

機械学習を援用したコンクリート内鉄筋の腐食判別の試み

福井大学 学生会員 ○ 辻 洸人
 福井大学 正会員 鈴木 啓悟
 福井大学 学生会員 平田 楓

1. 研究背景と目的

社会基盤構造物は長期間の供用においてその機能を健全に保持することが求められる。鉄筋コンクリート構造に着目すれば、コンクリートの中性化や、塩害による鉄筋の腐食に起因した損傷が報告されている。このような腐食損傷は鉄筋の錆汁が露わになるまで確認できず、早期発見が困難である。

そこで本研究では、超音波探傷(以下 UT)に機械学習を援用し、鉄筋の健全性を把握するための検討を行う。主として、高い汎化能力を持ち、パラメーターの設定項目が少なく単純であり、2クラスの分類問題において有効とされるサポートベクターマシン(以下 SVM)を用いてコンクリート内鉄筋の腐食発生有無を把握するための手法を検討する。

2. 超音波探傷試験

(1) 使用機器

超音波探傷器はジャパンプローブ株式会社製のパルスレーサー(JPR-600C)を用いる。本研究ではコンクリート試験体を対象とするため、超音波の粗骨材での散乱を考慮し、200kHzの広帯域低周波の探触子を使用した。

(2) 試験体

試験体1は、RC床版内部の鉄筋が腐食したことを想定した。図1に示す W225×D325×H196(mm)の直方体の型枠に水平間隔 125mmで D13 異形鉄筋を配置し、粗骨材最大寸法 13mmのコンクリートを打設した。鉄筋のうち2本はあらかじめ腐食を進行させており、それらの断面平均減肉量は0.07mmである。かぶり厚さは45mmとした。

試験体2、3には28日間の気中養生後、鉄筋を陽極、鉄板を陰極として、3Vの一定直流電圧による電食試験を実施し、腐食を進行させた。かぶり厚は試験体1と同様それぞれ45mmとし、鉄筋は試験体2にはD13異形鉄筋を、試験体3はΦ7丸鋼を使用した(図2)。

3. 試験方法

探傷実験は二探触子法(ピッチ・キャッチ法)にて行った。図3に示すように、探触子を試験体上面に設置し、探触子間距離は8cmとした。Y軸方向を固定し、X軸方向に動かして探傷した。波形データは試験体1において腐食波形、健全波形ともに30ずつ、合計60のUT波形を収集した。試験体2、3においては波形を30ずつ、2日おきに収集した。

なお、計測のパラメーターは、最大時間 100μs、計測時間間隔 0.01μs、データ数 9999 個とした。また、それぞれの波形に腐食・健全のラベルをつけ、波形ごとに鉄筋の状態が区別できるようにした。試験体2、3の波形データのラベルは腐食の進行度合いにかかわらず腐食とした。

4. 分類試験

(1) 試験手順

分類試験の手順を図4に示す。まず、RC内の鉄筋の腐食・健全データを UT により収集する。次に、学習データとして使用する試験体1の波形データから分類器を作成し、この分類器を交差検証する。交差検証とは、教師データ群の妥当性を評価するために行われる操作である。交差検証での誤差率を以て、教師データ群の妥当性を評価する。最後に分類器を用いてテストデータを分類し、腐食の進行度合いによってどれだけ正確に分類できるのかを調べる。

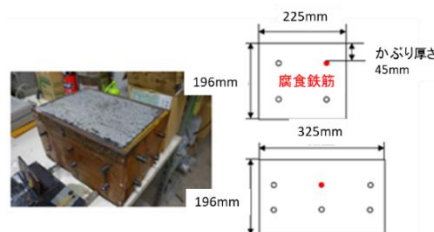


図1 使用したRC試験体1



図2 RC試験体2, 3

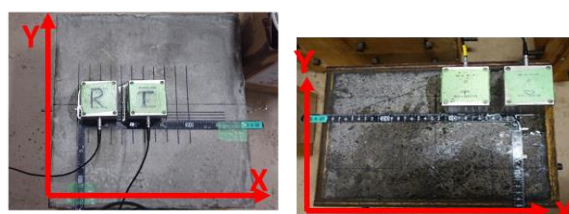


図3 探傷実験の様子

キーワード 機械学習, 超音波探傷, 鉄筋腐食, サポートベクターマシン, SVM

連絡先 国立大学法人 〒910-8507 福井県福井市文京3丁目9番1号 TEL 0776-27-8

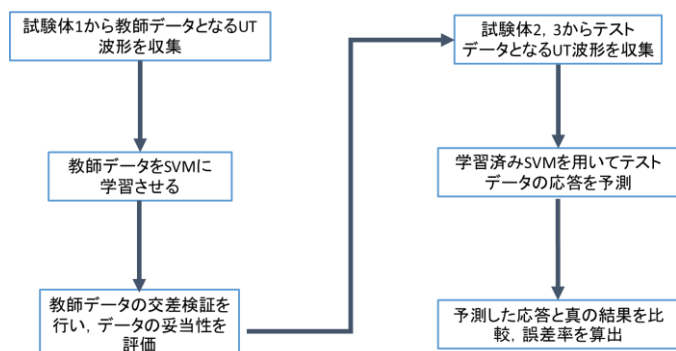
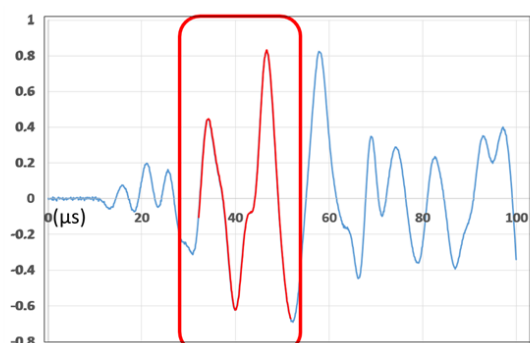
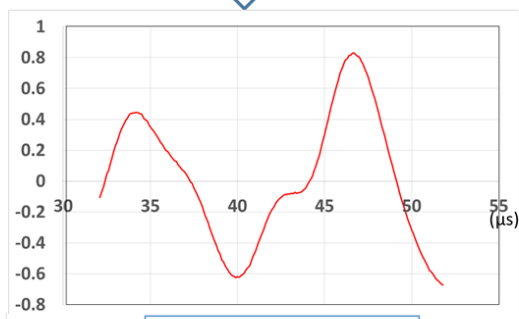


図4 分類フローチャート



生波形（データ数9999個）

赤い部分を抜き出す



特徴選択波形（データ数2092個）

図5 特徴選択波形

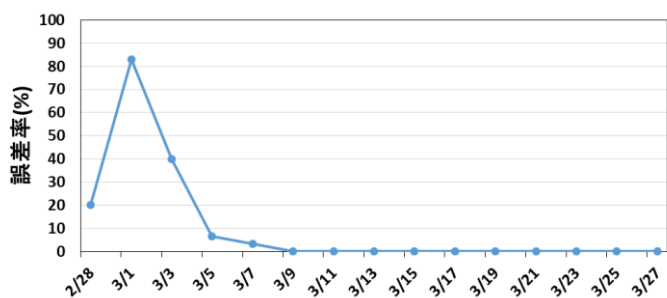


図6 試験体2（異形鉄筋）の分類誤差推移

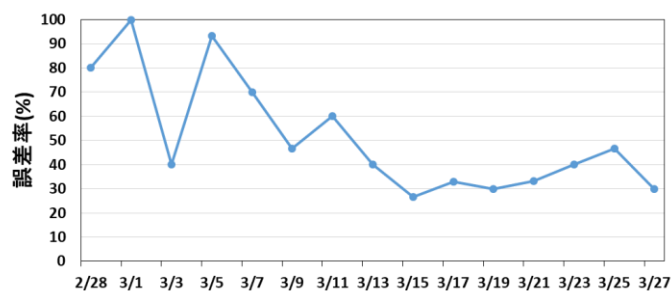


図7 試験体3（丸鋼）の分類誤差推移（特徴選択波形）

(2) 特徴選択

入力データとして、探傷して得た波形をそのまま（以下生波形、データ数 9999 個）使用するのではなく、波速とかぶり厚をもとに鉄筋から戻ってくる波の時間を算出し、反射波のみを抜き出した波形（以下特徴選択波形、データ数 2092 個）を教師データ、テストデータどちらにも用いて分類を行う（図5）。

5. 評価結果

教師データの交差検証の結果、交差検証誤差率は特徴選択波形において 1.7% であり、教師データとして妥当といえると結論付けた。

異形鉄筋の分類誤差推移（図6）では、早い段階で鉄筋に腐食層が形成されている可能性を示し、3/9 以降の誤差率は 0% であった。丸鋼の分類誤差推移（図7）では、異形鉄筋と比べて誤差率が高い結果となり、判定が困難な状況が続いていると判断した。鉄筋の形状の違いにより、鉄筋からの反射波が異なる可能性があり、異形鉄筋の教師データでは丸鋼のテストデータの半別が難しくなるためと推測される。対象鉄筋に応じた適切な教師データを準備することで、半別性能を向上させる可能性がある。また、丸鋼の分類誤差推移全体でみると誤差率は低下の傾向を示しているため、腐食が進行している可能性が示唆される。

6. 結論

- 試験体 1 から収集した教師データは交差検証の結果妥当であると判断された。教師データを信頼するならば、試験体 2 では、3/9 から鉄筋表面に腐食層が形成されていることが示唆される。
- 教師データが異形鉄筋である場合は、丸鋼の半別は難しい。鉄筋の形状の違いで反射波が変化してしまうためと考えられる。
- 対象鉄筋に応じた適切な教師データを準備することが、半別性能を向上させる可能性がある。

【参考文献】

阿部重夫 パターン認識のためのサポートベクトルマシン入門 (2013) 森北出版