

京都大学 学生員 本田 哲

京都大学 正員 宮川 豊章

京都大学 正員 岡田 清

海洋によって典型的に代表される塩分雰囲気中において、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、鋼材の防食を確実にこなう必要がある。防食方法としては、防錆剤、亜鉛めっき鉄筋、樹脂塗装鉄筋、耐塩性鉄筋あるいはメンブレンなどの使用がすでに試みられているが、コンクリートが比較的湿潤環境にある場合、塩化物濃度が高い場合においても確実な防食方法として電気防食の適用が考えられる。そこで本研究では、鉄筋コンクリート構造物での本格的な電気防食を検討する基礎段階として、コンクリート中液相のモデルとして飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液を選び、鋼材の分極試験を実施し、電気防食を行なうとともに、あわせてコンクリート中の鋼材についても同様に試みた。

1 実験概要 塩分量としては表1に示すものを選んだ。また、腐食反応を律速する酸素拡散過程に影響する水溶液中への酸素供給の要因としては、水溶液表面を流動パラフィンでシールした場合（以下、パラフィンシールと呼ぶ）と外部から空気を水溶液中に吹き込む場合（以下、エアレーションと呼ぶ）との2種を選んだ。鋼材としては、S G D-3, $\phi 13$ のみがき丸鋼とS D-35 D 13 の黒皮つき異形丸鋼とを15 cmに切断し、上下端を被覆し、2 cmの区間のみ素地を露出させたものを用いた。分極および電気防食試験は、参照電極に銀塩化銀電極、対極に白金電極を使用し、ポテンシオスタットを用いて行なった。また、水溶液中の鋼材について腐食発生に要する期間を知ることにより、電気防食を行なった時の腐食、非腐食の確認に要する期間を決定し、あわせて一週間程度後の自然電位を知ることにより、電気防食を行なった時の防食電位を自然電位よりも卑とするために、自然電位の経日変化を測定した。防食電位は一般に知られている防食電位（ $-660 \text{ mV vs. Ag/AgCl}$ ）と先に行なった分極試験および自然電位のデータをもとに決定した。所定の期間、防食電位を保持した後、腐食していなければ鋼材表面を純水でふいた後、防食電位を貴方向に25 mV上げ、腐食していれば、試料を取り換え防食電位を卑方向に下げるにより防食電位の検討を行なった。コンクリート中の鋼材についても、分極および電気防食試験を行なった。

設定防食電位は水溶液中の実験で確認された防食電位に対する電流がコンクリート環境においても流れるように、コンクリート環境における分極曲線から電位を求めた。また、コンクリートの含水率の影響を検討するため鋼材を埋め込んだ供試体 $\phi 40 \times 20 \text{ cm}$ を $\text{Ca}(\text{OH})_2$ で飽和させた人工海水で、シリンドー高さ20 cm（上）、10 cm（中）、1 cm（下）、0.5 cm（極小）まで、それぞれ浸漬した。

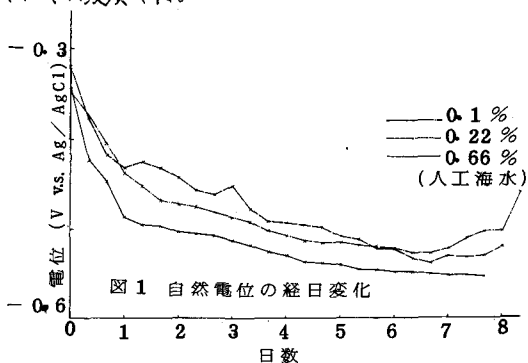
2 実験結果および考察

飽和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液環境

図1によると、自然電位は最大約 -0.55 V まで下がっていることがわかる。また、3日目頃から腐食発生が確認された。水溶液中における分極試験の結果の一例を図2（破線）に示す。これらの結果よりまず設定電位を -660 mV に設定した。図3は、塩分量0.66%（エアレーション）の時の防食電流密度とレストポテンシャルの経日変化の例である。これによると3～6日の -635 mV では

表1 含有塩分レベル

砂の絶乾重量(%)	0	0.04	0.1	0.22	0.3	0.5	0.66
水溶液 (%)	0	0.20	0.50	1.1	1.5	2.5	3.3



腐食していないが、6日後に -610 mV にして1日後、腐食が発見された。これより防食電位は -635 mV を一応の目安とすればよいことがわかる。また 0.66% （パラフィンシール）の時は -670 mV 、 0.22% （エアレーション）の時は -660 mV であった。また、一般にはレストポテンシャルが設定電位に近づくにつれて電流密度は減少していた。

コンクリート環境

陽分極曲線の直線部から求めたコンクリートの抵抗（ 287Ω ）による電位降下を修整した分極曲線と水溶液環境におけるパラフィンシール（酸素供給の面でコンクリート環境により近いと思われる。）を用いた分極曲線の例を図2に示す。これらはよく似た挙動を示している。また、コンクリート環境中の方が水溶液環境中より不動態領域が広い。pHが両者とも高アルカリであることを考えるとこの不動態領域の増大はコンクリート中では酸素供給が少ないためおよび鋼材表面に緻密なセメントの防食被膜が形成されるための両者によるものと考えられる。

電気防食の設定電位は、水溶液の分極 -660 mV に対する電流密度が $0.04\sim 0.11\text{ mA/cm}^2$ でありコンクリート中みぎき丸鋼の分極曲線からこれに対応する電位は $-850\text{ mV}\sim -1250\text{ mV}$ であるため、Vrableの報告による鋼材とコンクリートの付着を損う電位（ -1060 mV ）を考慮して -900 mV とした。

コンクリート環境における防食電流密度とレストポテンシャルの経日変化の例を図4に示す。

みぎき丸鋼においては、4～6日後の値を見ると浸漬水位上では、レストポテンシャルは -0.7 V 付近で、電流密度は 0.003 mA/cm^2 付近に、中では -0.5 V 付近で、電流密度は 0.007 mA/cm^2 付近に、下では、レストポテンシャルは -0.3 V 付近で、電流密度は、 0.013 mA/cm^2 付近に、極小では、レストポテンシャルは -0.4 V 付近で、電流密度は 0.009 mA/cm^2 に近づいていた。

また、みぎき丸鋼と黒皮つき異形丸鋼とでは、後者の方が電流密度が大きかった。すなわち、同じ防食電位に設定するのに黒皮つき異形丸鋼の方が防食電流は大量に必要なわけである。

以上の様に電流密度は全て 0.02 mA/cm^2 以下であり、鋼材とコンクリートとの付着を損わないという観点からM. Unzが示した防食電流密度 0.02 mA/cm^2 を満足しているので防食電位 -900 mV は適当であると思われる。この実験に用いられた範囲の含水率（浸漬水位）では電気防食が可能ことが確認された。また、防食電流密度の値からコンクリートの含水率が高い個所において電気防食を施すことが最も有効であると考えられる。参考文献 J.B.Vrable, "Cathodic Protection for Reinforcing Steel in Concrete." Chloride Corrosion of Steel in Concrete. ASTM STP 629 pp124-149 1977.

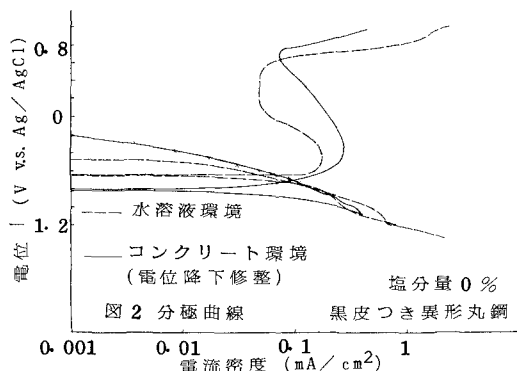


図2 分極曲線

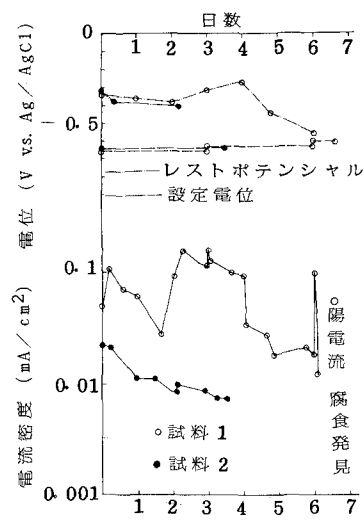


図3 電流密度とレストポテンシャル

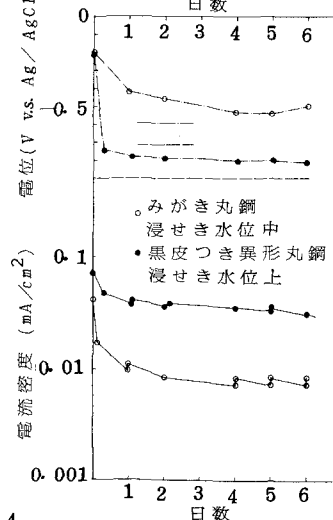


図4 電流密度とレストポテンシャル