

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Characterization of Functionally Graded Material on Dynamics and Fluid Structure Interaction and Its Fabrication by 3D Printing
著者(和文)	SUZIYI
Author(English)	Ziyi Su
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12076号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:因幡 和晃,轟 章,伏信 一慶,齊藤 卓志,阪口 基己
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12076号, Conferred date:2021/9/24, 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	Su Ziyi		
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	阪口 基己	准教授
	審査員	轟 章	教授			
		伏信 一慶	教授			
齊藤 卓志		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Characterization of Functionally Graded Material on Dynamics and Fluid Structure Interaction and Its Fabrication by 3D Printing」と題し、5章より構成されている。

第1章「Introduction」では、組成が連続的または段階的に変化する傾斜機能材料 (Functionally Graded Material、以下FGM)の特性と製造方法について述べるとともに、配管系に適用した際の課題を指摘し、本研究の目的を述べている。まず、宇宙往還機の耐熱材料として考案されたFGMを用いると熱応力が減少するため様々な産業分野での利用が期待されており、複数の製造方法が存在するが、複雑な形状を安価に製造するには3Dプリンタの利用が効果的であると述べている。続いて、高温と低温の流体が合流する発電所のT字合流管などにFGMを用いることで、熱応力の繰り返しにより発生するサーマルストライピングの熱疲労寿命向上が期待されているものの、この問題を数値解析で取り扱う手法が十分に確立されていないことを述べている。以上より、円管の理論解と比較しながらFGMを数値解析で取り扱う手法を提案し、その妥当性を3Dプリンタで作製したFGMを用いた実験で確認するとともに、T字合流管の数値解析を実施して熱疲労寿命評価を行うことが本研究の目的であると述べている。

第2章「A Multi-layer Model for Simulating FGM and Its Validation」では、FGMを数値解析で取り扱うための多層モデルを提案し、円管の固有振動数や過渡的熱伝導の理論解と比較することで多層モデルを検証している。まず、FGMの連続的な組成変化はべき乗則の指数によって定義できるが、数値解析で取り扱うため連続的な組成変化を有限の層に分割して再現する方法を提案している。続いて、べき指数を0.2から5まで変化させた際に、3次元弾性論から導出したFGM円管の理論解における固有振動数を、円管の厚さ方向に4、8、16層に分割して厚さ方向の組成変化を再現した数値解析結果と比較することで、8層以上で固有振動数とモード形状が予測できることを述べている。次に、円管の過渡的熱伝導の理論解と数値解析結果を比較することで、8層以上で温度分布が理論解とよく一致することを示すと同時に、べき指数が5のときに定常解に到達するまでの時間が長くなり温度変動の影響を低減できる可能性があることを述べている。

第3章「Fabrication of FGM Through a Fused Filament Fabrication 3D Printer」では、熱溶解積層法による3Dプリンタを用いてFGMを作製する方法を検討し、数値解析における多層モデルの妥当性を実験的に確認している。まず、2つの溶融ノズルによる3Dプリンタで、形状記憶樹脂とエラストマー樹脂で構成された2層の試験片を作製し、引張荷重を負荷した状態で温度を上昇・下降させてひずみを計測し、温度に対する力学的特性と形状記憶特性が確認されたことから3Dプリンタで厚さ方向に2層の機能が異なる試験片を作製できることを確認している。続いて、PLA樹脂とABS樹脂によるFGM試験片を1つの溶融ノズルで混合する3Dプリンタで作製し、試験片の密度と等価弾性係数は各樹脂の送り速度に応じて変化することを確認している。さらに、数値解析による多層モデルを検証するため、厚さ方向に組成が変化するFGMによる片持ちはりを作製して固有振動数を測定し、8層モデルによる固有振動数が実験結果とよく一致することから多層モデルの妥当性を確認している。

第4章「Fluid Structure Interaction Simulation of Thermal Striping in a Functionally Graded T-Junction Pipe」では、多層モデルを用いてサーマルストライピングが生じるT字合流管の熱流体構造連成解析を用いて鋼とセラミックスによるFGMの熱疲労寿命評価を行っている。まず、鋼管への熱伝導を考慮した高温・低温流体の混合解析を行い、他の研究者の実験結果および数値解析結果と一致することを確認するとともに、円管の厚さ方向に組成が変化するFGMを用いた場合の流速と温度の分布を明らかにしている。続いて、流体が混合する際に生じる温度変動がサーマルストライピングとして支配的な周波数であり、熱応力解析から配管の内側表面では流体の温度変動が支配的であるが、配管の外側表面では材料の組成変化に応じて温度変動が減少することを示している。さらに、配管の熱疲労寿命をレインフロー法で評価し、FGMは平均応力に対する応力振幅の比が鋼やセラミックス単一材の配管よりも小さくなることを示すと同時に、鋼に対してセラミックスの割合が多くなるべき指数5のときに熱疲労寿命が長くなることを明らかにしている。

第5章「Conclusion and future works」では、本研究の成果を総括するとともに、今後の展望を述べている。以上を要するに、本論文は、傾斜機能材料に関して、固有振動数や過渡的熱伝導を数値解析で取り扱う手法を提案・検証し、3Dプリンタで作製した試験片を用いた実験により妥当性を確認するとともに、サーマルストライピングが生じるT字合流管の熱疲労寿命評価を行ったものであり、工学的および工業的に貢献するところが大きい。よって、博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認める。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。