

V-179 コンクリート中の鉄筋の非破壊的腐食診断手法について

五洋建設 技術研究所 正 員○森 本 登志也
五洋建設 技術研究所 正 員 小 堀 光 憲
五洋建設 技術研究所 正 員 高 木 兼 士

1. まえがき 海洋環境下に立地するコンクリート構造物の劣化の進行は、塩分の浸透、鉄筋の不動態被膜の破壊、鉄筋の発錆という潜在的な過程を経て、ひび割れ、剝離などが表面化する。表面にこのような劣化が現れる前にその徴候を早期に発見、予測し適切な処置を施すことが維持管理の上で重要である。本研究は、塩分量を変化させたコンクリート供試体を促進および標準環境に暴露しながら鉄筋の腐食過程を自然電位、電気抵抗などの電気化学的な非破壊試験を適用して調査、分析を行った。

2. 実験概要 設定した因子と水準を表-1に示す。

表-1 因子と水準 注

因 子	水 準
混入塩分量	O: 0.027 (Cℓ, wt%) (0.6kg/m³) A: 0.072 (") (1.6 ") B: 0.144 (") (3.2 ") C: 0.216 (") (4.8 ")
暴露条件	標準, 促進

表-2 コンクリートの示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)	粗骨材 量 (kg/m³)	セメント 量 (kg/m³)	水 量 (kg/m³)	混和剤 (C×%) AE剤 0.03
20	8±2.5	5±1	60	45	168	280	824	1024	

混入塩分量は5水準とした。暴露条件は、標準環境の場合20℃、60%R.H.の恒温恒湿状態を保ち7日間を1サイクルとした。促進環境の場合湿潤状態65℃、95%R.H.を3日間、乾燥状態15℃、65%R.H.を4日間を1サイクルとして乾湿繰り返しを行った。供試体は材令7日（0サイクル）まで20±3℃でビニール袋にて封かん養生を施した後、各環境に20サイクルまで暴露した。使用したコンクリートの配合を表-2に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、混入塩分はNaClを使用し、混練水にはイオン交換水を使用した。供試体の形状を図-1に示す。鉄筋はJIS G 3108みがき棒鋼用一般鋼材を使用し両端部にエポキシ樹脂コーティングを施し供試体両端にアクリル板を接着した。鉄筋の腐食評価は腐食減量で表し5サイクル毎に行った。自然電位は硫酸銅電極を用いて供試体の同一面を4cm間隔で9点の電位を各サイクルごとに測定した。電気抵抗はWenner法により5サイクル毎に測定した。

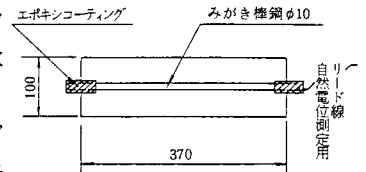


図-1 供試体形状

3. 実験結果及び考察 3.1 腐食速度 腐食減量をサイクル数で除した値を腐食速度と定義する。腐食速度と混入塩分量との関係を図-2に示す。腐食速度は標準環境の場合(C)以下の塩分量では微小であり(D)において初めて顕著となる。促進環境では無混入の(O)においても発錆が認められたが腐食速度は微小であり、混入塩分量に比例している。混入塩分量(D)に着目すると、標準環境の約0.03に対して促進環境では0.15~0.20であり、促進環境は標準環境の約5~7倍の時間的な促進効果が発揮されている。

3.2 自然電位 1 供試体の電位を単純平均した値を平均電位とし、そのサイクル変化を図-3に示す。促進環境の場合、無混入(O)の供試体の電位は、15サイクル以降-50mvから-250mv付近まで卑に向っており、この時点で腐食が発生したと推定される。促進環境の(A)以上および標準環境の(D)の塩分量では、すでに腐食が発生しており、電位は常に-250mv以下の値を示している。このことから、腐食を示す平均電位の境界はおよそ-250mv付近であると考えられる。しかし、促進環境の(C),(D)の場合には平均電位が-20~-30mvの幅でほぼ同様な経時変化を示しており、図-2に示されるような腐食速度の差異は電位変化から明確に表せられないと言える。

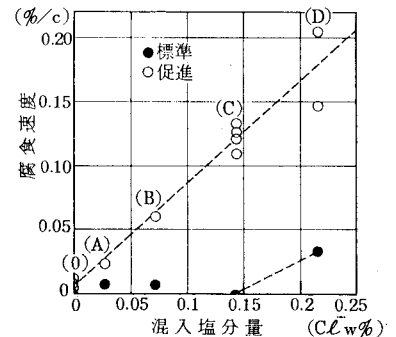


図-2 腐食速度と混入塩分量の関係

促進環境における平均電位分布と鉄筋腐食の関係（混入塩分量

(C)を図-4に示す。5サイクルから10サイクルにかけて電位の分布は下側に凸の曲線になり、この凸の電位分布の近傍がそれぞれ鉄筋の腐食部と健全部との境界に対応していることが判る。15サイクルにおいて電位分布に顕著な差異が現れている。これは全面にわたり腐食が生じ、局部的な孔食の影響、微少な健全部位置と電位測定面とのずれなどによるものと推察される。また、20サイクルでは電位分布は一定になり、全面腐食に達した時の一時的な電位の平衡状態などによるものと推察される。

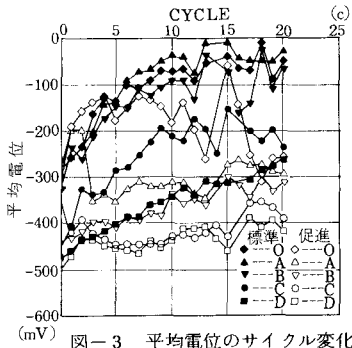


図-3 平均電位のサイクル変化

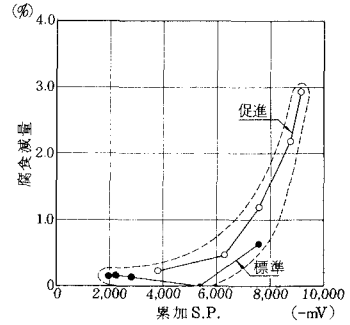


図-5 腐食減量と累加S.P.の関係

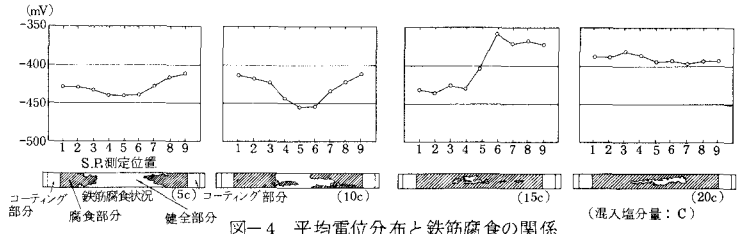


図-4 平均電位分布と鉄筋腐食の関係

測定された自然電位には環境条件、塩分濃度、表面の中性化など種々の要因による影響が含まれている。¹⁾これらの複合要因をできるだけ包含させたある評価尺度を得るため1サイクル毎の平均電位を加算した値を累加S.P.と定義する。腐食減量と累加S.P.の関係を図-5に示す。累加S.P.は環境条件及び塩分量などの要因を包含させた状態で腐食量を連続した曲線で表せることを示唆している。図-2から促進環境の塩分量(A)と標準環境の(D)の塩分量は腐食速度が0.025以上ある。この塩分量に対応する累加S.P.の値は-7000mV前後であり、この値を越えると急激に腐食速度が増加すると言える。

3.3 電気抵抗 比抵抗のサイクル変化を図-6に示す。促進環境における比抵抗は5サイクル以後、ほぼ一定になり約35000 $\Omega \cdot \text{cm}$ 付近が鉄筋の発錆時に対応していると推察される。

比抵抗と平均電位の関係を図-7に示す。自然電位と電気抵抗から推定される腐食の領域（比抵抗35000 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以下、平均電位-250mV以下）を斜線部で示している。標準環境の(D)、促進環境の(A)以上の塩分量のように明らかに腐食を生じているものについてはこの領域内にあるが、促進環境の無混入(O)、標準環境の(C)については腐食領域の境界線の近傍にありこの境界線はある幅を持つことを示している。

4. まとめ (1) 今回の促進

試験は標準環境の5～7倍の時間的な促進効果がある。(2) 平均電位の変化から電位が-250mV以下になると腐食している可能性が高い。また、平均電位分布のモニタリングから腐食部と健全部との境界ならびに部分腐食から全面腐食へ推移していく腐食の過程を推察することができる。(3) 累加S.P.、電気抵抗と自然電位との組合せを用いることにより非破壊的なコンクリート中の鉄筋腐食の測定精度を高めることができる。

参考文献 1) ALAN P. CRANE: CORROSION OF REINFORCEMENT ON CONCRETE CONSTRUCTION, ELLIS HORWOOD PUBLISHERS, pp. 201 ~ 210

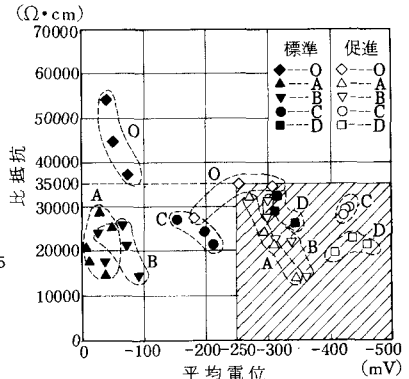


図-6 比抵抗のサイクル変化

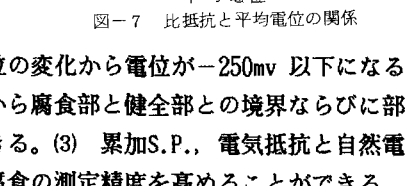


図-7 比抵抗と平均電位の関係