

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	曲繊維CFRPを伝搬する弾性波挙動の解明
Title(English)	
著者(和文)	芦澤剛
Author(English)	Takeshi Ashizawa
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11412号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:水谷 義弘,轟 章,井上 裕嗣,因幡 和晃,中野 寛,青野 祐子
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11412号, Conferred date:2020/3/26, 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

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		芦澤 剛		
			氏名	職名			
論文審査 審査員	主査		水谷 義弘	准教授	審査員	中野 寛	准教授
	審査員		轟 章	教授		青野 祐子	准教授
			井上 裕嗣	教授			
			因幡 和晃	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「曲繊維 CFRP を伝搬する弾性波挙動の解明」と題し、以下の 7 章で構成されている。

第 1 章「緒論」では、研究の背景および目的について述べている。固体材料を伝搬する弾性波が、超音波デバイスや非破壊検査をはじめとする工学分野において、広く利用されていることを紹介している。また、等方性材料に対する弾性波伝搬挙動に関する多くの理論は既に構築されており、連続かつ直線状繊維(直繊維)をもつ CFRP についても既に構築されているが、曲率を有する繊維(曲繊維)の場合はなされておらず、また十分な知見もないことを指摘している。さらに、3D プリントによる連続繊維 CFRP の成形に関する研究・開発が盛んに行われていることにより、今後は自由な繊維配向を持つ CFRP 構造が増えることと予測し、曲繊維 CFRP を伝搬する弾性波の挙動を明らかにし、その理論を構築する必要があると述べている。これを受けて本研究の目的を、曲繊維 CFRP 中の弾性波伝搬挙動の解明と応用としている。

第 2 章「数値シミュレーションによる弾性波伝搬挙動の可視化」では、差分法を用いた数値シミュレーションにより、曲繊維 CFRP における弾性波の 2 次元伝搬挙動を可視化している。直繊維と曲繊維の場合について解析し、直繊維の場合は波面形状が群速度分布曲線の形状と一致するのに対し、曲繊維の場合は一致せず、繊維の方向にゆがむことを明らかにしている。また、曲繊維の場合は、線音源から弾性波を発生させると、その波面が傾きを変えながら伝搬していくことを明らかにしている。

第 3 章「超音波可視化装置による弾性波伝搬挙動の可視化」では、レーザー超音波可視化装置(LUVI)を用いて試験片を伝搬する弾性波を可視化し、第 2 章の数値シミュレーションの結果を検証するとともに、波面形状の 3 次元のゆがみについて調査している。検証にあたり、繊維含有率が一定などの条件下では、自由な繊維配向を持つ CFRP は直繊維 CFRP と同心円形状に曲繊維を持つ CFRP の組合せになることに触れ、直繊維を伝搬する弾性波挙動は既知であることから、3D プリントを用いることで同心円形状に曲繊維を持つ CFRP 試験片を作製している。その試験片に対し、弾性波の 2 次元伝搬挙動を LUVI により可視化し、第 2 章で得られたシミュレーション結果が妥当であるとしている。また、厚さが異なる試験片を複数用意し、それぞれについて弾性波の伝搬挙動を可視化することで、弾性波が同心円形状曲繊維 CFRP を 3 次元的に伝搬する場合、その波面形状がクロワッサン型にゆがむことを明らかにしている。

第 4 章「波面形状のゆがみを予測する Stip 法の提案」では、材料の群速度分布曲線から曲繊維 CFRP を 2 次元的に伝搬する弾性波の波面形状のゆがみを予測する方法として、最短時間経路線分布図法(Stip 法: Shortest time path distribution method)を提案している。この方法では、試験片の任意の位置に定めた音源に対して複数の受信点を設定し、音源から受信点までの弾性波伝搬時間が最短となるような経路線を描き、それぞれの受信点に対する経路線上で弾性波の到達時刻が同一となる地点を結びことで波面形状を予測している。また、同心円形状曲繊維 CFRP 試験片に対して、Stip 法で予測した波面形状と LUVI で実測した波面形状が一致することを示し、提案手法の有効性を実証している。

第 5 章「同心円形状曲繊維 CFRP の弾性波伝搬挙動に関する相似則」では、同心円形状曲繊維 CFRP を伝搬する弾性波の波面形状に関する相似則について述べている。前章までのシミュレーション結果の観察をとおして、伝搬時間、代表群速度、曲率中心からの距離からなる無次元数を定義し、これが同値であれば、波面形状が幾何学的に相似形になることを発見している。さらに 2 次元および 3 次元的に伝搬するバルク波の挙動について、支配方程式に基づいた証明を行い、同心円形状曲繊維 CFRP が均質円筒異方性材料かつ線形弾性体とみなせる場合に、この相似則が成立することを示している。また、この相似則が実際の同心円形状曲繊維 CFRP 試験片で成立することを LUVI による可視化実験で確認している。

第 6 章「曲繊維 CFRP に関する弾性波の挙動と理論の応用」では、前章までの研究で明らかになった曲繊維 CFRP における弾性波挙動とその理論の応用例を考案し、検討している。具体的には曲繊維 CFRP を用いて超音波の伝搬経路を切り替える超音波経路スイッチへの応用、曲繊維 CFRP におけるアコースティック・エミッション源の位置標定への応用の可能性を実験により示している。また、曲繊維 CFRP におけるフェーズドアレイ探傷への応用の可能性をシミュレーションにより示している。

第 7 章「結論」では、本研究の各章で得られた成果を総括して述べるとともに、本研究で構築した曲繊維 CFRP の弾性波伝搬挙動に関する知見と理論についてまとめている。

以上を要するに、本論文は、曲繊維 CFRP を伝搬する弾性波の波面が繊維方向にゆがむことを明らかにし、その挙動を予測するための理論を構築したものであり、工学的及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。