

鋼材腐食センサの遠隔無線モニタリングに関する検討

太平洋セメント株式会社 正会員 ○工藤 正智 太平洋セメント株式会社 正会員 早野 博幸
太平洋セメント株式会社 正会員 江里口 玲

1. はじめに

社会インフラの維持管理において、各種センサを用いた IoT やセンサデータをインターネット上で活用することで省力化や効率化が期待されている。一方、土木構造物の遠隔モニタリングを行うためには、長期的な電源の確保や安定的な無線通信技術等、様々な課題が多い。著者らは、鋼構造物やコンクリート中の鋼材等の腐食進展を捉える静電容量式の腐食面積検知センサ（以下、本センサ）の開発¹⁾を行っており、このセンサの挙動を遠隔よりモニタリングするシステムについて検討を進めてきた。本検討では、既往の研究¹⁾から改良した腐食面積検知センサとソーラー発電による自立駆動型のモニタリング装置を組み合わせ、腐食状態の無線モニタリングシステム（以下、本システム）に関する基礎特性を確認することを目的とした。具体的には、本システムによる計測精度・周囲温度依存性の確認、センサの腐食促進試験による LCR メータによる静電容量値と本システムの計測値との比較を行った。

2. 腐食面積検知センサの計測原理と概要

本センサの概要を図-1 に示す。0.1 μm の Fe をポリイミドフィルムに成膜して腐食検知部とし、裏面に Cu のテープを貼り同面積の対極材を 2 対設けた。本センサは、腐食検知部 Fe の腐食が進展することで、検知部である Fe の面積が減少し、腐食の進展に伴い低下する構造である。すなわち、式 (1) に示した静電容量値は、検知部の面積 S となり既往の研究¹⁾と同様に腐食の進展を捉えることができる。なお、本センサは検知面のサイズより 0~50pF を計測範囲としている。

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{2l} \quad \text{式 (1)}$$

ここに、 C ：静電容量値 (F)、 ϵ ：誘電率、 S ：電極面積 (m^2)、 l ：電極間距離 (m)

3. 無線モニタリングシステム概要

本システムの外観を図-2 に示す。本システムは、静電容量値を計測し、データ収集用ソーラーに無線通信する計測用タグ、複数のタグからデータを収集するためのタグデータ収集用ソーラー、LTE 通信を行いクラウド上にデータを送信するインターネット通信用ソーラーから構成され、Web クラウド上に計測データを蓄積することが可能である。また、計測用タグはボタン電池駆動であり、1日1回の計測であれば約3年使用できる仕様である。

4. 計測値の計測精度と温度特性の確認試験

計測精度の確認試験では、17 pF のセラミックコンデンサを用いて、計測間隔を1分で100回計測し、本システムから出力されるカウント値のばらつきを確認した。ここで、カウント値はシステムの A/D 変換能力より約 300 カウント/1 pF の仕様としている。さらに、実環境下では気温が変化するため、-10、20 および 50 $^{\circ}\text{C}$ 環境にて計測間隔1分で60分間計測し、カウント値の温度依存性を確認した。

キーワード 静電容量、腐食センサ、腐食面積率、遠隔無線モニタリング、IoT

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 TEL 043-498-3902

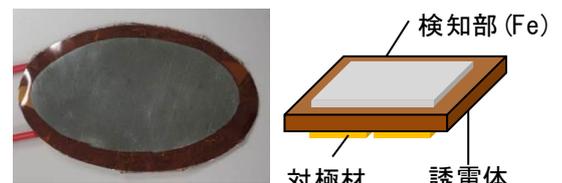


図-1 腐食面積検知センサ概要

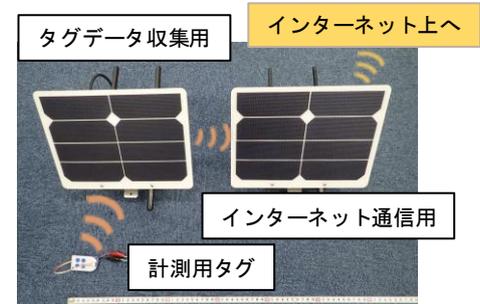


図-2 無線モニタリングシステム

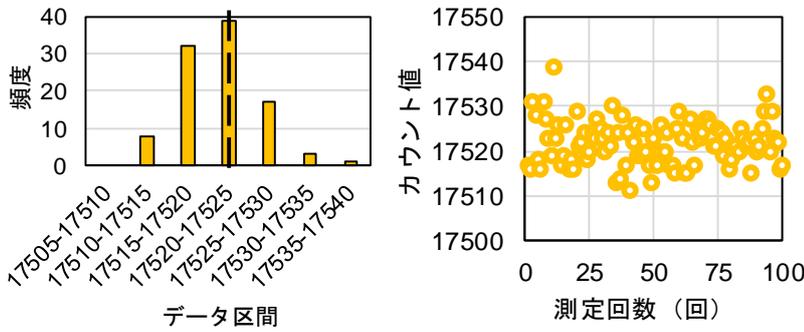


図-3 カウント値のヒストグラムおよび測定回数との関係

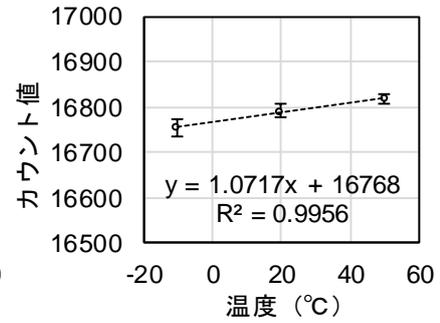


図-4 カウント値の温度特性

5. 計測精度と計測値の温度特性の試験結果

カウント値のヒストグラムおよび測定回数との関係を図-3に示す。ヒストグラムは正規分布に近くなり、規則性は確認されない。また、変動係数も0.001以下と極めて小さいことが分かった。カウント値の温度特性を図-4に示す。カウント値の温度依存性は数十程度であることが確認できた。すなわち、測定点や温度によらずカウント値のばらつきは小さいため、センサの静電容量計測値に与える影響が極めて小さく高い計測精度が確認できた。

6. 腐食促進試験による無線モニタリングシステムの性能評価

実際のセンサ計測に本システムの適用性を確認することを目的として、センサの腐食促進試験を行い、LCRメータの静電容量値とカウント値との比較を行った。センサの検知面積は短軸35mm×長軸50mmの楕円型とし、試験体数は3体とした。試験方法は検知部を吸水させ、30℃、90%R.H.の腐食促進環境で8時間以上乾燥させた後、検知部の写真撮影、LCRメータ（交流周波数：100kHz）およびカウントの計測までを1サイクルとし、10サイクル実施した。腐食面積率は、汎用画像ソフトを用いて2値化し、試験前の検知面積との比から算出した。試験結果を図-5にセンサの腐食状況を図-6に示す。図中のカウント値は5回計測の平均値である。腐食面積率の増加に伴い、カウント値は段階的に増加した。また、センサの腐食状況は、サイクル数の進展に伴い段階的に腐食が進行することが確認できた。

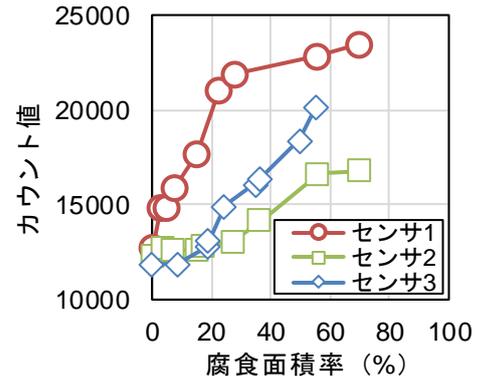


図-5 腐食面積率とカウント値との関係



図-6 センサの腐食状況 (左から3, 8, 10サイクル)

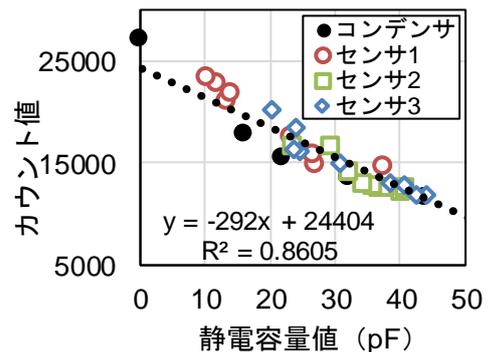


図-7 LCRメータによる静電容量とカウント値との関係

LCRメータによる静電容量値とカウント値との関係を図-7に示す。図中にはセラミックコンデンサの結果も併せて示している。カウント値とLCRメータによる静電容量値は負の線形関係を示し高い相関が確認できた。すなわち、腐食面積を静電容量値の変化で捉えるセンサと本システムにより遠隔から無線モニタリングできることが確認された。

7. まとめ

- 1) 本システムの計測値の変動係数は0.001以下となり、環境温度の影響も受けないことが確認できた。
- 2) 本システムの計測値とLCRメータの静電容量値は線形関係が得られたことから、本システムは、腐食面積検知センサの無線モニタリングシステムとしての適用性が示唆された。

8. 参考文献

- 1) 江里口ら：鉄箔を用いたセンサの静電容量値による腐食面積測定手法の基礎検討,土木学会年次学術講演会,2016,Vol71,No5,P419-420