

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)	要約
Type(English)	Outline

# 令和元年度学位論文 要約

## 曲繊維 CFRP を伝搬する弾性波挙動の解明

東京工業大学 工学院 機械系

芦澤 剛

本論文は以下の 7 章から成る。

第 1 章「緒論」では、研究の背景と目的を示した。本論文は、曲率を有する繊維をもつ炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP）の内部を伝搬する弾性波の挙動について調べた研究である。固体材料を伝搬する弾性波は、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。等方性材料を伝搬する弾性波挙動に関する多くの理論は既に構築されている。また、連続かつ直線形状の繊維をもつ CFRP を伝搬する弾性波挙動に関する理論についても既に構築されている。これに対して、曲率を有する繊維（以下、曲繊維）をもつ CFRP を伝搬する弾性波挙動に関する理論については構築されておらず、十分な知見も得られていない。さらに近年では、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から、今後は自由な繊維配向を持つ CFRP 構造が増えることが予測される。そのため、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。以上の背景から、曲繊維 CFRP の弾性波伝搬挙動の解明と理論の構築、構築した理論の応用例を示すことを研究目的とした。

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、曲繊維 CFRP における弾性波の 2 次元伝搬挙動を可視化するために、有限差分法を用いた数値シミュレーションを行った。CFRP の繊維が直線形状である場合には、波面形状が群速度分布曲線の形状と一致することを確認した上で、曲繊維である場合には一致せず、波面形状が繊維の方向にゆがむことを明らかにした。さらに曲繊維 CFRP に線音源を付与した場合、波面が傾きを変えながら伝搬していくことを示した。

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、曲繊維 CFRP 試験片を伝搬する弾性波を、レーザー超音波可視化装置（LUVI）を用いることで実験的に可視化

した。これによって第2章の数値シミュレーション結果の検証を行い、さらに3次元的に伝搬した場合の波面形状についても調査した。繊維含有率が一定であることなどの条件下では、連続繊維CFRPは直線形状繊維CFRPと同心円形状に曲繊維を持つCFRPの組み合わせとして表現できることを指摘し、曲繊維の中でも同心円形状曲繊維に着目することとした。3Dプリンタを利用して作製した同心円形状曲繊維CFRP試験片中の弾性波の2次元伝搬挙動をLUVIによって可視化し、第2章で得たシミュレーション結果が妥当であることを示した。さらに、厚さが異なる同心円形状曲繊維CFRP試験片を用意し、それぞれの試験片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には、その波面形状がクロワッサン型にゆがむことを示した。

第4章「波面形状のゆがみを予測するStip法の提案」では、曲繊維CFRP中を弾性波が2次元的に伝搬した場合について、その波面形状ゆがみを予測するための方法を提案した。この提案した最短時間経路線分布図法（Stip法：Shortest time path distribution method）は、材料の群速度分布曲線を用いて波面形状を求める方法であり、材料中に点音源と経路線の終点を定め、これらを結ぶ経路線の到達時間を最短にすることで波面形状を求めるものである。Stip法で推定した波面形状と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明らかにした。

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示した。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、これが同値の条件では、波面形状が幾何学的に相似形になることを発見した。これについて、2次元のおよび3次元に伝搬するバルク波について、支配方程式に基づいた数学的な証明を行い、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であるとみなせる場合に、この相似則が成立することを示した。また、LUVIによる可視化実験を行い、実際の同心円形状曲繊維CFRP試験片においても相似則が成立することを示した。

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、前章までに解明した曲繊維CFRP中の弾性波伝搬挙動と、提案した理論の応用例を示した。具体的には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例と、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問題への応用例について、可視化実験を行って適用の可能性を示した。また、曲繊維CFRPにおけるフェーズドアレイ探傷の実施に対する適用の可能性を、数値シミュレーションによって示した。

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た。