

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 張 劍波 (Zhang Jianbo)

修士(工学)張劍波(Zhang Jianbo)提出の論文は、Experimental and Computational Investigation of Supersonic Cavity Flows (和訳:超音速キャビティ流れの実験的数値的研究)と題し、本文四章よりなっている。

キャビティ流れは、複雑さと工学応用の面から、学術的な関心と実用的な重要性の両面を有する、基本的な流れ場となっている。本論文は流れの物理をより深く理解し、流れを予測し、さらに最終的にそれを制御するために、実験と計算の両方の手法によって超音速キャビティ流れを研究したものである。

第一章は序論であり、これまでの研究や本研究の目的について述べている。キャビティ流れについては過去数十年にわたり数多くの実験が行われ、圧力分布や音場などについて調べられてきた。キャビティ流れは、アスペクト比が小さい場合の開放形、中間の遷移形、大きい場合の閉鎖形に分類される。本研究では、遷移形への移行メカニズムを観測から明らかにすることを目的の一つに挙げている。

開放形のキャビティ流れは自励的な圧力速度変動を示し、閉鎖形のキャビティ流れは底面に沿って強い逆圧力こう配が生じるなどの問題がある。キャビティ流れを受動的・能動的に制御しようとする試みもなされている。キャビティ流れについては、数値シミュレーションも行なわれてきた。解析的に非定常キャビティ流れを研究する方法もある。

以上の観点から、本論文は実験や数値解析により流れ場の特徴を把握することに加えて、圧力抵抗の受動的・能動的制御法について幾つかの手法を試みることも目的としている。

第二章では実験手法およびその結果について述べている。マッハ数約 2 の超音速キャビティ流れを対象としている。シュリーレン写真や表面のオイルフローによる可視化、スキヤニバルブを用いた平均圧力測定、非定常圧力測定等を行なっている。

シュリーレン写真とキャビティ底面中心線に沿った圧力分布から、超音速キャビティ流れは三つに分類できることを確認している。実験模型のアスペクト比で、10 以下の開放形、15 以上の閉鎖形、および 10—13.5 の遷移形である。開放形あるいは閉鎖形キャビティから遷移形への移行は、膨張波部分と衝撃波部分の相互干渉などが関係しており、観測に基づいた遷移メカニズムの物理的解釈を試みている。

閉鎖形キャビティ流れに伴う逆圧力こう配を緩和するために、幾つかの新しい制御法を試みている。アスペクト比 15 のキャビティを基本形状として選定している。

キャビティ側壁のバイパス管によって流れを循環させる方法を試みている。シュリーレン写真と中心線に沿った圧力分布から、流れが閉鎖形から遷移形に移行したことを観察している。逆圧力こう配は著しく減少し、圧力差は無制御の場合の約 50% となることを明

らかにしている。

遮蔽板をキャビティ底面に流れに直角方向に設置した実験では、中央部に配置したものが逆圧力こう配を減少させるのに最も有効であることを明らかにしている。板の存在によって流れ場が遷移形に移行したため、この場合も圧力差は50%以下となっている。

キャビティ前面からの吹き出しによって、膨張波や衝撃波を制御する試みは若干の効果が認められたが、有効な制御のためには流量をさらに増やす必要があることを述べている。

非定常圧力測定については、まず圧力変動が問題となるアスペクト比5の開放形キャビティの場合について、離散周波数がRossiterの式で予測できることを確認している。アスペクト比15の閉鎖形キャビティについては、衝撃波の付け根部分で約10Hzの緩やかな振動を観測している。また、バイパス管を用いた制御においては、圧力変動が増加しないことを確認してその有効性を明らかにしている。

閉鎖形のキャビティ流れについて、解析的に圧力分布を計算する方法を提案し、基本的な圧力分布が十分予測できることを示している。

第三章では数値解析による研究について述べている。計算領域については、単一領域とマルチブロックを用いている。乱流モデルを用いたナビエーストークス方程式により、セル中心有限体積法を利用した解析を行なっている。非粘性流束スキーム、粘性項の扱い、時間進行などについて検討を加えている。乱流については、Baldwin-Lomaxの代数モデル、Spalart-Allmarasの一方程式モデル、Wilcoxの二方程式 $k-\omega$ モデル、Menterの二方程式 $k-\omega$ -SSTモデルの効果を評価している。多少の優劣が存在するものの、結果はほぼ妥当なものであることを明らかにしている。計算コードは、基本的な平板境界層などの実験結果と比較して妥当性を検証している。開放形、遷移形、および閉鎖形のキャビティについて計算を行い、遷移形以外は圧力分布が実験結果とほぼ一致することを確かめている。

第四章は結論であり、キャビティの圧力測定、シュリーレン法とオイルフロー法による流れの可視化、キャビティ遷移の物理的なメカニズム、バイパス管や遮蔽板、吹き出しによる圧力こう配の軽減、乱流計算による流れ場の解明について要約している。

以上要するに、本論文は超音速流中のキャビティについて、実験的・数値的に流れ場の特徴を解析し、かつ幾つかの圧力抵抗低減法を提案・実証したもので、航空宇宙工学の発展に貢献するものである。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。