

報告番号

※<sup>乙</sup>第1382号

## 主論文の要旨

題名 複数个の曲りを持つ曲管路の  
流動と損失に関する研究

氏名 清水 幸丸

## 主論文の要旨

氏名

清水 幸丸

近年、工業の発達に伴い、流体の流動を扱うことが多く、特に管路、ダクト内の流動に関する知識は工学の多くの分野において必要とされている。その代表的なものとして、直管内の流れ、曲管内の流れ、その他の流体要素（バルブ、オリフィス、ノズル、ディフューザ等）内の流れ、および斜根車や回転流路内の流れのように運動系における流動がある。

本論文は静止系の内部流れの一つである、複数の曲管が近接して連続的に接続されている曲管路における、流動と損失に関する問題を取り扱ったものである。

この種の曲り流路は、流体機械はもちろんのこと、化学プラント、原子カプラント、液体・気体の輸送系、冷暖房設備、内燃機関の流路系等、流動を扱うあらゆる分野においてみられる。

このような曲管路においては、流体が曲り部通過時に遠心力を受けるため複雑な二次流れが生じ、速度分布が不均一になり曲り相互間に干渉が生じる。この結果、曲り損失はもちろんのこと内部の流動状態も、管路の曲げ状態に応じて多様な変化を示し複雑になる。したがって、この方面の研究は実用上重要であるにもかかわらず未解決の問題が多く残されている。それらの問題には、複数の曲りを持つ曲管路において、曲り状態が種々の収じれる字状になっている場合の流動と損失の間

## 主論文の要旨

氏名

清水 幸丸

題がある。特に、JISエルボのように曲率半径が小さい場合には、曲り相互の干渉が大きく、損失に関して不明であるばかりでなく、流動状態も未知のままである。筆者らの研究によれば、ねじれる字状曲りにおいては、曲りの影響が曲り後方管直径の約200倍にも及ぶ。この数値は、従来の研究からは予想されていない大きなものであるから、従来測定されているねじれる字状曲りの損失は、このような事実に対する配慮なしに得られたものであるため、場合によつては正しい曲り損失係数を与えていないように見受けられる。さらにまた、曲管壁面あうさの損失に及ぼす影響も未検討の状態にある。

本論文は、このような問題点を明らかにするため、複数個の曲りを持つ曲管路の流動損失と内部の流動状態との関連を実験的ならびに理論的に調べ考察を試みたものである。以下本論文の各章において明らかとなつた要点をここに総括する。

第1章では、複数個の曲管を連続的に用いて曲げられた曲管路内の流動状態およびその曲り損失を明らかにするため、過去になされた曲管路についての研究成果を述べるとともに現在の問題点を指摘し、本論文の目的と意義を明らかにしている。

## 主論文の要旨

氏名

清水 幸丸

第2章では、曲管路で生じる曲り損失の発生機構を解明するため、曲り内外壁面間の遠心力に基づく壁圧差と曲り内の二次流れの関係を検討し、曲り損失と二次流れの一般的な関係を明らかにしている。さらに、曲り損失および二次流れ強度を表わす式を導いている。

第3章では、本研究において用いた実験の装置および方法について説明を行っている。

第4章では、一重曲り管路の流動と損失について述べている。特に、従来の多くの研究にもかかわらずなお不明である問題、すなわち、曲りで発生する二次流れ強度、曲り内の二次流れ、曲り内部と曲り後方の損失割合、壁面あらしと曲り損失の關係に主眼をおき、これらを実験的に明らかにし、その結果に検討を加え、次ぎの事実を明らかにしている。

(1) 一重曲り管路内の二次流れは、曲管の曲げ角が $90^\circ$ 程度までは曲げ角が大きいほど強くなるが、それ以上の角度になると逆に減少する。この事実に対応して、曲げ角による曲り損失の変化傾向も変わる。

(2) 曲率半径比が比較的小さい場合、すなわち $R/r \leq 6$ の場合には一重曲りの全曲り損失に対する内部損失の割合は、25~30%程度である。

## 主論文の要旨

氏名

清水 幸丸

(3) 曲管内壁面あらさの曲り損失に対する影響は、直管におけるあらさの損失に対する影響よりやや大きい。曲り状態が同じ場合、壁面があらくなるほど曲り内部ではく離流れが生じ易く、流れ状態は同じ壁面あらさの曲管で曲り状態を急激にした場合の流れに近づく。

第5章では、二重曲り管路の流動と損失が曲り要素相互の間隔、設置角度および曲率半径を変えた場合いかに変化するかを明らかにし、また曲管の壁面あらさおよびレイノルズ数が流動と損失にいかなる影響を及ぼすかを調べている。さらに、曲り要素の角度の影響を市販の90°エルボおよび45°エルボを用いて明らかにし、次ぎの事実を明らかにしている。

(1) 二重曲り管路の曲り損失は、レイノルズ数  $Re$  が  $10^5$  以上では  $Re$  の影響をほとんど受けない。

(2) 曲り損失は、一重曲りの場合より曲率半径比  $R/r_w$  によって大きく変化する。 $R/r_w \leq 1.6$  においては、曲り内側で流れがはく離するため、 $R/r_w \geq 3$  の場合とは損失と流れ状態は著しく異なる。

(3) 曲り損失は曲り内壁の相対あらさの影響を強く受け、あらさが大きいほど壁面摩擦損失以外の二次流れや乱れに基づく付加損失が大きくなる。

## 主論文の要旨

氏名

清水 幸丸

(4) 平面の字状二重曲りにおいては、曲りの間隔の小さいとき ( $L_m < 2.5d$ ) には、上流側の曲り部で生じた一対の対称の二次流れは下流側の曲りで対称性が保持された状態で強められる。

(5) (4)と同じく平面の字曲りにおいて、曲り間隔が大きく  $L_m > 2.5d$  の場合には、第2曲りにおいては第1曲りと逆方向の対称二次流れが発生し、曲り後の二次流れは単独曲りの場合の二次流れより弱くなる。

(6) 空間曲りにおいては、曲りの下流側では上流の曲りで生じた不均一軸速度流のため、管路に沿って軸速度が波状に変化し、これに応じて二次流れの旋回方向が変化する。

(7) 曲率半径比の小さい  $R/r_w < 3$ 、かつ  $L_m < 5d$  の場合、空間曲り後には強い一方向旋回流が生じ、最大の場合には曲り後方管径の約160倍にも達する。

(8) 曲率半径比が小さい  $R/r_w < 3$  の曲管を用いた場合、曲管間隔  $L_m$  が管径  $d$  の5倍以下すなわち  $L_m/d < 5$  であれば曲管相互の干渉は強く、曲り損失は管路の曲り角  $\psi$  に大きく依存して変化し、 $\psi = 0^\circ$  で最小、 $\psi \approx 135^\circ$  で最大、 $\psi = 180^\circ$  で中間の値をとる。 $L_m < 1d$  では、この最大値は1個の曲りのみの損失の2倍すなわち2 $\zeta$ より大きい。 $L_m \geq 10d$  であれば、曲り損失は管路曲り角  $\psi$  にほとんど無関係になるが、干渉の影響は

## 主論文の要旨

氏名

清水 幸丸

$L_m \div 50\alpha$ までは残る。

(9) 曲率半径比が比較的大きい  $R/r_w \geq 3$  の場合は、曲り損失は上記(8)の場合と同様。  $\psi = 0^\circ$  で最小、空間性の強い  $\psi = 90^\circ \sim 135^\circ$  の間で最大、  $\psi = 180^\circ$  で中間の値をとる。しかし、この最大値は1個の曲り損失の2倍すなわちえらより小さい。なお、干渉の生じる曲り間隔  $L_m$  は上記(8)の場合と同程度である。

第6章では、三重曲り管路の流動と損失を、曲り要素相互の間隔および設置角度を変化させて測定し、流動と損失の関係を明らかにしている。また、曲り要素の角度の影響を明らかにするため市販の  $90^\circ$  エルボおよび  $45^\circ$  エルボを用い、その結果を比較し検討し、次ぎの事実を明らかにしている。

(1) 管路に3個のエルボを連続的に設置した場合、その曲り損失係数  $\zeta_3$  の1個の曲りによる損失係数  $\zeta_1$  に対する比  $\zeta_3/\zeta_1$  は、曲り間隔  $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ , 管路曲げ角  $\psi$ ,  $\phi$  により複雑に変化する。

(2) 管路の曲り角度  $\psi$ ,  $\phi$ , 曲り間隔  $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$  を変え、曲りで生じる二次旋回流の大きさと方向を測定し、曲り部の壁面に沿って曲り内外壁面の圧力差の分布を求め、その結果に基づき曲り部で発生する二次流れの方向と大きさを推定することができるとを示した。そして、曲り損失と旋回流の関連についてもある程度解明す

## 主論文の要旨

氏名

清水 幸丸

る手がかりを得た。

(3) 曲りが1個の場合には曲管の曲り角度と損失の関係はほぼ比例する。すなわち $45^\circ$ エルボによる曲り損失は、 $90^\circ$ エルボのほぼ $\frac{1}{2}$ である。しかしこの関係は、曲りの個数が増すと異なり、この比例関係が成立しなくなる。

(4) 曲り角度が $45^\circ$ のエルボでは、その倍の曲り角度をもつ $90^\circ$ エルボよりも、曲りの入口の流れ状態が出口にまでよく伝達される。したがって、複数列組合わせた曲管においては、その損失ならびに流れ状態は曲り要素の角度により相当大きく異なる。

第7章では、曲り要素を4個以上持つ曲管路の流動と損失を求めるため、最高6個までのJISねじ込式 $90^\circ$ および $45^\circ$ エルボを用いて実験を行い、多数の曲りを持つ管路の流動と損失の一般的関係を調べ、次ぎの事実を明らかにしている。

(1) 多数の曲りをもつ管路においては、その曲りの組合わせ方により管路の曲り状態はきわめて複雑になるが、一般に $90^\circ$ 、 $45^\circ$ エルボともに曲り要素を5~6個を用いた結果が知られると、無限個の曲りをもつ管路の状態が推定される。すなわち曲り要素5~6個を連続して設置すると、曲り相互の干渉はほぼ飽和状態に達すると推定され、この場合、全曲り損失および管路



主論文の要旨

氏名

清水 幸丸

に発生する二次旋回流の強度も一定値に達する。

第8章では、複数個の曲りを連続的に用いた場合、下流側の曲り内に発生するだ行性旋回流を理論的に解析している。

第9章では、一重、二重、三重に曲げられた管路の流動損失を求める実験式を求め、その精度について検討を加えている。

第10章では、本研究で得られた全体の結論を述べている。