

審査の結果の要旨

氏名 横山 博史

本論文では、「乱流境界層内のキャビティ音発生におけるフィードバック機構」と題し、本論5章と付録から構成されている。

本論文では、乱流境界層内のキャビティまわりの流れ (乱流キャビティ流れ) で発生するピーク音を伴う自励振動における Fluid-acoustic interactions を、三次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式に基づく流れと音の直接数値計算により詳細に明らかにしている。高速車両などを想定し主流マッハ数 (以下単にマッハ数) M が 0.15, 0.3 の乱流キャビティ流れを対象としている。また、流入境界層の運動量厚さ θ とキャビティ長さ L の比は $\theta/L = 0.04$ とし、計算をおこなっている。なお、 $M = 0.15$ において風洞実験をおこない計算の健全性を確かめている。また、計算および実験において、キャビティ長さ L 一定の下、キャビティ深さ D を変化させ、キャビティ深さが自励振動に及ぼす影響を明らかにしている。さらに、キャビティ流れの計算だけでなく、人工的音源を付加したバックステップ流れの計算もおこない、大規模渦構造の形成における音波の役割を明らかにしている。

以下に、各章の内容をまとめる。

第1章では、乱流キャビティ流れにおける自励振動の発生機構を解明することが、工学的に重要な課題であることを述べた。音響共鳴が発生していない場合の自励振動は流体力学的振動、音響共鳴が発生している場合の自励振動は流体共鳴振動と分類される。この章では、各自励振動の特徴や先行研究での未解明点をまとめている。さらに、本論文での対象と目的を述べている。

第2章では、数値計算の手法や、計算の精度検証のためおこなった風洞実験の手法について述べている。

第3章では計算の健全性について議論している。まず、キャビティへ流入する境界層が適切な乱流境界層になっていることを示している。次に、キャビティ

から発生するピーク音に関して実験結果と比較をおこない、計算の健全性を示している。

第4章では計算結果や実験結果を議論している。まず、流体力学的振動が発生する $D/L = 0.5$ ($M = 0.3$) のキャビティ流れを取り上げ、自由せん断層 (以下単にせん断層) 内の渦構造の挙動や、音波の発生について詳細に議論している。また、音源位置の推定もおこなっている。さらに、人工的音源を付加したバックステップ流れの計算により、キャビティ流れの自励振動を維持する大規模渦構造の発生機構について議論している。また、キャビティ長さやマッハ数がキャビティ流れの自励振動に及ぼす影響についても議論している。一方、流体共鳴振動に関しては、 $D/L = 1.3$ ($M = 0.3$) のキャビティ流れを取り上げ、自励振動の発生機構における流体力学的振動との共通点・相違点を明らかにしている。また、キャビティ深さが流体共鳴振動に及ぼす影響についても議論をおこなっている。

第5章では第4章での議論に基づき、本論文の結論を以下のようにまとめている。流体力学的振動および流体共鳴振動どちらの振動においても、せん断層内の二次元的な大規模渦構造が下流側壁面に衝突する際、壁面により回転が妨げられ、圧力勾配により下流方向の局所的な速度変動が発生することで膨張波が発生することがわかった。さらに、バックステップ流れに人工的音源を加えた計算により、音波によってせん断層内に対流するじょう乱が発生し、このじょう乱が層流の際と同様の K-H 不安定により大規模渦構造に発達することがわかった。このことは、乱流境界層内の微小渦構造が大規模渦構造の形成に及ぼす影響が小さいことを示唆する。また、流体共鳴振動に関し、深いキャビティほど、大規模渦構造の壁面への衝突による膨張波の発生から定在波が最も低圧になるまでの時間が長くなるため、振動周波数が低下することを明らかにした。振動周波数が共鳴周波数と一致する際、最も強いピーク音が発生する。

以上のように、本論文では、流体と音の直接計算により、従来の研究では明らかになっていなかった、乱流キャビティ流れにおけるピーク音の発生機構や強いピーク音の発生条件などを明らかにしている。これらの研究成果は、流体力学、音響工学、機械工学などの進展に寄与するところが多い。

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。