

京都大学 学生会員 ○戎谷 大樹 京都大学 正会員 山本 貴士
 京都大学 正会員 高谷 哲 京都大学 正会員 高橋 良和

1. 研究目的

コンクリート中の鋼材の腐食は構造物の性能に大きく影響する。しかし、コンクリート中の鋼材腐食量を定量的に評価する手法は確立されていない。非破壊試験法の一つである漏洩磁束法は、永久磁石を用いて着磁した鋼材からの漏洩磁束を測定するもので、破断した鋼材のように、鋼材の量が著しく変化する位置での磁束変化を求めようとするものである。すなわち、鋼材量に応じて変化する漏洩磁束を捉えることによって、腐食による鋼材断面の減少を検知できる可能性がある。本研究では、腐食させたコンクリート中の鋼材に対して漏洩磁束法を適用し、鋼材の腐食が磁束密度分布に与える影響および腐食量の定量的な評価手法について検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

RC はり供試体の形状・寸法を図-1 に示す。幅×高さ×長さ=100×200×1000mm で、 $\phi 16\text{mm}$ のみがき丸鋼(ss400)をかぶり 20mm で一本配置した。コンクリートの水セメント比(W/C)は 60%とした。みがき丸鋼にリード線を取り付け、3%NaCl 水溶液に浸漬させた脱脂綿と銅板の上に置き、丸鋼を陽極、銅板を陰極とし、電食による腐食促進を行った。



図-1 供試体概要 (単位:mm)

2.2 実験要因および測定項目

丸鋼の腐食区間長さは、プチルテープによる被覆によって調整し、供試体中央から対象に 100mm, 400mm, 800mm としたものと、供試体端部から 100~500mm の位置の長さ 400mm (以下、400mm-2) とした。腐食量は、積算電流値で調整し、断面(質量)減少率 3.3%~23.0%で腐食長ごとに三段階とした。

漏洩磁束法による磁束密度分布は、図-1 の供試体側面側の表面から 50mm 離れた位置で着磁、計測し、求めた。また、測定終了後の供試体から取り出した鋼材を除錆したあと、質量および鉄筋径を測定した。鉄筋径は 50mm 間隔でノギスを用いて全周を測定し、その最小となる径を記録した。

3. 結果および考察

3.1 磁束密度変化量の分布を用いた腐食区間の推定

一回着磁した鋼材の磁束密度を経時的に測定するモニタリングとしての利用を想定し、丸鋼が健全な状態からの磁束密度の変化量を計測し用いた。

腐食前後の磁束密度変化量の分布を図-2, 図-3, 図-4, 図-5 に示す。電食区間端部付近に丸い点で示した最大値および最小値のピークを持つ S 字形の波形が現れたことから、腐食による断面減少を検知できる可能性が得られた。この分布のピーク位置の間を推定腐食区間とした。すべての供試体で推定腐食区間内に、実際の電食区間の一部もしくは全部が存在しており、磁束密度変化量の分布から腐食区間を推定できる可能性が得られた。

また、腐食長 800mm の質量減少率 5.0%, 10.1%では、ピーク以外に四角の点で示した極小値のピークを持つ波形が現れた。腐食長 800mm の鉄筋径測定から得られた断面の分布を図-6 に示す。腐食区間が長くなることで腐食に分布が生じ、100mm~550mm の区間は比較的断面減少率が大きくなった。このことから、測定位置 900mm 付近は、電食区間全体の腐食起因したピーク、測定位置 550mm 付近は、断面減少率が大きい区間の腐食に起因したピークと考えられる。

3.2 磁束密度変化量の分布を用いた腐食量の推定

磁束密度変化量の分布(絶対値)を軸方向に積分した変化量(面積)総和¹⁾と質量減少率の関係を、腐食長ごとに図-7 に示す。質量減少率の増加に伴い、変化量の総和が増

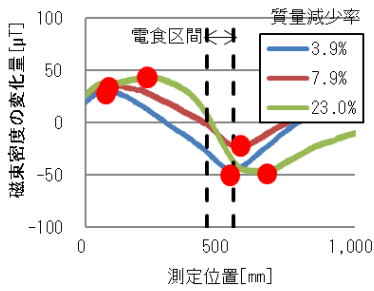


図-2 変化量の分布 (腐食長 100mm)

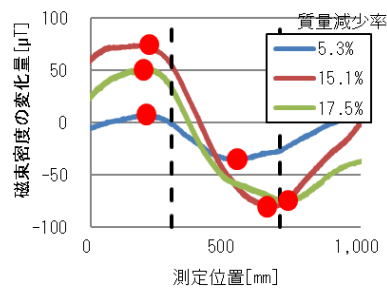


図-3 変化量の分布 (腐食長 400mm)

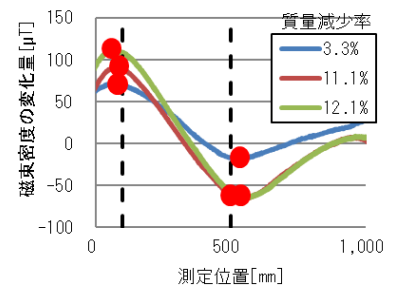


図-4 変化量の分布 (腐食長 400mm-2)

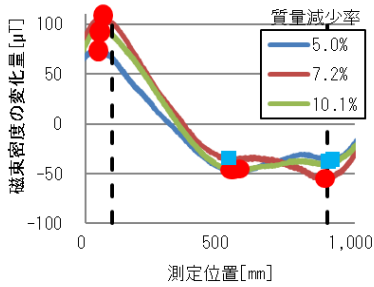


図-5 変化量の分布 (腐食長 800mm)

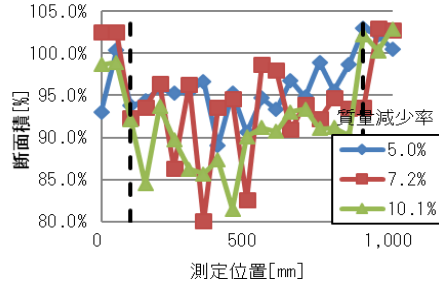


図-6 断面積の分布 (腐食長 800mm)

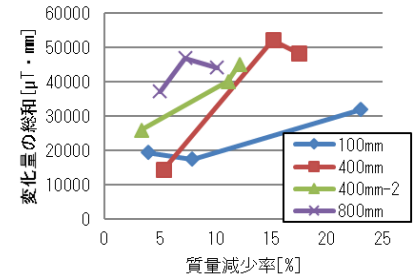


図-7 質量減少率と変化量の総和の関係

加する傾向が得られた。しかし、腐食長 100mm では、増加率が小さい。腐食長が短い場合、電食区間端部（断面急変部）に発生する磁極が互いに影響したものと考えられる。また、腐食長が長くなると、質量減少率が増加しても変化量の総和が増加しない場合も確認された。先述のように、断面減少が腐食区間で均一でないため、同じ腐食長設定の供試体でも分布によってピーク位置が異なり、変化量の総和に影響したものと考えられる。

そこで、腐食量の分布を区間内でより限定的に捉え、磁束密度変化量の総和とピーク位置間の平均的な断面減少率との関係で整理したものを図-8 に示す。図-7 と同様に断面減少率の増加に伴い、変化量の総和が増加する傾向が得られた。また、腐食長に関わらず、変化量の総和の増加率が一定になる傾向が得られた。すなわち、磁束密度変化量の分布を得ることで、ある腐食区間となるピーク位置の間の平均的な断面減少率を評価できる可能性が示された。

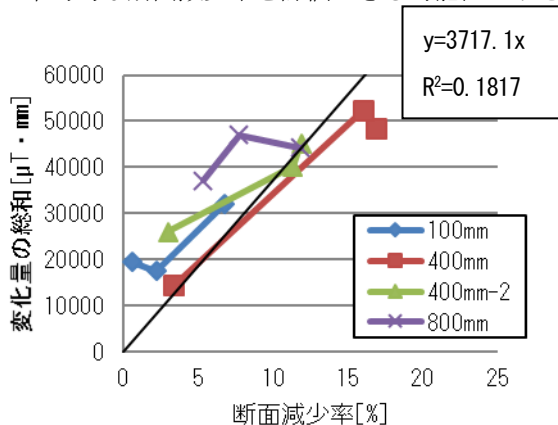


図-8 断面減少率と変化量の総和の関係

4. 結論

- (1) 電食によって腐食を模擬した供試体の漏洩磁束法による磁束密度の変化量の分布を得ることで、腐食区間の推定ができる可能性が示された。ただし、腐食区間が長く、その区間内で腐食が均一でなく断面減少率に分布が存在する場合、磁束密度の変化量のピークが複数現れることもある。
- (2) 質量減少率の増加に伴って、磁束密度変化量の分布（絶対値）を軸方向に積分した変化量（面積）総和が増加する傾向が得られた。このことから、磁束密度分布変化量の分布を得ることで、腐食推定区間内の平均的な腐食量が推定できる可能性を示した。なお、腐食区間の長さが短いと、腐食区間端部（断面急変部）に発生する磁極が影響して変化量の総和と腐食量が対応しないこともある。

謝辞

本研究は、株式会社四国総合研究所との共同研究により実施されたものである。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Artur Sagradyan : Development of testing procedure for magnetic flux leakage based method of corrosion detection for reinforcement in post-tensioned concrete structures, 日本コンクリート工学会論文集, 2015, 37 巻, 1 号