



Title	動磁場応答に基づくコンクリート中の鋼材腐食の非破壊評価に関する基礎的研究
Author(s)	沈, 力
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/89627">https://doi.org/10.18910/89627</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 沈 力 )

## 論文題名

動磁場応答に基づくコンクリート中の鋼材腐食の非破壊評価に関する基礎的研究

## 論文内容の要旨

コンクリート構造物における鋼材腐食は、鋼材の断面減少に伴う構造安全性の低下の原因となる。そのため、構造物の性能低下を的確に予測する観点から、コンクリート中の鋼材の腐食状況を非破壊で評価する手法の確立が望まれている。コンクリート中の鋼材腐食の評価方法として、自然電位法や分極抵抗法などの電気化学的方法があるが、かぶりコンクリートの含水状態が評価結果に与える影響が大きく、他にも解決すべき課題が多い。一方、漏洩磁束法や渦電流探傷法など、磁場の特性を利用することでコンクリート品質の影響を受けにくい手法の適用も考えられるが、いずれも、コンクリート中での鋼材腐食を評価する方法については、未だ十分な検討がなされていない。

以上のような背景を踏まえ、本研究では、1kHz～10kHzの低周波領域の交流磁場を適用し、さらに微小磁場を検出するため高感度の巨大磁気抵抗効果センサ（GMRセンサ）を用いることで、鋼材腐食に伴い生成される腐食生成物、および断面欠損箇所での渦電流分布の微小な変化を動磁場の応答として捉える非破壊評価手法を新たに構築することを目的とした。また、本研究では、コンクリート中の鋼材として、鋼板と鋼棒を対象として、それぞれの表面における断面欠損および腐食生成物の状況を可視化する手法を提案することを目的とした。本論文は以下の9章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的、論文の構成を述べた。

第2章では、コンクリート中鋼材の腐食評価に関わる研究の経緯と現状を整理した。また、金属を対象とした、きずの非破壊評価方法の研究の現状を踏まえ、静磁場を利用する方法に対し動磁場を利用する場合の利点を分析した。以上を踏まえて、本研究における検討課題を明らかにした。

第3章では、極性が異なる励磁コイルの下部に逆方向の渦電流を励起し、渦電流がバランスする位置にGMRセンサを設置することで、腐食損傷に起因する磁場の乱れを検出する計測方法を検討した。また、腐食損傷箇所を断面欠損によりモデル化した動磁場解析を用いて、交流磁場により鋼材に発生する渦電流の動的な分布を分析し、検出される磁場の信号が最も大きくなる計測条件を決定した。

第4章では、切削加工により断面欠損を模擬した鋼板供試体を対象に、コンクリートかぶりを想定したリフトオフ距離で実験を行い、本研究で考案した計測方法により鋼材表面における断面欠損の位置が的確に特定できることを確認した。また、断面欠損の長さ、幅、深さや間隔が、GMRセンサにより得られる電圧振幅値、電圧振幅値の変化率、位相差、および位相差の変化率に与える影響について、それぞれ明らかにした。

第5章では、上記の実験の妥当性を検証する目的で、第4章で得られた実験結果に基づいた解析モデルを作成し、実験で使用した励磁周波数を入力値とした表皮効果を反映することで、動磁場応答の有限要素解析を行った。磁束密度の最大振幅値と位相差の解析値をそれぞれ実験値と比較し、解析結果が実験結果と同様の傾向を示すことを確認した。

第6章では、コンクリート中の鋼材腐食により生じる腐食生成物が、動磁場応答に与える影響について評価した。まず電食により腐食を模擬した鋼板において、腐食生成物が付着した状態と、それを除去した状態との両方で計測を行い、電圧振幅値の変化率と位相差の変化率を組み合わせることによって、腐食生成物の有無を評価できる可能性が示唆された。また、有限要素解析により腐食生成物の存在が渦電流の分布状況に影響を及ぼすメカニズムを明らかにした。

第7章では、本研究で考案した計測方法の適用範囲を検討するため、鉄筋コンクリートへの適用を想定し、鋼棒を対象として、その表面に切削加工を施し腐食損傷を模擬した試験体での実験、および解析により第6章と同様の評価を行い、鋼棒でも有意な結果が得られることを確認した。

第8章では、第4章で用いた試験体表面において二次元的な走査を施し、得られた電圧振幅値と位相差、およびその変化率に基づき腐食損傷部の可視化を行った。その結果、断面欠損の面的な分布状況を視認性高く把握することが可能であることを明らかにした。

第9章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の検討課題を提示し、結論とした。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 沈 力 )			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	鎌田 敏郎
	副 査	教 授	乾 徹
	副 査	准教授	堤 成一郎

## 論文審査の結果の要旨

コンクリート構造物における鋼材腐食は、鋼材の断面減少に伴う構造安全性の低下の原因となる。そのため、構造物の性能低下を的確に予測する観点から、コンクリート中の鋼材の腐食状況を非破壊で評価する手法の確立が望まれている。コンクリート中の鋼材腐食の評価方法として、自然電位法や分極抵抗法などの電気化学的方法があるが、かぶりコンクリートの含水状態が評価結果に与える影響が大きく、他にも解決すべき課題が多い。一方、漏洩磁束法や渦電流探傷法など、磁場の特性を利用することでコンクリート品質の影響を受けにくい手法の適用も考えられるが、いずれも、コンクリート中での鋼材腐食を評価する方法については、未だ十分な検討がなされていない。

以上のような背景を踏まえ、本研究では、1kHz～10kHzの低周波領域の交流磁場を適用し、さらに微小磁場を検出するため高感度の巨大磁気抵抗効果センサ（GMR センサ）を用いることで、鋼材腐食に伴い生成される腐食生成物、および断面欠損箇所での渦電流分布の微小な変化を動磁場の応答として捉える非破壊評価手法を新たに構築することを目的としている。また、本研究では、コンクリート中の鋼材として、鋼板と鋼棒を対象として、それぞれの表面における断面欠損および腐食生成物の状況を可視化する手法を提案することを目的としている。本論文は以下の 9 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景、目的、論文の構成を述べている。

第 2 章では、コンクリート中鋼材の腐食評価に関わる研究の経緯と現状を整理している。また、金属を対象とした、きずの非破壊評価方法の研究の現状を踏まえ、静磁場を利用する方法に対し動磁場を利用する場合の利点を分析している。以上を踏まえて、本研究における検討課題を明らかにしている。

第 3 章では、極性が異なる励磁コイルの下部に逆方向の渦電流を励起し、渦電流がバランスする位置に GMR センサを設置することで、腐食損傷に起因する磁場の乱れを検出する計測方法を検討している。また、腐食損傷箇所を断面欠損によりモデル化した動磁場解析を用いて、交流磁場により鋼材に発生する渦電流の動的な分布を分析し、検出される磁場の信号が最も大きくなる計測条件を明らかにしている。

第 4 章では、切削加工により断面欠損を模擬した鋼板供試体を対象に、コンクリートかぶりを想定したリフトオフ距離で実験を行い、本研究で考案した計測方法により鋼材表面における断面欠損の位置が的確に特定できることを確認している。また、断面欠損の長さ、幅、深さや間隔が、GMR センサにより得られる電圧振幅値、電圧振幅値の変化率、位相差、および位相差の変化率に与える影響について、それぞれ明らかにしている。

第 5 章では、上記の実験の妥当性を検証する目的で、第 4 章で得られた実験結果に基づいた解析モデルを作成し、実験で使用した励磁周波数を入力値とした表皮効果を反映することで、動磁場応答の有限要素解析を行っている。磁束密度の最大振幅値と位相差の解析値をそれぞれ実験値と比較し、解析結果が実験結果と同様の傾向を示すことを確認している。

第 6 章では、コンクリート中の鋼材腐食により生じる腐食生成物が、動磁場応答に与える影響について評価している。まず電食により腐食を模擬した鋼板において、腐食生成物が付着した状態と、それを除去した状態との両方で計測を行い、電圧振幅値の変化率と位相差の変化率を組み合わせることによって、腐食生成物の有無を評価できる可能性を示している。また、有限要素解析により腐食生成物の存在が渦電流の分布状況に影響を及ぼすメカニズムを明らかにしている。

第 7 章では、本研究で考案した計測方法の適用範囲を検討するため、鉄筋コンクリートへの適用を想定し、鋼棒を対象として、その表面に切削加工を施し腐食損傷を模擬した試験体での実験、および解析により第 6 章と同様の評価を行い、鋼棒でも有意な結果が得られることを確認している。

第 8 章では、第 4 章で用いた試験体表面において二次元的な走査を施し、得られた電圧振幅値と位相差、およびその変化率に基づき腐食損傷部の可視化を行っている。その結果、断面欠損の面的な分布状況を視認性高く把握することが可能であることを明らかにしている。

第 9 章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の検討課題を提示し、結論としている。

以上のように、本論文では、コンクリート中の鋼材腐食に伴う腐食生成物、および断面欠損による動磁場応答の変化に着目し、高感度磁気センサを用いて高精度に腐食状況を把握する非破壊評価手法を構築している。また、本手法での二次元走査計測を適用することによって、計測値のマッピング結果から腐食位置およびその分布状況を可視化可能であることを確認しており、今後のコンクリート構造物における非破壊評価技術の高度化に資するものであると評価される。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。