

[別紙 2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 村山 英晶

機械構造物の信頼性と安全性を担保するため、設計技術、製造技術、品質管理技術および保守技術の高度化が進められている。しかしながら、構造物の大型化に伴い、事故の結果がもたらす人的、経済的および環境への被害も大規模かつ重大となっている。構造物の強度や耐久性は、使用環境や運用状況によって大きく変化する。構造物の受けている被害度あるいは余寿命を推定して、構造健全性を保証するためには、製造初期の状態だけでなく使用中の構造応答等をモニタリングすることが必要となる。そのような視点から構造ヘルスマニタリングの考え方が提案されている。構造ヘルスマニタリングは、構造物にひずみセンサ等を多数配置し、その計測値をモニタすることにより、対象構造物に作用する荷重や応力状態をリアルタイムで評価し、疲労余寿命や破損の予知を行う手法である。当初航空機の保守・検査の自動化を目的として開発されたが、その後、船舶、橋梁、土木建築物、衛星機器などへの適用が進められている。我が国においても早くからその有用性が認められ、様々な領域から横断的な研究がなされてきた。しかし研究開発の多くは、要素技術の発明・改良に重点が置かれ、実用化を目指した統合的な研究開発が少ないというのが現状である。

本研究は、センサ・計測・複合材料成形などのハードウェア的な、そして各種計算シミュレーション・アプリケーション開発といったソフトウェア的な技術を統合化して構造ヘルスマニタリングシステムを構築し、複合材料製の実構造物の適用を検討している。光ファイバセンサによる構造モニタリングの可能性を検証する基礎的研究を実施し、その知見をもとに実海域での船体構造モニタリング試験を行っている。さらに、構造ヘルスマニタリングシステムを大型複合材料製の競技用帆走艇に適用し、その有用性を実証的に示している。

光ファイバセンサの適用可能性に関する基礎的研究では、まず FLDV センサの検出原理と適用限界について実験的に確認し、複合材料の損傷にともなう AE (acoustic emission) を埋め込み型の光ファイバセンサより直接的に計測できることを示している。

次に FBG センサの構造モニタリング実験では、FBG センサの特徴でもある準分布計測の適用性を検証し、温度の変動に関係なく精度良いひずみを計測す

ることを示した。FLDV センサと FBG センサを、実海域を航行する船舶に装着し、船首部衝撃荷重と船体縦曲げひずみを実測した。これにより実験室で確認した両光ファイバセンサの性能を海上環境中で確認し、船舶および海洋構造物への光ファイバセンサ適用可能性を実証している。

分布型光ファイバセンサである BOTDR のひずみ計測におけるセンサの空間分解能とひずみ感度について実験的に検討した。サンドイッチ構造材に生じた表皮材と心材のはく離をひずみ分布の変化から検出することを試みている。その結果、BOTDR はその空間分解能の制限により、空間分解能以下のスケールで急激に変動するひずみ分布を正しく計測することはできなくても、ブレイアン散乱光の周波数分布を利用して損傷の有無は推定できることを示した。

本論文の主要な成果である、複合材料構造のヘルスマonitoringに関する実証的研究を実際のアメリカズカップ級 (IACC) ヨットを対象として行っている。単に実験室での基礎研究にとどまらず、実構造物への適用をその研究課題の中心に据えている点が本論文の特徴となっている。まず、その構造的特徴を調べ、構造上重要な要素が、船体縦曲げ剛性とマストを支えるバルクヘッド付近の横方向のひずみであることが判明したため、その重要構造部位のひずみ計測を BOTDR を用いて行う構造ヘルスマonitoringシステムを開発し、新造したアメリカズカップ挑戦艇艇に実装している。さらに構造ヘルスマonitoringで得られた測定結果を、利用者に有益な情報として提供する評価・解析システムを開発している。このシステムにより建造からレースの間、IACC ヨットにとって特に重要な船体縦曲げ剛性とマストを支えるバルクヘッド付近の横方向変形について、詳細なひずみ分布を定期的に測定し、それらを構造解析結果と比較し、あるいはその経時的変化を調べることにより、構造健全性を評価している。

本論文は構造ヘルスマonitoringシステムを実構造物を対象として実現した先駆的な研究であり、世界的にも極めて希少な実行例を示している。センサ利用技術の改善や、限られた計測データから全体的な構造情報に拡張するためのデータ処理方法など、独創的な手法が提案されている。この実証的研究を通して、複合材料構造物の品質保証と使用中構造健全性評価のための新しい手法が提案されている。

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。