

ニューラルネットワークシステムを用いた複合劣化を受ける鉄筋の腐食速度の推定式

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は、定性的には解明されているが、定量的には解明されていない。本研究では、定量的に解明するために、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ニューラルネットワークシステム（以下 NNS と表記）を用いた回帰モデルから鉄筋の腐食速度の推定式を構築した。分極抵抗は腐食速度と反比例の関係にあるため、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。

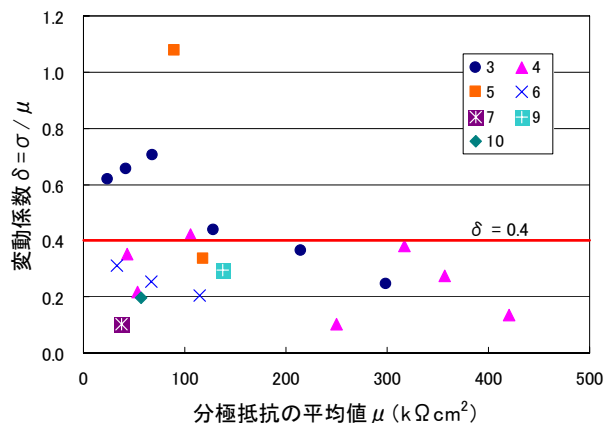


図-1 分極抵抗の変動係数と平均値

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 158 組である。

現場で計測された分極抵抗は、自然現象によるばらつきが内在している。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。分極抵抗が 100 $k\Omega cm^2$ 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。

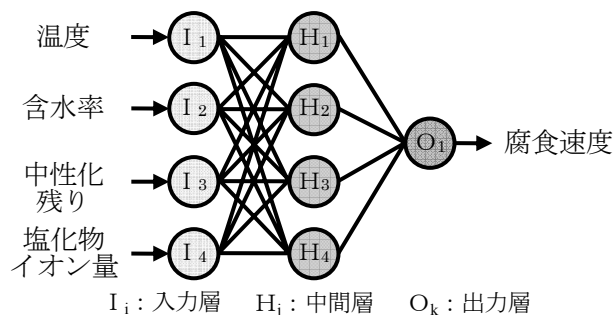


図-2 NNS の階層構造

3. 回帰モデルの構築

図-2 に示す非線形回帰手法である NNS を用いて解析を行った。分極抵抗 500 $k\Omega cm^2$ 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 20 $mg/cm^2/year$ 以上のデータは、腐食ひび割れが発生し、腐食が進行しすぎていると判断し、解析データから除外した。

キーワード 塩害、中性化、腐食速度、ニューラルネットワーク、推定式の構築

連絡先 〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20 香川大学大学院工学研究科

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、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。

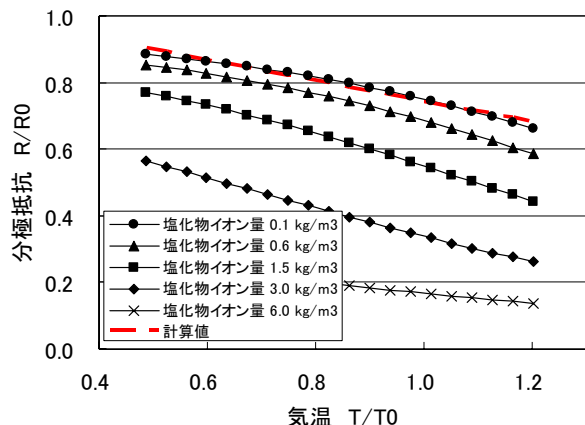


図-3 分極抵抗 R と気温 T の感度

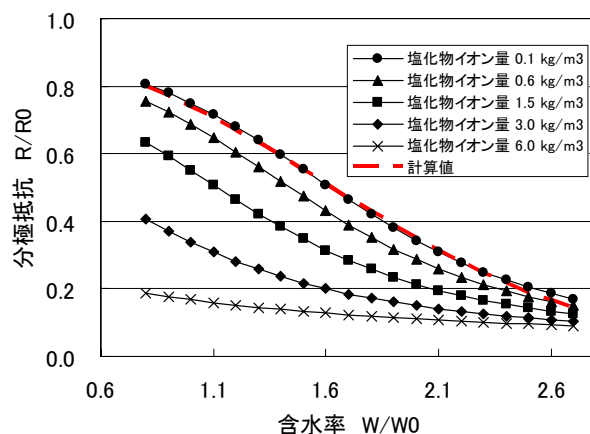


図-4 分極抵抗 R と含水率 W の感度

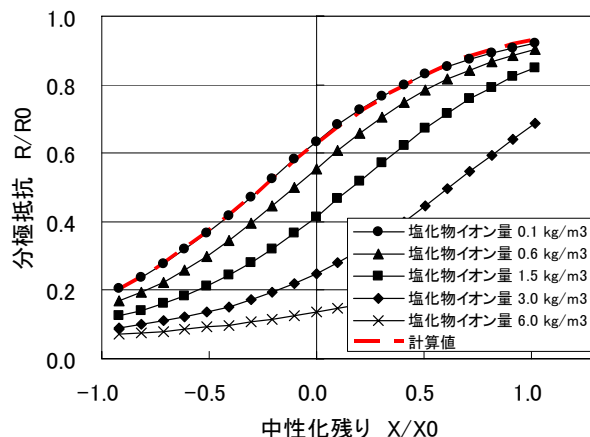


図-5 分極抵抗 R と中性化残り X の感度

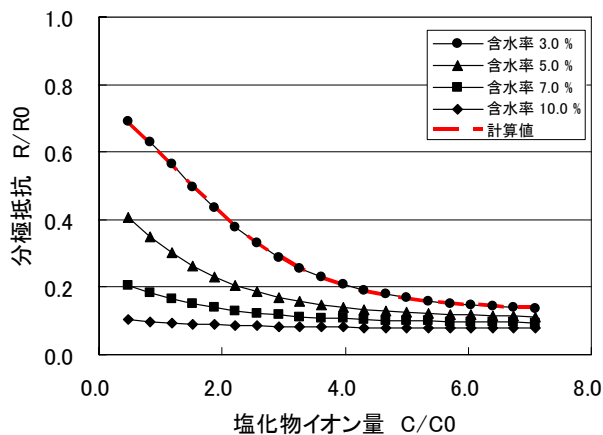


図-6 分極抵抗 R と塩化物イオン量 C の感度

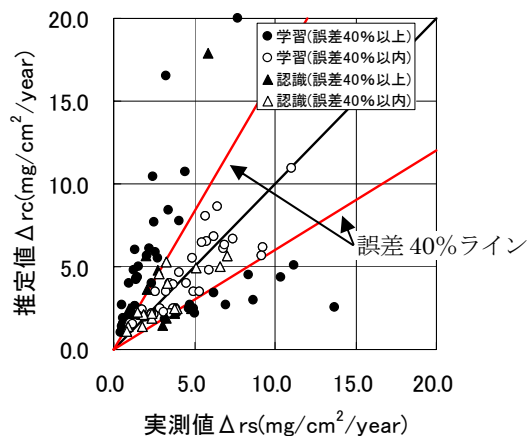


図-7 推定式の精度