

氏 名	いけ だ りゅう じ 池 田 隆 治
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭 和 62 年 1 月 14 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 23 年 3 月 東北大学工学部機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	分岐・合流管のキャピテーションに関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 大場利三郎 東北大学教授 嶋 章 東北大学教授 小林 陵二 東北大学教授 神山 新一

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

分岐・合流管は流体機械・機器および管路網の連結要素として、古来、種々の形式のものが数多く使われてきている。また、近年、生体工学の分野で動脈硬化症や血栓症などの血管病変が限局的に発現し、その好発部位が主要動脈の分岐部にあることから生体工学の分野からも流体力学との関連で分岐管の研究が盛んに行われる様になってきている。

分岐・合流管は、一本の主管から側方に支管が分かれている形と、一本の主管が Y 形に 2 本の支管に分かれる形がある。管路形状のうえからは直管と曲り管の単純な組合せであっても、内部の流れは非常に複雑で、関連するパラメータも多く、かつ、同形の管でも分岐と合流の場合とでは、内部の流れが全く異なっている。

これらの分岐・合流管の損失の評価は、管路網の計算、設計の際に重要な資料となるので、これまでも数多くの研究がなされている。しかし、分岐・合流管において、流量が増大したり、あるいは、圧力が低下する場合には、管内にキャピテーションが発生することがあり得るが、管内にキャピテーションが発生した場合の管路抵抗についての研究はほとんど見当たらない。ひとたび管内にキャピテーションが発生すれば、分岐・合流管における損失あるいは流量分配などの基本特性への影響が考えられるばかりでなく、キャピテーション発生領域はもちろん多量のキャピテーション核（以下単に核という）が供給される下流の管路部の壊食、振動などの重大な障害を招来すること

も考えられるので、この種のキャビテーションの解明は重要な工学的課題の一つである。

先に、国際試験水槽会議の提案によって、同一形状の軸対称物体について各国の試験水槽により比較実験が行われ、その結果、「キャビテーションの様相は同一試片、流速およびキャビテーション係数の下でも大いに異なる」というジョンソン効果が見いだされ、多くの既存の研究結果の再検討が迫られている。ジョンソン効果が知られるようになった今日のキャビテーション試験においては、その効果の支配因子の一つである試験水槽内、特に測定部の核分布の明示は不可欠の条件と言える。

本研究では、実験に用いた地下貯水槽および試験水槽内の試料水の空気含有量、核分布の詳細な資料を提示した上で、キャビテーションが発生したときの分岐・合流管の損失や分配等のキャビテーション特性、キャビテーションのタイプおよび発生状況、キャビテーション気泡核の状態などを解明する。

## 第2章 合流管の流れの解析

分岐・合流管における損失の解析的評価の一試みとして、はく離を伴う直角合流管（T字管）流れを例に取り、二次元ポテンシャル流れとしてHelmholtz-Kirchhoffの不連続流れの取扱いを採用し、はく離自由流線の形状、合流後の流れの収縮係数などを求めた。解析にはホドグラフ法と等角写像法を併用した。

## 第3章 分岐・合流管のキャビテーション特性

工業上最も普通で使用される直角分岐・合流管を取り上げ、本流と支流の接合部のかど（以下、単にかどという）が鋭い $90^\circ$ をなす正方形断面のT字管を合流管および分岐管として用いた場合に管内に発生するキャビテーションの発生条件およびキャビテーションの発生下における損失特性を実験的に明らかにした。また、かどに丸みを持たせるか面を取ると、分岐損失係数が減少することはよく知られているが、損失が減るとキャビテーション特性の上からも、その改善が期待される。よって、かどを丸めた低損失形の直角分岐管を用いて、かどの丸みの曲率半径を種々に変えた場合の実験を行い、分岐管に発生するキャビテーションのタイプ、初生条件、発生領域の平均的広がりおよび分岐損失係数に及ぼす曲率半径の影響などを明らかにした。

分岐管において観測されるキャビテーションは、図1に示す2種に大別される。すなわち、分岐管の上下壁近くの二次流れの渦核内に現れる渦形キャビテーション（以下ではこれを渦泡と称し、記号 $C_1$ で図示する）と支管の上流壁のかどAよりはく離するはく離域内に現れる付着キャビテーション（以下単に付着泡と称し、

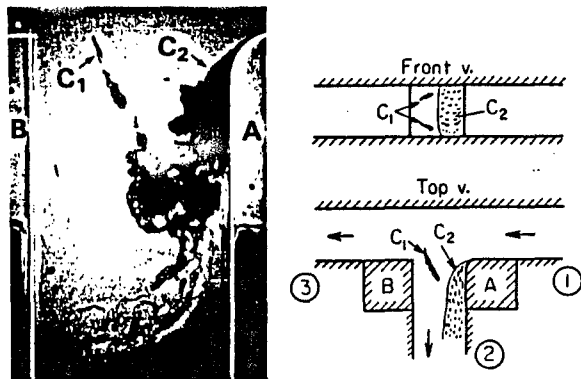


図1 2種のキャビテーションの発生の様相

記号C<sub>2</sub>で図示する)の2種である。キャビテーション係数 $\sigma_1$ を低下(したがって流速を増加)させていくと、支管の入口中央付近で渦泡が視覚的(ストロボ光による観察)にも認められる。一層 $\sigma_1$ が低下し渦泡が支流の下流の方まで延びると、初めて付着泡の初生が視認される。この渦泡は付着泡に比し初生がかなり早いばかりでなく、騒音(多分、壊食性衝撃圧も)も著しく高い。

これらの分岐管に生じる二次渦あるいははく離泡まわりのキャビテーション気泡の様相を明らかにする目的で、2種のキャビテーションの挙動を立体高速映画ならびに瞬間写真により撮り、キャビテーション気泡の種類、その多元的構成、挙動、相互干渉、発生領域などを明らかにした。渦泡の上流側(静圧が比較的高い)では、渦核内に微小気泡が確率的に分布している気泡キャビテーション(典型的なサブキャビテーション(以下Sub.Cと称す))の様相を呈するが、低静圧の下流側に行くにつれて、その気泡数あるいは径が次第に増加・増大して数珠状キャビテーションをへて、ついにはひも状の渦泡(一種のスーパーキャビテーション空洞(以下SCと称す)とも言える)に発達する。そして、下流側では付着泡との相互干渉により巨大な塊状気泡に移行し、さらに下流の圧力回復領域に流れ去る。すなわち、渦キャビテーションはまわりの静圧と核の変化に応じて、Sub.CよりSCへと長い一本の渦に沿って段階的に移行する。次に、付着泡についてみると、はく離領域の最上流付近では非球状(扁平)気泡である。この気泡端より出発する微細渦泡、はく離領域内を回流する球状ならびに非球状気泡、ひも状気泡も認められる。すなわち、渦キャビテーション、付着キャビテーションのいずれもが幾つかの気泡により多元的に構成されていることがわかる。

合流管の損失係数あるいは分岐管の支流の損失係数は、Sub.C領域ではキャビテーションが発生してもほとんど変わらないが、SC領域ではキャビテーション係数 $\sigma_1$ の低下とともに急激に増大する。すなわち、キャビテーション特性はスーパーキャビテーション領域のキャビテーションの状態により規定されると言える。しかしながら、分岐管本流の損失係数は、本流においてキャビテーション気泡が発生しないこともあって、Sub.C領域よりSC領域においては、ほとんど $\sigma_1$ により変化しない。

キャビテーション特性に対する分岐接合部のかどの曲率半径の影響は顕著である。すなわち、かどAの曲率半径が小なるほど初生キャビテーション係数 $\sigma_{11}$ は大きくなる傾向がある。渦泡の $\sigma_{11}$ には、このキャビテーションの発生圏付近のかどBの曲率半径が支配的に効く。かどBの曲率半径は付着泡の $\sigma_{11}$ にはほとんど効かない。

#### 第4章 放流式分岐管試験水槽まわりのキャビテーション核の挙動

本実験に十分な根拠を与えることを目途として、実験に用いた地下貯水槽内および試験水槽の測定部上・下流側における試料水中の核分布の詳細な測定を行い、分岐管にキャビテーションが発生したときに供給されるキャビテーション気泡核を実験的に解明した。その結果、この放流式分岐管試験水槽においては、回流気泡の除去が効果的に行われており、かなりキャビテーションが発生しても、数時間にわたり核分布が一定し、本試験水槽はこの種の試験には非常に適している。したがって、この核分布一定という事実は、ここで提示した諸実験に十分な工学的価値を与えていると言えよう。

## 第5章 脈動流下の分岐管内のキャビテーション

分岐管にキャビテーションが発生し、かつ、脈動流が与えられたときの、キャビテーションの様相、その動特性への影響などを実験的に明らかにした。脈動流下でのキャビテーション発生時には、1サイクル中の最低瞬時キャビテーション係数で規定した初生キャビテーション係数 $\sigma_{li\min}$ は、どのタイプのキャビテーションにおいても、定常流下での初生キャビテーション係数 $\sigma_{li}$ とほぼ一致する。また、脈動流下のインピーダンスは、キャビテーションによりほとんど影響を受けない。

## 第6章 結 論

分岐・合流管設計のためのキャビテーション特性に関する有益なデータが得られた。

## 審 査 結 果 の 要 旨

各種のプラント，原子炉，水道，建築物配管または血管などの管路網の構成要素である分岐・合流管は，数がきわめて多く，キャビテーションが発生し易い構造をしており，しかも，ひとたび発生すれば，これらの管の壊食ばかりでなく，管路網の基本特性の変化，下流側重要構成要素のキャビテーションなどの重大障害が発生するので，最近にわかに注目されている。本論文は，キャビテーションのタイプ，キャビテーション核（以下単に核という）などの支配因子を明示しつつ，分岐・合流管のキャビテーション特性を実験的に詳細に解明した成果をまとめたもので，全編6章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では，直角合流管の例について，その流れを二次元ポテンシャル理論により解析し，はく離自由流線の形状，流れの収縮係数，流量比，圧力係数などを定量的に求め，これと実験とを対比して，この種の管路の基本的性質を明らかにしている。

第3章では，工業上最も広く使用されている直角分岐・合流管を取り上げ，正方形断面の管路についてキャビテーションのタイプ，初生条件，発生領域の平均的広がりおよび損失係数に及ぼす接合部のかどの曲率の影響などを，広範囲のキャビテーション係数，流量比について詳細に解明している。分岐・合流管には，二次渦コア内に現われる「渦キャビテーション」と，はく離泡内に現われる「付着キャビテーション」の2種が発生するが，損失係数などの基本特性の変化あるいは流れパターンの変化をもたらすものは後者であることを明らかにしている。また，基本特性に対するかどの曲率の影響は非常に大きいことも示した。これらは重要な知見である。

一般に，試験水槽内においては，核分布およびその経時変化が大きいために，1969年の国際試験水槽会議の提案により，この種の試験においては，核分布の明示は必須とされている。よって，第4章では，使用した試験水槽の測定部の核分布をコールタカウンタにより精密に測定し，十分長時間にわたり核分布が一定に保たれていることを示し，本実験の妥当性を示すとともに，核分布一定の理想的キャビテーション試験の可能性をも明示した。

第5章では，数Hz以下の脈動流下の分岐管のキャビテーション特性を実験的に調べている。初生時の最低瞬時キャビテーション係数が第3章の定常時の初生キャビテーション係数と一致すること，管路のインピーダンスにキャビテーションはほとんど影響を及ぼさないことなどを示した。これは有用な知見である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は，分岐・合流管のキャビテーション特性を理論的ならびに実験的に解明したもので，流体力学の発展に寄与することが少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。