

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

太平洋セメント(株) 正会員 ○江里口 玲, 井坂 幸俊, 佐藤 達三, 非会員 中西 博

1. はじめに

コンクリート内部の鋼材腐食環境を把握する手法として、鋼材を模擬したセンサが腐食により破断する現象を、電気抵抗値の変化によって検知する手法が提案されている¹⁾。それらは、腐食を検知したセンサが物理的に破断するため、単独で用いた場合、腐食開始時期の検知は可能であるが、その後の腐食の進展を計測することは出来ない。

本報告では、鉄箔の腐食の進展による面積減少を静電容量値で捉えるセンサの基礎特性を確認することを目的に、塩水浸漬による腐食面積と静電容量の変化に加え、塩分を練りこんだモルタル内における静電容量値の変化を確認した。

2. センサの計測原理と構造

検討した腐食センサ(以下、本センサ)の構造を図-1に示す。22mmφの鉄箔を0.1mm厚のポリイミドフィルム上に接着し、ケミカルエッチングで網目状に形成し、腐食検知部とした。また、鉄箔接着面のフィルム裏面に金をスパッタリングで成膜した。本センサは、腐食検知部である鉄箔部の腐食が進展することで、欠損部が増大し検知部である鉄箔の面積が減少する。裏面の金膜は腐食しないため、鉄箔部の面積減少は対抗する電極面積の減少と等しくなる。すなわち、式(1)に示した静電容量は、鉄箔部の面積減少が電極面積Sの減少となり、腐食の進展に伴い低下していくと想定した。

$$C = \varepsilon \frac{S}{\ell} \quad \text{式(1)}$$

ここに、C：静電容量、 ε ：誘電率、S：電極面積、 ℓ ：電極間距離

3. 塩水浸漬試験による腐食面積と静電容量の確認

本センサの検知部である、鉄箔部の腐食による面積減少と静電容量の相関を確認するため、3wt%NaCl水溶液に本センサを浸漬させ、7日を1サイクルとし1サイクル毎に腐食状態の目視観察を行い、腐食面積率と、静電容量の変化を計測した。静電容量の計測は、一旦、浸漬液からセンサを取出し、表面に付着した水分を取り除いた後、ピンセット状のプロープにて鉄箔端部と金膜間の静電容量を計測した。計測条件は、LCRメーターを用いて、100Hz～100kHzの範囲を1Vの交流電界下にて計測した。

4. 塩水浸漬試験の結果

本センサの腐食状態を目視にて確認した凡その腐食面積率を表-1に示す。なお、目視の腐食判定方法は、腐食により鉄箔が欠損している箇所を腐食面積とした。結果、サイクルの経過に伴い、鉄箔部の腐食が進み腐食面積率が増加していくことが確認された。図-2に各サイクルで計測した、塩水に浸漬したセンサの測定周波数と静電容量の関係を示す。いずれの測定周波数においても、試験前から1サイクル目で静電容量が上昇し、その後、静電容量が低下していった。また、各サイクルにおける計測値の差は測定周波数が高くなるほど小さくなる傾向であった。試験開始前に比べ1サイクル目に見られる静電容量値の上昇は、塩水の浸入もしくは付着による誘電率の上昇によるものと推察される。1サイクル目の静電容量の上昇は測定周波数が高くなるほど小さくなることから、イオン分極の影響をうけにくい100kHzで計測した静電容量の結果を図-3に示す。静電容量は2サイクル以降、徐々に低下している。図-4に1サイクルを初期値とした図-3の結果と、表-1の腐食面積率の相関を示す。計測した実測値は理論的な腐食面積率と静電容量の関係によく近似した。

キーワード 腐食, センサ, 腐食面積率, 静電容量

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 043-498-3928

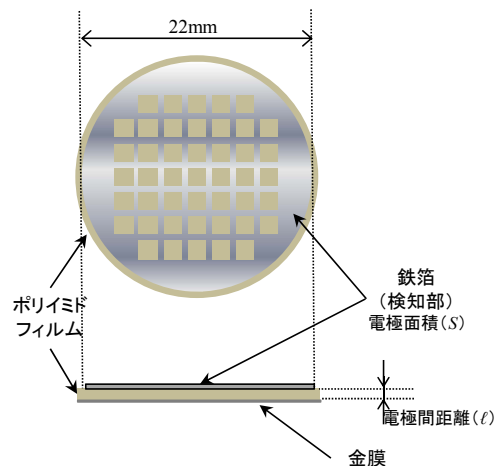


図-1 腐食センサの構造

表-1 塩水浸漬後のセンサの状態と腐食面積率

1サイクル	2サイクル
 (0)	 (20)
3サイクル	4サイクル
 (60)	 (80)

括弧内数値は目視で評価した腐食面積率(%)

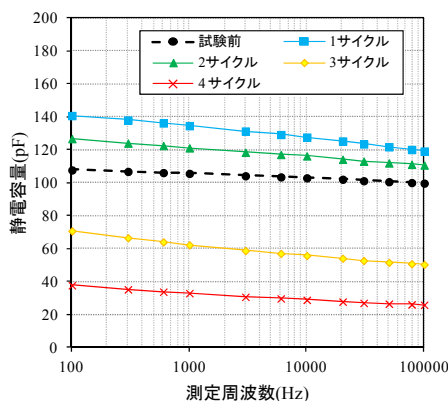


図-2 塩水浸漬した際の測定周波数による各サイクルにおける静電容量値の違い

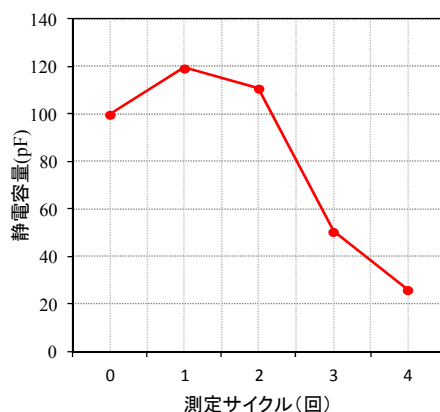


図-3 100kHz 交流電界下における静電容量の変化

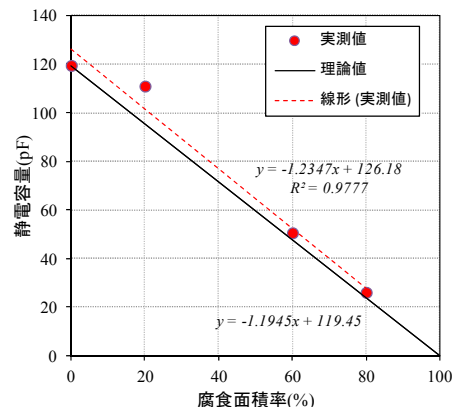


図-4 本センサの静電容量と腐食面積率の関係

5. モルタル試験中に埋設したセンサの促進試験による性能評価

モルタル中における本センサの性能を確認することを目的に、水セメント比 65%、質量比でセメント 1、水 0.65、砂 3 のモルタルに、塩化物イオン量で 4.8kg/m^3 となるように NaCl を添加した $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ の試験体に、かぶり 15mm の位置へセンサを埋設し、促進試験を実施した。試験体の表面は塩水浸透を行う 1 面だけ残し、他の面はエポキシ樹脂で被覆した。促進試験の条件は、 40°C -10wt%NaCl 溶液に 2 日間浸漬後、 40°C -60%R.H.環境下で 5 日間乾燥させる条件を 1 サイクルとし、合計 10 サイクルの促進試験を行った。埋設したセンサは図-5 に示すとおり、試験体外部より静電容量の計測を行うためリード線を半田付けし、検知部のみ表面に露出するようにアクリルケースで外装して、内部を樹脂で充填した。静電容量の測定は、塩水試験と同じ条件で計測し、測定周波数は 100kHz とした。図-6 に各サイクルで計測した静電容量の結果を示す。それぞれ 3 サイクルまでは、初期値から若干の低下傾向であり、その後、M-2 は 4 サイクルまで、M-3 は 5 サイクルまで微増している。M-1 および M-3 は 6 サイクルから、M-2 は 5 サイクルから静電容量の低下が見られ M-1、M-3 は段階的に低下していることがわかる。M-1 は 8 サイクル、M-2 は 5 サイクル、M-3 は 7 サイクルで 20pF 以下に達すると、その後の変化は見られない。モルタル試験体に用いたセンサは、ケースに内蔵していることから検知部の 2 割程度の面積が作用しないため、20pF に達した時点で検知部全体が欠損している状態であり、これ以上の腐食の進展を捉えられない。すなわち、5~8 サイクルですべてのセンサの検知部全体が欠損したといえる。M-1、M-3 は静電容量の低下が始まり 20pF に至るまで段階的な低下が見られており、検知部の欠損が全体に至るまでの段階的な進展を捉えていると考えられる。センサの個体差によるバラつきはあるものの、静電容量の低下が確認されていることから、モルタル中においても本センサの静電容量値を腐食の判定に用いることが可能であると考えられる。

今後、腐食の進展をより詳細に把握するためには、センサの検知面積を大きくし、腐食面積に伴う静電容量の変化を細かく捉える等の工夫が必要であるといえる。

6. まとめ

鉄箔で検知部を構成したセンサについて、塩水浸漬、塩分を含んだモルタル中における促進試験により、検知部の腐食面積の進展を静電容量で捉える手法を検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 本センサは、検知部の腐食面積率と静電容量に高い相関が見られ、腐食の進展を把握できる基本性能を有している。
- (2) 塩分を含んだモルタル中における促進試験においても、本センサの静電容量の変化は、検知部がすべて欠損する前に段階的な変化を示すことから、腐食面積の進展度合いを評価できる可能性がある。

7. 参考文献

- 1) 佐藤ほか、コンクリート中鉄筋の腐食環境検知センサに関する検討、土木学会年次学術講演会 V-347, pp.693-694, 2010

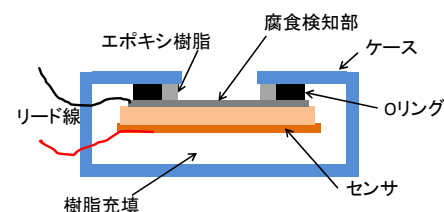


図-5 埋設したセンサの構造 (断面)

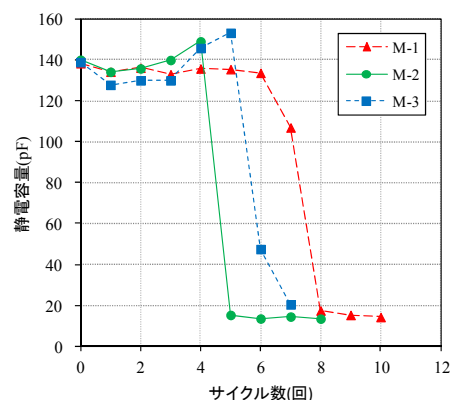


図-6 モルタル中センサの静電容量の測定結果