

## 審査の結果の要旨

氏名 山 際 謙 太

破面解析は機械構造物の破損事故等の原因究明に、有効な手段であり、熟練者により多くのデータが蓄積されて来た。しかし、従来の破面解析は、解析熟練者が、破面観察を行う場合が多く、定性的な評価に留まるものが多く、客観性の観点から問題が指摘されてきた。今後、熟練者の減少は、技術の伝承の上で問題を生ずることが懸念されている。本論文では、数値破断面解析のフラクトグラフィ分野への導入により、より客観的な破面特性の表現方法の検討を行っている。数値破断面解析の中でも特に、局所パラメータに着目し、破面の数値解析法の提案、検証を行っている。本論文は以下の6章で構成されている。

第1章では本研究の背景および、フラクトグラフィ分野に関する従来の研究の調査結果を示し、本論文の研究目的および論文の構成を述べている。

第2章では破断面の局所性評価手法の提案を行っている。破面は、観察する領域や観察倍率に応じて、様々な様相を持つため、「局所性」を破壊機構と関係付けることがフラクトグラフィの一般化のためには必要となる。ところが、数値破面解析の分野においては、局所性を評価するためのパラメータは確立されておらず、観察者の主観に依存する割合が多いのが現状である。本論文では、この問題の解決のため局所性を評価するための新たなパラメータ（局所パラメータ）を提案している。領域と破面様相の関係を評価するために、1：ストライエーション度、2：2次元局所 Hurst 数の2種類の提案を行っている。前者が破面に周期性がある場合に、後者が周期性がない場合に有効なパラメータであることを示している。さらに、観察倍率と破面様相の関係を評価するためには、観察倍率毎のフラクタル次元を提案している。次章以降に個別の破面への適用方法を詳述している。

第3章では、ウェーブレット変換を用いた疲労破断面のストライエーション同定法の提案を行っている。疲労破面の主な特徴であるストライエーションの破面率は、応力比や $\Delta K$ に依存することが知られており、作用応力推定に有効な指標となる。本章では、このような力学情報の導出に資するため、ストライエーション領域を評価するための局所パラメータとして、ストライエーション度を提案している。特に、画素単位の評価を可能とするために、ウェーブレット変換を用いた手法を開発している。本章では、疲労破面画像からストライエーション度を示すプロセスについて述べている。ストライエーション度の有効性を検証するため、仮想的にストライエーション破面を作成し、設定されたストライエーション領域の検出、確認を行った。次に、2.25Cr-1Mo 鋼と A2017-T4 アルミニウム合金の軸荷重疲労試験の破断面に適用した。その結果、ストライエーション度を用いることで、疲労破面の破面率が評価でき、実破面においてもストライエーション度が確実に評価できることを示した。しかし、ストライエーション破面率を決めるために導入したしきい値については、観察者の主観に依存するため、この決定法については今後の課題として残された。

第4章では、局所 Hurst 数を用いたストレッチゾーン幅の定量評価手法の提案を行っている。破面が周期性を持たない場合に、破面の観察倍率に依存しない特徴量として、2次元局所 Hurst 数を提案している。局所 Hurst 数の破断面解析への応用は、従来、専ら1次元でしか利用されて来なかったところ、本研究では2次元へと拡張し、破面の濃淡画像から求める手法を提案した。濃淡画像を用いることで、簡易に破面の全体の複雑さを評価することが可能となり、2次元化することで、従来よりもより多くの情報を特徴量に反映することが可能になった。提案する2次元局所 Hurst 数をストレッチゾーンの幅( $SZW_c$ )の定量評価に適用し検証している。 $SZW_c$ の測定に関しては、従来目視により行われることが多かったが、ここでは $SZW_c$ を自動的に定量評価する為の手法を提案し、圧力用配管用炭素鋼 STPG370の破壊靱性試験破面に適用した。その結果、目視により決定したストレッチゾーンや  $SZW_c$ を比較してよく一致することが確認された。従って、2次元局所 Hurst 数の有効性が確認された。

第5章では、観察倍率と破面様相の関係を示す局所パラメータとして、観察倍率毎のフラクタル次元を提案している。破面観察において、観察倍率が低倍率の場合、破面はフラクタル性をもつが、観察倍率が大きくなると様相が変化し、フラクタル性を失う場合がある。従来の研究では、フラクタル次元と観察倍率の関係が詳細に議論されてこなかったため、フラクタル性の適用性が十分に明らかにされていなかった。本研究では、観察倍率を変化させながら、各観察倍率におけるフラクタル次元を計算し、破面のフラクタル性を広範囲の観察倍率について求めている。観察対象としたのは、TiAlのクリープ、クリープ疲労破面である。クリープ破壊は、粒界破壊の領域と粒内破壊の領域、クリープ疲労破面に関しては、粒内破壊の破面に対して適用した。その結果、フラクタル性が成立する限界の寸法のオーダーは破面に特徴的な大きさと相関があることを示した。例えば粒界破壊破面では、結晶粒の大きさが特徴長さと一致していることを示した。この特徴量と、破壊機構、金属組織との関係については今後の課題として残された。

第6章では本研究で得られた結果の要約及び、今後の研究課題について展望している。

以上のように、本論文で開発された局所パラメータを用いた破面の特性化手法は、フラクトグラフィの分野に大きな貢献があり、その波及効果は極めて大きなものがある。本研究によって、破断面から事故分析を行う技術にも大きな貢献があるものと期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。