

香川大学大学院	学生会員	○田中 大博
(株)四国総合研究所	正会員	横田 優
(財)鉄道総合技術研究所	正会員	佐々木 孝彦
香川大学工学部	正会員	松島 学

1. はじめに

塩害と中性化の複合劣化を受けるコンクリート構造物中の鉄筋の腐食速度を推定する回帰モデルから鉄筋の腐食速度の推定式を構築した。分極抵抗は、コンクリート中の鉄筋の腐食速度に関する情報を得る方法の一つであり、腐食速度と反比例の関係にある。従って、分極抵抗が計測できれば、腐食速度を求めることができる。本研究は、分極抵抗の回帰式を求めることで鉄筋の腐食速度を求めることを目的とした。回帰での説明因子は、1)気温、2)含水率、3)中性化残り、4)塩化物イオン量とした。

2. 現場計測データ

鉄筋コンクリート製橋脚を対象構造物とし、分極抵抗と環境条件の現場計測を行った。得られたデータは全部で158組である。

現場で計測された分極抵抗は、ばらつきが生じている。ほぼ同一の環境条件で整理した実データを一つの母集団と考え、平均値と変動係数の関係を図-1に示す。各プロット点は、ある母集団の平均値と変動係数を示す。凡例に示した数字は、母集団と仮定したプロット点のデータ数である。分極抵抗が小さい範囲では、変動係数が大きいが、分極抵抗が100 kΩcm²以上の範囲では、変動係数はほぼ0.4以下になる。従って、本測定の実データのばらつきは40%と判断した。

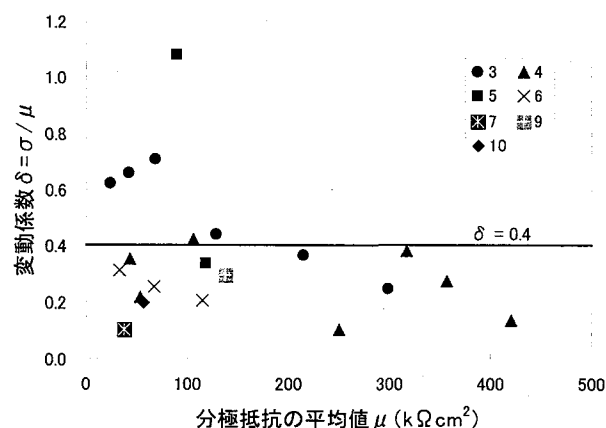


図-1 分極抵抗の変動係数と平均値

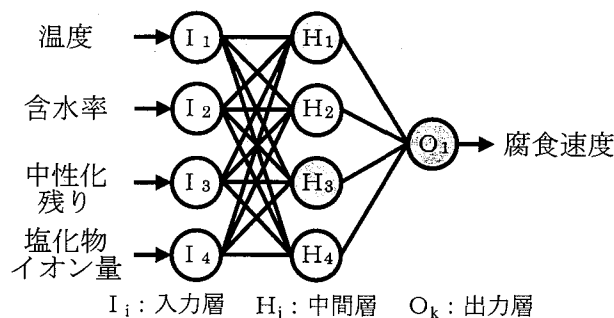


図-2 NNS の階層構造

データの5分の4を学習データ、残りを認識データと無作為に選出した。本解析で用いるデータ組数は、158組中129組となった。学習誤差は学習回数300回で安定し、学習回数500回で収束したと判断し、学習回数1000回で学習を打ち切った。

測定誤差40%の範囲内を学習データでは103組中68組が、認識データでは26組中17組が満足しており、構築したシステムの推定精度はそれぞれ66%、65%であった。

4. 推定式の構築

分極抵抗と腐食速度は反比例の関係にあるため、分極抵抗を定式化できれば腐食速度を決定できる。NNSから得られた重みより、感度解析を行い、回帰式を構築した。図-3～6に分極抵抗と各説明因子の感度解析結果を示す。図では最小が0.0、最大が1.0となるよ

3. 回帰モデルの構築

図-2に示す非線形回帰手法であるニューラルネットワークシステム(以下NNSと表記)を用いて解析を行った。分極抵抗500kΩcm²以上のデータは腐食していないと判断し、解析データから除外した。腐食速度20mg/cm²/year以上のデータは、腐食ひび割れが発生し、測定ができていないと判断し、解析データから除外した。

うに整理した。この感度を用いて、分極抵抗の回帰式を式(1)のように定義した。

$$R(T, W, X, C) = R_0 \cdot C_T(T) \cdot C_W(W) \cdot C_X(X) \cdot C_C(C) \quad (1)$$

ここで、 $C_T(T)$ 、 $C_W(W)$ 、 $C_X(X)$ 、 $C_C(C)$ は温度、含水率、中性化残り、塩化物イオン量の関数である。分極抵抗が $500\text{k}\Omega\text{cm}^2$ 以上のデータは除外しているので、 R_0 は最大値 $500\text{k}\Omega\text{cm}^2$ となる。

感度解析結果を用いて、各項目の関数を式(2)～式(5)のように求めた。

$$C_T(T) = 1 - 0.015 \times (T - 25) \quad (2)$$

$$C_W(W) = 1 / (1 + \exp(0.52W - 2.6)) \quad (3)$$

$$C_X(X) = 0.01(X + 67.1 - 2.6C) \quad (4)$$

$$C_C(C) = 0.1 + \exp(0.35C + 0.4) \quad (5)$$

予測式から得られた腐食速度の予測値と実測値の関係を図-7 に示す。腐食速度が小さい値では、ほとんどの値で推測ができていない。しかし、劣化の判断は、ある程度腐食が進行した鉄筋について行われるため、本システムは実用的であると判断できる。また、推定値より実測値の方が小さくなっている。これらのことから、全体が安全側にあると判断できる。129組のデータ中 68 組が誤差 40%ラインを満足しており、推定精度は 53%である。

5. まとめ

現場計測で得られたデータと NNS を用いて、塩害と中性化の複合劣化を受けるコンクリート中の鉄筋の腐食速度の推定を行い、感度解析より推定式を構築した。推定式を用いた計算の推定精度は 53%であった。推定値より実測値のほうが小さくなるデータが多く、全体的に安全側となっている。

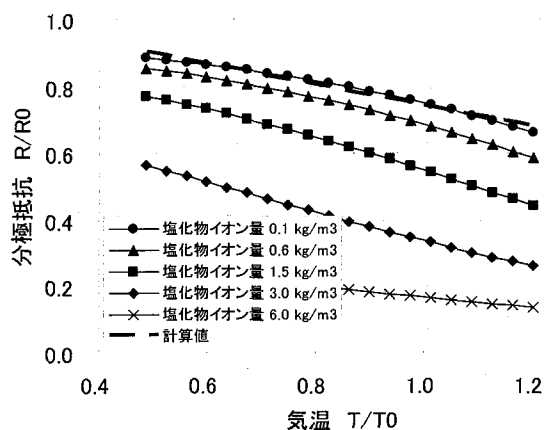


図-3 分極抵抗 R と気温 T の感度

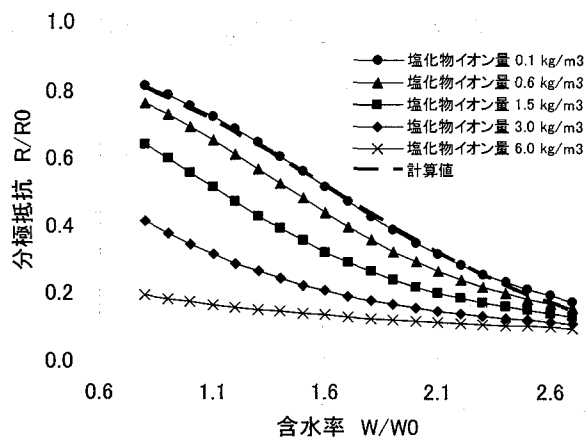


図-4 分極抵抗 R と含水率 W の感度

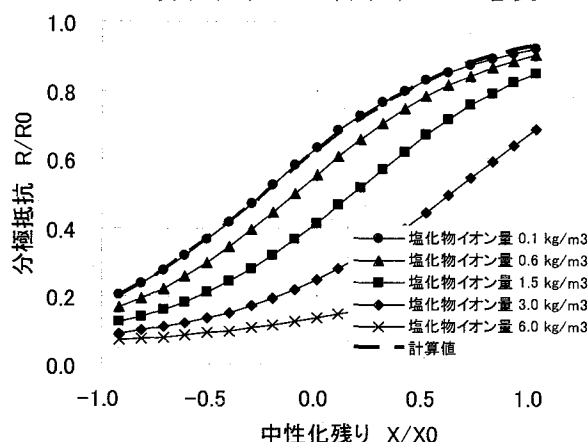


図-5 分極抵抗 R と中性化残り X の感度

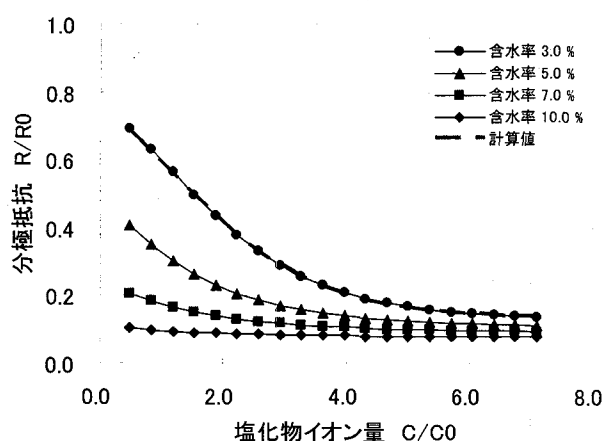


図-6 分極抵抗 R と塩化物イオン量 C の感度

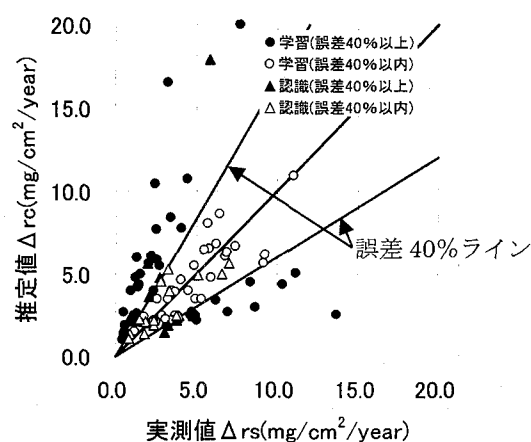


図-7 推定式の精度