

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

太平洋セメント(株) 正会員 ○佐藤 達三 江里口 玲 大竹 淳一郎 中西 博 小川 彰一

1. はじめに

RC 建造物の鉄筋腐食に関する調査・診断は、外観変状などの目視観察に加え、自然電位を計測するなどの手法が実施されている。これらの手法は重要な情報が得られるものの、特に塩害による腐食では既に多量の塩分がコンクリートに浸透していることも多く、対策に多大な費用を要することもある。腐食因子のコンクリートへの浸透を鉄筋に到達する前に容易に検出し、対策を施すことができれば、予防保全としての効果は大きい。本報では、コンクリート中の鉄筋の腐食環境を検知するセンサについて評価した結果を報告する。

2. 試験概要

(1) 腐食環境検知センサ

腐食環境検知の模式図を図1に示す。コンクリート中の鉄筋が腐食する前に間接的に腐食環境を検知するために、センサの検知部には鉄筋と同系の鉄材料を模擬腐食部材として採用した。本報で使用したセンサは、ごく薄い鉄材を検知部としており、腐食因子の浸透によって検知部が腐食した際に生じる電気特性的変化を捉えようとするものである。

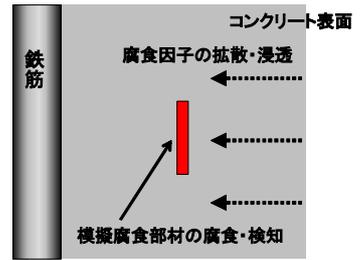


図1 腐食環境検知の模式図

(2) 塩分練込みモルタルによる評価

予め塩分を練り込んだ普通セメントモルタル中にセンサを埋設して検知性能を評価した。試験は、水セメント比 65%、細骨材容積率 60%のモルタルに、塩分(CI)を0、1.2、2.4、4.8、9.6kg/m³の5水準で添加し、成形・硬化後に腐食促進養生を開始した。なお前記の塩分添加量は、単位水量 165kg/m³のコンクリートに換算すると、概ね 0、0.75、1.5、3.0、6.0kg/m³に相当する。モルタル試験体の概要を図2に示す。センサの設置位置は曝露面から15mm位置とした。試験体は、材齢12日まで封緘養生したのち5面を樹脂被覆し、材齢14日より水中浸漬・乾燥による促進養生(図3)を行った。各々の試験水準のセンサ数はn=9とし、検知性能はセンサの電気抵抗の変化により評価した。

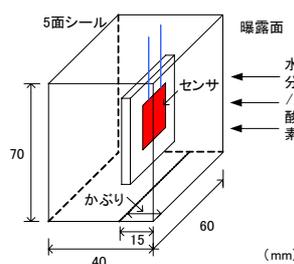


図2 モルタル試験体概要

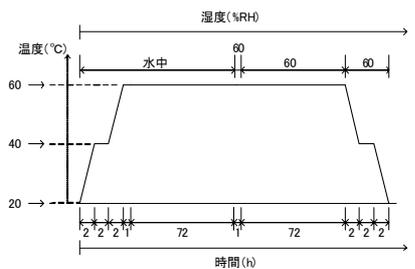


図3 促進養生のサイクル図

(2) 塩分浸透による検知性能の評価

センサを埋設したコンクリート試験体を作製し、塩分浸透による評価試験を実施した。試験に用いたコンクリートの配合を表1に示す。試験体は100×100×200(mm)の角柱とし、かぶり位置25mmおよび40mmにセンサを設置した。センサは各試験体3個とし、かぶり水準ごとに2体ずつ試験体を作製した(n=3×2=6)。試験体はコンクリートの打設後材齢26日まで封緘養生し、浸透面以外の面を樹脂被覆して、材齢28日より10%NaCl水溶液浸漬・乾燥による腐食促進養生(図5)を行った。計測は1サイクルごとにセンサの電気抵抗を測定した。また、塩分浸透性状を把握する目的で、促進7サイクルおよび12サイクルにおいて試験体を切り出し、EPMAによりコンクリート中のClを定量した。

表1 コンクリートの配合

目標 スラブ(cm)	目標 空気量(%)	W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m ³)			
				水	セメント	細骨材	粗骨材
10-15程度	4.5±1	55	45	165	300	801	991

※密度(g/cm³)—普通ポルトランドセメント: 3.16、細骨材: 2.56、粗骨材(20-05): 2.65

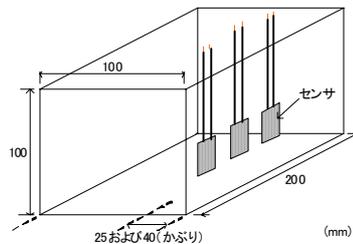


図4 コンクリート試験体概要

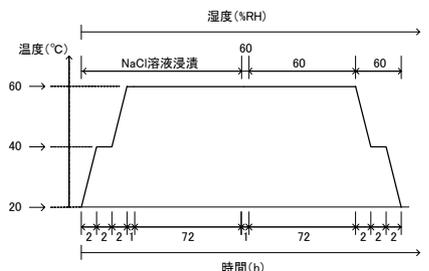


図5 促進養生のサイクル図

キーワード 鉄筋腐食、予防保全、腐食環境検知センサ、塩分浸透、塩害

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント(株) TEL043-498-3928

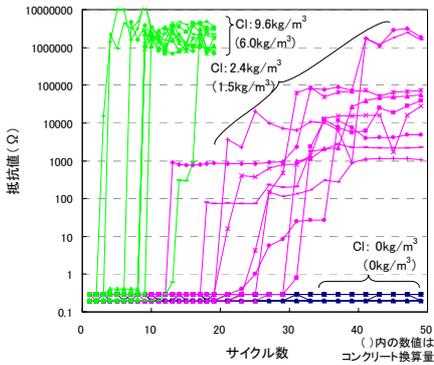


図6 モルタルの塩分練り込み量とセンサの抵抗変化(Cl量:0,2.4,9.6 kg/m³)

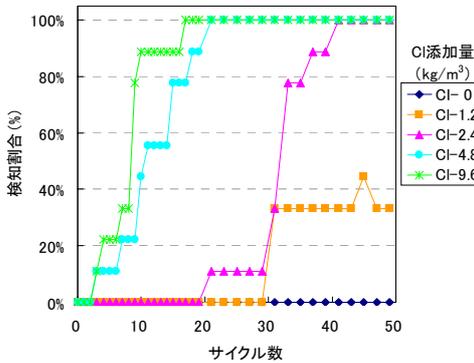


図7 モルタルの塩分練り込み量と閾値を用いたセンサの腐食の検知割合

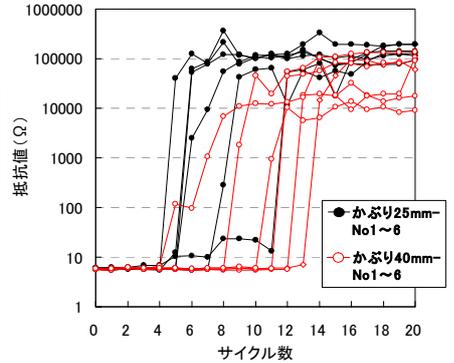


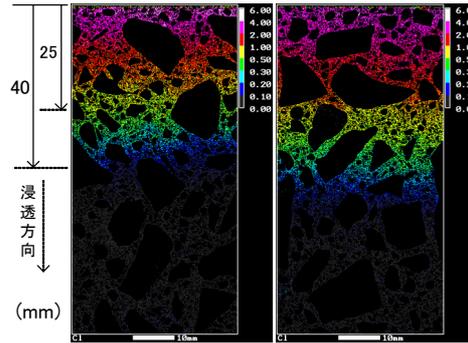
図8 コンクリート中のセンサの抵抗変化(かぶり25mm位置および40mm位置)

3. 結果と考察

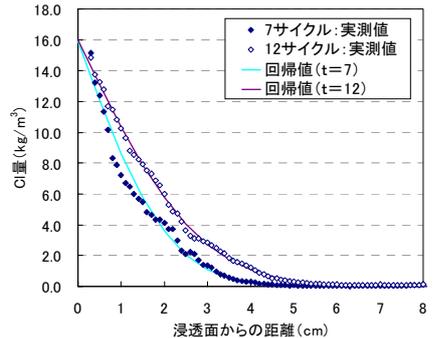
塩分を練り込んだモルタル中のセンサの抵抗変化を図6に示す。サイクル数の増加に伴い検知部の抵抗は著しく増大し、塩分添加量が多いと早期に変化する傾向が認められた。一方、塩分を添加しない水準では抵抗の増大は認められなかった。試験体を割裂し目視観察した結果、抵抗の増大が認められたセンサ

ではいずれも検知部に明瞭な錆が確認され、検知部の抵抗の増大は腐食に起因したものと考えられた。センサの抵抗変化について閾値(1kΩ)を設定し、閾値を超えた場合を腐食検知として整理した結果を図7に示す。センサの検知割合(閾値を超えたセンサ数/埋設したセンサ数)は、塩分量が多いほど早期に高くなり、添加量が2.4kg/m³(コンクリート換算≒1.5kg/m³)以上では全数が腐食検知に至った。一方、添加量が1.2kg/m³(コンクリート換算≒0.75kg/m³)では試験期間内に全数検知には至らず、この添加量の近傍に本センサの検知性能の境界があるものと推察された。

コンクリートの塩分浸透にともなうセンサの抵抗変化を図8に示す。かぶり位置25mmおよび40mmに設置したセンサは、個々のセンサで抵抗が増大したサイクル数に差は認められるが、それぞれのセンサとも急激な抵抗変化が確認された。EPMAにより得られたコンクリートへの塩分浸透状況を図9に示す。サイクル数に伴って、Clがコンクリートに浸透する状況が確認できる。また、コンクリートの深さ方向のCl量分布から得られた拡散式の係数(表2)は、7サイクルおよび12サイクルではほぼ一致する結果となった。この係数を用いてかぶり25mmおよび40mm位置のCl量の経時変化を算出し、コンクリート中センサの腐食の検知割合との関係を比較した(図10)。センサの腐食検知開始時および全数検知時に対応したCl量は、かぶり25mmで開始時1kg/m³~全数検知時4.5kg/m³、かぶり40mmで開始時0.5kg/m³~全数検知時1.5kg/m³程度であった。これらの差異はコンクリートの不均質性によって生じる部分的なClの浸透差等の影響を受けた可能性があるが、以上の検討から、本センサを用いてコンクリート中の鉄筋(鉄材)の腐食環境を間接的に検知することが可能であると考えられた。



(a) Cl マッピング(7サイクル[左] および 12サイクル[右])



(b) 深さ方向におけるCl量

図9 EPMAによるコンクリートへの塩分浸透状況

表2 拡散式における表面濃度と見かけの拡散係数(R=0.98以上)

回帰サイクル	表面濃度(kg/m³):C ₀	見かけの拡散係数:C _p
7	15.9	0.194
12	16.0	0.200

回帰式: $C(x,t) = C_0 \cdot [1 - \text{erf}\{0.5x / (C_p \cdot t)^{0.5}\}]$

C(x,t): 塩分量, C₀: 表面塩分量, C_p: 見かけの拡散係数

x: 浸透面からの距離, t: 任意の時間 ※t=サイクル数として回帰

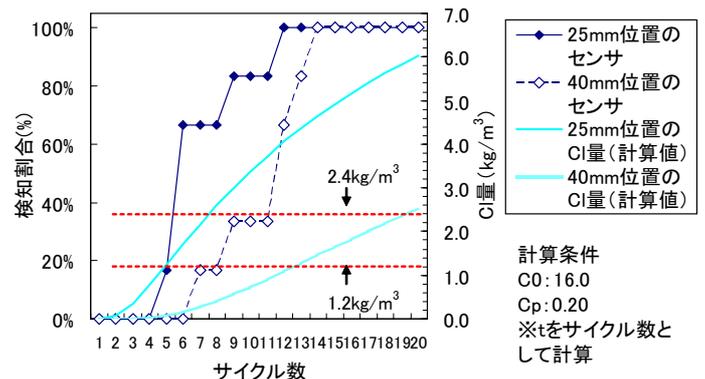


図10 センサの腐食の検知割合とCl量の変化(かぶり25mm位置および40mm位置)

計算条件
C₀: 16.0
C_p: 0.20
※tをサイクル数として計算