621-762. 62:621. 43. 013

ラビリンスパッキンからの空気の漏出について*

(理想形および食違い形の場合)

小 茂 鳥 和 生**

The Leakage of Air through the Labyrinth Packing

(On the Ideal Type and the Staggered Type)

by Kazunari KOMOTORI

The characteristics of the leakage loss through the idealized labyrinth packing were obtained by an experiment using an idealized model labyrinth. These results are useful as the standard data to compare the effects of the actual labyrinth packings.

The fundamental characteristics of the staggered type labyrinth packing were also made clear by the experimental works. Especially as regards the effects of the counter-throttling fins the following results were found out: The small counter-throttling fins are useful enough: The leakage loss increases excellently, when the counter-throttling fins are put in a certain state in a pocket or the thickness of the fins are greater than a certain proportion. Moreover, by considering the pressure distribution of the labyrinth packing and the flow patterns, which were observed by using "smoke-tunnel", the function of the staggered type were made clear.

1. 緒 言

直通形を始め実際に近い形のラビリンスパッキンについては、これまで各方面から研究され^{(1)~(5)} 著者も直通形について先に発表した⁽⁶⁾。しかしこれらの結果を比較し、判断するためには、その基準として理想的な状態変化をするラビリンスの特性を知ることが望まれる。これについては Egli⁽¹⁾ や Kearton⁽⁷⁾らにより理論的に説明され、吹抜けその他の影響の加わった場合については著者もさきの一つの推論を示した⁽⁶⁾が、これらはいくまで推論にすぎない。そこで吹抜けその他の影響の加わらない、できるだけ理想状態に近いラビリンスの特性を実験により実現させ、漏出特性、圧力分布などの比較の基準を作り、ラビリンスの効果の判断の資料とすることを試みた。次にそれを基礎にして理想状態と離れた実際の要素、すなわち吹抜けなどを一つずつ明確な形で取り入れて、それが圧力分布などどう影響するかを調べた。

一方単純な食違い形ラビリンスがかなり広く一般に用いられ、Egli⁽¹⁾ などによる研究もあるが系統的に実験されてなく、またその効果に対する判断は必ずしも

妥当ではないと思われる。そこで食違い形ラビリンスについて食違いの程度や逆絞り片の配列などと漏出特性との関係をくわしく実験して、上記理想形の結果と比較し、またその圧力分布を測定し、煙風洞による流れの観察とあわせて、食違いの効果についての考察を試みた。

2. 実験装置および方法

理想的ラビリンスの特性を実現させるための装置としては、第1図に示すような円形絞り口を連続的に設けた装置を用いた。絞り片 B 、そのピッチ l 、絞り片

第1図 理想形実験装置

* 昭和31年11月15日 岡山臨時大会講演会、昭和32年7月11日 札幌臨時大会講演会および昭和33年4月3日 第35期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和34年10月19日。

** 正員、慶応義塾大学工学部(小金井市前原町4)。

の数 n はそれぞれ変化でき、また絞り片を交換して絞り口の形状や直径も変えられる。理想に近い状態変化を実現させるうにまず考えねばならぬ点は吹抜けを無くすることである。そのためには膨脹室内の平均流速を小さくし、また絞り片ピッチを大きくすればよいであろう。そこで円筒の内径およびピッチを大きく、それぞれ $D=80\phi$, $l=83\text{ mm}$ とし、絞り口径は小さく $d=3\phi$, 4ϕ の二とおりとした。また隣り合う絞り口の中心線をたがいに食違わせて、その点からも吹抜けを無くするよう注意した。また絞り口の流量係数 α を変化させてみるために、鋭い前縁のオリフィスと前縁を丸めたノズルの両者につき実験した。

次に他の条件を同じにしたまま、ピッチ l だけを特に小さくして (最小 $l=9\text{ mm}$)、絞り口の中心線を一直線とし、わざと吹抜けを起させた場合についても実験を進めた。

食違い形ラビリンスの装置を第 2 図に示す。外筒 L および C に間隔環 E と正・逆絞り片 B , B' を交互にはめ込み食違い形ラビリンスを形成させる。 E , B , B' を適当にえらぶことにより種々の形が構成できる。本実験で変化させた諸条件は次のとおりである。

初圧力	$P_0 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$	6.0 以下
細げき	$\varepsilon_1 \text{ mm}$	0.6 (一定)
主絞り片厚さ	$\delta_1 \text{ mm}$	1.0 (一定)
逆絞り片厚さ	$\delta_2 \text{ mm}$	1.0~11.0
主絞り片ピッチ	$l \text{ mm}$	7~29
膨脹室内のり	$s \text{ mm}$	$l-\delta_1$
主絞り片高さ	$h_1 \text{ mm}$	0~20.0

第 2 図 食違い形実験装置

逆絞り片高さ	$h_2 \text{ mm}$	0~5.0
逆絞り片位置	$a \text{ mm}$	0~19.0
主絞り片数	n 枚	2~9
逆絞り片数	$(n-1)$ 枚	

これまでの直通形についての筆者の実験結果⁽⁶⁾あるいは下山, 山田の実験⁽⁸⁾から形状については寸法比の等しい場合にはほぼ同一性質を示すことがわかっている。本実験では細げき ε_1 は一定として他の寸法を変化させ、特に食違いの程度 (寸法 h_1 , h_2) および逆絞り片の位置 (寸法 a) とその厚さ δ_2 の影響につき調べた。

両実験とも空気を用い、高压に保ったタンク T_1 からラビリンス部分を通して空気を漏出させる。より高压にしてある別のタンク T_2 から T_1 に測定中も空気を送ることにより T_1 の圧力はほぼ一定に保つことができ、定常状態としての測定ができる。測定は漏出量と同時に各部の温度および圧力分布についても同時に行なう。圧力分布の測定には隣り合った膨脹室間の圧力差 Δp_1 , Δp_2 , ..., Δp_n を順に水銀マノメータに導き、これら多数のマノメータを同時測定する必要上マノメータスタンドを写真に撮り、事後投影器にかけて圧力を読み取った。したがって圧力分布において水銀柱 $\pm 1\text{ mm}$ 程度の誤差はまぬがれないが、これは絶対値に比較して十分無視できる値である。

3. 理想形の実験結果

後に述べる食違い形との比較の便のためにまず理想形についての実験結果を記す。漏出特性を表わすのに次式で示される関数 Φ を用いた。

第 1 表 流量係数

絞り片数 n 枚	初 圧 力 P_0 kg/cm^2 abs	Martin の式による計算値 φ_m	実 験 値			
			ノ ズ ル		オリフィス	
			φ_n	α_n	φ_0	α_0
8	4.1	0.316	0.308	0.97	0.224	0.71
	3.6	0.316	0.312	0.99	0.222	0.70
	3.1	0.314	0.307	0.98	0.220	0.70
	2.6	0.308	0.297	0.96	0.216	0.70
	2.1	0.298	0.278	0.93	0.207	0.70
6	4.1	0.356	0.350	0.98	0.255	0.72
	3.6	0.356	0.348	0.98	0.257	0.72
	3.1	0.355	0.347	0.98	0.254	0.72
	2.6	0.350	0.338	0.97	0.248	0.71
	2.1	0.339	0.324	0.96	0.237	0.70
4	4.1	0.417	0.407	0.98	0.316	0.76
	3.6	0.418	0.404	0.97	0.314	0.75
	3.1	0.417	0.406	0.98	0.310	0.74
	2.6	0.415	0.400	0.96	0.307	0.74
	2.1	0.404	0.389	0.96	0.293	0.73
2	4.1	0.525			0.424	0.81
	3.6	0.531			0.421	0.79
	3.1	0.535			0.421	0.79
	2.6	0.536			0.409	0.76
	2.1	0.531			0.394	0.74

$$\Phi = \varphi \alpha = G/F \cdot \sqrt{g \frac{P_0}{v_0}} \dots\dots\dots (1)$$

ただし G : 漏出量の測定値 kg/s, P_0 : ラビリンス前のガスの圧力 kg/m² abs, v_0 : ラビリンス前のガスの比容積 m³/kg, F : 細げき面積 m².

Φ は一種の無次元数で1枚のノズルを通過するガスの膨脹関数に対応するもので、筆者のこれまでの諸実験でラビリンスの特性の表示にはすべてこれを使用している。

(1) 漏出特性 第3図は上述の装置によって得られた漏出特性の一例である。(a)図は圧力比 $\lambda (= P_n/P_0)$ と Φ との関係を示すもので、 Φ は $\lambda < 0.5$ で n にかかわりなくほぼ一定値となり、これは一つのノズルを通過してガスが膨脹する場合の特性と相似である。図に破線で記入してあるのは Martin の理論式*から求めた値で、本実験結果と傾向はよく一致しているが、数値に多少のずれがある。そこでこの差を一切流量係数 α の相異によると考えて α を求めてみると第1表のようになる。すなわちここに示されている α_n または α_0 は、多数の絞りを一括して表わした流量係数であるが、その値は一般の1枚だけのノズル、あるいはオリフィスについての値と大差なく、また Kearton⁽⁵⁾ が求めた値とも一致している**。絞り片数 n と Φ との関係を両対数グラフで表わしたものが第3図(b)である。実験の範囲内では両者の関係はだいたい直線とみなすことができ、そのこう配は $1/2$ またはそれにごく近く、すなわち $\Phi \propto 1/\sqrt{n}$ の関係がなりたち、これも Martin, Stodola⁽⁹⁾ らの理論と一致している。

(2) 圧力分布 圧力分布の一例を第4図に示す。(a)図は n をパラメータとし、(b)図は P_0 をかえてノズル、オリフィスおよび理論計算値を比較してある。 n や P_0 の変化により圧力分布の傾向は変らず理論値ともよく一致しているが、初めの一、二段の圧力降下が幾分大きく、これは特にオリフィスにおいて著しい。後述するようにこれは α の変化によるものと考えられる。

以上の漏出特性や圧力分布から考えて本装置で得られた結果は、理想化して考えたラビリンスの諸特性とかなりよく一致している。すなわち、理想的ラビリンス

の諸特性が実現されているわけで、これらの数値は後述する食違い形、あるいは直通形など一般ラビリンスの測定値に対する比較の基準として用い得ることがわかる。

(3) 流量係数の変化 一般に絞り口ごとの圧力比は1に近いから、吹抜けの無い場合各絞り口を通過する流れについて次式が適用できる。

$$G = F \cdot \alpha_m \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} [\lambda_m^{2/\kappa} - \lambda_m^{(\kappa+1)/\kappa}] \frac{gP_{m-1}}{v_{m-1}}} \dots\dots\dots (2)$$

ただし κ : 空気の断熱指数 1.4, λ_m : 圧力比 ($= P_{m-1}/P_m$, P_m は m 番めの膨脹室圧力), α_m : m 番めの絞りの流量係数。

G および λ_m は測定してあるから (2) 式から各絞りの

第3図 漏出特性

* Martin の式は、各絞りごとの圧力比が1に近く、かつ理想的状態変化をするという仮定から導かれたもので次式で表わされる⁽¹⁾。

$$\varphi_m = \sqrt{\frac{1-\lambda^2}{n-\log_e \lambda}}$$

λ はラビリンス全体としての圧力比

** Kearton は円環状の絞り口、それが偏心した場合、および円口状のオリフィスの流量係数を比較して、それぞれの間に大差のないことを示している。

口の流量係数 α_m を求めることができる。第5図は諸条件による α_m の変化を图示したもので、ノズルではこの値が 0.97~0.94 の範囲にあって各段ごとの差もまた絞り片数 n による差も少ない。オリフィスでは第

第 4 図

一段めの係数 α_1 が明らかに小さく 0.62~0.66 であるが、第二段め以下で 0.7 前後まで増加し、この関係は n に無関係である。実験では第一段の絞りの前に十分な直管部分を設け流れの状態を一様を保つようにしてある。しかるに第二段め以降では絞りを通過して乱された流れが直接流入するわけであるから、 α の変化することは考え得る事である。最終段の α が著しく増加しているのは圧力比 λ_n が小さく臨界圧に近いから、それ以下となる場合でその場合 α が増すことは、Kearton⁽⁷⁾ の結果とも一致している。このように α_m は各段について異なるものであるがその差はそれほど大きくない。したがって一般の漏出量の計算に当っては第1表に示されている全体としての値 α_0 または α_n を用いればよいであろう。

(4) 吹抜けのある場合の実験 上記の理想形の実験結果に吹抜け、すなわち絞り口直前の近寄り速度の影響だけを加えて考えたい。そのためには吹抜けに最も影響すると思われる絞り片のピッチ l を小さくして、かつ絞り口の中心線が一直線となるように配列すれば、他の条件は同一のまま吹抜けを生じさせることができるであろう。そのうえでさらに l を変化させれば吹抜けの程度を変えることもでき、その結果をさきの理想形と比較すれば吹抜けだけの影響が明確にできるであろう。以上の目的で上述の装置でピッチ l だけを変えて実験を行なった。その結果の一例を第6図に示す。

(a) 絞り片ピッチが変わった場合の漏出量

(b) 吹抜け係数

第 6 図

(a) 図は l と Φ との関係, (b) 図はさらに Fa/l^2 と吹抜け係数 ν^* との関係に描き直したものである。 l の減少による Φ の増加は著しく, また絞り口径の差, オリフィスとノズルにより (α の差により) 漏出量には差があるが, (b) 図のように描き直した場合多少のばらつきを無視すればほぼ統一して表わせることがわかる。図中に直通形に関する先の実験結果⁽⁶⁾と筆者の計算結果⁽⁶⁾(横軸は ε/l で表わされている)とを示してあり, これともかなりよく一致している。すなわちこのように絞り口が一直線に, さえぎるものなく並んでいる場合には, 一定角度で広がる流れを考えた吹抜けについての先報の考え方が妥当であることを示すものである。この場合の圧力分布の例を第4図(b)に記入してある。理想形にくらべて最大の相異は1段めの圧力降下が異常に大きいことで, これは吹抜け量の大きい場合ほど著しいことが知られる。すなわちこれが吹抜けを伴う場合の一つの特徴で, 第一段めの圧力降下によって得られた速度は理想的ラビリンスのよ

* 吹抜けの無い場合とある場合との漏出量をそれぞれ G_0 , G_ν とし, 吹抜け係数を次式で表わす⁽⁶⁾。

$$\nu = G_\nu / G_0$$

第 7 図 圧力比-ラビリンス関数

第 8 図 主絞り片ピッチと Φ との関係

うに膨張室内で熱には還元されず, そのまま流出してゆくことを物語るものである。

4. 食違い形に関する実験結果

(1) 漏出特性 (a) 初圧力および絞り片ピッチの影響 いろいろな食違い条件において初圧力 P_0 とラビリンス関数 Φ との関係を第7図に示す。条件により Φ の差はあるが λ が 0.5 以下ではだいたい一定となる。この傾向は逆絞り片の大きさや位置に全くかわりなく, しかも第3図理想形の場合と相似である。第8図は主絞り片ピッチの影響を示すもので, 直通形実験値⁽⁶⁾および前述の理想形実験値〔第3図(a)または第1表〕と比較してある。直通形では第6図からもわかるようにそのピッチが本質

的に漏出量に大きな影響をおよぼしており、これは前述のとおり吹抜けがピッチに密接に関係していることによる。しかるに食違い形ではほとんどその影響が無い。すなわち絞り口を通った流れがそのまま次の絞り口に入流することは逆絞り片で防がれ、したがって食違い形ではピッチを増加させることの無意味なことがわかる。また絞り片数 n と Φ との関係も理想形と同様で、前述の $\Phi \propto 1/\sqrt{n}$ の関係 (248 ページ参照) がなりたつ。以上のように食違い形といえどもラビリンスとしての基本特性は理想形や直通形と同様である。

(b) 逆絞り片の高さ h_2 が変わった場合 n, s, ϵ_1 などの諸条件を一定とし、主絞り片の高さ h_1 も一定のまま、逆絞り片の高さ h_2 だけを変えて漏出量の変化を調べた。第 9 図がその一例で食違いの程度、すなわち h_2 と ϵ_1 との比 h_2/ϵ_1 を横軸とし h_1 をパラメータとし描いてある。図の左端 $h_2/\epsilon_1=0$ の点は極限として逆絞り片の高さが 0 になった場合、すなわち直通形にあたり、大きな吹抜けの存在により漏出量も多い。それに対して $h_2/\epsilon_1=0.5$ 程度のごく小さな逆絞り片があるだけで漏れは著減することがわかる。 h_1 が異なってもこれらの傾向は同様である。図中に破線で記入してある $\Phi=\text{一定}$ の直線は前記の理想形の実験値(第 3 図または第 1 表)で、これと比較してみると $h_2/\epsilon_1=1.0$ 、すなわち細げき寸法と同じ程度の高さの、

ごく小さな逆絞り片があるだけで、すでに理想形とほぼ同じ漏出量となることがわかる。ただしこれは本質的に吹抜けが無くなったのではなく、流路が屈曲することにより、うずその他による損失が増し、それが多少の吹抜けの存在をおぎなって、漏出量だけが理想形に近くなった、と考えるのが妥当であろう。この点は後述する流れの観察、および圧力分布の測定結果からも推察される。第 9 図の中で $h_1=5.0$ の場合に $h_2/\epsilon_1=8.3(h_2=5.0)$ で、また $h_1=2.5$ でも $h_2/\epsilon_1=4.2(h_2=2.5)$ で漏れが著減しているのは逆絞り片の高さ h_2 が h_1 と等しくなり、したがって $\epsilon_2=\epsilon_1=0.6$ となった場合に当り、いわば絞り片数が $(2n-1)$ に増加したことにはほかならない。それゆえ漏れの減少も当然であるが、絞り片数 $(2n-1)$ 枚の理想形よりはやはり漏れが大きく、この点からも吹抜けが残っていることがわかる。以上の逆絞り片の効果は圧力比、絞り片数などが変化しても全く変わらない。

(c) 主絞り片の高さ h_1 が変わった場合 上述の結果から $h_2/\epsilon_1=1\sim 2$ でほとんど理想形と同程度の漏出量となることがわかったので、次に h_2 をその値 ($h_2=1.0, h_2/\epsilon_1=1.7$) に保ち、 h_1 を変えて実験した。その結果を第 10 図に示す。 h_1 がある程度以上大きい時 Φ はだいたい一定であるが、 h_1 が小さく $h_1/\epsilon_1=2.5$ 附近で漏れの増加がある。これは膨脹室容積の減少により単純な流路に近くなり、流れの抵抗が減少したためと解される。 $h_1/\epsilon_1=1$ で漏れが減るのは前述のように $\epsilon_1=\epsilon_2$ となったためである。また $h_1=h_2$ (したがって $\epsilon_1=\epsilon_2$) として同時に h_1, h_2 を変えたときの結果が第 10 図に破線で記入してある。この場合当然ながらある深さまで漏れは減るが $h_1/\epsilon_1=4$ くらいから先一定値となる。

第 9 図 逆絞り片高さの影響

第 10 図 h_1 の効果

(d) 逆絞り片の位置が変わった場合 逆絞り片の位置(寸法 a)を膨脹室内で移動させた場合、逆絞り片が前方に寄ると(a が小さくなると)漏れが著しく増大する現象が見出された。第 11 図 (a), (b) にその結果が示してある。(a) 図は初圧力 P_0 をパラメータとして表わしたもので、 $a=0$ および $a=12$ ではいずれも正、逆両絞り片が密着する状態であるから漏れは無いはずである。その中間で逆絞り片が中央付近にあるとき、すなわち $a=2\sim 10$ の広い範囲で漏れはほとんど変っていない。 a がさらに大きくなり逆絞り片が次の絞り片に近づくとき、漏れはやや減少する。それに反して逆絞り片が前方に寄り $a=0.5\sim 1.0$ のごく小さい値となると、漏れは逆に急激な増加を示し、しかもこの傾向は h_1 , h_2 や初圧力 P_0 の変化にかかわらずに現われている。

第 11 図 (b) は $h_1=10$ (一定) の場合に h_2 をかえて比較したもので a/s を横軸としている。 h_2 の大小にかかわらず (a) 図と同じ傾向を示す。漏れの増加

第 11 図 逆絞り片の位置の影響

の割合は逆絞り片が中央にある場合に対して最大20～25%にも達し、しかも h_2 が小さいほど a の変化による漏れの増減の程度が著しい。この事実は實際上重要で、たとえば熱膨脹その他で軸とケーシング側との相対位置がずれて、上記のような状態となったとき、20～25%も漏れが増すわけで、構造を複雑にしながら直通形と大差ない漏れを生ずることになる。このような点はこれまであまり問題とされていなかったと思われるが、今後食違い形ラビリンスの設計と組立てに当り注意すべきであろう。以上のような現象の生ずる理由は簡単には断じ得ないが、圧力分布の測定結果と膨脹室内の流れの観察にもとづき次節で説明する。

(e) 逆絞り片の厚さ δ_2 が変わった場合 軸に浅いみぞを切り出して、第 12 図 (a) のような形に逆絞り片を形成させることが實際上しばしば行なわれる。このような場合の厚さ δ_2 の影響が第 12 図 (c) に示されている。逆絞り片の二とおりの高さ h_2 について、おのおの δ_2 を広い範囲に変えて実験したもので、高さ h_2 の変化による漏れの大きな差はなく、い

$P_0=4.1 \text{ kg/cm}^2 a$, $h_1=10.0 \text{ mm}$
 $n=6$ 枚, $s=13.0 \text{ mm}$
 $\epsilon_1=0.6 \text{ mm}$, $\delta_1=1.0 \text{ mm}$

第 12 図 逆絞り片の厚さの影響

ずれも $\delta_2/s=0.25$ 附近に浅い最小点が見出される。一方 δ_2 が大きくなるにつれて漏れは増加し、 δ_2 が s に近づくにしたがって、すなわち主絞り片とのすきま a がごく小さくなるにつれて、漏れの増加がみとめられる。この点が前述の第 11 図の寸法 a の変化と漏れとの関係と共通していることは興味深い。そこで第 11 図(b) に示した結果の横軸を $(s-2a)/s$ に描き改めて第 12 図(c) に記入してみた。○+で示したのがそれで曲線は共通に 1 本だけ引いてある。 δ_2/s が 1 に近い

部分で曲線の傾向、数値ともきわめてよく一致することがわかる。すなわち第 12 図(b) の D で示された部分は実体のあるなしにかかわらず、すきま a が等しい場合には漏れ止めの作用に変わらないといえる。この理由については次節で述べる。

(2) 圧力分布 上述の漏出特性を測定すると同時に各膨脹室間の圧力分布を測定してある。いまそれらを漏出特性と対応させて考えよう。第 13 図はその一例で、 $h_1=5$ (一定) のとき、いくつかの逆絞り片 (h_2) につき比較したものである。この場合圧力はいずれも同一膨脹室内 2 箇所ずつで測っている。図の $h_2=0$ の場合は直通形にほかならず、吹抜けのため最

(a) 圧力分布

(b) 膨脹室内の圧力変化

第 13 図

食違い形, $n=6$ 枚
 $P_0=4.12 \text{ kg/cm}^2 a$, $\epsilon_1=0.6 \text{ mm}$
 $h_1=10.0 \text{ mm}$, $a=6 \text{ mm}$

第 14 図 逆絞り片高さと各段の圧力比

初の絞りにおける圧力降下が非常に大きいことは前節に示したとおりである。 $h_2=5$ の場合は正逆両絞り片の高さが等しく、したがって $\epsilon_1=\epsilon_2$ となった場合で逆絞り片によって二つの膨脹室に分けられたと考えるべきである。圧力測定口も2室に分けられおり圧力は順次に降下している。以上の両極端の中間が一般的な食違い形である。第9図によれば $h_2=1.5$ では漏出量は理想形とほとんど等しいにもかかわらず、圧力分布の形は同じではない。すなわち第一段めの圧力降下は理想形よりもかなり大きく、むしろ $h_2=0$ すなわち直通形に近くなっている。このことはこの圧力降下が決して考えられているような等エントロピ変化ではなく、膨脹の際の損失の非常に大きいことを示しているものと解すべきであろう。さらにこの場合にもまた直通形の場合でも同一室内でかなりの圧力差が見られ、これも理想形とは異なるところである。しかも一般に下流側の圧力 P_b が上流側の圧力 P_f より大きく、変化の割合は正逆絞り片の高さにより変化している。第13図(b)はこの関係を示すもので、 m 番め ($m=1, 2, \dots, n$) の膨脹室の後と前の測定口の圧力比 ($P_b/P_f=\lambda'$) を縦軸として図示してある。この例では $h_2=0.6$ に顕著な山があり、また最後段の変化が最も大きい。

第14図は $h_1=10$ の場合に同一室内の圧力比 λ_m' のほかに各絞りごとの圧力比 λ_m も同時に示してあり、これは第9図の h_2 に対する漏出量変化の図に対応する。これらの圧力分布からも明らかなように食違い形膨脹室内での流れの変化は、当然のことながら理

想形よりはるかに複雑で、また次に述べる流れの観察の結果からみても、食違い形の効果を単純に直接の吹抜け防止効果のみで律することはできない。

(3) 流れの観察 ラビリンスの効果を考える上に内部の流れの状態が重要な意義を持っていることはいうまでもない。そこで著者はさきに二次元的な煙風洞を用いてラビリンス内の流れを観察し、その結果を公表したが⁽¹⁰⁾、食違い形についてもここに同様の実験を行なった。模型は細げき $\epsilon=50$ mm, その部分でのレイノルズ数約 5×10^4 となる。

第15図に流れの写真およびスケッチを示す。絞り片が中央附近にある場合には、(a)(b)図に見られるように絞り口を通り逆絞り片に衝突した主流は下向き(図の上で)に曲げられ、さらに次の絞り片に衝突し、 $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ のような主として三つのうずを形成する。これらはもちろん安定ではなく、主流からエネルギーを供給されながらたえず消長をくりかえしている。このうずによる損失が食違い形の重要な効果であることは圧力分布の上からもみとめられよう。一方(c)図のような大きな逆絞り片が存在しても流れの本質は変わらないのみか、むしろうずは単純化し、したがってその点からも逆絞り片を大きくしても効果の少ないことが予想できる。

逆絞り片が多少前方に寄っても流れに大きな変化はないが、(d)(e)図のように極端に前方にある場合には、主絞り片との間で吹出し口のような状態が形成され、逆絞り片の背後にはやや安定な一つのうずが形成される。このようなうずの存在は、第12図(b)に示

第15図 膨脹室内の流れ

したように D 部分に実体があるのと全く同様で、流れはかえって単純となる。このことは膨脹室内でうずにより運動エネルギーが熱に転換されるという理想的ラビリンスの条件が失われることを意味し、次の絞りに持ち越される運動エネルギーが増加し、第 11, 12 図に示されるように漏れの増加が生じたものと考えられる。またこう考えるとき第 11, 12 図の共通性が理解されよう。このような安定したうずが実体の存在と同様の効果を示し、漏れの増加を助長することはさきに直通形においても認められている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。逆絞り片が後方に寄り (f) 図のようになると流れは (d) 図ほど安定ではなく、特に h_2 が小さいとき次の絞りの入口で強い下向きの流れを生じており、したがってこの部分での縮流も大きく漏れは減少するのであろう。

以上のような煙風胴による流れの観察だけからすべてを論ずることはできないが、これを前述の圧力分布の測定結果とあわせて考えると、いちおうの結論が得られよう。すなわち逆絞り片の効果は Egli が述べているように、一つの絞りを通った流れが直接次の絞りに流入することを防ぐことだけでなく、むしろ膨脹室内に複雑なうずを生じさせ、それによる損失の増加を積極的に利用したものとするのが妥当である。そしてこれはどのような形にしろ、有効なラビリンスを設計する上に常に考慮すべき点である。

5. 結 言

理論的にのみ考え得る理想的な状態化をするラビリンスを模型的に実現させることをこころみ、ほとんど

理想形に近い漏出特性と圧力分布等を得ることができた。したがってこれらの値は各種の実験的なラビリンスに対する比較の基準として用い得るものである。またこの際の流量係数の変化などを示した。次にこれをもとにして、吹抜けの現象だけを取り入れて、それが漏れや圧力分布等はどう影響しているかを調べた。

さらに食違い形ラビリンスについて、その食違いの程度や形状の影響をくわしく調べ、前述の理想形と比較してその漏出特性を明らかにし、ごく小さな逆絞り片でも十分効果のあること、逆絞り片の位置あるいはその厚さによってはかえって漏れが増加することもあるという事実を見出した。さらに圧力分布、流れの観察とあわせて食違い形の効果を論じた。

終りに実験に際し熱心に協力された日高幸雄、尾上文男両君に心から感謝する次第である。

文 献

- (1) A. Egli, *Trans. ASME*, **57**, 3 (1935), 115.
- (2) C. Keller, *Escher Wyss Mitt.*, Nov/Dez (1935), 160.
- (3) *Escher Wyss News*, **23/24** (1950/51), 14.
- (4) 馬杉, 運輸技術研究所報告, **2**, 12 (昭 27) 1; **5**, 9 (昭 30), 24.
- (5) K.H. Grodeck, *Forsch. Ing.-Wesen.*, **23**, 5 (1957), 183.
- (6) 小茂島, 機械学会論文集, **21**, 105 (昭 30-5), 377; **21**, 108, (昭 30-8), 608; **22**, 121 (昭 31-9), 674; **23**, 129, (昭 32-5), 330; **23**, 133, (昭 32-9), 617.
- (7) W.J. Kearson, *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, **116**, 2 (1952), 180.
- (8) 下山, 山田, 機械学会論文集, **23**, 125, (昭 32-1), 44.
- (9) A. Stodola, *Steam & Gasturbine*, **1**, (1927), 186.
- (10) K. Komotori, *Proc. Faculty of Engng. Keio Univ.*, **9**, 33 (1956), 1.

石炭技術研究所発足 [その2]

(石炭業界の研究すべき新技術)

3. 松岩予知法の研究 現在、切羽の 40 % ぐらいを松岩(堅い岩の一種)が占めているため、カッターなどの切削機械を使用する際、鉦員は機械の性能をフルに発揮できないで弱っている。

しかし、今後の採炭切羽には機械化による合理化が強く要請されているので、松岩対策は早急に行なわなければならない。

いまのところ、松岩は炭層中に不規則に存在し、しかも予知しえないでいる。このため松岩と石炭の持つ電気的特性を研究しながら松岩探知機の試作を進め、あらかじめ松岩の存在位置と大きさを知るような方法を探究する。

4. 水力採炭と輸送法の研究 圧力を持った水で

切羽の石炭を掘ると同時に、これに連なる坑口までの石炭の輸送をパイプを通じて水と一緒に引き出すもので、この方式はソ連、中共、ポーランド、チェコなどで広範囲に実施されている。

これらの炭鉦の報告によると、生産能率は坑内外全員当り、普通炭鉦に比べて 3.4 倍、建設費 4 割減、生産コストは 1/2 に縮小できたという。

わが国では神林炭鉦が水力輸送の中間試験を完成しているが、水力採炭については皆無であるから、1, 2 年のうちにテストを重ねて、わが国炭鉦に適するかどうかの結論を出し、新長期計画(昭和 38 年度までに炭価をトン当り 800 円引下げる)におけるコストの大幅削減に役立てるように努める。

(服部 敏夫)