

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	流体構造連成を伴う固液界面における波動伝播
Title(English)	Wave propagation across solid-fluid interface with fluid-structure interaction
著者(和文)	小島朋久
Author(English)	Tomohisa Kojima
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10460号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:因幡 和晃,岸本 喜久雄,高原 弘樹,大島 修造,宮崎 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10460号, Conferred date:2017/3/26, 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

(博士課程)

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	小島 朋久		
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	宮崎 祐介	准教授
	審査員	岸本 喜久雄	教授			
		高原 弘樹	教授			
大島 修造		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Wave propagation across solid-fluid interface with fluid-structure interaction (流体構造連成を伴う固液界面における波動伝播)」と題し、6章より構成されている。

第1章「Introduction」では、流体構造連成の工学的問題として水撃現象について過去の研究と課題を説明し、本研究の目的を述べている。すなわち、流体と構造が互いに連成して運動する現象として流体が満たされた円管中を波動が伝播する水撃現象があり、パイプラインやプラントで水撃現象が生じると配管破裂や有害物質流出の危険性があることから、被害低減に向けた研究が行われていることを述べている。さらに、現在広く用いられている古典的な1次元理論には、接触する2個の固体界面での応力波伝播と円管寸法や材料が変化する場合の圧力波伝播については存在するが、配管端部などで発生する固体から流体あるいは流体から固体への波動伝播については理論モデルが存在せず、十分に解明されていないことを指摘している。そこで、固体-流体界面を波動が伝播する現象の実験系を構築して計測を行うとともに連成を考慮した数値解析を行うことで、固体中の応力波が流体中の圧力波へと遷移して伝播する現象の解明と理論モデルの構築、ならびに界面状態が波動伝播に及ぼす影響を解明することが本論文の目的であると述べている。

第2章「Experimental method for simulating wave propagation across the interface of fluid-structure interaction」では、円管内に満たした水に衝撃荷重を負荷して固体と流体を可視化する実験系を構築し、応力波が固体-流体界面に入射して圧力波として透過する波動伝播挙動を明らかにしている。すなわち、固体の音響インピーダンスを変化させるためアルミニウムとポリカーボネートの2種類の円柱バッファをポリカーボネート製円管内の水に置き、鋼製の飛翔体をバッファに衝突させることで、バッファ中の入射応力、バッファ底部の固体-流体界面圧力、円管内の透過圧力を測定する実験系を構築している。高速度カメラを用いて飛翔体とバッファの運動を可視化することで、応力波が界面に到達後、固体-流体界面が移動することで波動伝播に影響が生じる可能性を指摘している。さらに、入射波と透過波のピークから透過率を求めて古典的な1次元衝撃理論と比較し、音響インピーダンスが水に近いポリカーボネートバッファでは理論と実験に差異が生じることを明らかにしている。

第3章「Wave propagation across solid-fluid movable interface in fluid-structure interaction」では、実験と古典的1次元理論で差異が生じた原因について考察し、固体-流体界面の移動を考慮した1次元理論を構築している。すなわち、入射応力から古典的理論を用いて計算した透過圧力と、実験で測定した圧力とを比較し、アルミニウムバッファでは古典的な理論と圧力ピークが一致するものの、ポリカーボネートバッファでは理論と一致しないことを述べている。そこで、飛翔体とバッファの運動量、および円管内を伝播する波動の運動量保存を仮定することで、固体-流体界面で生じる平均圧力を予測する1次元理論モデルを構築し、固体バッファの材質によらず界面に生じる平均圧力を予測する方法を提案している。

第4章「Two-dimensional analysis of wave propagation across the interface of fluid-structure interaction」では、実験と同様の系で数値解析を行い、固体-流体界面近傍での遷移領域における波動伝播挙動を明らかにするとともに、第2章で確認された実験と古典的理論のピーク圧力の差異の原因を考察している。すなわち、実験と同様の試験片寸法と材料を用いて2次元軸対称数値解析を行い、水中内に負圧が生じキャビテーションが発生する可能性を確認するとともに、界面に応力波が入射して圧力波として透過する際に円管が膨張し、透過圧力のピークが管壁近くで減衰することを述べている。減衰の効果は、透過圧力が緩やかに増加するポリカーボネートバッファで大きく、古典的理論との差異が生じた原因として考えられることを述べている。さらに安全性の観点から、遷移領域では管壁との連成を考慮しない流体音速を用いて透過ピーク圧力を予測する方法を提案している。

第5章「Wave propagation across the interface of fluid-structure interaction with various surface conditions of solid medium」では、界面における波動伝播挙動へのキャビテーション気泡生成の影響をアルミニウムバッファの表面形状と濡れ性を変化させることで実験的に検討している。すなわち、バッファの底面に、濡れ性を向上させる表面処理を施したアルミニウムテープを貼るとキャビテーション気泡の生成が大幅に抑制される現象を発見し、濡れ性の向上により透過のピーク圧力に大きな変化はないものの、透過エネルギーは10%増加することを確認している。一方、バッファ底部を90°と30°の先端角を有する多数の四角錐による凹凸形状に加工した実験を行い、界面の透過エネルギーはわずかに減少することを確認している。したがって、固体-流体界面の表面形状と濡れ性は、キャビテーション気泡の生成に影響し、透過ピーク圧力への影響は少ないが、透過エネルギーに影響を及ぼすことを述べている。

第6章「Conclusion and future works」では、本研究で得られた結果を要約するとともに、今後の課題について示している。

以上を要するに本論文は、固体から流体への波動伝播の遷移的な現象の解明を行うとともに、固体と流体の界面特性が波動伝播に及ぼす影響を明らかにして評価方法を構築しており、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。