

氏 名 藤 川 重 雄  
ふじ かわ しげ お  
 学位の種類 工 学 博 士  
 学位記番号 論 工 博 第 1271 号  
 学位授与の日付 昭 和 55 年 3 月 24 日  
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当  
 学位論文題目 Studies on the Mechanisms of Cavitation Bubble  
 Collapse  
 (キャビテーション気泡の崩壊機構に関する研究)

論文調査委員 (主 査)  
 教授 赤松映明 教授 森 美郎 教授 佐藤 俊

### 論 文 内 容 の 要 旨

液体中の圧力変化が原因となって気泡が発生・成長・崩壊する現象をキャビテーションと呼んでいるが、古くから研究がなされているにも拘らず、その発生と崩壊の機構については、いまだ十分な解明がなされていない。本論文はキャビテーション気泡の崩壊時に生ずる衝撃力の発生機構を理論と実験の両面から解明したもので、7章からなっている。

第1章では、気泡の崩壊機構に関する従来研究成果を概観して、問題点を指摘し、本研究の目的、意義ならびに研究内容の概要を述べている。

第2章では、キャビテーションの新しい実験装置としての液体衝撃波管装置について述べ、液体中の衝撃波、膨張波の伝ばについて詳細な実験を行い、その結果、液体衝撃波管装置をキャビテーションの研究に応用するにあたっては、まず、液体中に微小な気泡核を作っておき、これに膨張波つづいて圧縮波を作用させる方法が適切であり、これにより、時間的・空間的に確度の高い実験が行えることを述べている。

第3章では、気泡崩壊過程の観測方法として、(i)気泡崩壊過程の時間的変化を観測するための連続瞬間写真撮影法、(ii)気泡の崩壊時に液体中に放射される衝撃波を観測するためのホログラフィ法、(iii)崩壊時に固体中に発生する衝撃応力波を観測するための動的弾性法、(iv)衝撃力を計測するためのピエゾ圧力計、等の原理、方法、性能試験結果について述べている。

第4章では、キャビテーション気泡の成長・崩壊過程に関して、液体衝撃波管装置による実験の結果について述べている。連続瞬間写真によって気泡崩壊過程を観察した結果、初期気泡半径と気泡・固体壁間の距離との大小関係によって、気泡崩壊のパターンが異なり、気泡が固体壁から遠い場合は、球形を保ったまま崩壊し、また、気泡が固体壁の近くにある場合は崩壊の最終段階で不安定となり壁の方へ向けてジェットを発生することを見出している。

固体壁近傍で崩壊する気泡をパルス・レーザによるホログラフィ、動的弾性法および連続瞬間写真撮影によって観測し、同時に、気泡から発生する衝撃力をピエゾ圧力計によって計測し、その結果、液体ジ

ジェットが固体壁に到達する数十マイクロ秒以前に気泡がリバウンドして球面衝撃波を生じており、固体壁面で観測される衝撃力はこの衝撃波によるものであり、この圧力は  $10^4 \sim 10^5$  気圧と推算され、その持続時間の半値巾は 2~3 マイクロ秒程度であることを見出している。さらに、本研究で対象とした半径 1 ミリメートル程度の比較的大きな気泡と実際の流体機械において問題となっている半径 0.1 ミリメートル程度の小さな気泡との崩壊過程の相違について論じ、小さな気泡ほど安定で、球形を保ったまま崩壊し、より強い衝撃波が発生する可能性の高いことを指摘している。最後に、2 個および 3 個の気泡と固体壁との相互作用の様子を観察し、気泡から発するジェットは気泡と固体壁との相対位置によって種々の方向をとり、その方向は鏡像の原理によって説明されるとしている。

第 5 章では、気泡内部の物理的状況を明らかにするため、気泡の成長・崩壊について理論解析を行い、液体の圧縮性、気液界面での蒸気の非平衡凝縮過程、熱伝導、温度の不連続等を考慮することによって気泡の運動を支配する一連の微分方程式を導いている。まず、気泡壁の運動については摂動法を適用して、蒸発・凝縮の効果および気体の圧縮性を考慮して運動方程式を導き、気泡内部の気体については相変化に対して有効なランダウの座標変換を行い、気液界面近傍に発達する温度境界層内の温度分布を楕円関数で展開している。また、液体に対しては、摂動法を適用し、第零および第 1 近似の解を求めている。

第 6 章においては、液体衝撃波管装置における実験条件について、上述の微分方程式を数値的に解き、気泡の初期半径、気泡内蒸気の非平衡凝縮効果、熱伝導および周囲液温等の諸因子が気泡崩壊時に発生する圧力波に及ぼす影響を明らかにしている。

第 7 章は以上の結果をまとめて結論としている。

## 論文審査の結果の要旨

キャビテーションは、液体中の圧力の低下に伴い、気泡が発生する現象で、液体を扱うほとんどあらゆる流体機械において見られ、材料の壊蝕・振動・騒音・性能低下等の原因となっているが、その発生・崩壊の機構についてはいまだ十分な解明がなされていない。これはキャビテーションの発生が確率的現象であるため、その場所と時刻を高い精度で予知することが容易でなく、しかも、時間的には百万分の一秒、空間的には 1/10 ミリメートルの程度の分解能で捉えねばならないためである。

本論文は液体衝撃波管装置を用い、微小な水素気泡をキャビテーション核とし、これに膨張波つづいて圧縮波を作用させて気泡を崩壊させ、気泡の発生・崩壊の時刻と場所を高い精度で制御して、固体壁近傍での気泡崩壊過程の観測を行い、また、気泡の球対称崩壊に対し、蒸気の非平衡凝縮効果を考慮して理論解析を行ったもので、得られた成果はつぎの通りである。

(1) 固体壁近傍での気泡崩壊の形態が、気泡初期半径  $R_0$  と気泡・固体壁間の距離  $L$  との大小関係に応じて、つぎの三つに分類できることをはじめて見出した。すなわち、(a)  $L > 4R_0$  では、壁の影響を受けず球形を保ったまま崩壊する。(b)  $4R_0 > L > 2R_0$  では、崩壊の最終段階で不安定となり、壁に向かって液体ジェットを発生するが、気泡の中心は移動しない。(c)  $L < 2R_0$  では、気泡の中心が壁の方に移動しながら液体ジェットを発生する。

(2) 固体壁近傍で気泡が崩壊するとき、固体壁の受ける衝撃力は気泡が最小半径に達した後、リバウン

ドする際生ずる衝撃波によるものであって、液体ジェットによるものではないことを実験によって明らかにし、従来からある論争に明解な回答を与えた。

(3) 気泡の球対称崩壊に関して、液体の圧縮性、気液界面での蒸気の非平衡凝縮、熱伝導、温度の不連続等を考慮して理論解析を行い、蒸気の非平衡凝縮の影響をはじめて明らかにした。解析の結果、(a)気泡崩壊の最終段階での非平衡凝縮効果のため、強い圧力波が発生すること、(b)初期気泡半径が小さいほど、気泡は激しく崩壊すること。(c)液温が高いほど崩壊は緩慢であること等を明らかにした。

以上要するに本論文はキャビテーション気泡崩壊の際の強い衝撃力が、衝撃波によってもたらされることを実験によって明確にするとともに、蒸気の非平衡凝縮過程が気泡の崩壊に及ぼす影響を理論計算によって明らかにしたもので、学術上、實際上寄与する所が少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。