

V-278 交流インピーダンス法による コンクリート中鉄筋腐食診断に関する研究

㈱四国総合研究所土木技術部 正会員 横田 優
 住友金属工業㈱鉄鋼技術研究所 幸 英昭

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を検討する上で塩化物イオンによる鉄筋腐食が問題となっている。そこで、本研究では、塩化物イオンを含んだコンクリートの水セメント比およびかぶり厚さが、ひび割れのないコンクリート中の鉄筋の腐食に及ぼす影響やモニタリング手法の一つである交流インピーダンス法の有用性について検討した。

2. 実験概要

実験環境下での腐食を短時間でシミュレートする意味から、コンクリート中に黒皮つき鉄筋を埋め込んだ鉄筋コンクリート供試体による促進腐食試験を行った。暴露条件としては、高温湿潤（ $70 \pm 2^\circ\text{C}$ の温海水中に3.5日浸漬）と低温乾燥（ $15 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 2\%$ の空气中に3.5日保持）の繰返しにより

表-1 因子と水準

因子	水準
水セメント比 (%)	55, 65, 75
かぶり厚さ (cm)	3, 5, 7
暴露期間 (サイクル)	10, 20

腐食を促進させるものである。設定した因子と水準を表-1に、供試体の形状および寸法を図-1にそれぞれ示す。セメントは普通ポ

表-2 コンクリートの配合と力学的性質

水セメント比, W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位重量 (kg/m^3)					力学的性質 (kgf/cm^2)			
			水 W	セメント C	粗骨材 S	細骨材 G	その他	圧縮強度 σ_{225}	引張強度 σ_{225}	圧縮強度 σ_{225}	引張強度 σ_{225}
55	8 ± 2	4 ± 1	187	340	911	814	0.054	386	430	31.3	32.4
65	15 ± 2	4 ± 1	202	310	903	806	0.040	276	349	27.4	31.6
75	20 ± 2	4 ± 1	210	280	906	809	0.056	175	246	23.3	24.2

ルトランドセメント、細骨材は香川県三豊郡財田産の砕砂（砂岩、比重2.58，F.M.=2.78），粗骨材は同産の碎石（砂岩、比重2.60，最大粒径20mm），混練水には水道水を使用した。また、鉄筋の発錆時期を早めるために、混練水の一部に海水を使用し、コンクリート1 m^3 当りで2kgの塩分（NaCl換算）を添加した。鉄筋はSD30，D16の黒皮つき異形棒鋼を使用した。コンクリートの配合と力学的性質を表-2に示す。供試体は、打設後約1年間海水中にて浸漬養生した後、促進腐食試験に供した。所定の暴露期間を終えた供試体については、交流インピーダンスの測定、ひび割れ等の外観観察の後、破壊による鉄筋腐食量測定を行った。

交流インピーダンスは、隣合った鉄筋のうち一方を試料極に他方を対極とした2電極方式で測定を行った。交流負荷電圧は $\pm 10\text{mV}$ ，測定周波数範囲は1mHz（一部0.05mHz）～100kHzとし，交流の発生および負荷した交流の応答解析には，P A R社（PRINCETON APPLIED RESEARCH）の273型ポテンシヨ／ガルバナスタットおよび5301EC型デジタル・ロック・イン・アンプを使用した。

3. 実験結果および考察

コンクリート中の塩化物イオンの分布状況を図-2に，10および20サイクル時の水セメント比，かぶり厚さと腐食量との関係を図-3に示す。一般に言われているように，水セメント比，かぶり厚さが防食性能に大きな影響をもつことが確認できた。特に，今回の実験において，水セメント比75%ではかぶり厚さの腐食速度に及ぼす顕著な効果は認められなかった。また，かぶり厚さ3cmでは，水セメント比の腐食速度に及ぼす顕著な効果は認められず，軸方向ひび割れ時の腐食減量もいずれも40 mg/cm^2 程度であった。

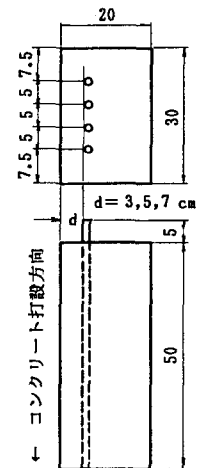


図-1 供試体の形状及び寸法

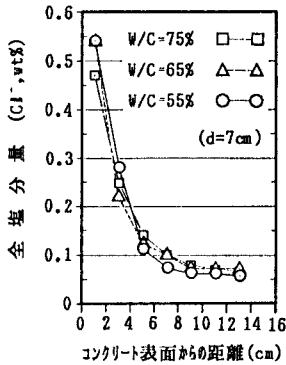


図-2 塩化物イオンの分布状況

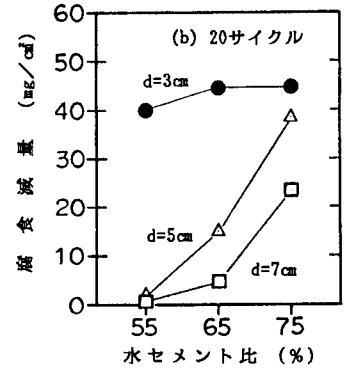
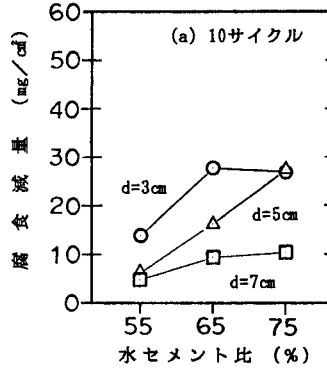


図-3 水セメント比・かぶり厚さと腐食減量との関係

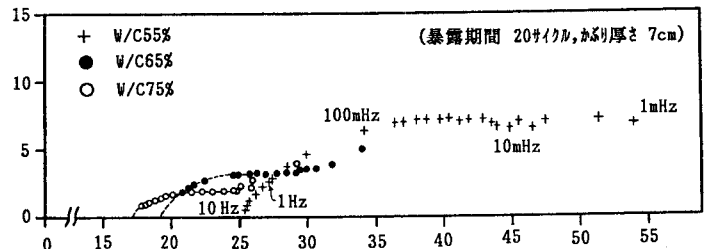
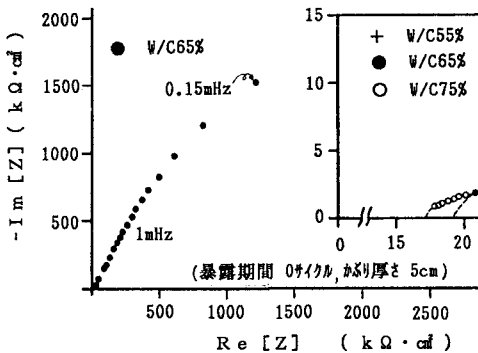


図-4 インピーダンス測定結果 (Cole-Coleプロット)

インピーダンス測定結果は複素平面表示 (Cole-Coleプロット)により整理した、0および20サイクル供試体の代表的な測定結果を図-4に示す。0サイクル時のインピーダンス値は低周波数側で急激に増大し、その軌跡は大きな円の一部分を示しているようである。これは不動態ないしはそれに近い状態の鋼のインピーダンス特性を示しており、鉄筋の状況と一致している。20サイクル暴露後のインピーダンス軌跡は虚軸方向につぶれた小さな半円状を呈しており、腐食程度が大きいものほど半円の径(分極抵抗)が小さい傾向が認められる。ただし、腐食速度が酸素の拡散速度に依存するため低周波数側でインピーダンス値が増加する傾向が見られる。また、高周波数側の実数値(実軸との交点)はコンクリートの抵抗を示しているが、水セメント比が小さいほど、抵抗が大きいことが確認できた。

分極抵抗の逆数を時間で積分した値と腐食減量との関係を図-5に示す。両者は良好な相関関係を示しており、分極抵抗は腐食速度・腐食量を知る上で有力な指標となることが確認できた。

4. 今後の課題

交流インピーダンス法を実構造物に適用する場合、今回の2電極方式のようにモニター用の小鋼材をコンクリート中に埋め込むことが考えられるが、既設構造物については対極と照合電極を組合わせた電極をコンクリート表面に当てる3電極方式の検討が必要である。今後は、後者を中心に、負荷電流の及ぶ範囲、配筋状況の影響等の検討も含めて、実構造物を対象にしたデータ蓄積を進めていく予定である。

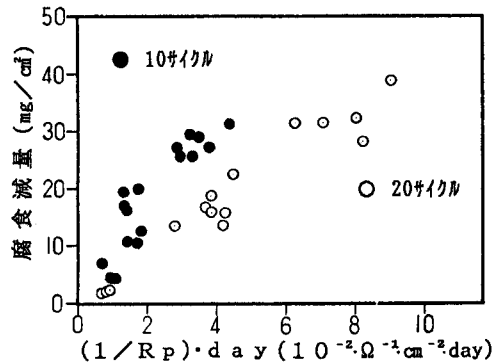


図-5 分極抵抗の逆数の時間積分値と腐食減量との関係