

公益財団法人 セコム科学技術振興財団
研究成果報告書

研究課題名

弾性波動論と AI の融合による完全非接触レーザー超音波非破壊検査システムの開発

Development of non-contacting laser ultrasonic nondestructive testing by the
integration of elastodynamic theory and AI

研究期間

令和 2 年 10 月 ～ 令和 6 年 9 月

報告年月

令和 6 年 12 月

研究代表者

群馬大学大学院理工学府 環境創生部門 准教授

齋藤 隆泰

Department of Civil and Environmental Engineering, Gunma University, Associate Professor
Takahiro SAITOH

概 要

橋梁等の社会インフラ構造物や原子力機器、航空機に至るまで、様々な構造、材料の健全性評価を目的に非破壊検査が用いられている。特に、超音波を用いた非破壊検査法（超音波非破壊検査法）は、利便性に優れ、放射線検査のように人体への影響も問題視されないことから、現場で広く利用されてきた。しかしながら、超音波非破壊検査では、探触子と呼ばれる超音波送信機器と検査対象物の間に接触媒質を塗布する必要がある。しかもその際、探触子から放射される超音波を試験体に正しく伝搬させるためには、探触子を試験体に強く接触させておかなければならない。また、一般的に社会インフラ構造物に対する現場での検査は、広範囲を迅速に検査することが求められている。加えて、超音波非破壊検査では、複雑な挙動を示す超音波の波形から欠陥の有無等を判定するため、検査員にかなりの熟練度が求められるものの、将来の検査員不足も懸念されている。そのため、これら超音波非破壊検査の欠点等を改善した新しい超音波非破壊検査法の開発が求められている。

そこで、本研究では、これら通常の超音波非破壊検査法の欠点を克服した、新しい超音波非破壊検査法の開発と応用を試みる。特に本研究では、試験体表面を伝搬する超音波を擬似的に可視化しながら検査するレーザー超音波可視化試験（LUVT: Laser Ultrasonic Visualization Testing）を機械学習や深層学習を用いて自動化する方法を検討する。

そのような本研究は、主に 4 つの研究内容から成る。まず、様々な材料中を伝搬する超音波を可視化するための超音波シミュレーターを開発する。一般的に、超音波は固体中で弾性波の性質を示す。そのため、ここでは超音波が満足する弾性波動方程式を数値的に解くことで、非破壊検査の対象となる等方性や異方性材料、非均質材料であるコンクリート中の超音波伝搬可視化手法を開発する。超音波シミュレーターのベースは時間領域差分法、有限要素法、境界要素法であり、解析の対象となる材料の性質や、解析領域に応じて使い分ける。2 つ目の内容は、レーザー超音波可視化試験である。アルミニウムやコンクリート等、様々な材料に対するレーザー超音波可視化試験を実施し、その特性を把握すると同時に、後に実施する機械学習・深層学習で必要とされる教師データ等を取得することを目的に実施する。また、開発した超音波シミュレーターで、レーザー超音波可視化試験に対するシミュレーションを実施し、その有効性についても検討する。3 つ目の内容は、機械学習や深層学習のレーザー超音波可視化試験への応用である。機械学習や深層学習は、AI の基礎となる技術である。レーザー超音波可視化試験で得られる超音波伝搬画像から、深層学習を用いて欠陥有無等を自動的に判定する方法を開発する。なお、深層学習に必要な学習データが必ずしも十分でない場合は、超音波シミュレーターや、スタイル変換と呼ばれる画像生成技術を用いて、実際のレーザー超音波可視化試験と同等な画像を生成することも試みる。4 つ目の内容は、欠陥形状再構成である。等方性や異方性材料中の欠陥形状を、受信波形から再構成する技術を開発する。特に、本報告では、コンクリートに対する健全性評価で従来から用いられてきたトモグラフィ理論を再検討し、量子アルゴリズムを用いた新たなトモグラフィ理論を考案する。

最後に、これら 4 つの研究内容をまとめ、本研究の結論および今後の課題について検討する。レーザー超音波可視化試験に様々な深層学習技術等を取入れ、広範囲検査可能な自動非破壊検査手法の開発を目指す本研究は、まさに現在、欧米をはじめ議論が進められている、データサイエンスを取入れた新しい非破壊評価(NDE4.0)に資する研究であり、本研究を足掛かりに、さらに次世代の非破壊評価である NDE5.0 の足掛かりとなるものである。