

Title	乱流要素渦を考慮したキャビテーションLESモデル開発に関する研究
Author(s)	岡林, 希依
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2307
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	おの ばやし きみ 依
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24565 号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科機械工学専攻
学位論文名	乱流要素渦を考慮したキャビテーションLESモデル開発に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 梶島 岳夫 (副査) 教授 武石賢一郎 教授 矢野 猛

論文内容の要旨

キャビテーション現象は、流体機械の性能低下だけでなく損傷や騒音の原因となり、機器の設計や制御において最も重要な因子のひとつである。特に、ロケットエンジンの液体燃料ポンプ、大規模なポンプシステムにおいては実験が困難であり、数値シミュレーションによる解析技術の確立が急務の課題である。これらの機器で観察されるキャビテーションは、形状や形態は非常に多様であり、強い非定常性を伴う乱流状態にある。本研究は、これらに対する工学上実用的な非定常計算を実現するため、乱流渦キャビテーションを考慮したLES (Large-Eddy Simulation) 手法を構築することを目的としている。本論文は、計算格子で解像できない微細な渦とキャビテーションの相互作用を考慮するsubgrid scale (SGS) モデルの概念を初めて提示し、微細な乱流変動に起因するキャビティを考慮したSGSモデルの提案、直接数値シミュレーション (Direct Numerical Simulation; DNS) によるデータベースの作成とモデルの検証、さらに代表的な自由乱流である乱流混合層のLESに適用した結果をとりまとめたものである。本論文は以下の8章から構成されている。

第1章では、研究の背景と目的を述べ、キャビテーション乱流の数値計算法に関する課題を明示した。

第2章では、本研究のために開発したDNSに関する数値計算法について述べた。

第3章では、単独の乱流要素渦とキャビティの相互作用をDNSで解析し、本研究で提案するモデルの指針の妥当性を示した。

第4章では、混合層に生じるキャビテーション乱流のDNSを実施し、キャビテーションが乱流に及ぼす影響を明らかにした。

第5章では、単相の乱流混合層のDNSデータベースに対してフィルター操作により抽出した小スケール流れを解析し、SGS圧力分布をガウス分布で近似できること、その強度はSGS乱流エネルギーを用いて定式化できることを示した。

第6章では、以上の知見に基づき、キャビテーションを伴う乱流のLESモデルを定式化し、LESの数値計算法について述べた。

第7章では、乱流混合層に生じるキャビテーションのLESを実施し、本研究で新たに提案した方法によりSGS圧力変動を考慮しない既存の方法と比較してキャビティ発生予測に有意な

差が見られることを示した。

第8章では、以上の結果を総括した。

本研究はキャビテーションと乱流の相互作用を考慮した非定常解析の最初の試みであり、その成果は、流体機械の設計や事故解析の精度向上に有用であり、広範なキャビテーション流れ解析技術の確立に寄与するものである。

論文審査の結果の要旨

キャビテーション現象は、流体機械の性能低下だけでなく損傷や騒音の原因となり、機器の設計や制御において最も重要な因子のひとつである。特に、ロケットエンジンの液体燃料ポンプ、大規模なポンプシステムにおいては実験が困難であり、数値シミュレーションによる解析技術の確立が急務の課題である。これらの機器で観察されるキャビテーションの形態は非常に多様であり、ほとんどの場合、強い非定常性を伴う乱流状態にある。従来のキャビテーション流れ解析では、単相の乱流モデルが流用されることが多く、乱流とキャビテーションとの相互作用を反映した非定常流れ解析法は完成されていない。

本論文は、乱流渦キャビテーションを考慮したLES (Large-Eddy Simulation) 手法を構築することを目的として、微細な乱流要素渦とキャビテーションの相互作用を考慮するsubgrid scale (SGS) モデルの概念を初めて提唱し、キャビテーション発生モデルにSGS圧力変動を採り入れ、代表的な自由乱流である乱流混合層に適用した結果をとりまとめたものである。本論文の成果は次のように要約できる。

1. 単独の要素渦に発生するキャビテーションの数値計算に空洞発生モデルを適用して、渦芯からのキャビティの発生およびキャビテーションによる乱流強度の変化を解析し、提案するキャビテーション乱流モデルの基本概念の妥当性を確認している。
2. 代表的な自由乱流である乱流混合層に対して、DNS (Direct Numerical Simulation) で得られた乱流場に減圧条件を与え、空洞発生モデルで表現されるキャビテーション現象を調べ、発達した乱流場においても渦とキャビテーションの相互作用が存在することを見出している。
3. 単相の乱流混合層のDNSデータベースにフィルター操作を施し、抽出したSGSの乱流エネルギーと圧力変動の相関を調べ、空洞発生モデルに対してSGS圧力変動の効果を導入し、新たな乱流キャビテーションモデルを提案している。
4. 定式化したSGS圧力変動強度を考慮した空洞発生モデルを用い、キャビテーションを伴う乱流混合層のLESを実施し、単相流れのモデルを流用したLESと比較してキャビティ発生量などに有意な差が見られることを示している。

以上のように、本研究で提案された新しい数値計算法により、SGS乱流渦に起因するキャビテーション発生を考慮した非定常乱流解析を実現している。本論文は、キャビテーションと乱流の相互作用を考慮する非定常解法の最初の試みであり、実験が困難な流体機械の設計および事故解析の精度を向上させ、より広範なキャビテーション流れ解析技術の確立に寄与するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。