

別紙1 (博士論文の審査結果の要旨)

氏名 Md. Sanaul Rabbi

現在、炭素繊維を用いた CFRP 薄板は軽量化が必要な構造材に多く使用されつつある。航空機では、翼や胴体など主要な構造材に使用されており、CFRP 中に発生する層間剥離や亀裂の発生をいち早く検出することが、安全維持のためにも欠かすことができない。このような検査の場合、従来より超音波探傷法が用いられてきた。しかし、小さな傷や表面近傍あるいは薄板中に発生した欠損を検出するためには、波長の短い超音波を使用しなければならない。そのため、一度に検出する範囲が限定され、検査に要する時間およびコストが高くなり、高い頻度での検査が難しいとされている。これらの欠点の解消を目的として、本研究ではガイド波の一つである A0 モードラム波を用いた非破壊検査を扱っている。ガイド波は薄板内を導波路として進行するためエネルギー減衰が小さく、欠損がなければ非常に遠いところまで伝搬するという特徴をもっている。また導波路中に欠損がある場合は局所的にエネルギーが散逸し、その進行に影響を及ぼすためガイド波の波面を時々刻々解析することで欠損の存在を特定できることが推測される。しかしガイド波の多くは分散性の波であり、音速が周波数と板厚によって変化するため波面の進行とともに入射パルスの形状が崩れ、亀裂や剥離、腐食箇所からの散乱波を検出することが困難になるという問題点がある。そのため、ガイド波を用いた亀裂の撮像法が研究されつつある。そのうちの 하나가、Prada らによって提案されている群速度がゼロになるラム波のモードを利用した撮像手法である。非常に面白い現象を利用した手法であるが、材質および板材の厚さによって、ゼロ群速度モードを実現する周波数が異なる。そのため、広帯域で対象を励振しなければならず、また発生した多数のモードから当該モードを抽出する困難を伴っている。これに対し、2011 年に寺本らによって提案された

「動的せん断ひずみ解析法」は、波長より小さな欠損の近傍の波動場の強度の空間分布に着目したものである。近接場は、放射源の近傍に停留する場であるため、近接場の抽出は、波源の特定を意味する。この手法の特長は、次のようにまとめることができる。(1)検査対象表面の法線方向と検査対象表面に沿う方向に関する、互いに直交する一対の動的面外せん断歪みからなる信号列の分散共分散行列の行列式を利用している。(2)欠損のないところでは、上記の一対の動的面外せん断歪みが互いに線形従属の関係にあるが、欠損近傍では、入射波と散乱波が重畳し、線形性が破綻する。(3)その結果、欠損のないところでは、行列式の値は、ゼロに近い値を示すのに対し、欠損近傍では、ある正の有限値を示す。そこで、行列式の値の分布にもとづき、周波数や伝搬速度とは独立に再放射源の近接場領域の撮像を可能にしている。提出論文では、異方性薄板材を伝搬するラム波の振る舞いを数学モデルを用いて明らかにし、同時に数値モデルを用いた実験により検証している。さらに、異方性薄板材の欠損検出に「動的せん断ひずみ解析法」を適用したときの、欠損検出能力について、前述の数値モデルを用いて解析し、その有効性を明らかにしている。異方性材料では、等方性材料と異なり、波面の伝搬方向によって、その速度が変化する。そのため、従来の探傷法のように、伝搬遅延時間にもとづく探査法では、欠損の正しい位置を同定することが原理的に困難であった。しかしながら、本手法は、伝搬速度の方向依存性によらずに、欠損の位置を同定できることが、本研究により示された。成果の一部が International Journal of COMADEM Vol.21-1 (2018)に掲載された。平成 30 年 7 月 20 日に実施した学位論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。以上の審査結果に基づき、本論文は博士(工学)の学位を授与するに値すると判断され、審査委員全員一致で合格と判定した。