

京都大学	博士 (社会基盤工学)	氏名	金光 俊徳
論文題目	完全非破壊の交流インピーダンス法を用いた鉄筋コンクリート構造物の腐食診断手法の高度化		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、塩害によるコンクリート中の鉄筋の腐食進行に関する定量的な非破壊評価技術の高度化およびその活用方針の提案を目的として、ひび割れ発生後および補修後の鉄筋コンクリートへの交流インピーダンス法の適用性検討と、完全非破壊の腐食速度評価法の開発を行うものである。</p> <p>第1章では、序論として論文の目的と構成を簡潔に述べている。</p> <p>第2章では、分極抵抗法を主とした電気化学的測定手法の理論、腐食速度評価法を含む鉄筋コンクリートに対する非破壊検査手法の開発例、および腐食速度予測式に関して既往研究の調査を行い、現状の知見を整理することによって研究の現状と課題を明確にしている。</p> <p>第3章では、曲げひび割れやその補修を導入した鉄筋コンクリート試験体に対して、3年間程度の継続的な交流インピーダンス法による腐食速度測定を実施し、試験体を解体して取り出した鉄筋に対して腐食面積および腐食減量を測定することによって精度検証している。その結果、腐食速度を精度良く測定できる被測定面積の設定方法、およびひび割れ発生後を含む腐食速度の経時変化を示している。</p> <p>第4章では、完全非破壊の腐食速度評価手法に関して、測定理論を提示した上で、端子の配置方法の最適化、および腐食速度の定量評価を行っている。その結果、被測定面積と2端子配置に対する4端子配置の過小評価を考慮した腐食速度指標を提案している。それに加えて、4端子配置で電流端子と電位差測定端子を近接させた外寄り配置において、その指標を高精度に算出できることを示している。</p> <p>第5章では、提案手法の適用性向上として、コンクリートの電気抵抗率、かぶりなどの各種影響要因を変化させた電流分散解析によるパラメトリックスタディーに加え、深いかぶりの試験体とはり試験体への適用を行っている。その結果、各種影響要因が、腐食速度指標に与える影響程度を明確にしている。また、様々な形状・寸法の鉄筋コンクリートへの提案手法の適用性を検証している。</p> <p>第6章では、完全非破壊の腐食速度評価法の腐食速度評価フローと実構造物への適用イメージの提示、かぶり推定誤差が腐食速度評価に与える影響評価を行っている。加えて、定量的な非破壊手法を定期点検に導入することで点検間隔の延伸やコア抜きなどの破壊手法の箇所数を削減し、点検費用を低減する維持管理シナリオを提案している。</p>			

京都大学	博士（社会基盤工学）	氏名	金光 俊徳
<p>第7章では、本研究の結論として、各章で得られた知見をまとめるとともに、非破壊検査方法に関する今後の課題を述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、塩害によるコンクリート中の鉄筋の腐食進行に関する定量的な非破壊評価技術の高度化とその活用方針の提案を目的として、ひび割れ発生後および補修後の鉄筋コンクリートへの交流インピーダンス法の適用性検討と、完全非破壊の腐食速度評価法の開発を行い、その活用方針を提案したものである。

得られた主な成果は次のとおりである。

1. 交流インピーダンス法による鉄筋コンクリートの継続的な測定およびその検証結果から、局所的に腐食が発生・進行している場合は、腐食箇所の面積を被測定面積と設定することで精度良く腐食速度を測定できること、および腐食速度の経時変化として、ひび割れ発生後は急増するが、その増加傾向が次第に小さくなり、最大値を取った後、さびの蓄積にともない少し減少して一定になることを明らかにした。加えて、曲げひび割れの有無は腐食速度に大きく影響するが、ひび割れ幅は **0.2mm** から **0.6mm** の範囲でほとんど影響しないことを示した。
2. 完全非破壊の腐食速度評価手法である非破壊分極抵抗法に関して、測定時の端子の配置方法の最適化、腐食速度の定量評価を行った結果から、4端子配置で測定して求めた腐食速度指標に、端子配置倍率という係数を乗じて 2端子配置の腐食速度指標に換算する方法論を提案した。加えて、測定、解析結果からコンクリート中の鉄筋表面の被測定面積の算出方法を提示し、それが妥当であることを示した。また、4端子の配置方法として、等間隔の配置で測定した既往研究データと、電流端子と電位差測定端子を近接させた外寄り配置で測定したデータを比較し、外寄り配置の方がより高精度に腐食速度指標を算出できることを明らかにした。
3. 各種影響要因を変化させた電流分散解析によるパラメトリックスタディー、深いかぶりの試験体への適用、および不均一に腐食したはり試験体への適用を行った。その結果、鉄筋径およびかぶりが非破壊手法の被測定面積に影響し、外側 2端子間隔が端子配置倍率に影響することとその影響程度が明らかとなった。その結果に基づき、簡易推定式を構築することによって、電流分散解析を行うことなく現場で測定から腐食速度算出まで実施できる方法を提案した。また、かぶり 100mm の試験体の曲げひび割れからの塩水侵入による腐食発生を診断可能であること、位置を変化させた測定によってひとつの鉄筋コンクリート内での腐食速度の相対比較が可能であることを明らかにした。

氏名

金光俊徳

4. 提案技術の活用方針として、実構造物に対する腐食速度評価フローと適用イメージを提示した。加えて、維持管理シナリオとして、定期点検および詳細(臨時)点検時に、提案技術のような定量的な非破壊手法を導入することで将来予測が可能になり、点検間隔の延伸、および構造物内の相対比較によるコア抜きなどの破壊手法の箇所数削減によって点検費用を低減する考え方を提案した。

以上、本論文は、塩害劣化が進行する鉄筋コンクリートに対して測定実験および検証を行うことによって、完全非破壊の腐食速度評価法を提案し、その活用方針を提示したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年2月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。