

コンクリート中鉄筋の腐食検知センサの適用性の評価と活用法の提案

金沢工業大学大学院 学生会員 ○永井 一徳、正会員 宮里 心一
太平洋セメント（株） 正会員 江里口 玲、正会員 佐藤 達三

1. はじめに

厳しい塩分環境下にある鉄筋コンクリート構造物では、鋼材腐食が早期に進行する。進展期以降、目に見える損傷が発生してから的事後保全では、多大の労力と費用を要するばかりではなく、構造物の機能を十分に回復させることが難しいと考えられている¹⁾。そこで、塩化物イオンのコンクリートへの浸透を鉄筋に到達する以前に検出できれば、予防保全として対策を施せ、その効果は高いと考えられる。

以上を踏まえて、コンクリート中鉄筋の腐食発生を事前に検知予測するため、ダミー金属を用いた腐食検知センサ（以下「センサ」と略す）を開発している。このセンサの特長は、非接触型通信機能を持たせ、無線でコンクリート中に埋設できることである。本稿では、開発中のセンサの適用可能性に関する検討と活用法の提案を行った。

2. 実験手順

2.1 腐食検知センサ

センサ概要を図1に示す。センサは、鉄筋を模した金属製検知部をモルタル外装で覆い、埋設時の衝撃に耐えうる構造としている。腐食因子が検知部に到達すると検知部自身が腐食し、電気抵抗が上昇および電位が卑化することで、腐食可能性を判定する仕組みである。

2.2 供試体

図2に示すとおり、センサと鉄筋を同一深さに埋設した角柱モルタル供試体を使用し、W/Cは65%とした。初期養生（20℃水中において28日間）を行った後、暴露面以外の5面にエポキシ樹脂を塗布し、暴露面からのみ塩化物イオンを浸透させた。これを塩害促進環境（40℃、濃度3%のNaCl水溶液中に完全に浸漬を4日間+40℃、50%RHを3日間）下で12週間に亘り暴露した。

2.3 実験ケース

実験ケースを表1に示す。

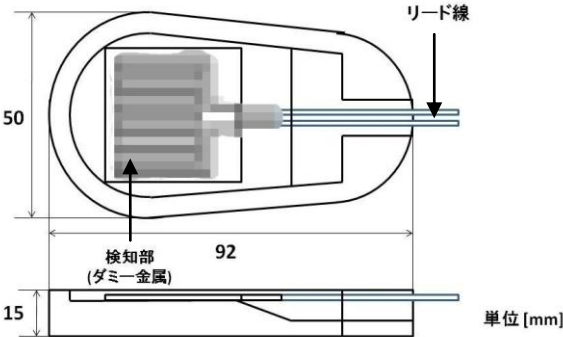


図1 センサ概要

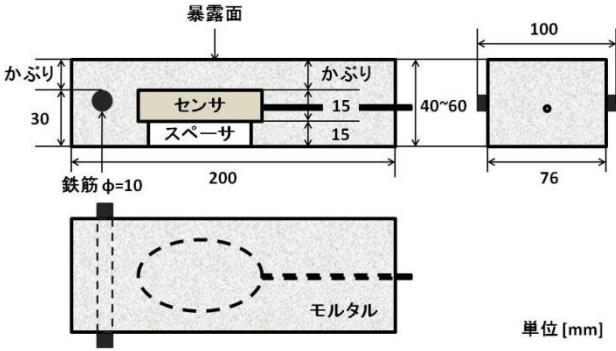


図2 供試体概要

表1 実験ケース

ケース No	供試体 No	かぶり (cm)	
		センサ	鉄筋
①	1~3	1	
②	4~6	2	
③	7~9	3	

表2 測定項目と腐食判定基準

測定項目	測定頻度	腐食判定基準
センサ抵抗	1週間毎	100Ω以上
センサ電位	1週間毎	初期値より100mV卑
鉄筋電位	4週間毎	-230mVより卑
鉄筋分極抵抗	4週間毎	130kΩ・cm ² 以下

2.4 測定項目と腐食判定基準

測定項目と腐食判定基準を表2に示す。センサから出ているリード線にテスタを接続して、センサ抵抗を測定した。参照電極(Ag/AgCl)を用いてセンサ電

キーワード 塩害、鉄筋腐食、腐食検知センサ、塩分浸透、劣化予測、適用性評価、活用法提案

連絡先 〒924-0838 石川県白山市八束穂 3-1 地域防災環境科学研究所 TEL 076-248-1100

位と鉄筋電位を測定した。交流インピーダンス式分極抵抗計を用いて鉄筋分極抵抗を測定した。

3. 実験結果

センサ抵抗とセンサ電位の経時変化を図 3、4 に示す。ここで、例えば供試体 No.3 に関して、腐食したと判定される週を読み取る。図 3 によれば、4 週でセンサ抵抗が急激に増大した。また、図 4 によれば、4 週でセンサ電位が急激に減少した。したがって、センサ抵抗とセンサ電位の両測定項目によっても、供試体 No.3 の腐食発生は 4 週目と判定できる。

同様の手順で、センサおよび鉄筋に対する各測定項目から腐食発生を判定できた週をまとめ、表 3 に示す。これによれば、供試体 No.1~6 では、センサが腐食検知した時期と鉄筋が腐食した時期はほぼ等しいことが分かる。なお、かぶり 3cm の供試体 No.7~9 では、センサも鉄筋も 12 週終了時には腐食していなかった。

12 週終了後に供試体 No.4 の Cl⁻ の EPMA 分析を行った。その結果を図 5 に示す。これによれば、深さ 2cm 位置の塩分量は、2.5kg/m³ 程度であった（単位水量 165 kg/m³ のコンクリート換算）。したがって、表 3 に示したセンサと鉄筋の腐食検知時の塩分量として、本試験では 2.5kg/m³ 近傍であると考えられる。

4. 腐食検知センサの活用方法

センサの腐食検知時期から、モルタルの塩分浸透速度係数を算出する。表 3 より、供試体 No.1 における、センサによる腐食検知時期は 3 週目である。供試体 No.2,3 においても供試体 No.1 と腐食検知時期はほぼ一致するため、かぶり 1cm のセンサは 3 週目に腐食検知したといえる。ここで塩分浸透が $\sqrt{t}$ 則（ $y = b\sqrt{t}$ ）であると仮定すると、 $y = 1$ （ y ：塩化物イオン浸透深さ(cm)）、 $t = 3$ （ t ：暴露期間(週)）であるため、 $b = 1/\sqrt{3}$ （ b ：塩分浸透係数(cm/ $\sqrt{\text{週}}$ ）となる。これより、モルタルの塩分浸透係数は $b = 1/\sqrt{3}$ と考えられる。したがって、かぶり x cm に埋設された鉄筋の腐食発生時期 T （週）は、 $T = x^2 \div 3$ と予測できる。

5. まとめ

- ①同一のかぶりに埋設されたセンサと鉄筋は、ほぼ同時期に腐食した。
- ②センサの腐食検知時期から、鉄筋の腐食発生時期を予測する方法を提案した。

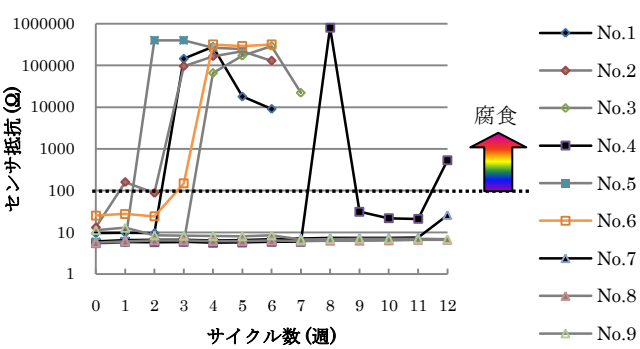


図 3 センサ抵抗の経時変化

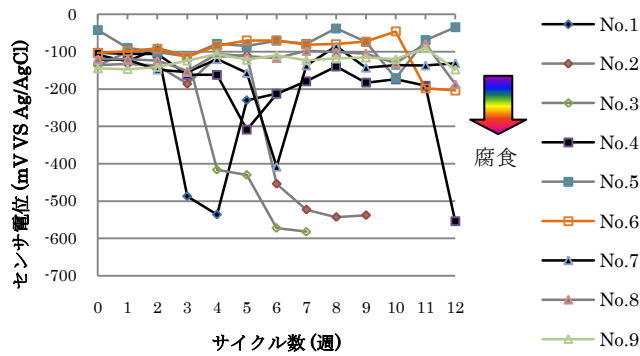


図 4 センサ電位の経時変化

表 3 各測定項目の腐食発生週

供試体 No	センサに抵抗による腐食検知週	センサ電位による腐食検知週	鉄筋電位による腐食検知週	鉄筋分極抵抗による腐食検知週
1	3	3	4	4
2	3	6	4	4
3	4	4	4	-
4	12	12	12	-
5	2	-	8	12
6	3	10	8	12
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-

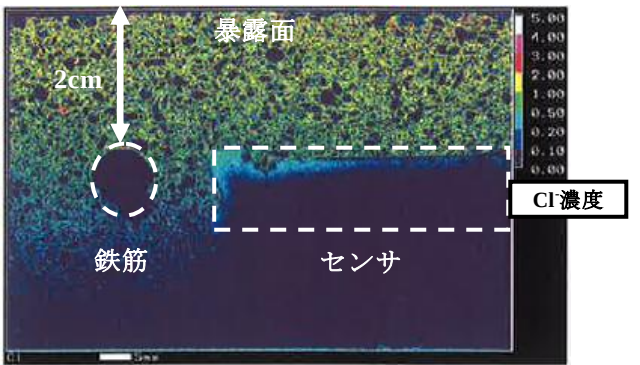


図 5 塩分の EPMA 分析結果 (No.4)

参考文献

1) 土木学会：コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会(338 委員会)委員会報告書、コンクリート技術シリーズ No.86、p.214、2009