

非破壊測定と機械学習を用いた劣化評価手法の提案

愛媛大学大学院 学生会員 ○白石 喬久 愛媛大学大学院 学生会員 佐久間 啓蔵
愛媛大学大学院 学生会員 近藤 健一 愛媛大学大学院 正会員 全邦 釘 愛媛大学 非会員 上林 弘典

1. 目的

橋梁の老朽化が深刻化している現状の中、構造物の内部の損傷まで非破壊かつ定量的に評価可能な点検手法の確立が急務となっている。本研究では塩害を模して腐食させた RC 桁において、圧縮強度や表層透気係数、伝播速度などの構造物特有のパラメータを計測することで、鉄筋腐食量と、それらパラメータの関係性を調べ、その後機械学習を用いて劣化予測手法を提案することを目的とした。

2. 実験概要

本研究では、まず RC 桁供試体に対して電食試験と計測を交互に行い、鉄筋の腐食による供試体の劣化を計測した。その後、計測データから機械学習における Random Forest 法を用いて、内部鉄筋の予測発錆量を求めた。その過程を図-1 に示す。

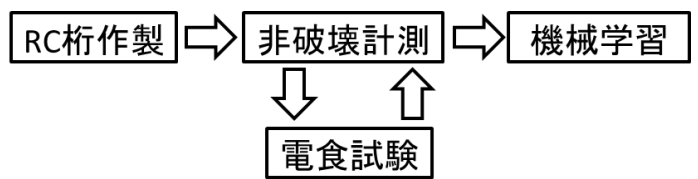


図-1 実験のフローチャート

3. 鉄筋の部分的腐食の促進

塩害を模擬した損傷を計測する為、3 種類の工程を行い供試体(図-2)の鉄筋腐食を促進した。行った工程は以下の 3 種類である。(1)コンクリートへの塩化ナトリウムの練りこみ、(2)エポキシ樹脂鉄筋による鉄筋の腐食防止、(3)電食試験。(1)の工程は、塩害の要因となる塩化ナトリウムを内部鉄筋に供給する為に行った。(2)の工程は、供試体の健全側の鉄筋にエポキシ樹脂鉄筋を用いて、鉄筋の腐食を防止した。(3)の工程は、電流制御の可能な直流の安定化電源による電食を行い、鉄筋の腐食を促進した。電食試験はステンレス板を用いて、桁の鉄筋腐食側のみに行った(図-3)。また、電食試験を行った際に、電流量と時刻を記録し計測を行った時点での内部鉄筋の理論発錆量を求めた。

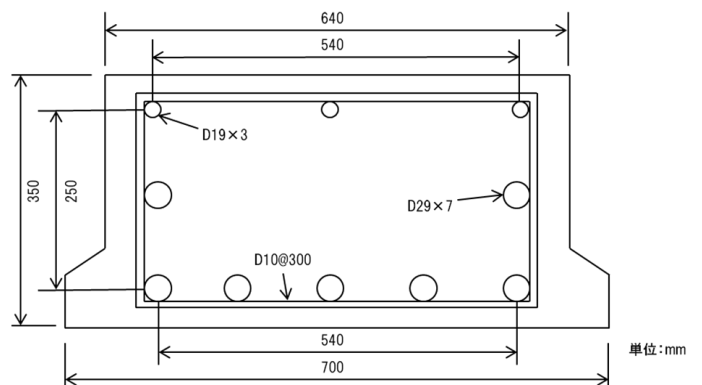


図-2 RC 供試体の断面図

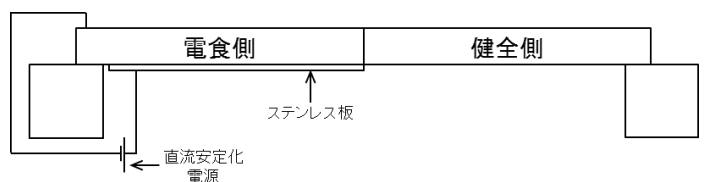


図-3 電食試験の概略図

4. 非破壊測定について

4 種類の非破壊測定を行い、RC 桁供試体の損傷を計測した。行った計測は以下の 4 種類である。(1)弾性波試験、(2)圧縮強度試験、(3)透気試験、(4)打音法および衝撃弾性波法。(1)の弾性波試験は、P 波の伝播時間を調べることで、桁内部の変化を知ることができる。(2)の圧縮強度試験では、コンクリートテスターを用いて、桁の圧縮強度を調べた。(3)の透気試験は、トレント法と呼ばれる、コンクリートに負圧をかけ、大気圧に回復するまでの圧力の経時的変化を測定することにより、表層透気係数を算出する方法で計測を行った。(4)の打撃法および衝撃弾性波法は、桁を打撃した際の打音と近傍に伝わった波を記録し、その卓越周期の推移を調べる測定法である。

5. Random Forest 法による評価システム

計測により得られた結果を用いて、人工知能・機械学習の一手法である Random Forest 法により鉄筋腐食評価システムを構築する¹⁾。概念図を図-4 に示す。Random Forest 法は教師データから学習する多数の決定木の結果から、最終的な予測結果を求める手法である。本研究では、非破壊試験の計測結果を教師データとして、内部鉄筋の予測発錆量を機械学習で求めた。

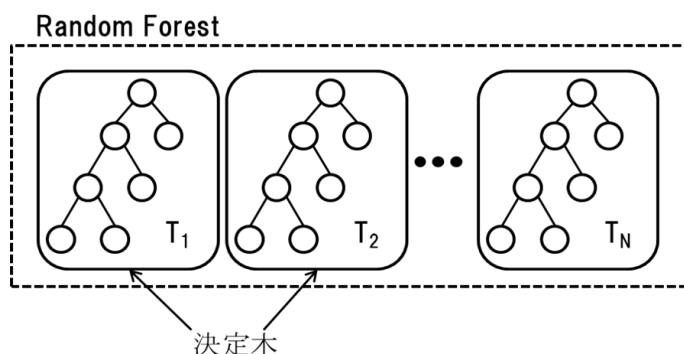


図- 4 Random Forest 法の概念図

6. 測定結果と考察

(1) 弾性波試験

電食試験後の計測結果から、電食側の方が健全側よりも伝播速度が遅くなった。このことから鉄筋の腐食により桁の内部にクラックが発生していると考えられる。

(2) 圧縮強度試験

計測結果から、電食側の方が健全側よりも圧縮強度が低下していることが確認できた。特にクラックや錆汁がみられる箇所では電食側の中でも、大きな圧縮強度の低下が確認できた。

(3) 透気試験

表層透気係数が大きくなるほど、コンクリートの品質が劣化していると判断できる。電食試験の進行に伴い表層にクラックが発生した計測位置において、クラックが発生する前に表層透気係数の上昇が確認できた。このことから、コンクリート内部の損傷が評価できると考えられる。

(4) 打音法および衝撃弾性波法

打音法、衝撃弾性波法共に、電食側、健全側の卓越振動数を比較したが、ほとんど差は見られなかった。

(5) 機械学習の結果

弾性波試験、圧縮強度試験、透気試験および電食試験のデータを用いて機械学習を行った。測定データの一部を教師データとして学習させ、桁の内部鉄筋の発錆量を予測させた。今回は、測定データから理論発錆量のデータを除いたものから、桁の内部鉄筋の発錆量を予測させた。RC 桁の内部鉄筋における、実験データから計算した理論発錆量と、機械学習によって求めた予測発錆量を図-5 で比較した。

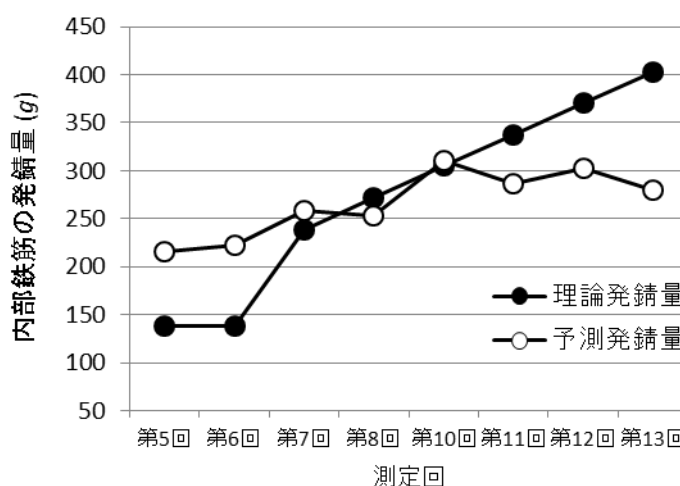


図- 5 内部鉄筋の発錆量の比較

7. 結論

(1) RC 桁の非破壊測定において、弾性波試験、圧縮強度試験、透気試験で電食試験の進行に伴って、桁の劣化が確認できた。特に透気試験では、桁表面にクラックが発生する箇所に、クラック発生前に性能の低下がみられた。

(2) 機械学習について本研究では鉄筋内部の発錆量の予測で、実験データから求められる理論発錆量との間に違いがみられた。非破壊測定から桁内部の損傷を推測する手段としては、今後学習方法の改良、測定データの入力の仕方等改善していく必要がある。

参考文献

- 1) 後藤正行, 小林学: 入門パターン認識と機械学習, コロナ社, 2014