舌部に一度近づくが,せまい場合( $\varepsilon_2 = 3$  ma)に は,うず位置は変わらず,場合によってはむしろ離れる傾向がある。
- (2) 舌部のすきまが一定の場合,うず中心は大流量時には舌部やケーシング に無関係にほぼ一定の位置にある。( $\varepsilon_2 = 1.8 \text{ m}$ では $\theta_v \div 3.5^\circ \sim 4.0^\circ$ ) そしてダンパ全閉時には吐出弧のほぼ中央の位置に移動する。

辞

本研究は昭和43年4月から6ヶ年余りにわたり,大阪大学工学部機械工学 科村田研究室(水力実験室)において行なったものであります。

その間,村田 暹 教授からは,終始懇切丁寧なご指導を賜わりました。ここ に謹んで深甚の謝意を表します。

また,ご多忙の中,懇切な校閲を賜わりました大阪大学工学部の近江宗一教授,小笠原光信教授,大阪大学基礎工学部の今市憲作教授に深く謝意を表します。

また山本金属ブレス工業所の山本輝雄氏には多大のご助言,ご協力をいただ き,水力実験室の諸氏ならびに浅野幸治,辻 正幸,富士原秀和,真鍋庸二, 木村良一,君塚雅憲,藤井義夫,田川茂太郎,広川幸夫の各氏にも実験,計算 の際,多大なご支援をいただきました。ここに併せて厚く謝意を表します。

- (1) Eck, B., Ventilatoren 5. Aufl., (1972), Springer.
- (2) Eck, B. : Cross-Flow Blower, UKPatent 757543. (1956).
- (3) Laakso, H. : Querstromventilatoren mit Druckkennwerten  $\psi > 4$ , Heiz.-Luft.-Haustech., 8-12(1957), 324
- (4) De Fries, J.R.: 66 Jahre Querstromventilator, VDI -Berichte, Bd. 38 (1959), 75.
- (5) Coester, R. : Theoretishe und experimentelle Untersuch ungen an Querstromgebläsen, Mittei. Instit. Aerodynamik
   ETH, Zurich, Nr. 28 (1959), Leeman.
- (6) E<sub>ck</sub>, B. : Das Schwingshaufelrad, ein neues Schaufelrad für Gebläse und Pumpen , Chemie - Ingenieur Technik, Nr.2(1960).
- (7) Бычков, А.Г.и Коровкин. А.Г.: О Диаметральных Венти ляторах , Промышленная Аэродинамика , Вь1π.24(1962)
   110.
- (8) Tramposch.H. : Cross Flow Fan, ASME Paper, Ma64-WA/ FE-26(1964).
- (9) Dätwyler,G. : Improvements in or relating to Transverse Flow Fans, U.K. Patent 988 712, (1965).
- (10) Zenkner K. : Das hochstabile Querstromgebläse, Maschi nenmarkt, Nr.27(1965).27.
- (11) 村田・井家上:横断流送風機の研究(第1報),機 講論(関西支部),
   (1965-3),33
- (12)村田・井家上:横断流送風機の研究(第2報),機講論(関西支部),(1965-3),37.
- (13)村田・小川・趙・井家上・浜本・榎:横断流送風機の騒音について,機講論(関西支部第217回),1965,39.
- (14) Ilberg, H.& Sadeh , W.Z. : Flow Theory and Pertormance of Tangential Fans , Proc.Inst.Mech.Engrs., Vol 180 Pt

 $1 \% 19(1965 \sim 66), 481.$ 

- (15) ラインフローファン(タンジェンシャルファン)について,冷凍,41-463(昭41),46.
- (16) 森: クロスフローファンの性能について,熊本大学工学部研究報告,15
   -2(昭41),36.
- (17) IKegami, H.& Murata, S.: A Study of Cross Flow Fan Pt 1, A theoretical analysis, Technology Report of Osaka Univ., 16-731(1966), 557.
- (18) 村田・井家上:横断流送風機の特長と問題点(1),機械の研究,18-2
   (1966),245.
- (19)村田・井家上:横断流送風機の特長と問題点(2),
   機械の研究,18-3(1966),386、
- (20)村田・井家上:横断流送風機の研究(第4報),
   機講論(関西支部),(1966-3),5.
- (21) 藤江·石沢:家庭電気用小型送風機,機誌,69-564(昭41-1),99.
- (22)村田・小川・井家上・浜本・榎:横断流送風機の水槽実験,機講論(関西支部学生員卒業研究),(1966-3),96.
- (23) Коровкин, А.Г.: Характеристики Диаметральных Вентиля торов цаги с Различной шириной Колеса, промышл енная Аэродинамика, 28 (1966), 214.
- (24) 村田・小川・志水:内部案内装置を持つ横断流送風機の研究
   (第1報),機講論(関西支部),(1967-3),4.
- (25) 生井・田籠・内藤・加来:貫流送風機の特性に関する研究 第1報
   仕切部形状と羽根角度が性能に及ぼす影響,機講論, Ma 170
   (1967-4),227.
- (26) 生井・田籠・内藤・加来:貫流送風機の特性に関する研究 第2報 ケーシング形状と翼数および出口部案内羽根の影響,機講論, M 184 (1967-10),73.
- (27)村田・小川・井手・志水・松田・神尾:吸込ケーシングを持つ横断流送風機の研究,機講論, M 184(1967-10),77.
- (28) Zenkner, K. : Transverse Flow Fan, British Patent

1066598,(1967)

- (29) 沢井・福永:クロスフローファン吸込口の障壁の影響について、冷凍、 43-494(昭43),24.
- (30)小泉・鈴木:大流量域における横流ファン特性の急変,機講論,
   1968-9),13.
- (31)村田・小川・志水・木下・西原:内部案内装置を持つ横断流送風機の研究
   (第2報),機講論(関西支部),(1968-3),45.
- (32) 生井・田籠・内藤:貫流送風機の特性に関する研究 第3報 ケーシング 形状が性能および翼車付近の流れに及ぼす影響,機講論,
   パム196(1968-8),127.
- (33) ТурБин, Б. Г. : Вентиляторы Сельскохозяйственны х Машин Теория и Технологический Расчет, (1968), Машиностро – ение.
- (34) 山藤・大橋:貫流羽根車の非定常流れてついて、機講論(東京第792回) (1969-9),127.
- (85)村田・小川・西原・浅野・山本:横断流送風機のケーシング形状が性能に 及ぼす影響について(第1報),機講論(関西支部),(1969-3),20.
- (36)鳥居・井手・東条:揺動羽根を持った横断流羽根車の水槽実験,
   機講論(関西支部),(1970-3),50.
- (37) Torii, O., Ide, M., Tojo, C. : A Study of Cross Flow Fan with Swinging Vanes, Bulletin of University of Osaka Prefecture Series A, 19-1(1970), 10
- (38)細田・埋橋・関根:小型送風機の特性,冷凍.45-517(1970),21.
- (39) Porter, A.M.& Markland.E. : A Study of the Cross Flow Fan, J.Mech.Eng.Sci., 12-6(1970), 421.
- (40)村田・西原・山本:横断流送風機のケーシング形状が性格に及ぼす影響に ついて(第2報),機講論(関西支部),(1970-3),12.
- (41) 村田・西原・山本・富士原・辻・真鍋:横断流送風機のケーシング形状が
   性能に及ぼす影響について(第3報),機講論(関西支部),
   (昭46-6),69.
- (42) ライング・エック・ルーディン:クロスフロー型流体機械,

特許公報 昭46-30226,(1971-9).

- (43)山藤:貫流羽根車の流れの研究(第1報:モアレ編による偏心渦形成過程の観察),機講論, M 713-2(1971-3),57.
- (44) 山藤:貫流羽根車の流れの研究(第2報:羽根車定常回転における流れ)
   機講論, % 710-8(1971-8), 197.
- (45) 沢井・前川:正逆両用クロスフローファンの特性,冷凍,47-532(昭47-2),1.
- (46) Preszler, L. & Lajos, T. : Experiments for the Development of the Tangential Flow Fan, Proceedings of the Fourth Conference on Fluid Machinery, Budapest, (1972), 1071.
- (47) Lajos, T. & Preszler, L. : Calculative Method for Sizing the Tangential Flow Fan , Proceedings of the Fourth Conference on Fluid Machinery, Budapest, (1972), 731.
- (48) 山藤:貫赤羽根車の流れの研究(第3報:偏心渦の旋回速度について), 機講論,M6723-2(1972-3),89.
- (49) 山藤:貫流羽根車の流れの研究(第4報:流れの理論),機講論(関西支部),(1973-3),8.
- (50) 山藤:貫流羽根車の流れの研究(第5報:単純なケーシングをつけた場合の流れの解析),第7回空気調和・冷凍連合講演会講論,(1973-4),13.
- (51)村田・西原・田川・広川:横断流送風機のケーシング形状が性能に及ぼす 影響について(第4報),機講論(関西支部),(1973-11),128.
- (52) Lajos, T.& Preszler, L. : Zur Theorie des Querstromgebläses Teil 1. Bauarten, Betriebseigenschaften, Strömungsbild, Geschwindigkeitfelder, HLH, 24-5 (1973-5), 134.
- (53) Lajos, T.& Preszler, L: Zur Theorie des Querströmgebläses Teil 2, Bestimmung der Schaufelzirkulation und Stromungsfeldes und Vergleich der Versuchsergenisse mit der Theorie. HLH 24-6(1973-6), 189.
- (54) Коровкин, А.Г.: Диаметралные Вентиляторы цаги Без Направляющих Аппаратов, Промышленная Аэродинамика, Вblnyck 29, (1973), Машиностроение, 186.
- (55) 村田・西原:横断流送風機に関する研究(第1報 ケーシング形状が送風
機性能に及ぼす影響),機講論(論文講演), M 744-5(1974-3),58.
(56)村田・西原:横断流送風機に関する研究(第2報 性能曲線と内部流動状態),機講論(論文講演), M 740-9,(1974-8),75.

(注) 機講論:日本機械学会講演論文集

機 誌:日本機械学会誌