

氏 名	ひがし の かず ゆき 東 野 和 幸
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 53 年 3 月 24 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学 位 論 文 題 目	自由流線を伴う亜音速液流における圧縮性効果に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 西山 哲男
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 西山 哲男 東北大学教授 村井 等 東北大学教授 本田 睦 東北大学教授 大場利三郎

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

近年，ロケットポンプに代表される超高速液流機械においては，吸込性能の向上や軽量小型化の強い要請により，超高速化は極めて著しく，相対流入速度は空気を含まない純水の音速に比して，亜音速域に達している現状である。特に，軸流型はこれらの要請に対し有利であり，かつキャビテーションショックによる特性劣化等に対処し，有望視されている。従って，亜音速液流におけるスーパキャビテーション直線軸翼列翼に関する精度の高い特性解析は，液流機械の特性評価や性能向上の見地から，工学的に基本的な重要問題であると考えられる。

さて，一般に超高速液流においては静圧の激減がocこり，液流機械上流の曲管部や絞り部等において，空気を含む混合液流となる場合が多く，容易に亜音速域に達する。従って，圧縮性効果に及ぼす空気体積比等の影響を明らかにする必要性がある。

さらに、液流機械内の超高速化は必然的に、これに連なる管内における亜音速液流動の特性解析を、キャビテーション発生の予知や効率向上の観点から強く要請されている状況にある。

このような背景のもとに、本研究においては、自由流線を伴う亜音速液流における圧縮性効果を明らかにすることを主眼とし、

- (i) ホドグラフ法による精度の高い一般的解析法を提示し、
- (ii) 応用例として、外部流れでは相対流入マッハ数が亜音速域におけるパーシャル及びスーパーキャビテーション直線軸翼列翼に関して解析法を適用し、
- (iii) 内部流れとして、ノズル内亜音速液流動の特性解析に、適用可能となることを示し、
- (iv) 数値計算により、諸特性に及ぼす圧縮性効果を定量的に明らかにすると共に、設計資料を提供している。

引き続き、設計製作したピストン駆動型液体衝撃波管装置により、

- (i) ノズル内液流動及び対称くさび形のキャビテーション流れを対象として、亜音速域における圧縮性効果について、実験的研究を行い、これを解明すると共に、
- (ii) 解析結果と比較を行い、提示せる解析法の信頼性を確認している。

第2章 空気を含まない液流の亜音速域におけるスーパーキャビテーション直線軸翼列翼

液流の亜音速域を支配し、非線形性を有する基礎式を、ホドグラフ面において解析的に解く一般的解析法を提示している。すなわち、空気を含まない純水の状態方程式を接線近似し、これが実在の水流と近い性質を有することを示し、ホドグラフ面の流れを非圧縮性物理面の流れより決定し、接線近似した水流に関し、圧縮性物理面の流れや流体力を求める精度の高い解析法を提示しており、また適用範囲を明らかにしている。

次に応用例として、スーパーキャビテーション直線軸翼列翼について適用し、弦節比の大きい程、翼正面圧力分布における圧縮性効果による増加が、空どうの存在により翼間流路面積が狭められ静圧低下がおこるため、緩慢となる。その結果、弦節比の大きい程、流体力に及ぼす圧縮性効果が小さくなるという特徴を明らかにした。また、流体力の翼列干渉は圧縮性効果により一様に著しくなるが、この傾向は、キャビテーション係数の小さい程、弦節比または食違い角が大きい程顕著であることを示した。實際上極めて問題になるキャビテーションチョーク状態は、圧縮性効果により発生しやすいことを明らかにした。

第3章 空気を含む液流の亜音速域におけるパーシャル及びスーパキャビテーション直線軸翼列翼

第2章で提示した解析法を、空気を含む場合に拡張可能となることを示し、空気体積比並びにオイラー数による圧縮性効果を、パーシャル及びスーパキャビテーション直線軸翼列翼について明らかにしている。特に前者については、ホドグラフ面で新たに複素速度ポテンシャルを構成している。

数値計算により、パーシャルキャビテーション直線軸翼列翼における流体力に関して、空気体積比が大きいか、またはオイラー数が小さい程圧縮性効果が著しく、弦節比についてはスーパキャビテーション直線軸翼列翼とは逆の傾向があらわれるという本質的相違を明らかにした。

翼列干渉に及ぼす圧縮性効果は、食違い角の大きい場合、弦節比の大小により、それぞれ翼列干渉を弱め、あるいは強めること示している。さらに、キャビテーションチョーク状態は空気体積比が大きいか、またはオイラー数の小さい程発生しやすいことを明らかにした。

また、比較により、線形理論の精度を確認している。

第4章 二次元及び軸対称ノズル内亜音速流動

第2章において、外部流れに対し提示した解析法が、二次元ノズル内液流動に適用可能なることを示し、一方、軸対称ノズルについては、線形手法による解析を行い、数値計算を通じて、一般に圧縮性効果により、収縮係数は大きくなり、ノズル反動力は増加すること等を定量的に明らかにした。

第5章 ピストン駆動型液体衝撃波管装置によるノズルに関する実験的研究

比較的容易に亜音速液流を発生できる、ピストン駆動型液体衝撃波管装置を設計製作し、内部流れに関し、圧縮性効果の大きい対称増速流れを対象として、二次元及び軸対称ノズル内亜音速液流動を発生させ、噴流マッハ数及びノズル壁面圧力分布を測定し、圧縮性効果を実験的に解明すると共に、第4章において提示した解析法の信頼性を確認したものである。また、実験遂行上、本実験装置の一般的留意点についても触れ、特に作動液として音速の低いシリコン（ジメチルポリシロキサン）を採用する等、実験マッハ数が増加する様工夫を行い、今後、この種の実験的研究に作動液の選択の面から検討を行い、比較的容易に亜音速液流動が実現できることを実証した。

第6章 ピストン駆動型液体衝撃波管装置による対称くさび形に関する実験的研究

同装置を用いて、外部流れとしては最も基本的な対称くさび形のキャビテーション流れを発生させ、空どう長さ及びくさび形表面圧力分布等を測定し、亜音速液流における圧縮性効果を明ら

かにすると共に、第2章の解析結果と比較検討し、解析法の信頼性を確認した。

また、外部流れに関する亜音速液流における圧縮性効果の実験的研究に、ピストン駆動型液体衝撃波管装置を用いる方法が有力であることを提案し、さらに作動液の方面からも検討を加えている。

第7章 結 論

自由流線を伴う亜音速液流における圧縮性効果を解明することを目的として、理論的及び実験的研究を行った。主要な点を列挙すると、

(i) 空気を含まない水流の状態方程式を接線近似し、自由流線を伴う亜音速液流に関して、ホドグラフ法による特性解析法を提示した。スーパーキャピテーション直線軸翼列翼に応用し、数値計算により諸特性に及ぼす圧縮性効果を明らかにした。

(ii) 空気を含む水流に解析法を拡張し、またパーシャルキャピテーション直線軸翼列翼については、新たに特性解析法を提示した。数値計算により、諸特性に及ぼすマッハ数、空气体積比及びオイラー数の影響を明らかにすると共に、設計資料を提供した。

(iii) 二次元ノズル内液流動に関して、提示したホドグラフ法による解析法の拡張を行い、一方軸対称ノズル内液流動については、線形手法による対応関係が適用可能なることを示した。数値計算により、二次元及び軸対称ノズル特性に及ぼす圧縮性効果を明らかにした。

(iv) 設計製作したピストン駆動型液体衝撃波管装置による二次元及び軸対称ノズル内亜音速液流動の実験的研究を行い、ノズル特性に及ぼす圧縮性効果を明らかにすると共に、提示した解析法の信頼性を確認した。

(v) さらに、同実験装置を利用して、亜音速液流における対称くさび形のキャピテーション流れを発生させ、特性に及ぼす圧縮性効果について実験的研究を行うと共に、提示した解析法の信頼性を確認した。

終りに臨み終始懇切な御指導と御鞭撻を賜りました指導教官西山哲男教授に心から感謝の意を表します。又、有益な御批判、御助言を賜りました、高速力学研究所、村井等教授、本田睦教授、大場利三郎教授、並びに機械工学専攻の諸先生方に深く感謝いたします。実験には工学部技官、阿蘇義男氏、梅津忠氏、学生の高尾昌孝君、松井直樹君に御助力をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

審査結果の要旨

超高速液流機械の著しい性能向上と作動範囲の拡大に伴い、パーシャル及びスーパーキャビテーション（以下それぞれPC，SCという）状態にある羽根への相対流入速度の上昇と共に静圧低下による空気含有の傾向が強まってきている。これらはいずれも流入マッハ数を増加させるため、液流の圧縮性が重要な役割を持つようになり、その効果に関する解明が要請されている。

本論文は、まず、亜音速液流におけるPC及びSC状態にある直線軸翼列特性及びノズル内亜音速液流に関し、ホドグラフ法による精度の高い解析法を提示して、圧縮性効果に関する理論的研究を行った。次いでピストン駆動型液体衝撃波管装置によりノズル及び対称くさびに関し、圧縮性効果の実験的解明を行うと共に、提示した解析法の信頼性を確認したもので、全文7章より成る。

第1章では、本論文の目的を述べている。

第2章では、空気を含まない亜音速液流の状態方程式を接線近似することにより、ホドグラフ面より物理面の自由流線を伴う流れや流体力を求める一般解析法を提示し、さらにマッハ数による適用限界を明らかにしている。これは新しい試みで、SC直線軸翼列に適用して得られた翼列干渉に及ぼす圧縮性効果に関する知見は有用な成果と言える。

第3章では、空気を含む亜音速液流について、第2章と同様な解析法を提示し、これをPC及びSC直線軸翼列に適用している。液流の空気体積比及びオイラー数が翼列干渉に及ぼす効果を論ずると共にPC及びSC直線軸翼列における圧縮性効果の本質的相違を明らかにしている。

第4章では、空気を含まない液流のノズル内亜音速流れに、第2章の解析法が適用可能であることを示し、これにより噴流特性に及ぼす圧縮性効果を明らかにしている。

第5章では、ピストン駆動型液体衝撃波管装置における液柱速度や作動液の選定に工夫を加えた実験方法を述べ、これによりノズル壁面圧力分布、噴流速度に関して圧縮性効果の実験的研究を行っている。また、実験値との比較から、提示した解析法の信頼性を確認している。

第6章では、同装置を用いて、対称くさびの表面圧力分布、空どう長さのマッハ数依存性に関する実験的解明に成功すると共に超高速液流実験に貴重な資料を提供している。

第7章は、得られた成果の総括である。

以上を要するに、自由流線を伴う亜音速液流に、創意を加えた精度の高い解析法を提示して、圧縮性効果の理論的研究を行うと共に、ピストン駆動型液体衝撃波管装置による実験方法にいくつかの工夫を織り込んで、実験的解明に成功したもので、得られた成果は流体力学及び機械工学に寄与するところが少なくない。

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。