

室内気中にて長期養生したコンクリート供試体の鉄筋腐食に関する考察

四国総合研究所 正会員 横田 優 四国総合研究所 正会員○松場新吾
四国総合研究所 非会員 松田耕作

1. はじめに

6.5 年前に作製し、その後ビニール袋に入れた状態で、20℃、相対湿度 60%の恒温恒湿室内で長期養生していた鉄筋コンクリート供試体(塩化物添加量 5kg/m³)の自然電位および分極抵抗を測定した。ASTM の自然電位法による鉄筋腐食性評価基準¹⁾および CEB の分極抵抗法による腐食速度の判定基準²⁾によれば、いずれの値も腐食していないことを示す結果であった。一般に言われている腐食発生限界塩化物イオン濃度 1.2~2.5kg/m³³⁾を超えているのにもかかわらず、腐食を示す結果が得られないのは、養生期間中に外部からの水分供給がなかったため腐食が進行していない状態になっていると考えられた。そこで、供試体を 5 日間水中に浸漬して自然電位および分極抵抗等の経時変化を測定するとともに、その後供試体を割裂し鉄筋の腐食状況を目視観察することにより、自然電位法と分極抵抗法による鉄筋腐食評価の有効性について検討した。

2. 実験概要

(1) 供試体 供試体は表-1 に示す 3 体であり、配合を表-2 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(宇部三菱：密度 3.16g/cm³)、細骨材は洗った海砂と砕砂の混合、粗骨材は碎石(max20mm)である。

供試体の外観を写真-1 に示す。寸法は 10×10×30cm であり、D16 の鉄筋(試験長 24cm、表面積 121cm²)が 1 本、測定面に対してかぶり 3cm の位置に埋設されている。測定面以外は、鉄筋を含めてエポキシ樹脂塗装が施されている。

(2) 電気化学的測定 水中浸漬した供試体の自然電位、分極抵抗および見かけのコンクリート抵抗の電気化学的測定には当社開発の携帯型鉄筋腐食診断器 CM-Ⅲを用いた。具体的には、水を入れた容器内に供試体を浸漬した状態で、かぶり面側に対極(チタンメッシュ陽極材)と銀/塩化銀照合電極を設置して測定した。測定時間は、水中浸漬開始から 15 分後、30 分後、1 時間後、2 時間後、6 時間後、1 日後、2 日後、5 日後とした。なお、分極抵抗は、10Hz と 20mHz の交流インピーダンス値から求めた見かけの分極抵抗値に鉄筋の全表面積を掛けて求めた。また、見かけのコンクリート抵抗は 10Hz のインピーダンス値の実数値(kΩ)とした。

(3) 鉄筋腐食状況等の目視観察 水中浸漬 5 日の測定終了後、供試体を水中から取り出し、鉄筋位置で鉄筋に沿って深さ方向に割裂し、コンクリート内への水の侵入状況および鉄筋の腐食状況を目視により観察した。

3. 実験結果

(1) 水の浸透状況 3 供試体の割裂面を写真-2 に示す。色の濃い部分が直接水の浸透してきている部分である。5 日間の水中浸漬により、60-0 供試体では鉄筋を通り過ぎて奥まで、60-5 供試体では鉄筋位置まで、50-5 供試体ではかぶりの中央までそれぞれ水が達していることが分かる。さらに 50-5 供試体については、鉄筋寄りのかぶりコンクリートの色調が、水が直接浸透している表面側コンクリートよりも淡いが、鉄筋奥のコンクリートよりも濃いことから、浸透してきた水の影響が鉄筋まで達しているものと推察される。

(2) 鉄筋腐食状況 取り出した鉄筋のかぶり側(コンクリート打設時に下側となり、ブリージングの影響を受けている面)と反対側の面の腐食状況を写真-3 に示す。塩化物無添加の 60-0 供試体には全く錆は見られない。一方、塩化物含有量 5kg/m³の 60-5 と 50-5 供試体にはいずれも小面積の斑点状の錆が認められるが、W/C

表-1 供試体一覧

供試体 区分	水セメ ント比 W/C(%)	初期添加塩 化物量 Cl- (kg/m ³)
60-0	60	0
50-5	50	5
60-5	60	5

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位容積質量(kg/m ³)			
		W	C	S	G
50	43	165	330	778	1039
60	45	165	275	835	1028
スランブ	12±2cm		空気量	4.5±1%	



写真-1 供試体の外観



写真-2 水の浸透状況(供試体割裂面)

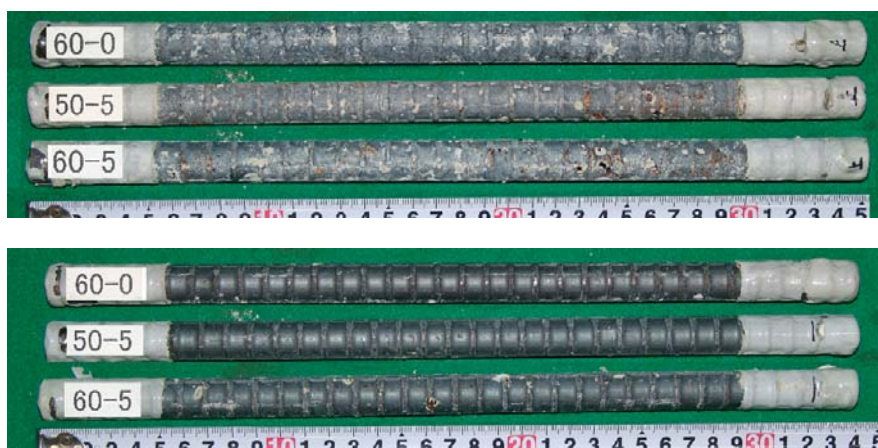


写真-3 鉄筋表面の腐食状況(上：かぶり面、下：反対面)

比の大きい 60-5 供試体の錆の量が 50-5 供試体よりも多い。

(3) 電気化学的特性値の経時変化 自然電位、分極抵抗および見掛けのコンクリート抵抗の経時変化を図-1 に示す。浸漬当初と 5 日間の浸漬終了時点での各供試体の自然電位および分極抵抗を表-3 に示す。5 日間の水浸漬を通していずれの値も低下しているが、水の浸透に伴い、かぶりコンクリートの電気抵抗の低下が起こり、少し遅れて水の影響が鉄筋に到達した段階で自然電位および分極抵抗の低下が生じていることが分る。特に、腐食速度

表-3 浸漬当初と終了時の自然電位・分極抵抗

供試体 区分	電位 (mV vs Ag/AgCl)		分極抵抗 (kΩ cm ²)	
	当初	終了時	当初	終了時
60-0	+6	-13	1,980	830
50-5	-22	-95	698	136
60-5	-18	-223	551	50

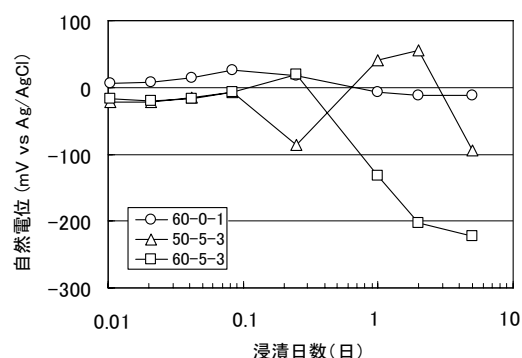
と反比例の関係にあると言われている分極抵抗については、浸漬終了時の値が前項(2)の鉄筋の腐食状況(錆の量の大小関係)と良く一致している。なお、塩化物含有量 5kg/m³ の供試体の鉄筋表面に見られる小面積の斑点状の錆の多くは、若材齢時の比較的含水率が高かった時の腐食によるものと推察された。

4. まとめ

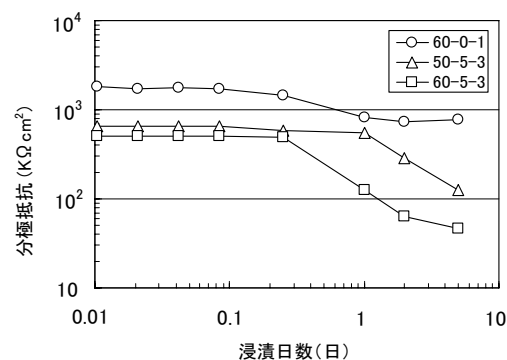
- 1) 水中浸漬を通しての測定値の経時変化から、分極抵抗は鉄筋腐食の進行状態をよく捉えている。
- 2) 内在塩化物量が多くても乾燥気味で含水率が低いコンクリート中にある鉄筋については、腐食が進行しない、または腐食速度がかなり遅くなる。

【参考文献】

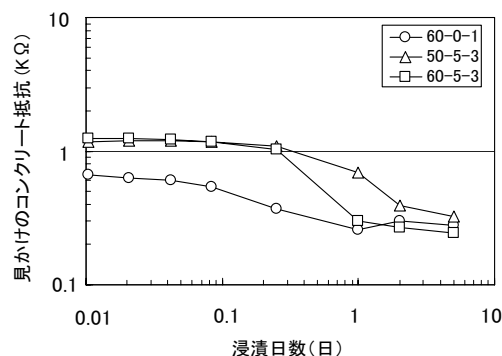
- 1) ASTM C876-91 (Reapproved 1999) “Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete”、APPENDIX X1.
- 2) CEB Bulletin No. 243: Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures affected by Reinforcement Corrosion、1998
- 3) 建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書、1989. 5



(a) 自然電位



(b) 分極抵抗



(c) 見掛けのコンクリート抵抗

図-1 水中浸漬試験結果