

## 審査の結果の要旨

氏名 白岩 隆行

本論文は、鉄橋等の構造物における損傷劣化を診断するための新たな手法として、構造物診断センサネットワークを提案し、そのための計測・通信技術として損傷記憶スマートパッチの開発と無線ネットワークの構築を行ったものである。論文は全5章で構成されている。

第1章は序論であり、現在使用されている構造物診断の方法として定期検査と構造物ヘルスマモニタリングについて示し、新たに提案した構造物診断センサネットワークの位置付けを明確にしている。特に疲労や腐食等の長期にわたって進行する損傷劣化のセンシング手法について詳細に紹介し、それらの問題点を克服する手法として、疲労のセンシングには損傷記憶スマートパッチを、大気環境の腐食性評価にはACM型腐食センサを用いることを提案している。

第2章は、損傷劣化のセンシング技術の開発について述べたものであり、スマートパッチのき裂進展特性の評価と、ACMセンサのための小型計測装置の作製を行っている。変位制御下におけるスマートパッチのき裂進展挙動は、荷重制御と異なり、有限要素解析により計算した応力拡大係数範囲を用いて、ひずみ比やひずみ振幅によらないひとつの関係式に整理できることを示している。さらに得られたき裂進展特性に基づいて、構造物の余寿命を評価する方法を提案している。またセンサの材料と形状がき裂進展特性に与える影響について調べており、電着銅と電着ニッケルの変位制御疲労試験の結果を用いることで構造物の繰返し回数と応力振幅を同時に推定できると結論している。腐食のセンシングについては、ACMセンサを分散して設置することを提案し、それを実現するための小型計測装置の作製方法から計測法に至るまでを詳細に述べている。

第3章は、無線センサネットワークの構築について述べたものである。まずスマートパッチのき裂長さを電氣的に計測する手法として、スパッタ膜の電気抵抗変化を利用することを提案している。試験片上にスパッタした金属膜には小さな割れが発生するために、その電気抵抗変化は有限要素解析による予測とは異なる傾向を示すが、Dengらが提案した式を適用することでその影響を補正できることが示されている。またフォトリソグラフィ技術を利用して、スパッ

タ膜付きのスマートパッチを大量に再現性良く製造する方法について記述している。次に、ネットワークを構築するための無線技術について検討している。提案したセンサネットワークでは、サンプリング間隔が数分から数日間と比較的長いため、低消費電力と低コストを実現するために、既存の無線センサ用プラットフォームを使用せずに、微弱無線、RFID および ZigBee の 3 つの無線規格を利用して、スマートパッチや ACM センサの計測結果を無線送受信する装置を独自に開発している。RFID を利用する方法では通信距離が短い、電源不要でセンサノード 1 個あたりのコストが非常に安価となることを示している。また ZigBee を用いても比較的長期間にわたって連続的に使用でき、長距離通信やメッシュ型ネットワークを実現できる点で優れていると結論している。

第 4 章では、提案したセンサネットワークを実造物に適用する際の様々な問題について検討している。まずスマートパッチの固定方法として、接着材とスポット溶接の 2 通りの方法について検討しており、溶接固定ではセンサ単体の変位制御試験から得られたデータをそのまま使用できることが示されている。また接着材固定の場合、接着材の伸びによる影響でセンサ単体とは異なるき裂進展特性が現れるが、修正応力拡大係数を導入することでその影響は補正でき、実際に鋼製の丸棒材の応力履歴を推定することに成功している。またスマートパッチにおける荷重方向の影響を実験と数値解析によって評価しており、き裂進展方向は荷重方向によらず一定であり、き裂進展速度のみが変化することが示されている。さらにスマートパッチの耐環境性能を評価するために、NaCl 溶液中で電着銅試験片の腐食疲労試験が行われており、腐食環境下で電着銅のき裂進展速度が低下することを明らかにしている。最後に、提案したセンサネットワークをインターネットに接続することで、疲労と腐食の状態を遠隔地からモニタリングするシステムを提案し、その計測に成功している。

第 6 章は結論であり、本論文の成果についてまとめを行っている。提案したセンサネットワークが構造物の疲労と腐食環境をモニタリングする手法のひとつとして有効であると述べるとともに、今後の展開についても記述している。

以上、本論文は構造物診断の新しい方法としてスマートパッチと ACM センサをベースとしたセンサネットワークを提案しており、そのセンサ特性を明らかにしている。本論文で提案した方法では配線も必要なく、簡単に設置できるので、幅広い構造物の疲労と腐食の評価に対して有効であると考えられる。ここで得られた結果を利用することにより、構造物の損傷劣化が広く行われるようになることが期待され、マテリアル工学の発展への寄与が大きいと判断できる。

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。