

塩害と中性化の複合劣化を受ける
鉄筋コンクリート構造物の鉄筋の腐食速度予測式の構築

香川大学大学院 学生会員 河井 勇樹
香川大学工学部 正会員 松島 学
(株)四国総合研究所 非会員 松田 耕作
(株)四国総合研究所 正会員 横田 優

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の長期運用のために維持管理の重要性が高まってきている。劣化を予測し適切なメンテナンスを行うためにも鉄筋の腐食速度の評価は非常に重要である。中でも塩害と中性化の複合劣化を受ける環境では、腐食の開始、進行が早まることが知られている。本研究は、既往の室内腐食試験の結果を用い、鉄筋コンクリート供試体中の鉄筋について、中性化に伴う各パラメータと腐食速度の関係を求めた。そして、室内腐食試験で得られた結果と、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(NNS)を用い、中性化速度係数 C_A 、中性化残り X 、塩化物イオン濃度 C 、温度 T 、相対湿度 RH の影響を定量的に評価し、最終的に腐食速度予測式を構築した。

2. ニューラルネットワークシステム(NNS)の評価

2.1 システムの構築

1.に述べた因子が腐食速度に及ぼす影響を定量的に評価するために、既往の室内腐食試験のデータから非線形手法である NNS 解析を用いて腐食速度を推定するシステムを構築した。本解析は図 1 に示す入力層、中間層、出力層からなる階層型 NNS を用いてシステムを構築した。

2.2 構築されたシステムの評価

学習回数と学習誤差の関係を図 2 に示す。学習回数が増えると誤差は徐々に小さくなる。本研究は学習回数 1000 回で収束していると判断し、学習を打ち切った。

解析に使用したデータの実測値と NNS の推定値を図 3.に示す。ほとんどのデータが誤差 50%の範囲内に収まっている。塩害劣化を受ける自然状態の不確実性によるばらつきを考慮すると精度よく推定できると判断できる。

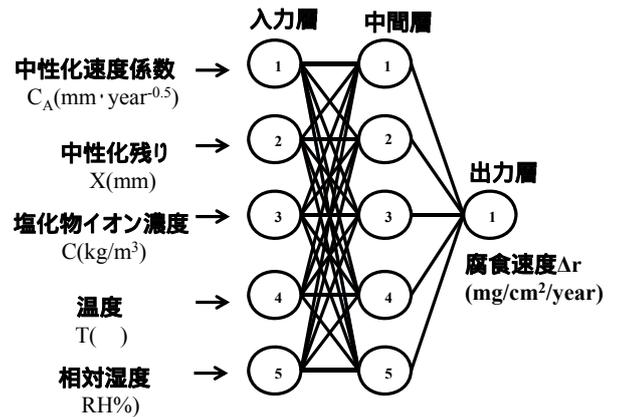


図 1 階層型ニューラルネットワークシステム

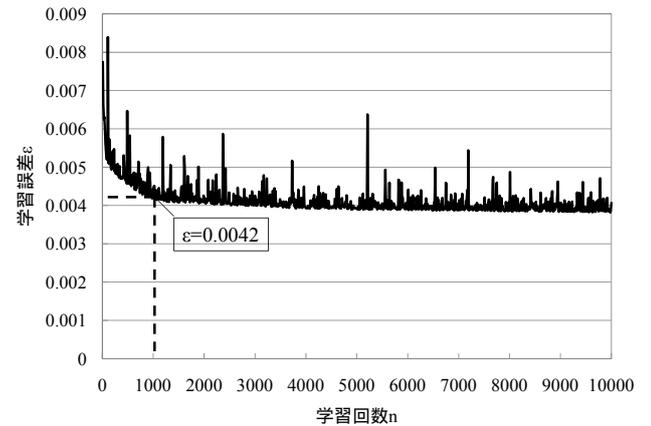


図 2 学習回数と学習誤差

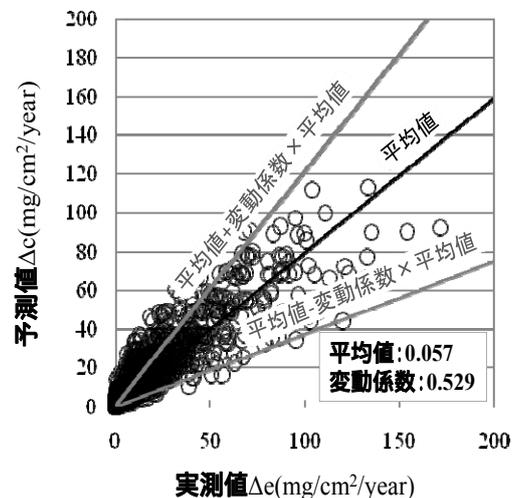


図 3 構築した NNS の推定精度

3. 構築した NNS の感度解析

本研究は、構築した NNS の各パラメータの感度解析を行うことでシステムの妥当性を検証した。各図は他の因子が全て平均値をとっている時の推定値である。

中性化速度係数 C_A の感度を図 4 に示す。中性化速度係数 C_A が $35(\text{mm} \cdot \text{year}^{-0.5})$ を超えると、急激に腐食速度は増加する。塩化物イオン濃度 C が増加するとその傾向は顕著になる。

中性化残り X の感度を図 5 に示す。中性化残り X が小さくなるほど、指数的に腐食速度は増加する。中性化残り X が -10mm より小さな範囲では、中性化の進行が十分に鉄筋位置を超えているため、腐食速度は一定となる。塩化物イオン濃度 C が増加するにつれてその傾向は顕著になる。

塩化物イオン濃度 C の感度を図 6 に示す。塩化物イオン濃度 C が増加すると、指数的に腐食速度は増加する。中性化残り X が小さくなるにつれてその傾向は顕著になり、中性化により塩化物イオンが内部に移動させられていることを裏付けている。

温度 T の感度を図 7 に示す。温度 T が 20 を超えると腐食速度は増加する。塩化物イオン濃度 C が増加するにつれてその傾向は顕著になる。

相対湿度 RH の感度を図 8 に示す。全体的に相対湿度 RH が大きくなるにつれて腐食速度は増加する。塩化物イオン濃度 C が増加するにつれて、その傾向は顕著になる。鉄筋の腐食速度に感度が大きい因子は、中性化速度係数 C_A 、中性化残り X 、塩化物イオン濃度 C で、温度 T 、相対湿度 RH の感度は小さい。以上の結果から、各因子の感度は全て実現象と同じ傾向を示していると判断できる。

4. まとめ

既往の室内腐食試験から得られたデータと非線形回帰手法である NNS により構築したシステムを用いて、各因子を入力することで鉄筋の腐食速度を推定評価できる。

今後、各因子の物理的な性質に合った腐食速度の回帰式を同定し、塩害と中性化の複合劣化を受ける鉄筋コンクリート構造物の鉄筋の腐食速度予測式の構築を目標とする。

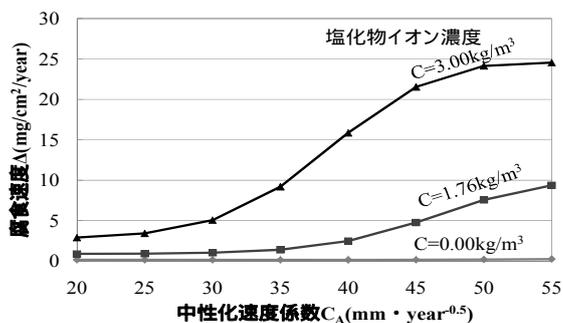


図 4 中性化速度係数 C_A の感度

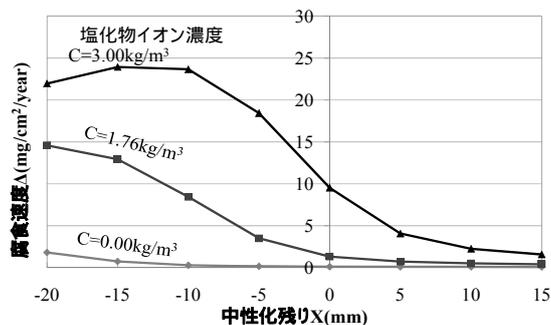


図 5 中性化残り X の感度

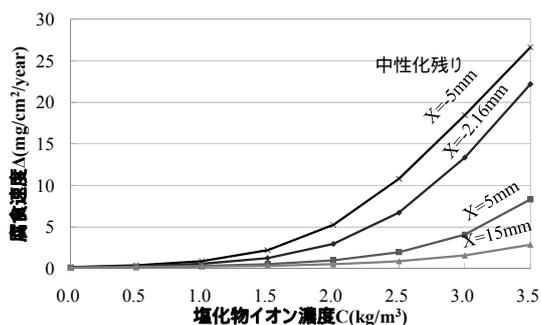


図 6 塩化物イオン濃度 C の感度

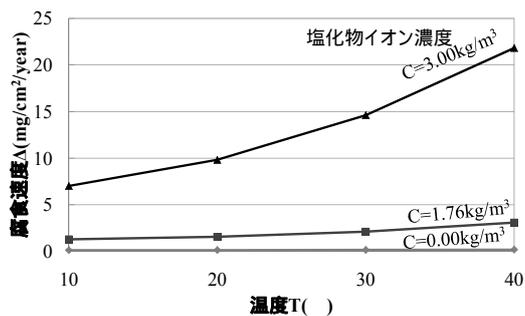


図 7 温度 T の感度

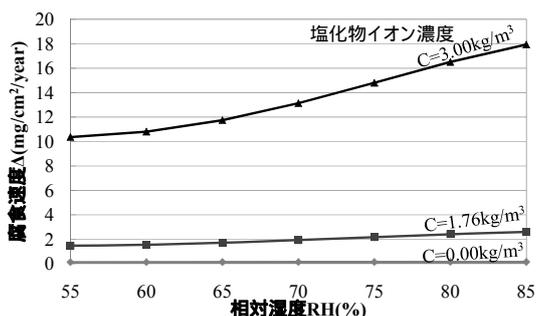


図 8 相対湿度 RH の感度