

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 機械物理工学 専攻
Department of
学生氏名： 小島 朋久
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 因幡 和晃
Academic Advisor(main)
指導教員(副)： 岸本 喜久雄
Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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は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。

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用いてポリカーボネート製円管内に充填した水の上に設置し、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た。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-流体界面が移動し波動伝播に影響が生じる可能性を確認した。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た。

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確認した。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た。

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、粘性とキャビテーション生成を無視した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確認した。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。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た。

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た。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た。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

ばすこと発見した。

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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	機械物理工学	専攻
Department of		
学生氏名：	小島 朋久	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	因幡 和晃	
Academic Advisor(main)		
指導教員 (副)：	岸本 喜久雄	
Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Fluid-structure interaction (FSI) problems are important for they could induce serious damage to structures. In some of the FSI problems, interaction mechanism strongly depends on wave propagation across the interface of solid and fluid. However, mechanics of wave propagation across the solid-fluid interface with structural motion has not been clarified yet. This thesis is to investigate wave propagation across a solid-fluid interface with fluid-structure interaction and explore a theoretical model for predicting the interfacial and transmitted pressure induced on the interface of FSI. First, impact experiments were conducted with cylindrical solid buffer and water-filled tube. A theoretical model for predicting the interfacial pressure was proposed based on the momentum conservation of the projectile, buffer, and water by assuming the projectile and buffer as rigids. The predicted value was well accord with averaged value of the measured interface pressure. On the other hand, it was revealed by numerical analysis with a two-dimensional axial symmetric model, that the peak values of interfacial and transmitted pressures were radially distributed at the interface due to the tube expansion, resulting in the deviation of the peak pressure from the one-dimensional theory. From the numerical results, the transition region of transmitted peak pressure was located. Then, the proposal was made to estimate the peak pressure in the transition region in the sight of safety engineering. Furthermore, experiments were conducted with changing the surface condition of the solid. It was found that if the surface wettability of solid is improved, wave transmission behavior is changed with inhibition of the cavitation generation.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).