

強化プラスチックス

REINFORCED PLASTICS

VOL.69
NO.5
2023



JRPS

5

■ 製品紹介

レーザー超音波可視化探傷法を用いた 非破壊検査装置のご紹介

鈴木 修一^{*1}, 高坪 純治^{*2}, 王 波^{*3}

1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) に代表される先進複合材料は、航空宇宙分野や自動車分野をはじめとする様々な分野において、その強度の高さ・重量の軽さを生かし、構造材として重要な部分での需要増加が続いている。これに伴い安全性と信頼性確保の重要性も増している。また、的確な補修によって構造体の長寿命化を図ることは、トラブルを回避し保全を図る観点からも、環境負荷を低減の観点からも必要である。このためには、複合材料構造体の損傷や劣化の状況を確実に把握する非破壊検査や構造健全性モニタリング技術が必要であり、超音波、X線、サーモグラフィ、渦電流、光ファイバーなど様々な手法がそれぞれの特徴を踏まえて利用されるとともにさらなる研究開発が進められている。これらのうち、我々はレーザー超音波可視化探傷技術とそれを用いたレーザー超音波可視化検査装置 (Laser Ultrasonic Visualizing Inspector: LUVI) の開発に取り組んでいる。

レーザー超音波可視化探傷技術とは、レーザーを利用して検査体表面に伝わる超音波の伝搬挙動を可視化し、可視化映像の中に現れる波動の乱れを検知して欠陥を検出評価する技術である。検査体表面にパルスレーザーを照射すれば瞬間的な熱ひずみの発生により超音波が励起される。この超音波励起点をミラー走査しながら複数の超音波を発生させ、固定点で受信・収録した信号波形列を再構成すれば超音波の伝搬映像を取得することができる。

本探傷技術は、

- ① 高速で広範囲を効率的に検査可能

*1 つくばテクノロジー(株) 常務取締役兼開発製造部部長
*2 つくばテクノロジー(株) 開発製造部 技術顧問
*3 つくばテクノロジー(株) 代表取締役

- ② 曲面部等の複雑形状部を検査可能
 - ③ 不感帯（表面直下の探傷不可領域）がない
 - ④ 傷エコーを動画映像とするため欠陥発見が容易
- という、従来の探傷法にはない優れた特徴を有している。

上記の特徴からレーザー超音波可視化探傷技術は、従来の超音波探傷法では検査が難しかった円筒内壁の欠陥検査や接着接合面の検査、CFRPなど樹脂複合材料の欠陥検査などの分野で、有効に活用されている。

本稿では、これらの新規適用分野での検査事例を交えながら、LUVIのご紹介をさせていただきます。

2. 可視化システム

可視化システムの構成図を図1に示す。レーザー超音波可視化探傷技術はまず、パソコンでレーザーとガルバノミラーおよび高速A/D変換器を同期制御し、パルスレーザーを検査対象物表面に格子状に高速走査させる。すると、熱歪みによる微弱な超音波が励起される。その超音波伝搬信号を、「接触式計測」では対象物に取り付けた圧電受信センサ（最大8個）で、あるいは「非接触式計測」では非接触で受信可能なレ

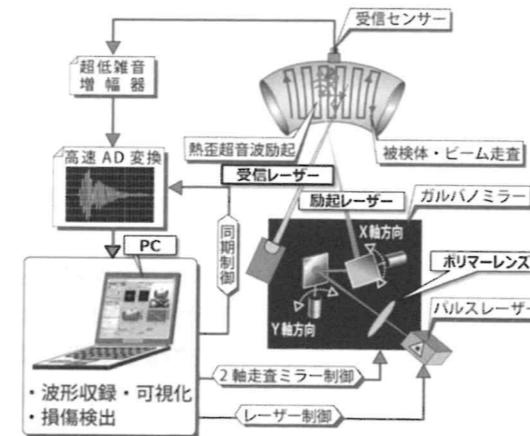


図1 可視化システムの構成図

ザードップラー振動計で検出し、超低周波増幅器を通して信号を增幅して、高速A/D変換器によりパソコンのハードディスクに記録する。このレーザー走査点から受信センサに向かう複数の超音波伝搬信号を超音波伝搬の相反性を利用して再構成することで、受信センサ部から発振される超音波を動画映像として可視化することができる。図2は板上にあるスリットを可視化する超音波の映像を示している。

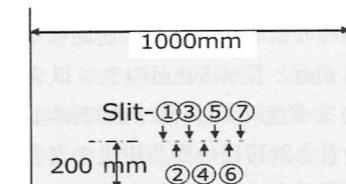


図2 スリット模式図と超音波伝搬映像

また、図3で示している携帯式のLUVI-LCは、最も大きいレーザーユニットでもW380×H130×D102と小型であり、重量もレーザーユニット・計測ユニット・電源ユニット含め約14kgと軽量で、可搬性に優れている。このため、LUVIは研究・開発目的のみならず、実際に稼働している対象を現場で検査することが可能である。

またLUVI-LCは、検査体までの距離を0.1～5mまで調節することができる、人間が立ち入るには危険な箇所を遠隔で安全に検査することができる。



図3 レーザー超音波可視化検査装置 (LUVI-LC)

3. 可視化検査例

3.1 プラスチック同士の接着接合面の検査

近年、金属とプラスチック、異種プラスチック同士の様々な接合技術の開発が進み、市場への投入が進んでいる。これらの接合部品は特に信頼性を要求される部位に使用されることが多いため、自動車産業等では接合面を効率的に全数検査できる検査法として、レーザー超音波可視化探傷技術に注目が集まっている。不良接合部は超音波が透過し難く、透過超音波の振幅の低下で不良部を検出できるため、接合面の検査には超音波を利用した方法が適している。

例えば図4は、健康機器用プラスチック接着部品の検査方法を示したものである。部品内部で2つのプラスチックがドーナツ状に接着されている。超音波センサの上に検査品を置き、内部を透過して表面に現れた超音波の振幅分布を測定した結果を図5に示す。良接着品ではドーナツ状の接着領域がはっきりと確認されるが、不良接着品では超音波が透過し難いため接着領域が現れていない。

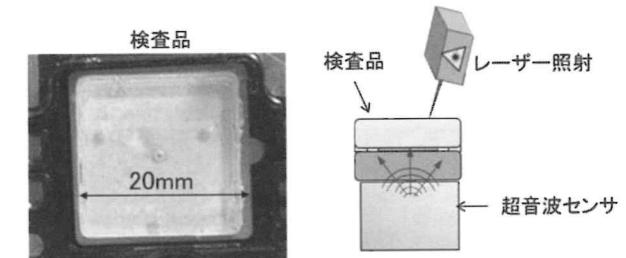


図4 プラスチック接着部品の検査

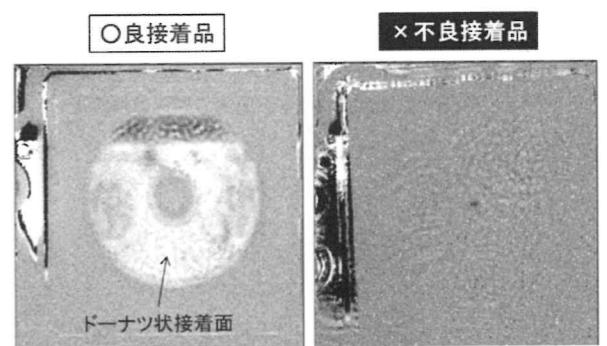


図5 プラスチック接着部品の良接着品と不良接着品の超音波透過画像

3.2 鋼材を挟んだCFRP板の検査

CFRPは軽量化に優れた素材として、航空機などの輸送機業界を中心に導入が進んでいる。ここでは、鋼材を挟んだCFRP板のはく離検査例を紹介する。

図6は、鋼材を挟んでCFRP板を上下に接着したCFRP接着鋼板である。鋼板とCFRPの界面、およびCFRPの層間にはく離を模擬して6枚の四角なテフロンシートが埋め込まれている。超音波透過波の最大振幅画像にはそれら6箇所のはく離部が観察されている。図7はレーザー走査20秒の結果とレーザー走査8秒の結果を比較して示しているが、わずか8秒のレーザー走査でも、はく離箇所が検出できていることがわかる。

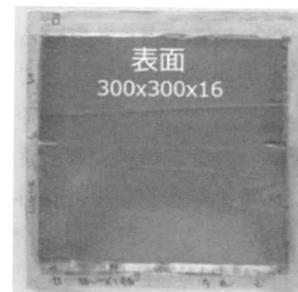


図6 CFRP接着鋼板

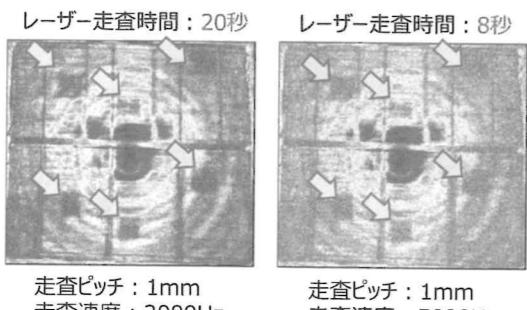


図7 CFRP接着鋼板の超音波透過の最大振幅画像

3.3 CFRP曲面部の検査

前項では平面の対象の検査例を紹介したが、本項ではレーザー超音波可視化探傷法をCFRPコーナー部の層間はく離の検出に適用した例を紹介する。

CFRPは積層構造のため、超音波の音速や減衰率が異方性を有しており、特に曲率を有するコーナー部の検査はボトルネックとなっている。また、超音波は減衰が大きいため遠くまで伝わらず、広い領域を効率的に検査できる手法の開発が求められている。

図8に試験片の概略図を示す。層間はく離を模擬して寸法 $2 \times 2\text{ mm}$ と $5 \times 5\text{ mm}$ のテフロンシートが合計6枚、深さを変えて埋め込まれている。左側2枚は裏側の1ply目と2ply目の間、中央の2枚は4ply目と5ply目の間（厚さ中心）、右側2枚は表側7ply目と8ply目の間に埋め込まれている。コーナー部を下側から上側に伝わった超音波の伝搬の様子と最大振幅画像を以下の図9に示す。

以上の画像から、6か所のテフロンシート全てを検出できていることがわかる。現在、航空機用CFRP/GFRPパネルや風力発電用GFRPブレードを対象として実機検査への適用が進められている。

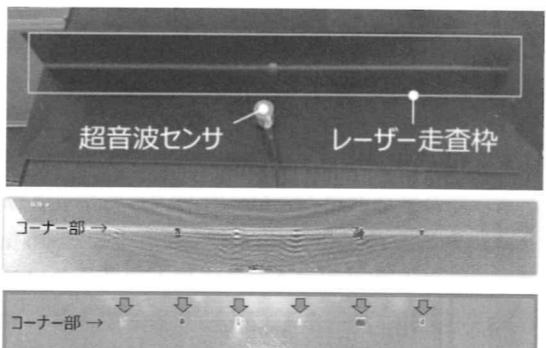


図9 CFRPコーナー曲面部を伝搬する超音波の伝搬の様子と最大振幅画像

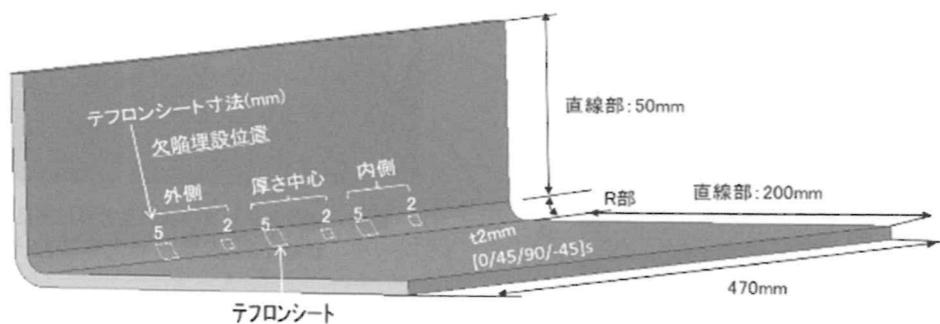


図8 コーナー曲面部にテフロンシートを埋め込んだCFRP試験片

4. おわりに

従来の超音波探傷法は、超音波センサを当てた局所領域の深さ方向の検査に威力を発揮するが、広い面の検査に時間がかかり、また、曲面部や凹凸部、狭い部の検査が苦手である等の弱点を有している。これに対して、レーザー超音波可視化探傷法は、それほど厚くない物体の面方向の検査を得意とし、これまで検査が困難であった複雑形状物体や数ミリサイズの小さな物体も可能であるという利点を有している。

本探傷法を用いたLUVIの研究・開発も日進月歩である。現在は非接触式での検査精度をより高めるためのシステム構築や、現場での携帯性をさらに高めるべく小型化へ向けた研究が進められている。

材料の軽量化・強度アップ、設計の容易性などの要

因からCFRPをはじめとする先進複合材料も日に日に需要を増している。それらの新規適用分野に、新しい検査技術であるレーザー超音波可視化検査技術を用いたLUVIの適用が注目を集めている。

参考文献

- 1) 卜啓・高坪純治・遠山暢之他, 日本複合材料学会誌, 38-5, 183 (2012)
- 2) 王波・高坪純治・齊藤典生他, Synthesiology, 10-2, 75 (2017)
- 3) 高坪純治・王波・劉小軍他, 超音波テクノ, 30-6, 50 (2018)
- 4) 高坪純治・王波・鈴木修一他, 光アライアンス, 31-6, 6 (2020)
- 5) 高坪純治・王波・鈴木修一・劉小軍, 光技術コンタクト, 58-8, 26 (2020)