

審査の結果の要旨

氏 名 高 梨 正 祐

構造物や機械の破壊事故の際には、その原因究明と再発防止の観点から、必ずといってよいほど破断面の調査が実施されている。こうした評価手法はフラクトグラフィとよばれ、損傷問題の解決に大きく貢献してきた。だが、フラクトグラフィ手法は、研究の初期段階から熟練した技能が要求され、現在では以下のような問題点がある。

- (a) 熟練者の減少と技術の伝承
- (b) 解析評価が定性的かつ主観的
- (c) 過去の事例・データの管理

以上の問題点は、いずれも相互に関連を持つものであり、完全には分離できない。そこで本研究では、破面を数値的に表現する手法、すなわち定量化により、損傷解析を支援していくことに着目した。つまり、本研究では、

- (a) 破面へ定量的指標を導入し、迅速かつ客観的な破面解析を可能とする
- (b) 破面データの系統立てた管理により、フラクトグラフィ技術を維持・伝承することにより損傷解析を支援することを目的とした。

まず、定量的破面解析に用いられるパラメータとして、既存の破面特徴量について調査している。その結果、これらのパラメータのうち、破面の定量化の効果と意義を確認しやすいテクスチャ統計量と表面性状（粗さ）を代表的なパラメータとして取り上げ、破面解析技術の要素技術として位置付け、その適用化検討を行っている。

実機で生じる破面は、破面集などに記載されている典型的な破面とは様相を異にすることが多い。よってまず破壊原因に起因する破面性状の相違を、テクスチャ解析により自動分離する手法を提案している。現在、損傷調査現場で破面解析によく利用されている走査型電子顕微画像は、コントラストや明るさの影響を受ける。そこで、コントラストや明るさの影響を受けにくいエッジを濃淡画像から抽出し、破面の定量解析を実施する手法を提案している。破面から抽出されたエッジ画像に対して、エッジとエッジの間隔を統計量として評価すれば、破面の特徴が捉えられると考えている。ここでは医療分野などの画像処理で用いられるランレングス統計量の導入を試みている。疲労破壊と急速破壊の破面でランレングス統計量を算出したところ、ランレングス統計量は破面性状に依存することが判明した。したがって、この統計量を用いれば、熟練者の主観に頼ることなく、両破面を分

離することが可能であることを明らかにした。

次に、破面集に記載されているような典型的破面が得られる場合、さらなる詳細情報として作用荷重レベルを推定する手法を提案している。構造物の破壊は、供用中に生じた疲労き裂が成長し最終破壊に至るケースが多いことから、本研究ではストレッチゾーンに着目した。ストレッチゾーンは、部材に発生した疲労き裂が過大荷重を受け、急速破壊に遷移する過程で、疲労き裂の先端が引き伸ばされることにより形成される。このストレッチゾーンの幅は、弾塑性破壊靱性値とよい相関があることが知られているため、ストレッチゾーン幅の定量的評価法を提案した。ストレッチゾーンが形成されるプロセスを分析し、ストレッチゾーン内では表面粗さが小さくなることに注目した。ストレッチゾーンを挟む破面の算術平均粗さを計測し、粗さの相対的变化を利用したストレッチゾーン幅を決定する手法を提案した。次に、炭素鋼配管から採取した試験片に対して弾塑性破壊靱性試験を実施し、この破面に本手法を適用した。従来知見である J 積分値とストレッチゾーン幅の関係を用いて検証したところ、本手法での評価結果は従来知見のばらつき内であることを確認した。この結果、ストレッチゾーンが観察される場合、本手法を用いれば破面から定量的に破壊靱性値を求めることができるようになった。また、破壊靱性値から破壊荷重レベルを推測する手順についても本論文中に示した。

最後に、以上のような要素技術を用いて破面を評価した結果を体系的に整理することができ、なおかつ経験の浅い観察者や研究者の破面解析を支援するデータベースシステムを構築した。本システムには通常データベースとしての機能のほかに破面の特徴量を計算するプログラムを搭載した。開発したシステムでは、破面から抽出した特徴量をもとに破面画像を検索し、類似画像の検索を支援するシステムとした。複数ある破面特徴量の選択法や、類似判定のための特徴量範囲設定など、本システムにより損傷品からの損傷原因推定を客観的にかつ迅速に行うことが可能となり、損傷問題の早期解決が可能となった。また、破面解析を行うと、自動的にデータがデータベースに投入されるから、データ管理の問題も解決できる。新たに生じる破面の解析のための参考データとして活用でき、データの再利用性が向上することを示した。

以上のように、本研究では、定量的破面解析手法を新たに開発し、これを援用した損傷原因推定技術を新たに開発するものである。開発された手法は、機械構造物の信頼性確保のためのリスクベース評価にも適用可能であり、幅広く展開できるものと考えられる。将来的には、専門家によってシステムが結論を下してくれるようなエキスパートシステムへの展開も期待できる。

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。