

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Numerical Study of Cavitation Bubble Collapse Impact Loading and Plastic Deformation Behavior in Metals and Polymers
著者(和文)	RubaniFirly
Author(English)	Firly Rubani
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12522号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:因幡 和晃,井上 裕嗣,伏信 一慶,阪口 基己,青野 祐子
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12522号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Rubani Firly		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	因幡 和晃	准教授	審査員	青野 祐子	准教授
	審査員	井上 裕嗣	教授			
		伏信 一慶	教授			
阪口 基己		准教授				

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Numerical Study of Cavitation Bubble Collapse Impact Loading and Plastic Deformation Behavior in Metals and Polymers」と題し、5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、流体機械のキャビテーション損傷を取り巻く現状の問題点を概観し、本研究の目的について述べている。まず、キャビテーション気泡崩壊の衝撃荷重によって生じる壊食は、金属や高分子からなる部品の寿命を著しく低下させ、流体機械の運転コストを増加させるが、キャビテーション気泡の崩壊現象、固体材料の機械的性質、固体材料が受ける衝撃力が包括的に理解されていないため、キャビテーション損傷を防止するための技術開発が遅れていることを指摘している。そのため、本研究の目的は、流体構造連成解析による固体材料近傍での単一気泡崩壊の数値計算モデルを提案し、気泡崩壊と金属や高分子の機械的特性との関係を明らかにするとともに、衝撃荷重によって生じる金属または高分子の損傷メカニズムを明らかにすることであると述べている。

第2章「Grid Verifications and Validation by Experimental Results」では、固体材料近傍でのキャビテーション気泡崩壊に対して、固体材料が受ける衝撃力を評価するための数値計算モデルを検討している。まず、市販の数値解析ソフトウェアを用いて狭い流路内で衝撃波によって誘起された気泡崩壊現象について、固体が受ける衝撃力を評価するための格子解像度を確認している。次に、類似の解析条件を用いた検証として、ゼラチン中でレーザーにより発生した単一気泡の崩壊と、流紋岩の壁面近傍で発生した単一気泡の崩壊に関して実験結果と数値計算モデルが良い一致を示すことを確認し、さらに衝撃波による単一気泡崩壊時の平均壁圧が流体と固体の連成を考慮しない数値解析結果と比較して実験結果に近づくことを明らかにしている。

第3章「Plasticity Effects on Bubble Collapse Impact Loads of Metals and Polymers」では、狭い流路内で固体材料近傍において衝撃波によって誘起される気泡崩壊現象の数値解析を行い、複数の材料構成則を用いて衝撃荷重と衝撃エネルギーを評価している。まず、幅1mmの流路において半径0.5mmの気泡が厚さ5mmの種々の金属や高分子の固体壁に無次元スタンドオフ距離1.06で隣接している条件での衝撃荷重と衝撃エネルギーを、弾性、弾完全塑性、歪硬化の3種類の材料構成則を用いて検証している。塑性変形を伴う2種類の材料構成則を用いて得られた気泡崩壊衝撃荷重は、密度と音速の積である音響インピーダンスで整理すると、既往の実験結果と良く一致を示している。このことから、本研究で提案した単一気泡による数値計算モデルは、キャビテーション壊食実験で観察される複数の気泡崩壊を模擬して、キャビテーション損傷のメカニズムを考察する上で有益であると述べている。

第4章「Wave Propagation and Plastic Deformation of Metals and Polymers」では、第3章と同じ数値計算モデルを用いて、気泡崩壊による金属・高分子中の波動伝播と塑性変形挙動について数値解析を行い損傷メカニズムを考察している。まず、第3章で対象とした固体材料の音響インピーダンスを幅広く変化させるため、固体材料の種類に新たな金属や高分子を加えて数値解析を行い、気泡崩壊衝撃荷重と音響インピーダンスの間には、金属では正の相関が確認されたが、高分子では相関が確認されないことを報告している。次に、気泡崩壊衝撃荷重を受けた固体中の波動伝播について、連続ウェーブレット変換を用いた解析により、金属では圧縮弾性波とせん断弾性波が伝播することから、金属中のキャビテーション損傷は、気泡崩壊衝撃荷重や音響インピーダンスで評価できることを確認している。一方、高分子におけるキャビテーション損傷として、降伏や低サイクル疲労の初期段階として塑性変形によるピットが形成されるメカニズムを提案している。さらに、高分子中のピット体積またはピット深さと降伏応力との間に強い相関があることから、キャビテーション壊食での体積減少とショア硬度のU字型の関係は、柔らかい高分子では降伏や低サイクル疲労が支配的であるのに対し、硬い高分子では金属と同様の高サイクル疲労により損傷が生じることが原因であると説明している。

第5章「Summary, Conclusions and Future Works」では、本研究の結果をまとめ、今後の展望を述べている。

以上を要するに、本論文では、キャビテーション壊食における気泡崩壊と衝撃荷重を評価するための数値計算モデルを提案し、実験と比較することで妥当性を確認するとともに、金属と高分子のキャビテーション損傷メカニズムを考察しており、工学的および工業的に貢献するところが大きい。よって、本論文は、博士(工学)として十分な価値があると認める。