

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 南部 将一

本論文は、社会基盤を支える構造物である鉄橋などの疲労負荷をモニタリングするための新たな手法である損傷記憶スマートパッチを提案し、その特性を詳細に評価し、さらにパッチの作製指針について検討したものであり、全6章より構成されている。

第1章は序論であり、構造物ヘルスマニタリングのために現状どのような手法が使用されているかを示し、新たに提案した損傷記憶スマートパッチの疲労負荷のモニタリングにおける位置付けを明確にしている。特に長期にわたって繰返し負荷を受ける構造物への適用が期待されているオフラインモニタリング手法である疲労センサについて詳細に示し、その特徴と問題点について述べるとともに、その問題点を克服する新たなセンシング手法である損傷記憶スマートパッチを提案している。

第2章は、損傷記憶スマートパッチの原理および設計について述べたものであり、最大応力、繰返し回数、応力振幅推定の原理を示すとともに、材料や形状、接着方法についての検討を行っている。最大応力の推定にはAEのカイザー効果を用い、繰返し回数および応力振幅の推定には複数のセンサのき裂進展挙動を用いることを提案している。また25MPa程度の応力を検出するためには、センサとして純銅の片側き裂引張試験片が適当であり、また着脱可能にするために土台とねじで固定する方法を選択したことを述べている。

第3章では、最大応力を評価するために必要となる、純銅の薄板試験片のAE挙動について詳細に検討している。連続波形計測装置を用いることにより、粒径の小さな電着銅のAE挙動の解析を行っている。熱処理を行い組織を変化させることにより、AE開始応力も制御可能であることを示しており、またAE開始応力の材料組織やノッチ長さに対する依存性について検討している。その結果、AE開始応力は降伏応力で制御できることを明らかにしている。また圧延銅ではカイザー効果が成立せず以前負荷した応力を推定できないが、電着銅ではカイザー効果が成立し以前負荷した最大応力を推定できることを示している。さらに疲労負荷を与えた場合についてもAE測定を行っており、組織を変化させた電着銅を用いて疲労負荷の最大応力が推定可能であると結論している。

第4章では、繰返し回数および応力振幅を評価するために必要となる、純銅の薄板試験片の疲労き裂進展挙動について検討している。まず破壊力学的評価方法に従って、応力拡大係数を用いてき裂進展挙動を整理したところ、それぞれの負荷条件においてParis則で整理できるものの、応力振幅や応力比によってき裂進展挙動が異なることを示している。またき裂開閉口を考慮した有効応力拡大係数を用いても、応力振幅や応力比の裂進展挙動に及ぼす影響を補正できないことを述べている。そこで新たに薄板金属試験片に適用可能な修正応力拡大係数を提案することにより、応力振幅や応力比に影響をうけないき裂進展挙動を示すマスターカーブを導出に成功している。またこのマスターカーブを特徴付けるパ

ラメータは降伏応力に依存することを明らかにし、き裂進展挙動を降伏応力によって制御できる可能性を示している。さらに得られたき裂進展のマスターカーブを用いて繰返し回数および応力振幅を推定するマップを作成しており、これを用いて 2 つのセンサのき裂長さを測定することによって繰返し回数および応力振幅を推定可能であると結論している。

第 5 章では、損傷記憶スマートパッチの測定精度を考慮するために、き裂進展におけるばらつきや変動振幅荷重など環境の影響について検討している。まず Paris 則に確率変数を導入した確率論モデルを用いてき裂進展のばらつきを評価しており、確率変数は対数正規分布に従い、その分散は粒径に強く依存することを明らかにしている。したがって測定精度を向上させるためには粒径を小さくすることが必要であることを述べている。つぎに変動振幅荷重の影響を考慮するために、実際の構造物で想定される対数正規分布に従う応力頻度分布を与えた際のき裂進展特性について検討している。低応力側から高応力側へブロック荷重を与える極端な荷重パターンにおいては、一定振幅荷重の場合に比べてき裂進展量が大きいという結果になるが、ランダムに近い荷重パターンの場合では一定振幅荷重の場合との差は小さいことを明らかにしている。

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。本論文で提案した損傷記憶スマートパッチの測定原理を用いて最大応力、繰返し回数、応力振幅を推定できることを述べるとともに、センサ作製の指針についても示している。すなわち、センサ材料の降伏応力やノッチ長さにより、最大応力推定に必要な AE 開始応力や繰返し回数および応力振幅推定に必要なき裂進展特性が制御可能であり、さらに測定精度に影響を与えるき裂進展のばらつきは粒径により制御可能であると結論している。

以上要するに、本論文は構造物ヘルスマonitoringにおける新たなセンシング手法として損傷記憶スマートパッチを提案しており、またそのセンサ特性と材料特性の関係を明らかにすることにより適用範囲の広いセンサ作製への指針を示している。ここで得られた結果を利用することにより、構造物の疲労現象のオフラインモニタリング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。