

令和2年 4月 30日

公益信託 NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：超高感度トンネル磁気抵抗センサのPC鋼材破断試験への応用

研究代表者：東北大学大学院工学研究科、准教授、大兼 幹彦

共同研究者：東北大学大学院工学研究科、助教、金 珍虎

東北大学大学院工学研究科、学術研究員、我妻 宏

東北大学大学院工学研究科、博士課程学生、アリフル イサン

スピンセンシングファクトリー（株）、統括課長、藤原耕輔

はじめに

本研究では、高感度磁気センサのPC鋼材非破壊検査応用を目指した開発を実施した。その結果、開発した磁気センサを用いることで、コンクリートかぶり厚さが50 cm程度あっても、内部の鋼材破断が検出可能であることを実証した。

1. 研究の目的

高速道路の災害防止対策として、PC鋼材の腐食・破断を検知する、非破壊検査技術の早期確立が望まれている。PC鋼材の変状をコンクリート表面の目視により確認することは困難であるが、電柱等の鉄筋破断を検知する技術として実用化されている漏洩磁束法は、この困難な課題を解決する有力な手法の一つである。しかし、漏洩する磁束を検出するための磁気センサの感度が律速となり、かぶり厚さが20cm以上では鉄筋の破断検知が難しいのが現状である。本研究は、超高感度トンネル磁気抵抗(TMR)センサを本検査に適用することで、30cmを超えた位置からも鉄筋の破断を検出可能にすることを目的として研究を行った。

2. 実施した研究開発の概要

2-1. 磁気センサ性能のPC非破壊検査に向けた最適化

これまでに研究代表者グループで開発された、生体磁場測定用TMRセンサを漏洩磁束法に適したセンサ性能に最適化を行った。具体的には、生体磁場用センサはピコテスラの検出感度を有する反面、センサのダイナミックレンジが狭く、磁気シールド室外での使用は困難になる。したがって、感度とダイナミックレンジを実際の測定対象に合わせる必要がある。熱酸化膜Si基板上に超高真空マグネトロンスパッタ法を用いて、TMRセンサ多層膜を形成した。非破壊検査に用に最適化した積層構造は、以下の通りである。Ta(5)/NiFe(70)/Ru(0.9)/CoFeB(3)/MgO(1.64)/CoFeB(3)/Ru(0.9)/CoFe(5)/IrMn(10)/Ta(5)/Ru(50)(nm単位)。成膜したTMR多層膜試料について、スピンセンシングファクトリー社が870直列×2並列の集積アレイセンサ素子に微細加工した。種々の形状で素子を作製した結果、アスペクト比の最適値は、1：1.5であることを明らかにした。最適化したTMRセンサ素子のセンサ出力は約80 mV/mT、磁気分解能は約500 pT(at 0.1-10 Hz)、ダイナミックレンジは±0.7 mTであった。このセンサ性能は、当初の目標値を達成し、かつ、従来の非破壊検査用の磁気センサ性能を大きく上回るものである。

2-2. 非破壊検査用磁気センサ回路の設計と制作

非破壊検査用の磁気センサに適合する、増幅回路およびフィルタ回路をスピンセンシングファクトリー社が設計、および、制作した。目標とする 10 万倍の信号増幅を、磁気分解能を損なうことなく達成できた。制作した回路と①で作製した TMR センサ素子とを組み合わせたモジュールを作製した。9 チャンネル分のモジュールを制作し、ラインセンサとして機能することを確認した（図 1）。

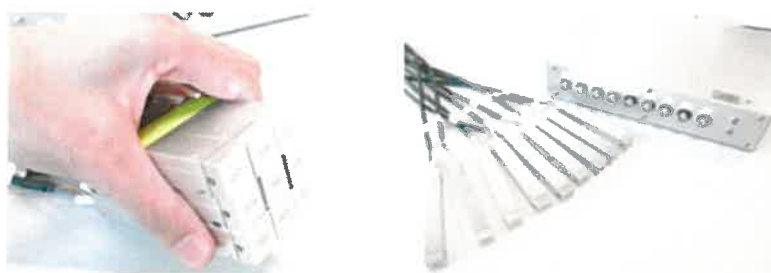


図 1 制作した 9 チャンネル TMR 磁気センサモジュール

2-3. 多チャンネルセンサモジュールの制作と PC 枕木試験体を用いた試験

2-2. で制作した磁気センサモジュールを用いて、PC 枕木試験体の非破壊試験を行った。センサと試験体の距離（リフトオフ）を変えて測定を行った結果、50 cm 程度のリフトオフにおいても鋼材の破断を検知することができた（参考文献〔1〕，図 2）。さらに、センサ性能の揃った 2 つのセンサモジュールを用いたグラジオメータ回路によって、外部環境ノイズのキャンセリングができることも確認した。また、マルチチャネル対応の計測システムを構築し、最大で 9 チャンネルの信号を同時に取得可能になった。2 軸（x-y 方向）での測定によって、コンクリート内部の鋼材位置と破断箇所を同時に測定できることを明らかにした（図 3）。これらの確立した基盤技術をもとに研究開発をさらに進めることで、簡便かつ高精度な PC 構造物の非破壊検査が実現可能になると考えられる。

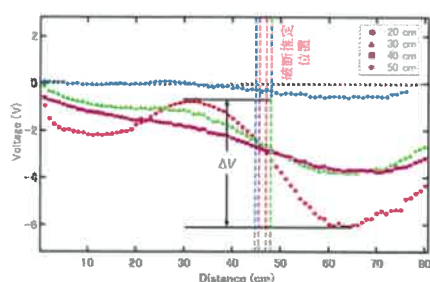


図 2 TMR 磁気センサによる PC 枕木試験体測定結果（変曲点が破断推定位置）

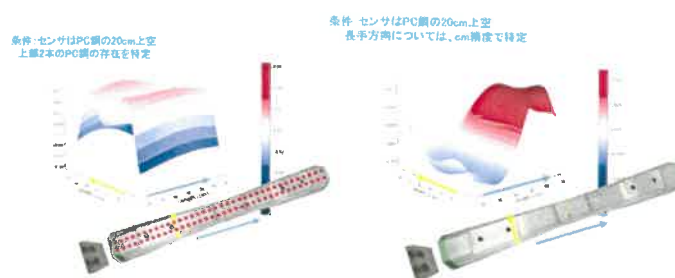


図 3 マルチチャネル TMR 磁気センサによる PC 枕木試験体 2 次元マッピング測定結果

3. 得られた成果、今後の展望

本研究により、トンネル磁気抵抗センサが PC 鋼材の非破壊検査に極めて有用であることが明らかとなった。今後、フィールド試験を重ねてデータを蓄積することで、実用化への道が拓かれると考えられる。

【参考文献】

〔1〕 M.A. Ihsan, Z. Jin, M. Oogane, and Y. Ando, Sensors, 19, 4718 (2019).