

## 論文の内容の要旨

### 1 申請者

防衛大学校 鈴木 総司

### 2 論文題目

背景反射の除去手法を用いた赤外線サーモグラフィ試験

### 3 論文の内容の要旨

本研究では、建物外壁のはく離検査などの赤外線サーモグラフィ試験時に問題となっている背景反射に対し、複数の反射除去手法を提案し解決を図っている。

赤外線サーモグラフィ試験は、状態監視や非破壊検査などで広く利用されている。本試験方法は、広範囲を一度に検査できるため効率的であり、対象材料の制限が他の非破壊検査手法に対して比較的少ないことなどが利点としてあげられる。しかし一方で、この方法は背景反射などの外乱の影響を受けやすい欠点を有する。例えば、高温の背景物の放射エネルギーが試験対象面に反射して赤外線サーモグラフィ装置に入射すると、きずの存在により生じた高温部と同様に検出されてしまう。そのため、背景反射は、きずの誤検知の要因として解決しなければならない大きな課題の一つとなっている。そこで本研究では、赤外線サーモグラフィ試験における背景反射の低減および除去を目的とする。様々な条件に対応するため、検査の手順に応じて①検査前、②計測時、③データ処理時の3つの段階に分け、それぞれにおいて反射除去手法の提案を行った。以下に、論文の概要を示す。

第1章では、赤外線サーモグラフィ試験における外乱の影響の除去に関する国内外研究を紹介し、残されている解決すべき課題についてまとめた後、本研究の目的および論文の構成を示している。

第2章では、②計測時に適用する手法として、偏光理論を利用した背景反射の低減および③データ処理時の除去手法の提案を行った。偏光理論の違いから、絶縁物と金属を分けて実施している。まず、赤外線サーモグラフィ装置に偏光子を取り付け、S偏光測定とP偏光測定の結果を比較する作業のみで、背景反射ときず指示とを判別できる定性的な背景反射低減手法を考案した。ただし、本手法は、きず指示と背景反射が赤外線サーモグラフィ装置の視野において位置的に重なっていると適用できない場合がある。続けて、偏光理論に基づく定量的な背景反射除去手法を提案している。赤外線放射エネルギーと赤外線反射エネルギーを2変数の線形方程式とし、偏光子付赤外線サーモグラフィ装置でS偏光測定とP偏光測定を実施、方程式を解くことにより、赤外線エネルギーの反射成分である背景反射と、放射成分であるきず指示を定量的に分離できる。本手法により、たとえ赤外線サーモグラフィ装置の視野内においてきず指示と背景反射が重なっていても、それぞれを定量分離でき、きず指示のみの熱画像を抽出作製することが出来る。対面角度をつけて測定できる対象物であれば、金属、絶縁物を問わず、有

効な手法である。

第3章では、③データ処理時に適用する手法として、修正位相解析手法を提案し、低熱拡散率材料のコンクリート構造物のはく離検知試験における背景反射除去の有効性を示した。まず、有限要素法を用いた数値実験と MATLAB を利用した位相解析により、コンクリート構造物のはく離検知試験における温度履歴の位相挙動を明らかにした。その知見をもとに、温度データを逐次取得し、その都度に位相解析処理を行うアルゴリズムを提案している。本手法は、全測定データを利用するためコンクリート構造物など低熱拡散率材料では検査に時間がかかってしまう問題、視野内に複数のきずが存在していた場合に見逃してしまう問題等、これら従来の位相解析手法における問題点を解決できる。併せて、本手法が背景反射除去に有効であることの結果を得ている。特に、コンクリートなど低熱拡散率の材料に対して効力を発揮する手法である。

第4章では、①検査前に適用する手法として、ポリビニルアルコール製の高放射率フィルムおよび塗料を作製し、背景反射の低減を行った。本フィルムおよび塗料は、可視光域で透明なため貼付後も目視検査が可能であり、赤外線域で高放射率を有するため背景反射の影響を低減でき、水溶性があるため試験後に除去し易い特長を持つ。これらは従来の黒体フィルムおよび黒体塗料の欠点を補うもので、特にアルミニウム製品やステンレス配管などの高反射金属製品の非破壊検査に実用的に機能する。本章内では、FT-IR 装置を用いて、高放射率を有し、かつ無視できない程度の透過率も合わせ持つ材料の分光放射率を定量的に求める測定方法を考案している。測定の結果、作製したフィルムおよび塗料は一般的な赤外線サーモグラフィ装置に用いられる波長帯域 3~5 $\mu\text{m}$  よりも 8~14 $\mu\text{m}$  の方が、高放射率であることを示している。また、減肉きずを持つステンレス鋼板に対して、背景反射を低減させることができ、きず検知が可能なることを実験的に示した。

第5章では各章の結言をまとめ結論とした。

以上の結果により、赤外線サーモグラフィ試験において、①検査前、②計測時、③データ処理時の3つの検査段階に分け、背景反射を定性的に低減または定量的に除去する手法を提案した。それぞれの手法を用いることで、幅広い分野に適応できる。

#### 4 キーワード

非破壊検査，赤外線サーモグラフィ試験，背景反射，偏光，位相解析，高放射率化