

AE法による乾湿繰返し実験の鉄筋コンクリート腐食機構のモニタリング

熊本大学 学生会員 ○川崎 佑磨
 太平洋セメント(株) 森 香奈子
 熊本大学 正会員 友田 祐一
 熊本大学 フェロー会員 大津 政康

1. はじめに

塩害による鉄筋コンクリート構造物の劣化被害が近年数多く報告されており、鉄筋腐食によるコンクリート構造物の劣化進行過程を早期に評価する非破壊検査技術の開発は非常に重要である。そこで本研究では、塩害による環境条件を考慮した浸漬乾燥繰返し実験中にAE法¹⁾を適用し、その実験結果を解析することで鉄筋の腐食機構のモニタリングの可能性を検討した。

2. 実験概要

実験供試体は、図-1に示すように400×100×75mmの角柱で、鉄筋はSD295-D13を使用し、かぶりは20mmとした。また、AE計測対象を中央100mmに限定するため、露出した鉄筋も含むその他の部分には防水テープを巻いた上にエポキシ樹脂を塗布した。コンクリートの配合は表-1に示す。供試体の練混ぜ水はNaCl水溶液を使用し、その結果、初期状態のコンクリート中の全Cl濃度は0.175kg/m³となった。供試体は28日間標準水中養生後、側面にエポキシ樹脂を塗布してCl浸透を底面に限定した。その後、3%NaCl水溶液に7日間浸漬後、7日間乾燥させる繰返し実験を行った。実験中は、供試体の鉄筋近傍にAEセンサを6個取り付け、連続的にAE計測を行った。AE計測装置には、DiSP (PAC社製)を使用し、周波数帯域は10kHz~2MHz、ゲインは60dB (プリアンプ40dB+メインアンプ20dB)、し

きい値は40dBとして行った。AEセンサには共振周波数150kHzの特性を持つR-15を使用した。さらに、AE発生挙動により腐食の発生が予測された時点で、供試体から鉄筋のはつり出しおよびコアを採取し、硬化コンクリート中の全Cl量と可溶性Cl量を、電位差滴定法により求めた。

3. 塩化物イオン浸透予測解析

鉄筋腐食の開始時期を予測するためには、かぶり位置での全Cl濃度の評価が重要である。コンクリート中のCl⁻の移動は拡散に基づくことから、Cl⁻の浸透予測には表面Cl濃度を一定とする式(1)を用いた。

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (1)$$

ここで、 $C(x,t)$: 各実験におけるCl濃度(kg/m³)
 C_0 : 表面Cl濃度(kg/m³)
 D : 拡散係数(cm²/sec) x : 浸透深さ(cm)
 t : 実験期間(sec) erf : 誤差関数

実際の問題として、表面Cl濃度を一定と見なすこと、実験的に決定することは困難である。そこで、見かけの表面Cl濃度を C_1 として式(2)より推定し、式(1)の C_0 に置き換えて、Cl浸透予測を行った。

$$C_1 = \frac{C(x)}{1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}} \quad (2)$$

ここで、 $C(x)$: 各実験における0.5~1.5cmまでのCl濃度(kg/m³)

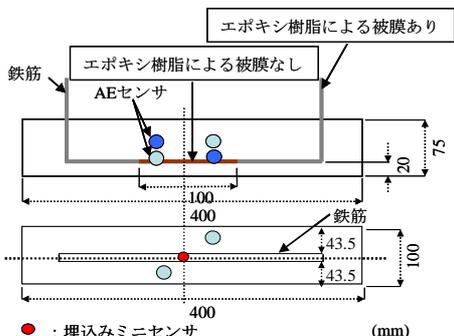


図-1 実験供試体

表-1 コンクリートの配合

G _{max} (mm)	スランプ (cm)	WC (%)	Air (%)	sa (%)	単位量(kg/m ³)				AE 減水剤 (kg)	NaCl (kg)
					W	C	S	G		
10	8	55	5	44.6	187	340	751	1113	1.632	0.292

キーワード 鉄筋腐食, 非破壊検査, アコースティック・エミッション, 劣化進行過程, 走査型電子顕微鏡
 連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39番1号 熊本大学 TEL096-342-3542

また、拡散係数には、土木学会・コンクリート標準示方書「施工編」²⁾に普通ポルトランドセメントを使用する場合の回帰式として示されている、式(3)から求めた値を適用した。

$$\log D = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5 - \log(3.15 \times 10^7) \quad (3)$$

ここで、W/C：水セメント比

4. 実験結果

式(1)から求めたかぶり位置での CI 浸透予測と、実験から求めた全 CI 濃度を図-2 に示す。図中の破線は、土木学会・コンクリート標準示方書「施工編」²⁾に示されている基準値を示している。CI 浸透予測から、進展期開始は 28 日目、加速期開始は 63 日目と予測された。

進展期では計測した全 CI 濃度は 0.813kg/m³ となり、目視で黒皮の剥離が確認されたが、図-3 に示すように鉄筋内部に腐食の進行は確認されなかった。同様に加速期では計測した全 CI 濃度は 1.675kg/m³ となり、図-4 に示すように鉄筋内部に腐食の進行が確認された。しかし、目視では鉄筋の錆は僅かであった。この時期の累積 AE ヒット数および AE イベント数と自然電位計測の関係を図-5 に示す。

図-5 より実験開始から 28 日目付近および 70 日目付近で AE ヒット数と AE イベント数の増加が確認された。よって、28 日目が進展期、70 日目が加速期の状態であると推測した。この結果から、浸漬乾燥繰返し実験でも式(1)による CI 浸透予測が可能であることが示された。自然電位では 28 日目および 70 日目で計測値に大きな変化はなく、SEM 画像による進展期と加速期のような変化は確認できなかった。

一方、AE 発生挙動では 28 日目および 70 日目の AE ヒット数と AE イベント数の増加から、SEM 画像による進展期と加速期の変化を確認できた。そして、140 日目以降から自然電位の低下および AE ヒット数と AE イベント数の増加が確認された。このことから、コンクリートの腐食ひび割れが発生したと推測される。

図-6 は 161 日目までに位置標定された AE イベントを示したものである。AE ヒット数の増加が顕著となった 140 日目までの AE イベントを×、それ以降の AE イベントを△で示している。140 日目以前の AE イベントは、主に供試体上部に位置標定された。140 日目以降になると、供試体底部(浸透面側)に AE 源が位置標定された。このことから、140 日目以降から鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れが発生したと考えられる。

このとき、自然電位の低下は顕著であり、AE 計測との併用により鉄筋腐食過程が詳細に把握可能であることが明らかとなった。

このとき、自然電位の低下は顕著であり、AE 計測との併用により鉄筋腐食過程が詳細に把握可能であることが明らかとなった。

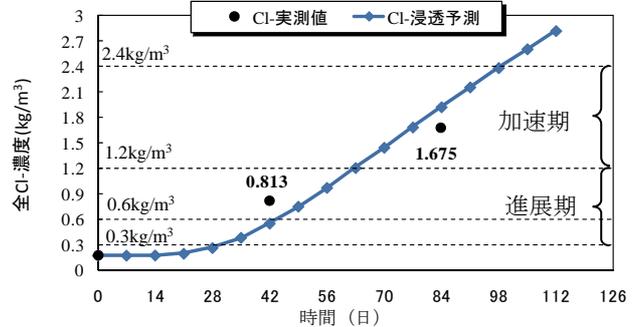


図-2 かぶり位置での全 CI 濃度

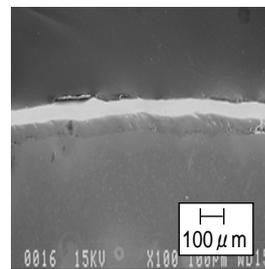


図-3 SEM 画像(進展期)

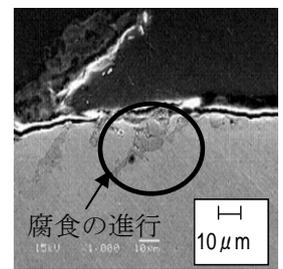


図-4 SEM 画像(加速期)

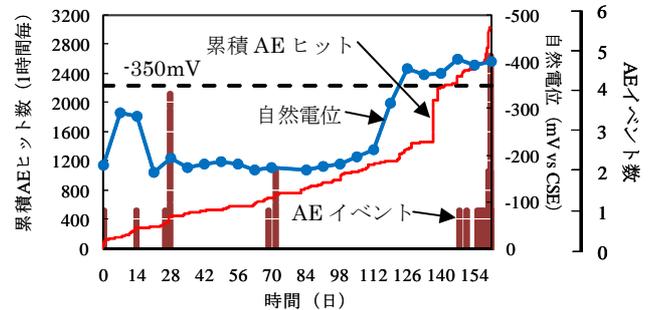


図-5 累積 AE ヒット数および AE イベントと自然電位の関係

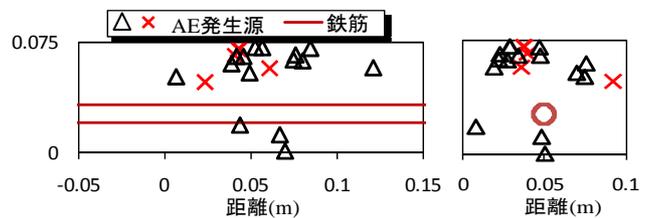


図-6 供試体側面図および断面図

5. 参考文献

- 1) 大津政康：アコースティック・エミッションの特性と理論(第2版),2005
- 2) 土木学会：2002年制定,コンクリート標準示方書「施工編」,2002