

ニューラルネットワークを用いた塩害補修工法に対する評価

Evaluation of concrete repair method using neural network

飯塚 康弘*・伊代田 岳史*・加藤 佳孝*・魚本 健人**

Yasuhiro IITSUKA, Takeshi IYODA, Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO

1. はじめに

従来、コンクリート構造物はメンテナンスフリーであり、建設後は半永久的にその機能を保持し得ると考えられてきたが、コンクリートの劣化が顕在化するに従って構造物の耐久性が問われるとともに、維持管理の重要性が大きな課題として取り上げられるようになってきた。現在の維持管理においては構造物を点検・調査し、その結果をもとに構造物の状況を診断し、必要があれば補修・補強を施している。特に補修に関しては、現在様々な材料が使用されているが、それぞれの材料による補修効果の違いが十分に把握されていないのが現状である。

本研究では、塩害劣化を対象に、補修材料の違いによる補修効果をニューラルネットワークを用いて評価した。

2. 補修概要

補修に関するデータは、1996年にまとめられた「コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書(Ⅲ)¹⁾」から引用した。この実験では、実際の構造物の劣化に対応した補修の効果を見るために、コンクリートの一部をはり取った状態を想定し図1の様に、切欠き部分をつくり鉄筋を予め発錆させている。補修工法としては、切欠き部分に、

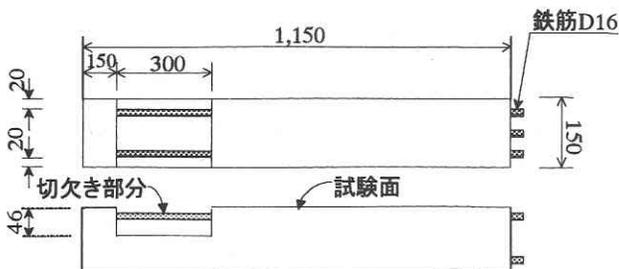


図1 供試体図

*東京大学生産技術研究所 第5部

**東京大学国際・産学共同研究センター

含浸材・強化材(切欠き部分表面処理)、鉄筋防錆材(防錆処理)、断面修復材(断面を埋める)の3種類と、表面被覆材料として供試体の全面に含浸材・強化材、下地調整材、下塗材、中塗材、上塗材、計5種類に分けて、各26社と9種類の基礎データ、計35種類の補修を行い、海洋環境下と一般環境下、初期塩化物混入の有・無を考慮した3つの環境条件に暴露している。

本研究では、暴露期間4.5年後の鉄筋の腐食面積率と35種類の補修工法のデータを用いた。

3. 補修効果の評価手法

3.1 ニューラルネットワーク²⁾

本研究において、ニューラルネットワークを用いて補修効果の評価を行った。図2に示すようにニューラルネットワークとは、脳の神経回路(ニューロン)の働きとその結合をモデル化したもので、多数のユニットが結合しあつたネットワークを形成している。

それぞれ、入力層、中間層、出力層で形成されている並列分散型の情報処理である。その特徴としては、演算処理速度が速く、データの矛盾や欠落のある問題に対しても適切な教示値を与えることによって柔軟に対応できることがあげられる。

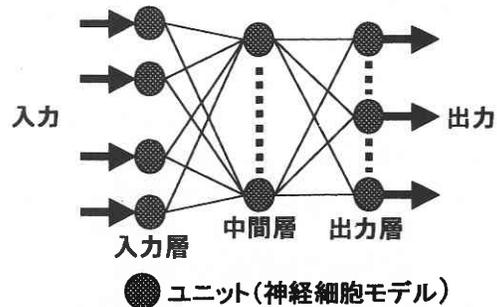


図2 階層型ニューラルネットワークモデル

3.2 ニューラルネットワークの学習

学習とは、ユニット間の重みとしきい値を最適化する作業である。本研究では、教示値と推定値の平均二乗誤差を最小にするように各結合間の重みとしきい値を決定する方法を用いた。本手法を用いることにより、入力値の範囲内でのあらゆる条件での値の推定が可能となる。

3.3 入出力因子の設定

ニューラルネットワークはその性質上、入力する因子の数が多ければ多いほど、より現実に即した学習が期待できる。しかし、単に数を多くすれば良いのではなく、それぞれの因子は互いに独立したものであることが望ましい。今回、補修工法の効果を明確にするために補修材料を入力因子として選定した。まず、切欠き部分で使用された断面修復材料の3種類（含浸材・強化材、鉄筋防錆材、断面修復材）と、表面被覆で使用された表面被覆材料別の5種類（含浸材・強化材、下地調整材、下塗材、中塗材、上塗材）を、主として使われた補修材料それぞれに数値を当てはめて、入力因子とした。環境区分と初期塩化物混入の有無についても、それぞれ数値化して入力因子として設定した。出力因子は、塩害劣化を想定した実験で鉄筋コンクリートを考慮した場合、効果が適切で数値として正確な値を示しているのが鉄筋の腐食面積率であると考えられるため、これを出力因子として用いた。

3.4 推定方法

本研究では、入力層9ユニット（断面修復材料3種類+表面被覆材料5種類+環境条件1種類）、中間層20ユニット、出力層1ユニット（鉄筋の腐食面積率）である3層階層型ニューラルネットワークを用いて行った。また、学習の終了条件は学習開始後の二乗誤差の和が0.01になったときとした。

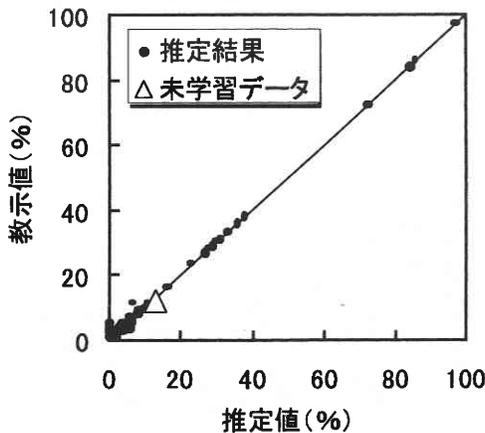


図3 学習後の推定結果

3.5 推定結果

学習後の推定結果を図3に示す。推定結果、未学習データとともに強い相関関係を持っていることがわかる。ここで示す、未学習データとはネットワークの確認を行うために、学習に用いなかったデータである。このように、推定結果が実際の結果（未学習データ）をほぼ再現していることから、ニューラルネットワークによる学習が適切に行われており、入力データには存在しない組み合わせもある程度推定出来るものと思われる。

4. 最適評価推論

4.1 推論方法

3.5によって得られたネットワークを用い、切欠き部分の断面修復材料だけ施工した場合と、切欠き部分の断面修復材料と表面被覆材料を施工した場合を仮想的に推論し、それぞれの腐食面積率への影響を独立に抽出した。方法としては表1に示すように入力層の8種類のうち（環境条件を除く）、断面修復材料の3種類を5通り×7通り×5通りの175通りで入力し、表面被覆材料の5種類はすべて補修を施していないという設定で、すべて0として入力し、175通りに対する鉄筋腐食面積率を推定させた。また、表2に示すように、切欠き部分の断面修復材料を1種類PCM（ポリマーセメントモルタル）と固定して、表面被覆材料の5種類を6通り×5通り×6通り×8通り×7通りの10,080通りで入力し、10,080通りに対する鉄筋腐食面積率を推定させるような推論を行った。また、この際の環境条件は海洋環境下・初期塩化物無しの設定で行った。

表1 断面修復材料の検討要因（175通り）

断面修復材料	含浸材・強化材	5種類
	鉄筋防錆材	7種類
	断面修復材	5種類
表面被覆材料	含浸材・強化材	なし
	下地調整材	なし
	下塗材	なし
	中塗材	なし
	上塗材	なし

表2 表面被覆材料の検討要因（10,090通り）

断面修復材料	断面修復材	1種類
表面被覆材料	含浸材・強化材	6種類
	下地調整材	5種類
	下塗材	6種類
	中塗材	8種類
	上塗材	7種類

研究速報

4.2 推論結果

図4, 5に推定結果を示す。図4に示す様に断面修復材料を施工し、表面被覆を施工しない場合には、推定鉄筋腐食面積率が高い値を示す割合が多いことが推測される。逆に、図5に示す様に、断面修復材料をPCMの1種類で施工し、表面被覆材料を施工した場合には、推定鉄筋腐食面積率を低い値を示す割合が多いことが推測できた。この結果より、断面修復材料だけの施工よりも、断面修復材料と表面被覆材料の施工した方が補修効果が高いことがわかる。

5. 個々の材料の評価

5.1 断面修復材料の材料評価

ここで、切欠き部分における断面修復材料の評価を行う。まず切欠き部分の施工では、断面修復材料のPCM(ポリマーセメントモルタル)で断面を埋めた状態と、初期塩化物の混入が無いことを考慮し、それぞれ使用された3種類の材料の効果を推定鉄筋腐食面積率で示した。図6, 7, 8に解析結果を示す。3種類の材料の比較を行うと、断面修復材の補修効果が特に高いことが推測できた。今回は模擬的に切欠き部分を作成したが、実際の補修を考えた場合、断面修復材だけでも補修効果があると考えられる。

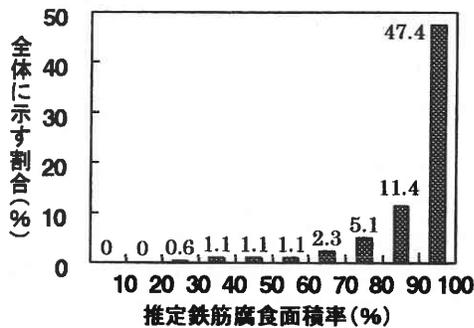


図4 断面修復のみの施工の場合

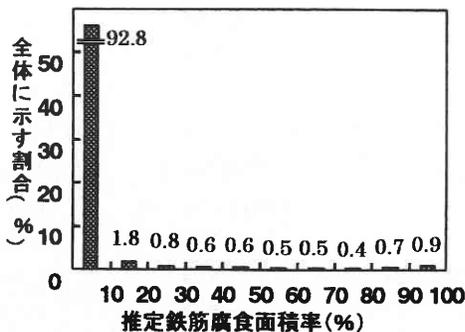


図5 断面修復と表面被覆の施工の場合

5.2 表面被覆材料の材料評価

表面被覆材料の材料評価では、5.1と同じように断面を埋めた状態と、初期塩化物の混入が有る場合と、無い場合を考慮し、材料の効果を推定鉄筋腐食面積率で示した。また実験では、5種類の表面被覆材料を使用しているが、今回は、下地調整材と中塗材と上塗材の検討を行う。図9, 10, 11に解析結果を示す。この結果より考察すると、5.2の切欠き部分の断面修復材料3種類の結果よりも、推定鉄筋腐食面積率を示す割合が、全体的に低い値を示していると推測できた。また、若干の誤差は見られるものの、初期塩化物を混入して無い場合よりも初期塩化物を混入してい

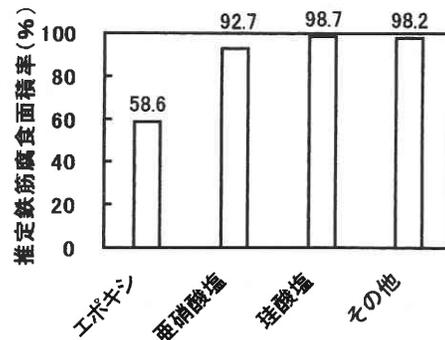


図6 含浸材・強化材

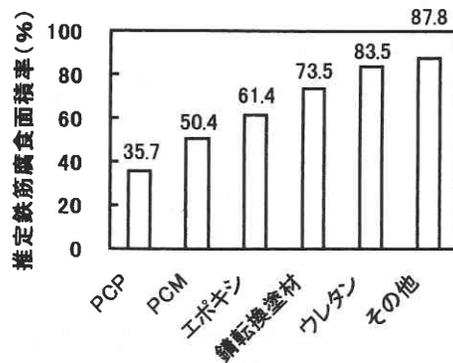


図7 鉄筋棒錆材

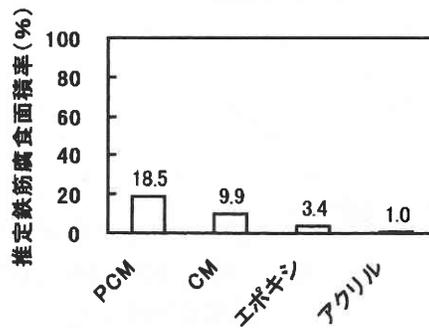


図8 断面修復材

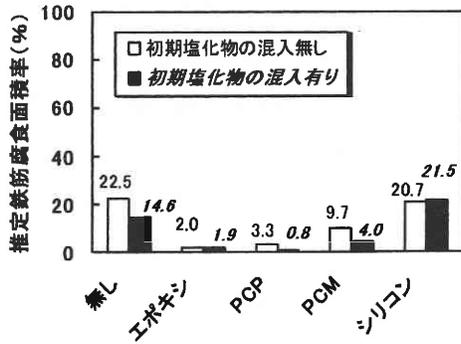


図9 下地調整材

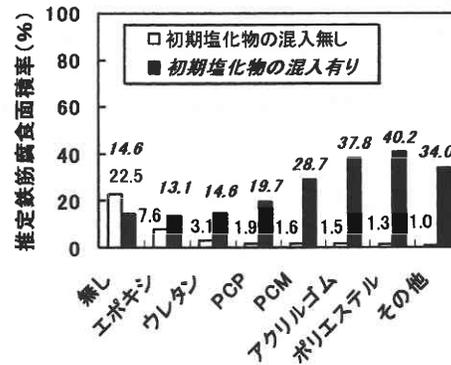


図11 上塗材

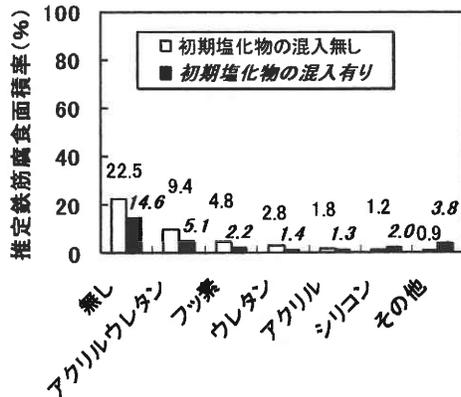


図10 中塗剤

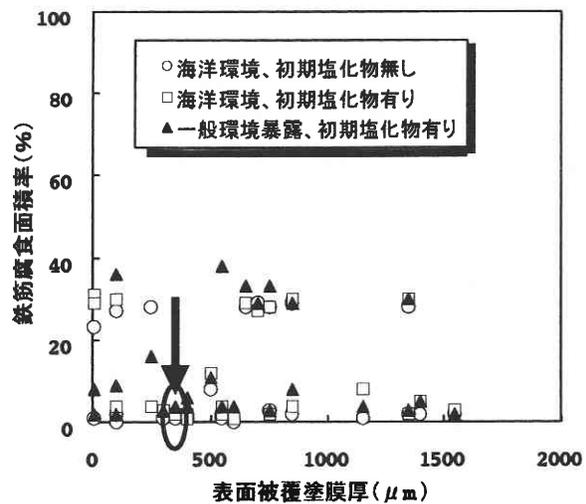


図12 鉄筋腐食面積率と塗膜厚の関係

る場合の方が、推定鉄筋腐食面積率が高くなる傾向が見られた。

また一例として、例えば下地調整材でエポキシ、中塗材でPCP（ポリマーセメントペースト）、上塗材でウレタンを用いて施工したと仮定した場合、補修工法研究委員会の実験データと照らしあわせてみると、図12に矢印で示すように鉄筋腐食面積率は薄い塗膜厚で、補修効果が見られることがわかる。

6. ま と め

今回、それぞれの補修材料を用いてニューラルネットワークを利用した補修工法の検討した。以下に本研究の成果を示す。

- (1) ニューラルネットワークを利用することにより、実際施工されていない補修の組み合わせを入力すると、補修効果の違いを推定鉄筋腐食面積率で推測され、その条件下における適切な組み合わせを知ることが可能となった。
- (2) 断面修復材料よりも表面被覆材料の補修効果が高いことが推測できた。つまり、表面被覆材料を施さないと断面修復材料だけでは鉄筋腐食を抑制することは困難

であると推測できる。

- (3) データ量が少なく、推測される組み合わせに偏りが見られる。材料によっては、補修無しの場合よりも、補修有りの方が推定鉄筋腐食面積率が高い推測結果が得られるものもあったため、材料の特性などを更に考慮したうえで、学習と推論を行っていく必要があると考えられる。

今後の展開として、コンクリート保護塗膜を塗布した0スパン試験体に引張疲労試験を行い、材料特性との相関性や塗膜の最適性、また長期耐久性等を実験的に検討する予定である。

(11年12月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 社団法人 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書（Ⅲ）。
- 2) 矢川 元基：計算力学とCAEシリーズ ニューラルネットワーク、培風館。