

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成 31 年度採択)  
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.31-7	高感度磁気非破壊検査による目視不可能な個所の損傷の検出についての技術研究開発	岡山大学 教授 塚田啓二

高感度磁気非破壊検査により目視不可能な個所の鋼部材に生じた腐食、疲労、破断などの損傷や欠損を検出できる技術開発を行う。これらの対象として水中部の鋼矢板など付着生物を除去せずに残存板厚を計測する方法や、照明・標識柱などのコンクリート埋設部の腐食や、塗装下の溶接部の疲労き裂、コンクリート中のアンカーボルトの腐食を検出する検査方法を実現する。

### 1. 研究の背景・目的

高感度な磁気センサと新たな信号解析により、微弱な極低周波磁場を鉄鋼構造物に照射して検出することにより、従来法ではできなかった腐食による減肉や溶接部のき裂などを検査できる検査方法と装置の開発を目指した。この方法を用いて、道路維持管理の際に問題となっていた直接目視ができない水中部の鋼矢板などの腐食や、照明柱・標識柱などの地際下腐食、コンクリート中に埋め込まれたアンカーボルトの腐食、溶接部のき裂検出などに対して、簡便に検査できる方法の確立を目指した。

### 2. 研究内容

検査対象に極低周波の交流磁場を印加して発生する渦電流からの二次的な磁場を高感度な磁気センサで検出する新たな開発した検査方法を用いた。また複数の周波数による磁場スペクトルを取得して周波数変化の応答特性を用いて腐食やき裂等の損傷を解析する手法を開発した。実際の鋼製構造物へ適用するため、各種検査対象に対する検査装置の最適化開発と、性能特性および誤差要因等の明確化を行い検査の適用性の総合評価を行った。検査項目として、次の4つの技術開発を行った。(1)水中部の損傷の検出評価技術：厚い付着生成物などを除去することなく、鋼製橋脚や鋼矢板の気中から海底までの腐食による減肉を検査できる方法の開発、(2)埋設部および閉じ断面の損傷の検出評価技術：道路付帯物の照明・標識柱の地際下腐食を開削することなく短時間で検査できる方法の開発、(3)アンカーボルトの腐食の検出評価技術：コンクリート中に埋め込まれたアンカーボルトの腐食の有無と程度をコンクリート表面から検査できる方法の開発、(4)鋼床版の補剛材等の溶接部の塗装下のき裂をそのままの状態を検査できる方法の開発。

### 3. 研究成果

(1)水中部の損傷の検出評価技術：極低周波渦電流探傷法(ELECT)を用いた水中部の検査装置として、磁気センサプローブの防水と、30 m のケーブル長とすることにより、護岸の鋼矢板は海底まで検査できるようになった。また、付着物が貝などの厚い場合に問題となる磁気センサプローブと鋼材の間の距離であるリフトオフによる検査データの変動を抑えるため、印加コイルの大きさとリフトオフの影響の関係を明らかにした。この知見をもとに、例えば 100 mm×100 mm の磁気センサプローブではリフトオフが 80 mm までは、リフトオフに影響なく付着物の上から検査できるようになった。



図1. 大型磁気センサプローブを用いた水中部検査

(2)埋設物や閉じ断面の損傷の検出評価技術：目視が困難な、埋設物や閉じ断面の損傷に対して、損傷の程度による信号強度比の応答特性を明らかにした。ここで、板厚に影響されない腐食評価として検査データの規格化をすることにより、腐食度を表すことができた。また、実際の照明柱・標識柱に対して、掘削することなく著しい損傷の検知が出来ることを示した。道路上での問題となる交通による磁気ノイズの周波数特性を明らかにして、本検査で磁気ノイズに影響されにくい検査周波数を明らかにした。さらに、リブに疲労損傷が発生していた場合でも、ELECT を用いて

スクリーニングできることが明らかにした。

(3)アンカーボルトの腐食検出評価技術：アンカーボルト腐食による断面欠損，および腐食生成物が生じた鋼棒を模擬した解析モデルに対して動磁場解析，および基礎実験を行い，磁気による検査方法の可能性と最適化ができた。さらに，実構造物に適用する計測ヘッドを製作し，励磁コイル，および検出コイルの最適な配置条件の評価を可能とした。

(4)溶接部のき裂の検出評価技術：本研究項目では，鋼橋に適用される防食塗膜厚さを想定したリフトオフ（1～2 mm）を設けても，溶接部に発生した疲労き裂を明確に検出できる方法を開発した。高感度磁気非破壊検査で得られる信号パターンの特性和整理方法を検討し，溶接継手の検査に適した評価指標を示しスクリーニング検査としての適用性を実証した。



図 2. 地際用センサプローブを用いた標識柱地際下の検査

#### 4. 主な発表論文

- 1) K. Tsukada, M. Hayashi, T. Kawakami, T. Kawakami, S. Adachi, K. Sakai, T. Kiwa, T. Ishikawa, M. M. Saari, K. Hori, K. Hisazumi, T. Tomonaga, Magnetic thickness measurement for various iron steels using magnetic sensor and effect of electromagnetic characteristics, AIP Advances 12, 035109-1-4 (2022)
- 2) 大西泰生, 石川敏之, 塚田啓二：高感度磁気非破壊検査による疲労き裂の検出の試み，構造工学論文集，Vol.67A, pp.479-487 (2021)
- 3) 宮本陽平, 廣畑幹人, 塚田啓二，林実：高感度磁気非破壊検査による溶接部き裂の検出に関する基礎的検討，令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会，I-139 (2021)
- 4) 上杉潤矢, 服部晋一, 寺澤広基, 鎌田敏郎, 塚田啓二：高感度磁気センサを用いた低周波交流磁場応答の位相検波によるコンクリート中アンカーボルトの腐食検出に関する基礎的検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.21, p.343-348 (2021)

#### 5. 今後の展望

水中部の損傷の検出評価技術に関しては，潜水士による鋼製橋脚や鋼矢板などの水中の鉄鋼構造物の腐食検査を，ケレン処理なしで迅速に検査できるようになった。さらに次世代の検査方法としての示した機械アームによる完全に陸上部からの検査について，潜水士不足やコストの点から重要であり，継続して開発を進めていく必要があると考える。埋設物や閉じ断面の損傷の検出技術に関しては，掘削することなく標識柱・照明柱の地際下 50 mm 程度の腐食損傷を検査できるようになった。今後，さらなる利便性を高めるために，小型のプローブの開発を進めていく必要があると考える。アンカーボルトの腐食検出に関しては，アンカーボルトを設置したままで腐食長さ 50 mm 程度までの腐食の有無，および腐食範囲が推定できる可能性があることを示した。今後は様々な形状の実構造物に適用可能な検査システムを開発していきたい。溶接部のき裂の検出評価技術に関しては，信号パターンとき裂の長さ，深さなどとの定量的な関係を把握することで，より情報量の多い検査を可能としたい。

#### 6. 道路政策の質の向上への寄与

水中部の損傷の検出評価技術に関しては，現在行われている潜水士によるケレン処理が必要な超音波検査と比較して，同等の検査結果がケレン処理の必要のない磁気検査で得られることを立証できた。埋設物や閉じ断面の損傷の検出技術に関しては，掘削することなく標識柱・照明柱あるいは鋼製橋脚の地際下の腐食損傷を検査できるようになった。このように，本技術により水中部および埋設部の腐食検査スピードが向上し，補修の必要性の判断の容易化と健全性維持の低コスト化が可能となると考える。これらは性能カタログや NETIS 登録を予定しており，広く社会活用できるものとする。また，アンカーボルトや溶接部のき裂の検出評価技術に関しても基本技術は完成したので，構造物の形状に適した装置開発をすることにより，実際の検査方法として展開できるものとする。

#### 7. ホームページ等

特になし