

オリエンタルコンクリート 正会員 大野 達也
京都大学工学部 正会員 宮川 豊幸
京都大学工学部 正会員 小林 和夫

1. はじめに

健全なコンクリート中における鋼材の腐食速度は一般に極めて小さく、工学的には腐食しないものと考えてもよいが、材料中の塩分あるいは外部より浸透した場合の存在によって、鋼材の不動態被膜が破壊され、腐食が進行する例が数多く報告されている。しかし、現実の構造物において鉄筋等の鋼材の腐食状態を把握することは非常に困難であり、鋼材腐食による軸方向ひびわれの発生あるいはさび汁の流出による、てはじめて腐食の進行が知られることが多い。したがって、コンクリート構造物の維持・管理上からは、このような腐食損傷が生じる以前に、コンクリート中の鋼材腐食を非破壊的に検査できるモニタリング手法の確立が強く望まれている。

本研究は、腐食速度モニタリング手法として応用が期待されている分極抵抗法をとり上げ、そのコンクリート中環境への適用性について基礎的な検討を行ったものである。

2. 実験概要

分極抵抗の測定法としては、矩形波電流に対する応答電位から分極抵抗を得る非定常電流法を用いることとし、コンクリートは必ずしも均一な環境ではないことを考慮して、コンクリート中の浸相のモデルである水酸化カルシウム飽和水溶液中における試験を主として行った。実験の主要因としては次に示す4種をとり上げた。①周波長：非定常法を用いて、周波長を十分に長くとることができる場合、電気二重層容量の関係から分極抵抗を小さく見積る可能性が高い。ここでは、4, 40, 400および一部2000秒の4種の周波長を選んだ。②鋼材表面状態：現実によく用いられる鉄筋は黒皮付異形丸棒であることが多いが、黒皮は一般には均質とは考えられない。ここでは黒皮等の影響を検討するため、みがき丸棒(φ13, S45C), 黒皮付異形丸棒(φ13, S45C)および黒皮付異形丸棒(φ19, S45C)から切り出したみがき丸棒(φ13)の3種類の鋼材を用いた。③塩分量：水溶液環境においては、JIS A 6205「鉄筋コンクリート用防食剤」を参考として、鋼材の絶乾重量の0, 0.1, 0.22, 0.66%の4種を、コンクリート環境においては、練り混ぜ水として純水を用いたものと人工海水を用いたもの(0.72~0.81%相当)の2種をそれぞれ選んだ。④コンクリートの水セメント比：「海洋コンクリート構造物の防食指針(案)」を参考とし、標準としてW/C=0.40を選び他に0.32, 0.60の計3種を用いた。コンクリート供試体のかぶり厚は2cmとし、打設翌日脱型した直後から人工海水に浸漬し試験を開始した。これらの主要因をまとめて表1に示す。なお、実験はこれらの諸要因を適宜組み合わせを行い、供試体数を一要因につき2~4本とし、結果は平均値によって示す。

3. 実験結果および考察

3.1 飽和水酸化カルシウム水溶液環境 周波長40秒における腐食速度指標(分極抵抗 R_p の逆数)の経日変化を図1~3に示す。塩分量の影響は顕著であり、塩分量0%のものの腐食速度指標が非常に小さいのに対し、塩分を含むものは大きい。本実験で選んだ塩分量の範囲内では、塩分量0.1%以上では塩分量の大小による影響は小さく、腐食速度指標の差は明確ではない。また、鋼材表面状態の影響としては、黒皮付異形

表1 実験要因

要因	水準
周波長	4 秒, 40 秒, 400 秒, 2000 秒
鋼材表面状態	みがき丸棒 (φ13), 黒皮付異形丸棒 (D13), 黒皮付異形丸棒 (D19)から切り出したみがき丸棒 (φ13)
塩分量	0 %, 0.1 %, 0.22 %, 0.66 % (水溶液環境) 純水練り, 人工海水練り (コンクリート環境)
水セメント比	0.32, 0.40, 0.60

丸棒の腐食速度指標が最も大きく、みがき丸棒で最も小さく、切り出したみがき丸棒はその中間的な挙動を示している。みがき丸棒と黒皮付異形丸棒における介極抵抗と周波長との関係の例を図4、

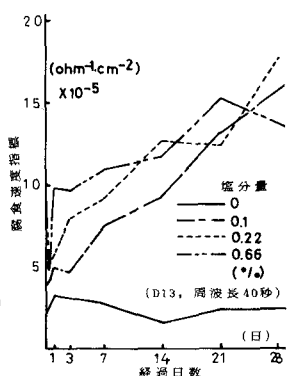
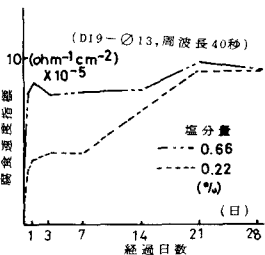
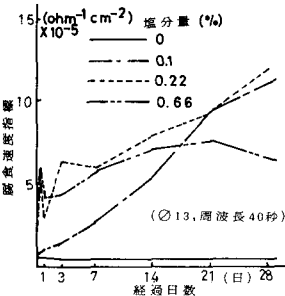
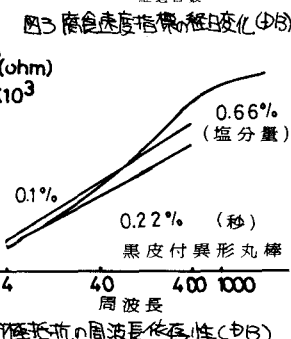
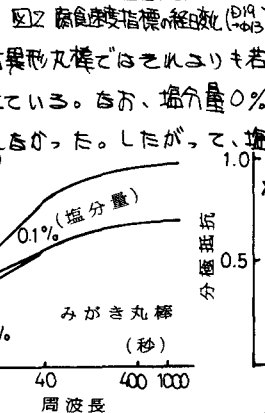
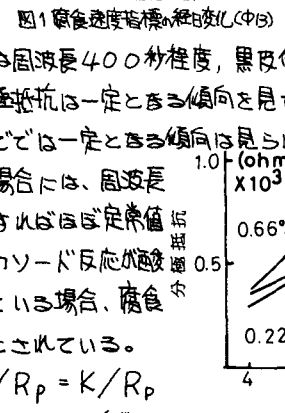


図1 腐食速度指標の経日変化(中B) 図2 腐食速度指標の経日変化(中B) 5に示す。みがき丸棒では周波長400秒程度、黒皮付異形丸棒ではそれよりも若干大きな周波長から、介極抵抗は一定となる傾向を見せている。なお、塩分量0%では、2000秒程度まででは一定となる傾向は見られなかった。したがって、塩分量をある程度含んでいる場合には、周波長を1000秒以上程度にすればほぼ定常値が得られるであろう。カソード反応が酸素の拡散過程に律速されている場合、腐食電流は次式で求められるとされている。



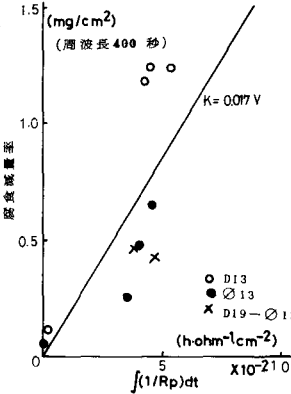
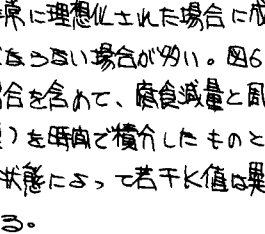
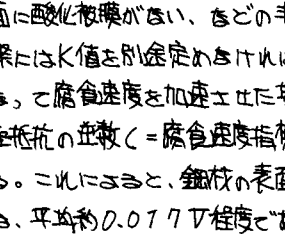
$$I_{corr} = (b_a / 2.3) / R_p = K / R_p$$

図4 介極抵抗の周波長依存性(中B)

図5 介極抵抗の周波長依存性(中B)

図6 K値

しかし、この式は鋼材表面に酸化皮膜がない、などの非常に理想化した場合に成立するものであって、実際にはK値を別途定めなければならぬ場合が多い。図6は、空気の吹き上げを行って腐食速度を加速させた場合を含めて、腐食減量と周波長400秒における介極抵抗の逆数(=腐食速度指標)を両軸で横介したものの関係を表したものである。これによると、鋼材の表面状態によって若干K値は異なるものの、全体としては、平均約0.077V程度である。



3.2 コンクリート環境 コンクリート環境における周波長40秒での腐食速度指標の経日変化の例を図7~9に示す。一般に、飽和水酸化カルシウム水溶液環境におけるよりも小さく、試験後コンクリート中から取り出した鋼材にもほとんど腐食は見られなかった。また、ばらつきはあるものの、周波長、塩分量、鋼材表面状態等の影響については、水溶液環境とはほぼ同様の傾向にあった。

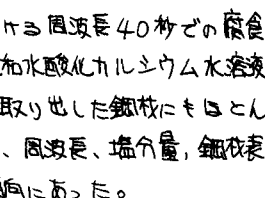
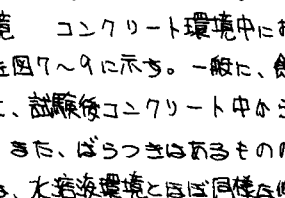
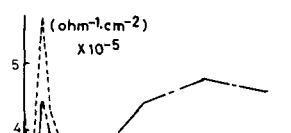
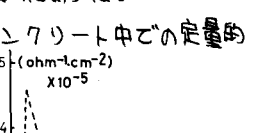
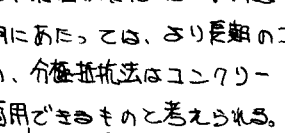
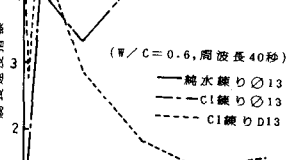
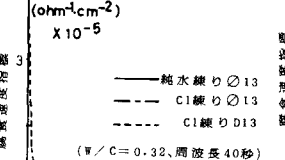


図6 K値

以上より、実際の応用にあたっては、より長期のコンクリート中での定量的検討を必要とするものの、介極抵抗法はコンクリート環境においても有効に適用できると考えられる。



最後に、本研究を遂行する上で御指導をいただいた京都大学岡田清教授に深く感謝致します。



<参考文献>



たとえば、N. Azzeri, et al., Corrosion Science, Vol.21, pp781~787, 1981

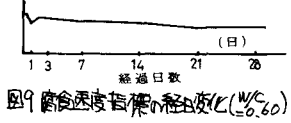
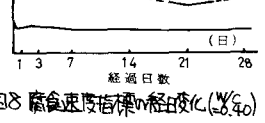
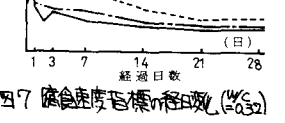


図7 腐食速度指標の経日変化(W/C=0.32)

図8 腐食速度指標の経日変化(W/C=0.40)

図9 腐食速度指標の経日変化(W/C=0.60)

図10 腐食速度指標の経日変化(W/C=0.60)