

東京大学生産技術研究所 正会員 ○ 星野 富夫

同 上 正会員 込 恒平

同 上 正会員 小林 一轉

1. まえがき

コンクリート中における鉄筋の腐食モニタリングとして、従来から提案されている鉄筋の自然電位測定方法は、非破壊検査の一手法として有用であるが、この方法は、内部の鉄筋とコンクリート表面に接触させた参照電極との電位差を間接的に測定しているために、その値は、コンクリートのかぶり部分の品質に左右されやすく、鉄筋とコンクリートの界面における真の値を得ることは、困難であると考えられる。本研究は、水セメント比の異なる2種類のコンクリートを対象に、実験的に塩分の濃度分布を与えた供試体を用いて、鉄筋の自然電位と電極位置との関係を明らかにすることを主眼とした。また、コンクリートの塩分浸透にともなう品質評価法として比抵抗値を用いることを検討した。

2. 実験概要

コンクリートの使用材料には、普通ポルトランドセメントおよび、川砂、砕石（最大寸法10mm）を用いた。その配合は、水セメント比を40%および60%、スランフ値を $8 \pm 1 \text{ cm}$ として定めた。供試体は、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の曲げ試験用型枠を用いて、中心部に直径10mm、長さ34cmの鉄筋（高炉品）を埋め込み、予め鉄筋の端部にリード線を取り付けて作成した。供試体への塩分の浸透は、3.3% NaCl水溶液中に5日間、60℃乾燥器内で2日間乾燥することを1周期とした。乾湿繰り返し方法により促進させた。また、鉄筋の自然電位の測定は、0、6、12、18回の乾湿繰り返し後行なった。これらは、 $\phi 30 \text{ mm}$ のドリルを用いてコンクリート表面より、深さ15、25、35、45mmの穴を開け、 Ag/AgCl 電極を挿入して測定した。深さ15mmとは、かぶり厚3cmということになる。比抵抗の測定は、Wenner法を適用した。すなわち、図-1に示されるように、4本の電極（鉄釘）をコンクリート中に埋め込み、両端の電極に10mA、3Hzの交流を通电して内側の2本の電極間の電圧を計測し、式 $\rho = 2\pi a \cdot V/I$ により比抵抗 ρ を求めた。ここで、 a は電極の間隔であり、この間隔に等しい深さにおける ρ 値が求まる。本実験では、 $a = 1, 2, 3, 4 \text{ cm}$ で行なった。

3. 実験結果および考察

参照電極の位置と鉄筋の自然電位の関係を、図-2および図-3に示す。図-2は、 $W/C=40\%$ のコンクリートの場合であるが、乾湿繰り返し数が0回では、電極が鉄筋に近づくにしたがって電位は卑になるものの、その絶対値は小さい。一方、乾湿繰り返し数が6回以上では、いずれの電極位置でも電位が -300 mV 以下を示す。また、電極が表面から深さ15cmぐらいまでは右下がりとなり貴側に移動する傾向を示すが、それ以上の深さでは、電極位置には無関係である。図-3は、 $W/C=60\%$ のコンクリートの場合であるが、乾湿繰り返し数が行なわれ

ると電位は $W/C=40\%$ の場合と同様に卑側に約 $200 \sim 300 \text{ mV}$ 移動する。乾湿繰り返し数が6回以上では、電極位置が増すにしたがい電位は順やかに貴側に移動する。一般に、自然電位はイオンの種類や濃度が同一液相内において鉄筋が化学的平衡状態にあることを大前提としているが、本研究では、例えば、繰り返し数が6回の場合、図-4に示されるようにコンクリート表面と内部では塩分濃度に差があり、電位差の変化に対応している。

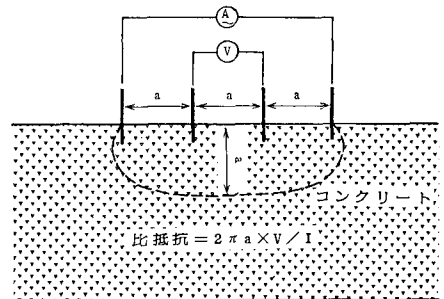


図-1 Wenner法による比抵抗測定の概念図

このことは、液間電位差として知られており、Brown²⁾によれば、この値は、最大-100mVであり本図や図-2では約-40~-70mVの差を生じている。したがって、電位測定にあたっては液間電位差の生じる範囲やその程度を知り補正するなどの考慮を必要とする。また、図-3の場合は、そのような電位の顕著な差は認められないが、

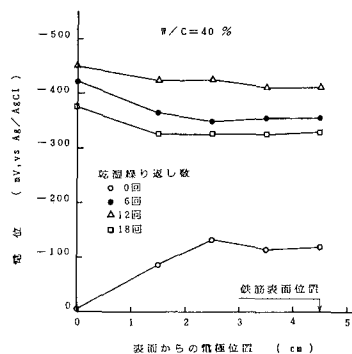


図-2 鉄筋の自然電位と電極位置との関係

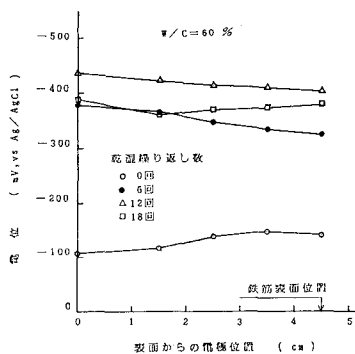


図-3 鉄筋の自然電位と電極位置との関係

これは、塩分濃度に差があっても

コンクリートの水セメント比の値が高いことからCl⁻イオンの移動が比較的容易であるため液間電位が小さくなったものと考えられる。次に、コンクリートの比抵抗測定結果を図-5および図-6に示す。塩分を浸透していない乾湿繰り返し数0回のコンクリートの比抵抗は、W/C=40、60%ともに大きな値を示すが、塩分を含む場合には、約10分の1程度に低下し、塩分の存在に鋭敏である。比抵抗が塩分の浸透に伴って低下を生ずる原因は、コンクリート中の細孔内へ強電解質であるNaClが侵入して導電性を増した為と考えられるが、このことは、同一乾湿繰り返し数で比較した場合に、図-6に示されるように、W/C=60%の比抵抗が著しい低下を示すことも推察できる。一方、深さ方向の抵抗値の変化に関しては、深さが増すと値は若干増加する傾向にあるものの、この程度のコンクリートの厚さからは、塩分濃度による差異を認めることは不可能と考えられる。本手法は、従来、土壌の抵抗測定に利用されており、主として、寸法の大なるものを対象としたために、コンクリートを対象とした新たな比抵抗法の開発の余地を有している。

4. まとめ

1) コンクリート中に塩分が浸透した場合、埋め込まれている鉄筋の自然電位は、液間電位差により変化する。この電位差は、コンクリートの水セメント比や塩分環境によって変化し、電位測定の際、補正するなどの考慮を必要とする。

2) 比抵抗をコンクリートの品質評価に適用する場合、深さ方向の微細な評価は困難であるが塩分を含んだコンクリートに対しては敏感に変化するのでむしろ巨視的なモニタリングとしての発展の可能性を有している。

参考文献

1: 花井哲也: 膜とイオン, 化学同人, 1978, p.275

2: R. D. BROWNE et al.:

Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, ELLIS, HORWOOD LIMITED, 1983, p.193.

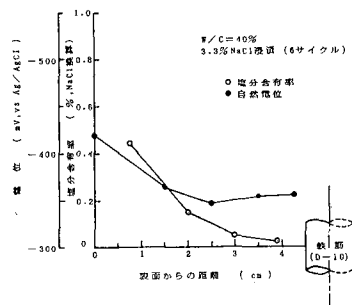


図-4 コンクリート表面からの距離と電位および塩分含有率の関係

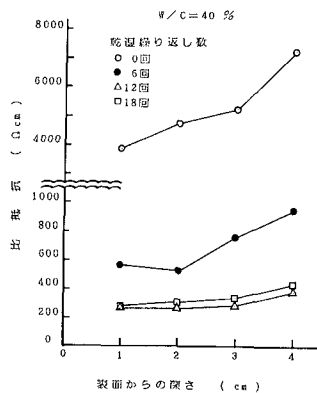


図-5 コンクリート表面からの深さと比抵抗の関係

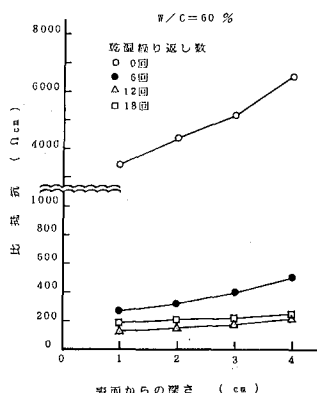


図-6 コンクリート表面からの深さと比抵抗の関係