

電磁誘導に基づく電気防食手法の防食効果に関する基礎的研究

中央大学 学生会員 ○倪 稚茗 中央大学 正会員 大下 英吉

1. はじめに

RC 構造物に埋設された鉄筋は、表面に形成された不動態皮膜によって防食が可能である。しかしながら、海岸近くに建設された RC 構造物では、塩化物イオンなどの腐食環境因子がコンクリート内に侵入することで、不動態皮膜が破壊され、鉄筋腐食が発生する。このようなことから、コンクリート表面に腐食ひび割れが発生し、RC 構造物の構造性能および耐久性能が大幅に低下する。このようなことから、定期的な点検に加え、防食手法の確立が急務である。

著者ら¹⁾は、電磁誘導の原理を利用し、新たな電気防食手法の開発に着手している。本手法では電磁誘導コイルを用いて RC 構造物内部の鉄筋に誘導電流を誘起し、鉄筋表面における腐食電流を打ち消すことによって鉄筋腐食を抑制するものである。本手法の特徴は、電磁誘導方式を用いることにより、鉄筋を露出させるためにコンクリートをはつり出す必要がない、完全な非破壊かつ非接触で防食が実施可能であることにある。

複数鉄筋を有する試験体を対象とした既往の研究²⁾では、防食効果の定量的評価によって、著者らの提案手法の有効性が確認された。しかしながら、一般的に鉄筋に誘導電流を生じさせると、ジュール熱によって鉄筋表面の温度が上昇する。すなわち、温度上昇量においては鉄筋表面の水分が蒸発し、腐食反応速度が遅くなり、防食が可能であるかもしれないが、本手法のメカニズムと異なる。そのため、試験体に本手法を適用する際には、鉄筋表面の温度計測が重要である。

本研究では、まず鉄筋一本を有する試験体を対象とし、三次元電磁誘導解析により鉄筋表面における誘導電流密度を求め、電流特性について基礎的検討を行った。次に防食効果を検証するため、解析モデルと同様な形状寸法の試験体を作製し、本手法の防食効果を定量的に検討した。さらに、鉄筋表面の温度履歴の測定も行った。

2. 誘導電流に関する解析的検討

2. 1 解析概要

解析モデルは、図-1 に示すように径 2mm の銅線を内外径 200, 202mm、鉄筋の軸方向に 10mm 間隔で 20 段巻きした長さ 200mm のコイルの内表面から 100mm の位置に長さ 200mm の $\phi 29$ 鉄筋を配置したものである。

解析パラメータは、表-1 に示す周波数および電流値であ

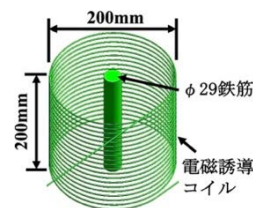


図-1 解析モデル

表-1 解析パラメータ

解析名称	Case1	Case2	Case3
周波数(Hz)	10		
電流値(A)	0.2	0.05	

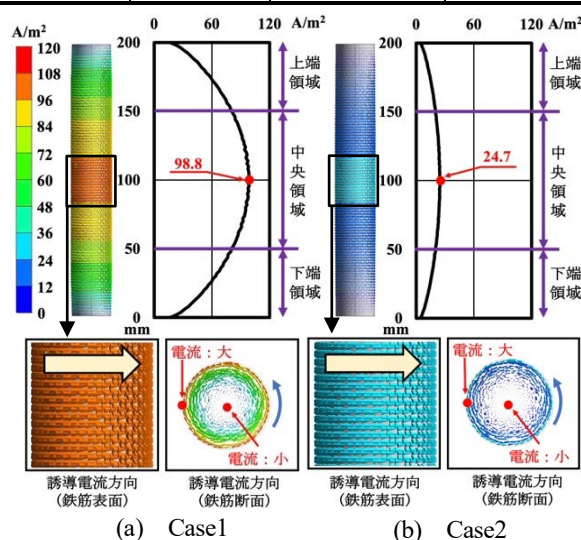


図-3 誘導電流密度分布および方向

る。電磁誘導を適用した試験体は Case1 および Case2 であり、電磁誘導を適用しない試験体は Case3 である。なお、鉄筋の導電率および比透磁率はそれぞれ 3.4×10^5 (S/m)、2000 に設定した。

2. 2 誘導電流密度

誘導電流密度は、図-3 に示すように円周方向に閉ループの形状をしており、鉄筋表面で最も大きく、断面内部に向かって徐々に低下している。一方、コイル中央領域(約 100mm)では誘導電流密度が高い、ほぼ均一な状態であることに対して、コイル上下端領域(約 50mm)では低い、急激な低下を示している。これは、コイル端部すなわち境界条件の影響によるものであり、仮に防食効果に及ぼす主要因が誘導電流密度の大きさであるとするならば、中央領域が効果的であると言える。

また、中央領域における誘導電流密度に注目し、Case1 および Case2 の誘導電流密度の最大値はそれぞれ 98.8 A/m^2 、 24.7 A/m^2 であった。したがって、電流値を 4 倍にすると、誘

キーワード RC 構造物, 鉄筋腐食, 電気防食, 電磁誘導, 誘導電流

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 コンクリート研究室 TEL03-3817-1892

導電流密度も4倍大きくなり、誘導電流密度は電流値に応じて線形的に変化することが確認できた。

3. 電磁誘導防食実験

3.1 実験概要

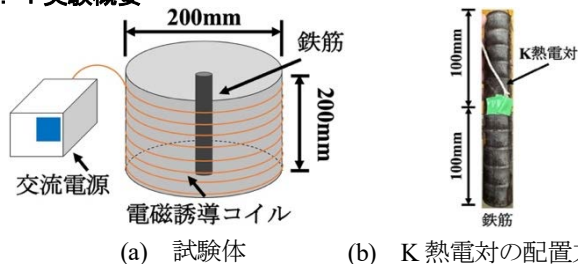


図-4 試験体概要

試験体を図-4に示す。使用した鉄筋は、前処理として濃度10%のクエン酸二アンモニウム溶液に一週間浸漬することにより不動態皮膜を除去した。温度16℃、濃度5%塩化ナトリウム水溶液浸漬5分+温度20℃、湿度60%に制御された恒温恒湿室で気中乾燥2日を1サイクルとした塩水乾湿繰返し環境に暴露し、鉄筋腐食を促進させた。実験開始後60日の時点で鉄筋を取り出し、腐食率を測定することで防食効果を定量的に評価する。その後、約20mmの長さで鉄筋を分割し、各部分の腐食率を算出した。なお、電磁誘導による防食効果の比較を行うため、電磁誘導を適用しない試験体Case3を前述と同様の前処理と腐食促進方法を実施した。

また、図-4(b)に示されるように、鉄筋の中心位置にK型熱電対を貼り付け、鉄筋表面の温度履歴を測定した。なお、外気温も計測した。

3.2 実験結果および検討

(1) 電磁誘導防食手法の防食効果

実験終了後の鉄筋腐食状況および腐食率を図-5に示す。電磁誘導を適用した試験体Case1およびCase2の平均腐食率は、それぞれ0.08%と0.10%となり、電磁誘導を適用しない試験体Case3の腐食率0.15%に比べて小さい。また、両試験体の腐食低減率は46%および31%であり、電流値が大きくなるほど防食効果が大きいことがわかる。しかしながら、誘導電流密度と腐食低減率が線形関係になく、前者は4倍になると、後者は1.5倍になることが示された。これは、腐食が発生する際には、鉄筋表面には無数の局所電池が存在し、腐食電流は無数の方向に向かって発生する。本実験では、図-3に示すように、誘導電流密度は鉄筋の円周方向にのみ発生し、円周方向における腐食電流を抑制することができるが、他の方向における腐食電流の抑制はできない。このようなことから、誘導電流密度と腐食低減率の関係は非線形であり、他の方向における腐食電流の抑制に関しては、今後の課題とした。

鉄筋各部分における腐食率は同図に示すように中央領域

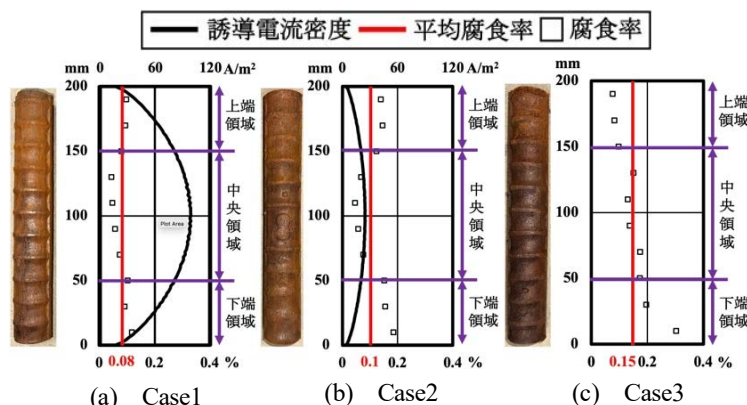


図-5 鉄筋腐食状況および各領域の腐食率と誘導電流密度の比較

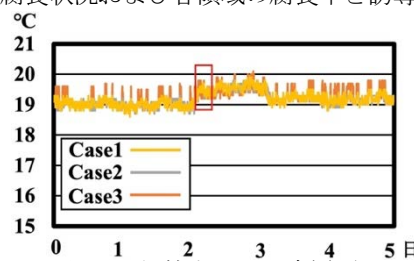


図-6 鉄筋表面の温度履歴

における腐食率が上下端部領域に比べて、低いことが確認できた。これは、図-3に示ように中央領域における誘導電流密度が高いことに起因する。

(2) 鉄筋表面の温度履歴

電磁誘導の有無による鉄筋表面の温度履歴を図-6に示す。電磁誘導を適用した試験体Case1およびCase2の鉄筋表面温度は、電磁誘導を適用しない試験体Case3と比較して、ほとんど差異がないことがわかる。したがって、本実験で設定した電磁誘導パラメータの範囲内では、鉄筋防食に及ぼす温度の影響は無く、本手法のメカニズムは1章で述べたことが再確認された。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 鉄筋一本に対して、本手法の防食効果が確認でき、誘導電流密度が高くなるほど、防食効果が高いことがわかる。
- (2) 鉄筋の上下端領域に比べて中心領域における誘導電流密度が高いことがわかり、後者の防食効果が高いことが確認できた。
- (3) 誘導電流密度は電流値に応じて線形的に変化することが確認できたが、防食効果は線形的に変化していなかったことがわかった。これは、円周方向における腐食電流を抑制することができるが、他の方向における腐食電流の抑制はできないことに起因する。

参考文献

- 1) 倪 稚茗, 大下 英吉: 電磁誘導法を用いた RC 構造物の鉄筋防食手法に関する基礎的研究, 令和4年度土木学会全国大会, 2022