

塩害環境下における鉄筋コンクリートの腐食ひび割れ発生時期の推定

大成建設（株） 正会員 ○堀口 賢一
大成建設（株） 正会員 丸屋 剛
鹿児島大学 正会員 武若 耕司

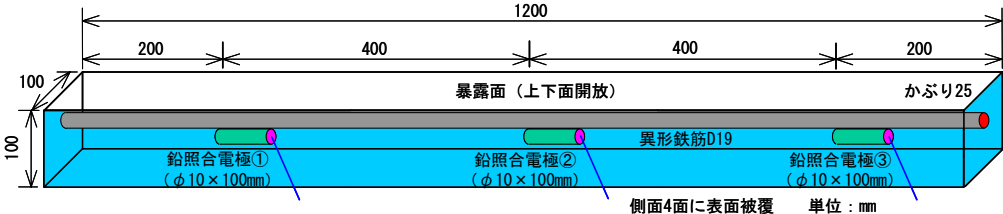
1. はじめに

本研究は、鉄筋コンクリートの塩害劣化のうち進展期を対象とし、進展期における腐食速度の推定と腐食ひび割れ発生腐食量の定量を行ったものである。実験では、鉛照合電極を埋設した鉄筋コンクリート供試体を製作し、濃度 3% の NaCl 溶液への乾湿繰返しを行いつつ、自然電位を 10 分間隔で連続的にモニタリングすることにより、進展期の開始時期を正確にとらえた。また、腐食ひび割れの発生を目視により確認し、進展期の長さを正確に把握した。さらに自然電位の測定と並行して分極抵抗を定期的に測定し、進展期における腐食速度を推定した。この推定腐食速度と、精度よく測定した進展期の長さから算出した腐食ひび割れ発生までの推定腐食量を、実測した腐食量と比較することによって、分極抵抗の測定が進展期の長さを定量的に予測することに有効であることがわかった。

2. 実験方法

図－1 に供試体の形状・寸法を示す。供試体の内部には、SD295A の異形鉄筋D19 をかぶり 25mm で 1 本配置し、鉛照合電極を 3 箇所に配置した。表－1、表－2 に供試体の配合と使用材料を示す。セメントは普通ポルトランドセメントとし、水セメント比は 65% とした。28 日標準養生後の圧縮強度は、29.8N/mm²であった。

図－1 の供試体を 3 体製作し、3%NaCl 溶液に 3 日浸漬、4 日乾燥を 1 サイクルとして暴露した。表－3 に測定項目を示す。暴露中は、埋設した鉛照合電極により自然電位を 10 分間隔で連続的に測定した。また、自然電位が低下してから、分極抵抗を交流インピーダンス法により 8 ないし 4 サイクルごとに、鉛照合電極を埋設した位置直上の供試体表面で測定した。さらに腐食ひび割れが発生した時点で供試体を解体し、鉄筋を取り出して腐食面積と腐食生成物の質量を測定した。腐食面積は、鉄筋にトレーシングペーパーを巻いて腐食範囲を写し取り、プランメーターで測定した。腐食生成物は量が少なかったため、先端の尖ったハンマーとワイヤーブラシを用いて鏝部分の付着物を落とし、磁石を用いて腐食生成物とモルタルを分離して、腐食生成物のみの質量を測定した。



図－1 供試体の形状・寸法

表－1 供試体の配合

Gmax mm	スランプ cm	空気量 %	水セメント比 %	s/a %	単位量 (kg/m ³)					初期含有塩化物 イオン濃度 (kg/m ³)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
13	13.0	5.1	65	52	180	277	933	881	2.76	0.04

表－2 供試体の使用材料

使用材料	種類・品質
セメント	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm ³
細骨材	山砂、表乾密度2.61g/cm ³ 、吸水率2.15%
粗骨材	砕石、表乾密度2.67g/cm ³ 、吸水率0.74%
混和剤	リグニンスルホン酸系 A E 減水剤

表－3 測定項目

測定項目	測定方法・測定頻度
自然電位	埋設した鉛照合電極で10分ごとに連続計測
分極抵抗	交流インピーダンス法で8ないし4サイクルごと
表面観察	目視で腐食ひび割れの有無を1サイクルごと
腐食面積	解体後の鉄筋に対し、プランメーターで測定
腐食量	解体後に腐食生成物を除去して質量測定

キーワード コンクリート、塩害、進展期、分極抵抗、腐食速度

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター土木技術研究所 TEL 045-814-7228

3. 実験結果

図-2 に供試体 3 体の内 1 体 (供試体 No. 1) の自然電位と分極抵抗の経時変化を示す。自然電位は、銅硫酸銅電極 (CSE) に換算している。供試体 No. 1 の自然電位は、実験開始から 4500 時間程度で急激に低下する現象が見られた。既往の研究¹⁾によれば、この時点を開食開始と判断できる。また、11300 時間で腐食ひび割れの発生が目視により確認された。

一方、分極抵抗は自然電位が低下した後にはほぼ一定で推移していることから、進展期の間はほぼ一定の腐食速度で腐食が進行したものと考えられる。

表-4 に分極抵抗から推定した腐食

量と、供試体解体後に実測した腐食量を示す。分極抵抗から腐食電流密度を算出する際の Stern-Geary 式の K 値は、0.026 (V) とした。この腐食電流密度と進展期の長さをファラデーの法則に当てはめ、推定腐食量を算出した。なお、ここで用いている分極抵抗は、供試体解体直前に供試体表面の鉄筋直上において 25mm ピッチで自然電位を測定し、その分布の中で最も卑であった位置で測定した値である。

一方、腐食量の実測値は、供試体表面から測定した自然電位が最も卑であった位置を中心に、長さ 50mm の範囲で腐食面積と腐食生成物の質量を測定して算出した。鉄筋の錆部分から、ハンマーとワイヤーブラシにより採取した付着物には、モルタルが含まれていたため、腐食生成物のみを磁石で取り分けた。文献²⁾によれば、塩化物イオンの多い環境で生成する腐食生成物は β -FeOOH の形態をしており、これは磁石に対し磁性を持つと考えられる。このようにして測定した腐食生成物の質量に、FeOOH (分子量 88.8) 中の Fe (原子量 55.8) の割合を算出した比率 (0.628) を乗じて、これを腐食面積で除して腐食量の実測値とした。

腐食ひび割れ発生腐食量は、分極抵抗による推定値と実測値で必ずしも一致はしないものの、分極抵抗から腐食量を推定することによって、進展期の長さを推定できるものと考えられる。

4. まとめ

腐食ひび割れ発生腐食量と、分極抵抗から求めた腐食速度による腐食量を比較することにより、腐食ひび割れ発生時期を評価できることが明らかとなった。

本実験は、(財) エンジニアリング振興協会の開発業務の一環として実施した。ここに謝意を表する。

参考文献

- 堀口賢一, 丸屋 剛, 武若耕司: 自然電位連続モニタリングによる発錆時期推定手法の検討と腐食発生限界塩化物イオン濃度の測定, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 1, pp. 1007-1012, 2006. 7
- 金 貞辰, 朴 同天, 兼松 学, 野口貴文: 鉄微粉末混入によるモルタル中の鉄筋の腐食抑制メカニズムに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 1, pp. 1037-1042, 2006. 7

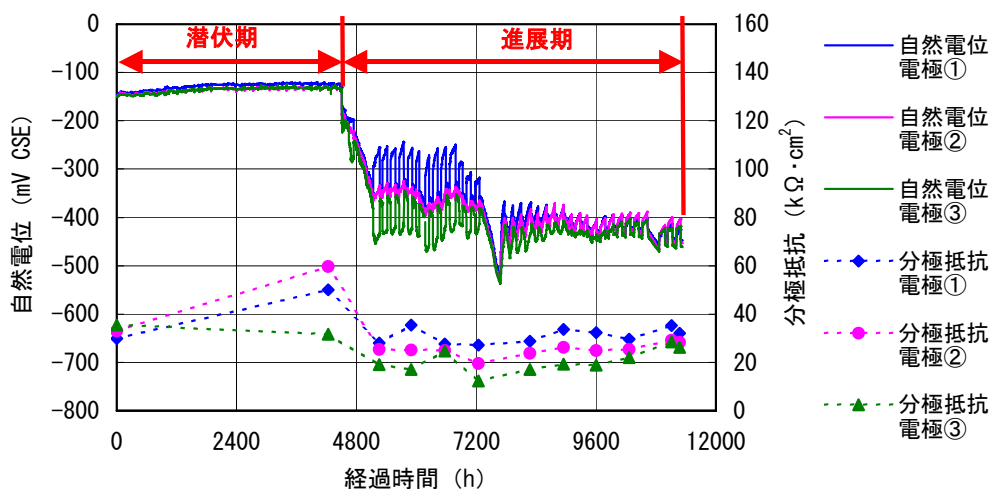


図-2 自然電位と分極抵抗の経時変化 (供試体 No. 1)

表-4 腐食ひび割れ発生腐食量の比較

供試体 No.	進展期の長さ (日)	推定値		実測値		
		分極抵抗 ($k\Omega \cdot cm^2$)	腐食量 (mg/cm^2)	腐食生成物質量 (g)	腐食面積 (mm^2)	腐食量 (mg/cm^2)
No. 1	283.8	14.4	12.8	0.2566	628.1	25.7
No. 2	312.0	8.4	24.3	0.0774	936.9	5.2
No. 3	365.7	9.2	25.8	0.1400	567.5	15.5