

鉄筋の腐食速度に関する実験的研究

東海旅客鉄道㈱ 正会員 村松浩成
 東電設計㈱ 正会員 金子雄一
 早稲田大学 正会員 関 博

1. まえがき

近年、塩化物による内部鉄筋の腐食に伴う鉄筋コンクリート構造物の劣化、いわゆる「塩害」が海洋環境における構造物を中心に大きな社会問題になっており、その対策として「耐久性設計」が重要視されている。「耐久性設計」では構造物の寿命予測が必要不可欠であり、そのためには、先ず鉄筋の腐食速度にどのような因子が影響を与えているかを明確にする事が重要であると言える。そこで本研究では、腐食速度の影響因子として①自然電位、②分極抵抗、③コンクリートの比抵抗、④酸素の拡散係数、⑤かぶりの5項目に着目し、腐食速度の時間変化とこれらの相関関係について検討を行った。

2. 実験方法

供試体はセメント：水：細骨材＝1：0.6：3.85（重量比）のモルタルを使用し、設置環境は温度20℃、湿度90%以上とした。自然電位・分極抵抗測定用供試体は形状を100×100×200mmとし、かぶりが各々10, 20, 40mmになるようにφ16mmの丸鋼を配置した3種類を用意し、片側半分に上記のモルタルを、もう半分に上記の配合に15Kg/m³のNaClを混合したモルタルを打設した。さらに、この供試体の上面以外の5面と鉄筋両端部にはエポキシコーティングを施した。また、比抵抗測定にはφ50×50mmに、酸素拡散係数測定には100×100×10mmに、それぞれダイヤモンドカッターで成型した供試体を使用した。

自然電位・分極抵抗測定試験装置の概略を図1に示す。分極抵抗 R_p は、自然電位 E_{corr} の測定値から+10, +5, -5, -10mVと分極をさせた30秒後のそれぞれの電流値と、各分極量との比の平均値とし、さらに次式より腐食電流密度 i_{corr} を算出した。

$$i_{corr} = B / R_p / A \quad (2.1)$$

ここで、Bは定数(26mV)、Aは供試体の塩分を含む部分の鉄筋表面積(1.6×π×8=40.21cm²)に相当する。なお、IR-dropはインスタントOFF電位を測定する事により補正した。

比抵抗測定は印加最大電圧10mV、周波数範囲10mHz～100kHzの交流をスイープさせ、周波数が1kHzでのインピーダンスの実数成分から比抵抗を算出した。また、酸素拡散係数は次式より算出した。

$$D_N = (Q \times L) / (S \times \Delta C) \quad (2.2)$$

ここで、Qは供試体を通過する酸素の流量、L及びSは供試体の厚さ及び断面積、ΔCは供試体両面の酸素濃度差に相当する。

3. 実験結果及び考察

(1) 腐食電流密度と比抵抗の関係

腐食速度が比抵抗の変化に最も強く影響を受ける抵抗支配の領域では、腐食電流密度を次式で表す事ができる。

$$i_{corr} = \frac{\Delta \phi}{\rho \times L / S} \times \frac{1}{A} = C \times \frac{1}{\rho} \quad (3.1)$$

ここで、Δφは腐食電池を構成するアノード部とカソード部の電位差、ρ、L及びSは電流経路となるコンクリートの比抵抗、長さ及び断面積、Aは腐食系の表面積に相当し、本実験ではこれらを各供試体固有の定数Cでまとめる事ができる。従って、この領域では腐食電流密度と比抵抗の逆数の間に直線関係が成立すると考えられる。

図2より、比抵抗の逆数が1/7000, 1/5000, 1/3800以下、すなわち比抵抗としては7000, 5000, 3800以上になると、各供試体において腐食電流密度と比抵抗の逆数の間に直線関係が成立している事が分か

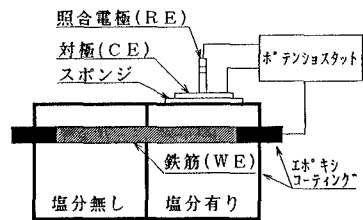
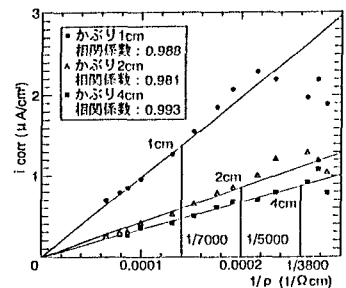
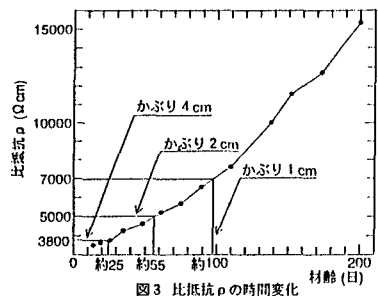


図1 測定試験装置の概略

図2 i_{corr} と $1/\rho$ の関係図3 比抵抗 ρ の時間変化

る。さらに、図3より、比抵抗がこれらの境界値以上となるのは、それぞれ材齢が100, 55, 25日以降である事も分かる。従って、かぶり1cmの供試体では材齢100日以降が、2cmでは55日以降が、4cmでは25日以降がそれぞれ抵抗支配の領域に相当すると考えられる。

(2) 腐食電流密度と酸素の拡散係数の関係

腐食速度が酸素の拡散係数の変化に最も強く影響を受ける拡散支配の領域では、腐食電流密度を次式で表す事ができる。

$$i_{corr} = n F D_N C / \delta \quad (3.2)$$

ここで、Cは沖合酸素濃度、Fはファラデー定数、nは電極反応に伴う電子数に相当し、本実験では全て定数とする事ができる。従って、この領域では腐食電流密度は拡散係数 D_N に比例し、拡散層（かぶり）の厚さ δ に逆比例すると考えられる。

図5より、本実験では拡散係数は材齢100日まで時間とともに減少し、それ以降は 3.7×10^{-4} で一定になっている事が分かる。また、図4より、拡散係数がこの 3.7×10^{-4} 以上の範囲、すなわち材齢100日以前では、腐食電流密度がかぶりに逆比例し、拡散係数の低下に伴い減少している事が確認される。また、この図より、拡散係数が 3.7×10^{-4} に達した材齢100日以降では、拡散係数が一定であるにもかかわらず、各供試体の腐食電流密度が変化している事も分かる。従って、材齢100日以降では拡散係数が腐食電流密度の変化に影響を与えていないと言う事になり、各供試体ともそれ以前、すなわち材齢100日までが拡散支配の領域に相当すると考えられる。

(3) 腐食電流密度の対数値と自然電位の関係

図6より、各供試体とも腐食電流密度の対数値と自然電位の間に直線関係が成立している事が分かる。さらに、各供試体において成立する近似式の傾きa及び切片bと、かぶり δ の間にも直線関係が成立し、それぞれ次式で表される。

$$a = -(2.69 \times \delta + 6.37) \times 10^{-3} \quad (3.3)$$

$$b = -(1.29 \times \delta + 1.80) \quad (3.4)$$

従って、同一環境であるならば、両式を用いる事により腐食電流密度をかぶりと自然電位から評価する事が可能であると思われる。

4. まとめ

本実験の範囲内では、以下の事が明らかになったと思われる。

- (1) 鉄筋の腐食速度は、材齢前期においてのみ拡散支配の影響を受け、その後は抵抗支配の影響を強く受けると考えられる。また、抵抗支配への移行は、かぶりが大きいほど早い時期に生じる事が明かとなった。
- (2) 本実験の様に供試体の設置環境が一定の場合、自然電位の測定値からの腐食速度の評価が可能であると考えられる。

[謝辞]

本実験の実施に当たっては、日本防蝕工業(株)山本悟氏、石川光男氏、新日本製鐵(株)後藤信弘氏より貴重な御助言を賜った。また、実験の際には早稲田大学 荒木弘祐氏、中部電力(株)市川健一氏に御協力頂いた。ここに感謝の意を表する次第である。

[参考文献]

W. Lopez, J. A. Gonzalez: Influence of the degree of pore saturation on the resistivity of concrete and the corrosion rate of steel reinforcement, CEMENT and CONCRETE RESEARCH. Vol. 23, pp368-376, 1993

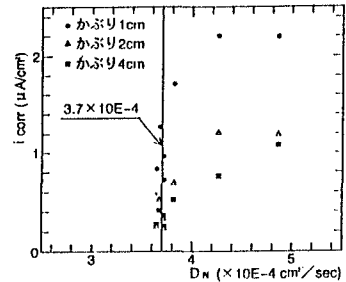


図4 i_{corr} と D_N の関係

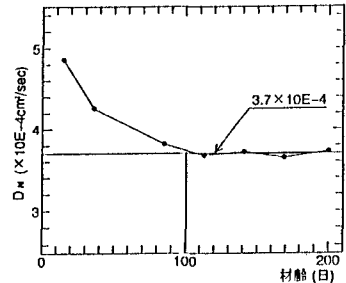


図5 酸素拡散係数 D_N の時間変化

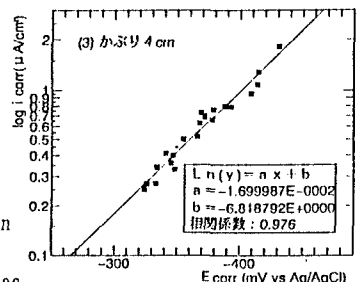
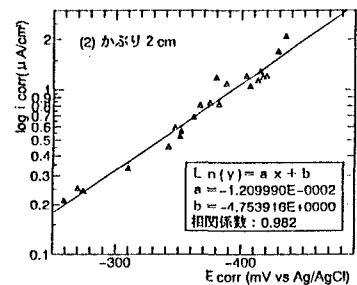
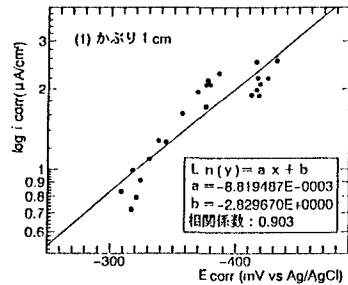


図6 $\log i_{corr}$ と E_{corr} の関係