

## 機械学習を用いた打音検査による内部ひび割れ判定手法に関する検討

法政大学 学生会員 ○佐野俊介  
 法政大学 正会員 新保弘  
 (株) J-POWER 設計コンサルタント 正会員 野嶋潤一郎  
 法政大学 正会員 溝渕利明

## 1. 研究背景・目的

打音探査は、非破壊かつ簡易に行えることから検査手法として広く用いられている。しかし、技術者の不足や高齢化が深刻な問題となっていることから効率的に誰でも点検できる定量的な検査手法が求められている。そこで本研究では、打音に対して機械学習を用いることで正確かつ定量的な判定を行うことを目指し、その一環として実構造物を模擬した供試体を作製することで機械学習による内部ひび割れ判定について検討を行った。

## 2. 検討概要

## 2.1 供試体

図-1 に示す実構造物の配合条件、形状（部材厚，配筋，鉄筋径，かぶり）に準拠した鉄筋コンクリートの供試体を作製し、打音計測を行った。供試体寸法は縦 1800mm×横 1800mm×高さ 600mm とし、実構造物と同様に D25 および D19 での配筋とした。鉄筋間隔は 300mm および 200mm とし、かぶりは 70mm とした。また、図-2 に示すように供試体中央部の鉄筋に電食を行うことで、鉄筋を腐食膨張させ、微細なひび割れを生じさせた。電食方法は電気泳動による方法とし、電食は材齢 23 日目から開始した。

打音計測は、電食開始後 1 週間に 1 回の頻度で実施した。また、電食開始前に（供試体作製 2 週間後）初期計測を行った。打音計測には、質量約 1.5kg、長さ約 330mm のハンマーと Zoom 社製の H6 と付属のマイクロフォンを用いた。打点は端部の影響を考慮して、供試体中央部分の 100mm 間隔の格子の交点 121 点とした。計測ラインの位置を図-2 に示す。

## 2.2 機械学習

計測した打音は 1 打音ずつに分割し、短時間フーリエ変換を用いてスペクトログラムに変換した。また、これらのスペクトログラムを用いて 3 層の畳み込み層を持つ CNN による教師あり学習を行った。教師データは初期計測日と電食開始日から 60、211 日目のデータとし、初期計測日と 60 日目、初期計測日と 211 日目の 2 パターンで機械学習を行った。機械学習の概要を表-1 に示す。ラベル付けは、電食開始日から 56 日目に行った打音探査の結果をもとに中央は欠陥、周辺は健全とした。テストデータは、電食開始日から 18~53 日目のデータとした。

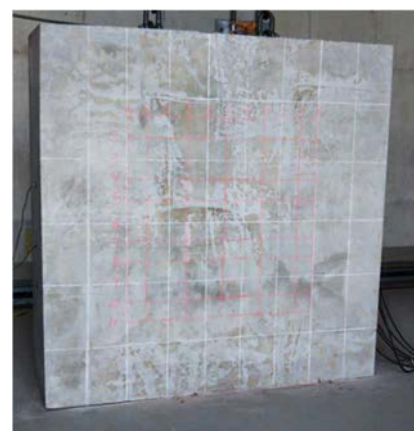


図-1 供試体

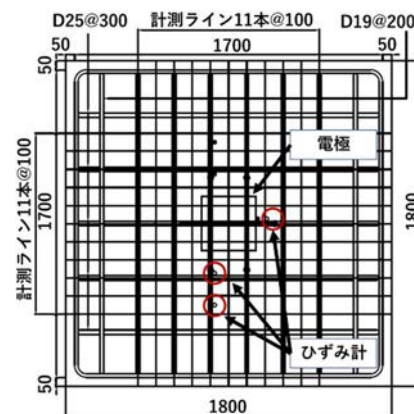


図-2 供試体概要

表-1 機械学習概要

検討パターン	教師データの計測日	健全データ数	欠陥データ数	学習時の精度
パターン1	初期計測日 60日目	6294	1440	100.00%
パターン2	初期計測日 211日目	6294	1440	98.38%

## 3. 実験結果及び考察

## 3.1 電食実験結果

図-3 に電食試験開始からのひずみと鉄筋の単位面積当たりの積算電流量の推移を示す。ひずみ

キーワード 非破壊検査，劣化評価，打音，機械学習，CNN

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 TEL 042-387-6286

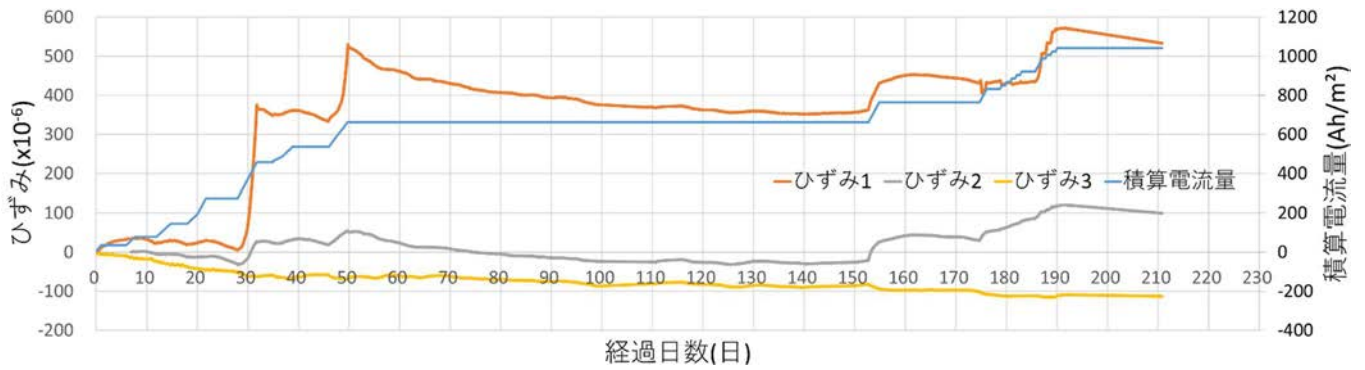


図-3 ひずみと積算電流量の推移

計の位置は図-2の赤丸である。このとき、図中のひずみ計を上からひずみ計1, 2, 3とした。図-3のひずみの推移から、電食開始後53日までに急激なひずみの変化が30, 50日前後に生じる結果となった。このひずみ変化は、鉄筋腐食による内部ひび割れが生じたものと推察される。また、電食開始後211日目に供試体中央部の鉄筋から約35mmの位置でコア採取を行った。その結果、鉄筋腐食によるものと考えられる微細なひび割れ(ひび割れ幅約0.05mm)が確認され、30, 50日前後においても供試体にひび割れが生じた可能性が考えられる。

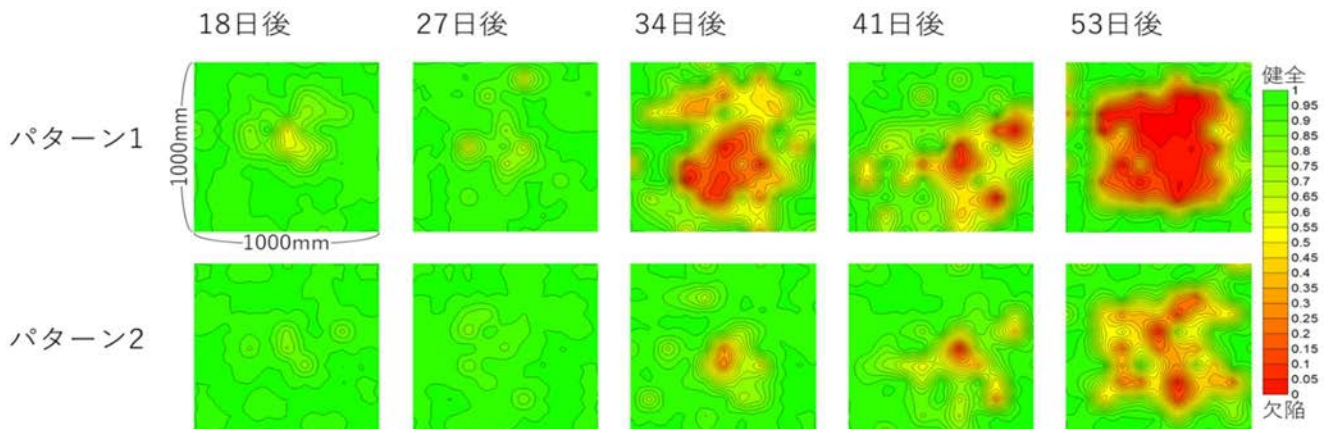


図-4 判定結果

### 3.2 判定結果

図-4に判定結果を示す。図-4から、鉄筋の腐食が十分進行しておらず、内部ひび割れが生じていないと考えられる電食開始後18~27日まではほぼ全面が健全と判定する結果となった。また、急激なひずみの変化が生じた34日以降の打音データでの判定において、中央部分を欠陥と判定する結果が得られた。したがって、パターン1, 2ともに70mm位置での劣化の進行を評価できていると考えられる。また、欠陥と判定している赤色の部分がパターン1よりもパターン2の方が小さくなっている。これは、パターン2ではより劣化が進行している211日目のデータを欠陥として学習したため、より精度のよい判定となったのではないかと推察される。このことは、60日目の打音と211日目の打音を異なったものと認識していると考えられる。よって、スペクトログラムを用いたCNNは鉄筋腐食に伴う微細なひび割れの進展によるわずかな打音の変化を認識できる可能性を見出したといえる。

### 4. 結論

本研究では、実構造物を模擬した供試体を用いて、機械学習による内部ひび割れ判定について検討を行った。その結果、スペクトログラムを用いたCNNは70mm位置での劣化の進行を評価できている可能性、鉄筋腐食に伴う微細なひび割れの進展によるわずかな打音の変化を認識できる可能性をそれぞれ見出したといえる。

### 5. 参考文献

新保弘, 溝渕利明, 野嶋潤一郎: 打音探査への機械学習の適用に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol41, No1, 2019