

## 鋼材腐食モニタリングセンサーの開発

オリエンタル建設(株) 正会員 二井谷 教治  
オリエンタル建設(株) 正会員 小林 俊秋

### 1. はじめに

わが国においてこれまで、鉄筋コンクリートやプレストレストコンクリートが多くの公共構造物に使用されてきた。ところが、従来の設計は許容応力度法が主体であり、厳しい環境条件に建設されたものに関しては、十分な耐久性が確保されているとはいえない場合が多い。したがって、比較的早期に劣化する構造物も見られ、特に、塩害および中性化に起因する鋼材腐食が顕著で、構造物を維持するため、さまざまな補修・補強が施されている。しかしながら、損傷が発生してからの事後保全では、多大な労力と費用を要するばかりでなく、構造物の機能を十分回復させることは難しいのも現実である。

そこで、予防保全を行うことが有利であり、それを可能にするひとつの手段が、鋼材の腐食モニタリングである。構造物中にセンサーを埋め込んでおき、鋼材がどの程度の腐食環境にあるかを予測・監視するシステムである。これまでいくつかのモニタリングシステムが開発されてきたが<sup>1)2)</sup>、本稿では、新たに開発したセンサーの検証実験を行い、その適用性を検討したので報告する。実験の結果、新たに開発したセンサーは鋼材腐食モニタリングとしての機能を十分備えており、実構造物への適用も有効であることが確認された。

### 2. 鋼材腐食モニタリングの概要

コンクリート中のような強アルカリ環境下では、鉄筋や PC 鋼材は、その表面に不動態被膜と呼ばれる安定した酸化被膜が形成され、腐食から保護される。ところが、コンクリート中に塩分が浸入し、鋼材位置の塩化物イオン濃度が、腐食発生限界以上になるか、中性化によってコンクリートの pH が低下すると、不動態被膜が破壊され、鋼材に腐食が発生する。図-1 に外来塩分による塩害環境下での鋼材腐食モニタリングのイメージを示す。構造物本体の最外縁鋼材より浅いかぶり内にセンサーを配置しておき、本体の鋼材が腐食する前に腐食環境の進行状態を把握する。センサーは、構造物と同等の鋼材（以下、試料極）と腐食に対して電氣的に安定した金属（以下、参照極）との組合せを一对とし、かぶりの深さ方向に数段（図-1 は 3 段の例）配置されている。塩害あるいは中性化によって、試料極の鋼材が腐食を開始すれば、参照極との間の電位差が変化し、この電位差あるいは両極の間に流れる腐食電流を捉えることによって、塩分の浸入による腐食環境が、コンクリート表面からどの程度進行しているかを判断できる。

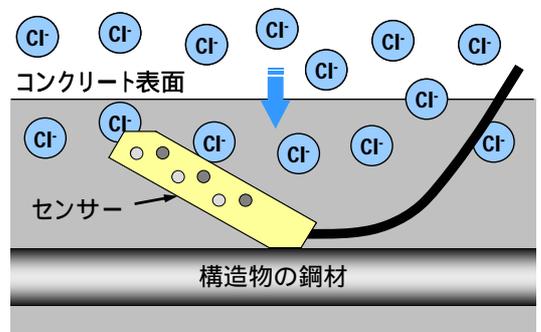


図-1 センサー配置とモニタリングの概要

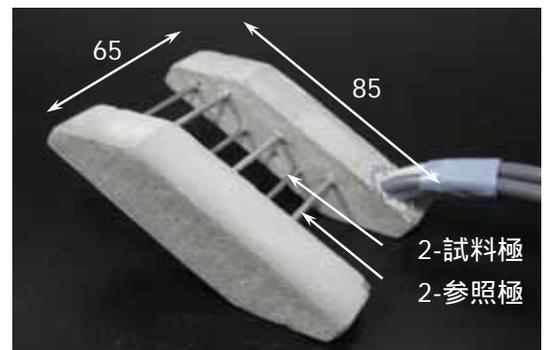


写真-1 センサーの概要

### 3. 促進試験による検証

写真-1 は、今回新たに開発したセンサーの外観である。試料極 1 本につき参照極が各 1 本ずつの組み合わせのものが 3 段で構成されている。試料極および参照極の外径は 2mm とし、構造物内で試料極が腐食しても過度の膨張圧が生じないように考慮している。また、センサーの外形寸法も、65mm x 85mm、厚さ 20mm 程度と小型化しており、両側の保持材もポリマーセメントモルタル製として、コンクリート構造物中への埋設が容易で、

キーワード 鋼材腐食, モニタリング, 維持管理

連絡先 〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘 5 オリエンタル建設(株)技術研究所 TEL 0285-83-7921

できるだけ異種材料物質とならないよう考慮している。

開発したセンサーが有効に機能するかどうかを検証するため、供試体を作成し、塩水噴霧による促進試験を行った。図-2に示すような立方体のコンクリート供試体の中に、試料極および参照極のかぶり厚が25mmから10mmずつ増加するようにセンサーを配置し、供試体上面からのみ塩分が浸透するように、上面以外の5面には表面被覆を施した。この供試体を促進試験装置内に設置し、乾湿繰り返しによる促進試験を行った。試験条件は、5%NaClの塩水を3日間噴霧し4日間乾燥（RH50%程度）する1週間のサイクルとした。また、環境温度は40℃一定とした。

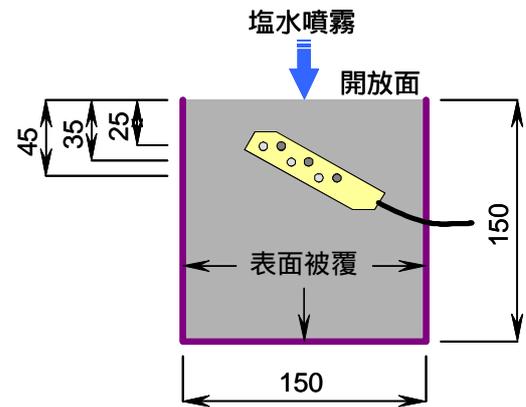


図-2 促進試験供試体の概要

#### 4. 試験結果

試験結果の例を図-3に示す。なお、このときのセンサーは、写真-1に示す形状とは異なり、小型に改良する前のタイプのものである。従来のセンサーは、鋼材の腐食判定基準を腐食電流としているものもあるが、今回開発したセンサーは、自然電位を腐食の判定基準としている。ASTM C876<sup>3)</sup>によれば、硫酸銅電極に対して-350mVvsCSE以下で90%以上の確率で鋼材腐食が疑われるとしており、本センサーもこの値を腐食発生の判定基準とした。

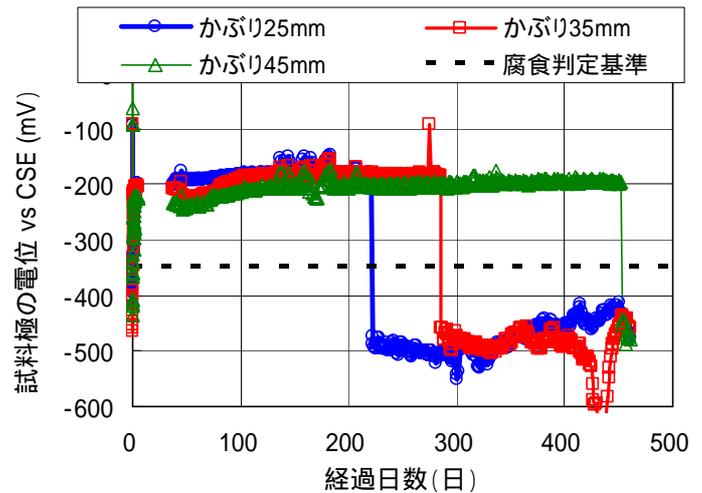


図-3 腐食促進試験結果

実験結果から、試験開始後約220日、290日および450日で、かぶりの浅い方から順に自然電位が急激にマイナス方向に変化しており、試料極鋼材の腐食が開始していることが伺える。

試験終了後、供試体を解体してセンサーの腐食状況の確認を行った。その状況を写真-2に示す。かぶり25mmおよび35mmの試料極は完全に腐食しており、かぶり45mmの試料極は腐食が開始した状況が確認でき、自然電位のモニタリングによる腐食判定が十分可能であることが確認できた。

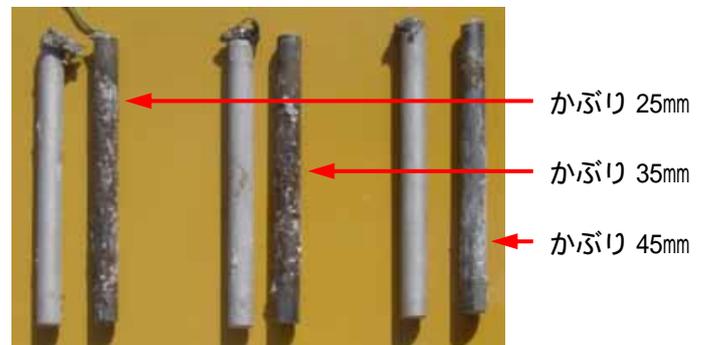


写真-2 試験終了後の解体調査

#### 5. まとめ

新たな鋼材腐食モニタリング用のセンサーを開発し、妥当性の検証を行った。促進試験の範囲ではあるが、開発したセンサーは、コンクリート中の腐食環境を十分な精度で検知できる性能を有していることが確認された。また、実環境での暴露実験と遠隔操作によるモニタリング実験も開始した。本技術が、構造物の維持管理の一助になれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 長尾進ほか：アノード・ラダー式鉄筋腐食モニタリングシステムの適用事例，土木学会第59回年次学術講演会，pp.191-192，2004年9月
- 2) 辻伸幸ほか：エクspansion・リングを用いた鋼材腐食モニタリング，土木学会第59回年次学術講演会，pp.189-190，2004年9月
- 3) ASTM：Annual Book of ASTM Standards，Section 4 Construction，pp. 434-439，1995