

機械学習を用いた電磁波レーダによるコンクリート内部の欠陥判定に関する検討

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

現在の日本では、高度経済成長期に建設されたインフラストックの老朽化が顕在化してきている。さらに、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、電磁波レーダ画像に対して機械学習を用いることで、鉄筋腐食によるコンクリート内部のひび割れを定量的に判定することを試みた。

2. 検討概要

2.1 供試体

本検討では、3本の鉄筋を埋設した鉄筋コンクリートの供試体を作製し、電磁波レーダによる測定を行った。供試体寸法は縦 200mm×横 600mm×高さ 150mm とし、D16 の鉄筋を 3 本埋設した。鉄筋間隔は 150mm とし、かぶりは 50mm とした。また、高さ方向のひび割れを抑制し、浮きが発生するような横方向のひび割れを再現するために、鉄筋と直角する方向の端面に鉄板を配置し、PC 鋼棒で拘束した。写真-1 に供試体の外観を示す。また、供試体の鉄筋 3 本に電食を行うことで、鉄筋を腐食膨張させ、ひび割れを生じさせた。電食方法は直接電流による方法とし、電食は材齢 48 日目から開始した。さらに、供試体内部の状態を確認するために、図-1 に示す位置にひずみ計を 4 本埋設した。

電磁波レーダによる計測は、図-1 に示すように鉄筋と直角する方向に 15 測線計測した。測線の間隔は 1cm 間隔とし、側面からの影響を考慮して、側面から 3cm の部分は計測から除外した。

2.2 機械学習

電磁波レーダで測定を行った場合、図-2 に示すように鉄筋が存在すると鉄筋による電磁波のエコーが凸の形となって現れる。本研究ではこの鉄筋エコー周辺部の画像を 1 つずつ切り出し、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。教師データは電食開始前に計測したデータ全てを健全、電食開始日から 75 日目のデータ全てを欠陥とした。データ数はどちらも 450 データであった。

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の推移を示す。図-1 にひずみ計の番号を示す。ひずみの推移から、電食開始後 62、69 日前後に急激なひずみの変化が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、電食実験終了後にコンクリートカッターを用いて、縦方向に 50mm 間隔で供



写真-1 供試体

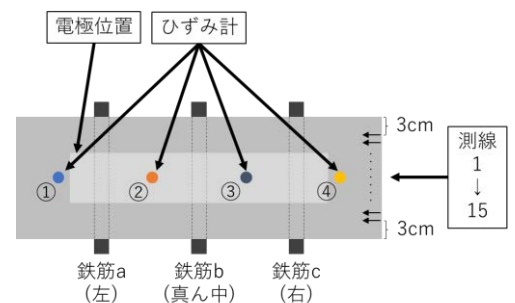


図-1 供試体概要
(平面図)

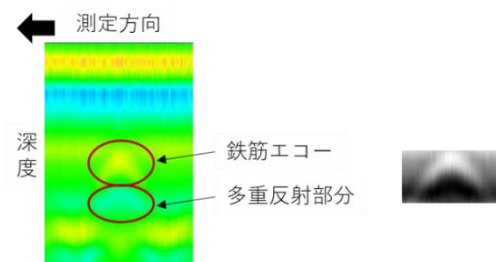


図-2 鉄筋エコー
(断面図)

キーワード 非破壊検査, 劣化評価, 電磁波レーダ, 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

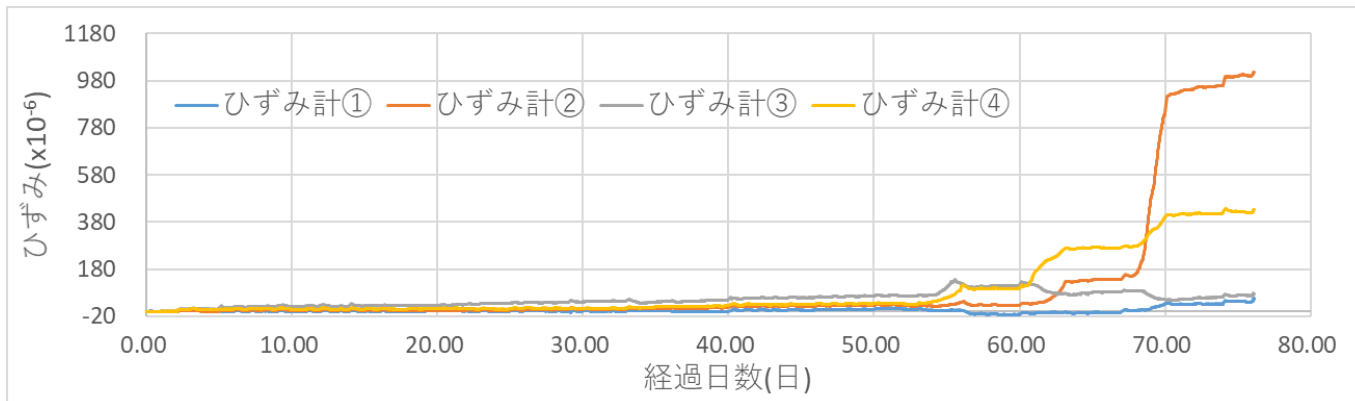


図-3 ひずみと積算電流量の推移

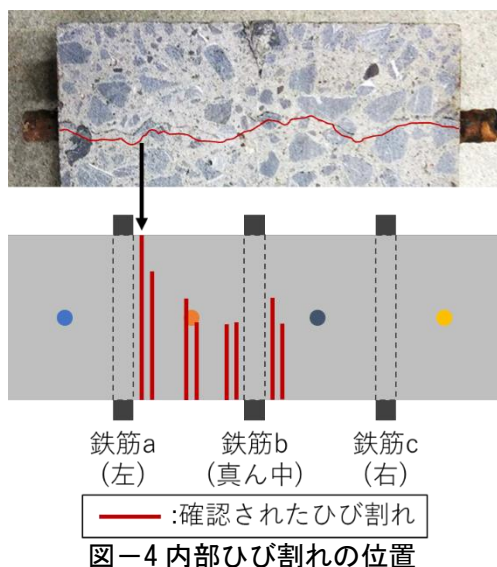


図-4 内部ひび割れの位置

健全	測線	鉄筋a	鉄筋b	鉄筋c	測線	鉄筋a	鉄筋b	鉄筋c
1.00	1	0.06	0.97	1.00	1	0.03	0.46	0.20
0.95	2	0.20	0.75	0.61	2	0.03	0.04	0.02
0.90	3	0.48	0.92	0.80	3	0.08	0.20	0.03
0.85	4	0.78	0.70	0.64	4	0.00	0.04	0.00
0.80	5	0.59	0.50	0.49	5	0.04	0.20	0.02
0.75	6	0.46	0.38	0.40	6	0.11	0.04	0.02
0.70	7	0.78	0.42	0.67	7	0.17	0.06	0.13
0.65	8	0.43	0.33	0.70	8	0.09	0.04	0.07
0.60	9	0.48	0.21	0.79	9	0.02	0.07	0.07
0.55	10	0.37	0.45	0.83	10	0.02	0.07	0.03
0.50	11	0.42	0.67	0.79	11	0.08	0.28	0.02
0.45	12	0.57	0.80	0.82	12	0.02	0.06	0.01
0.40	13	0.51	0.84	0.77	13	0.17	0.15	0.00
0.35	14	0.28	0.33	0.30	14	0.02	0.11	0.01
0.30	15	0.64	0.61	0.69	15	0.21	0.27	0.05
0.25								
0.20								
0.15								
0.10								
0.05								
0.00								
欠陥								

図-5 判定結果と内部ひび割れの位置

試体を切断した。その結果、鉄筋腐食によるものと考えられるひび割れ(最大ひび割れ幅約 0.4mm)が確認された。確認されたひび割れの位置とひび割れの一例を図-4 に示す。

3.2 判定結果

本検討では、電食開始日から 6, 68 日目のデータを機械学習により得られたネットワークを用いて判定した。図-5 に機械学習の判定により得られたスコアを示す。ここでは、健全を 1, 欠陥を 0 とした。図-5 から、急激なひずみの変化が生じた後の 68 日目ではほぼ全面が欠陥と判定された。鉄筋 a, b については目視でも確認できるひび割れがあるため、妥当な判定であるといえる。鉄筋 c についてはひずみ 4 が約 400 μ であることから微細なひび割れが存在し、それを欠陥と判定した可能性がある。今後も横方向に切断し、鉄筋断面を観察するなど検証を続けていく予定である。次に、電食初期であり、内部ひび割れが生じていないと考えられる 6 日目では鉄筋 a のほぼ全測線や鉄筋 b の中央部(測線 6~9)において欠陥と判定した。既往の研究¹⁾では、錆の存在により電磁波の反射波形が変化することが示されている。ここでも、鉄筋腐食の影響により鉄筋エコーが変化し、欠陥と判定されたと考えられる。以上のように鉄筋の腐食やひびわれ発生とともに判定スコアが変化する傾向が認められた。

4. 結論

本研究では、電食により内部ひび割れを再現し、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、電磁波レーダの鉄筋エコー画像の機械学習により、鉄筋コンクリート内部の初期ひび割れや鉄筋腐食の発生を判定できる可能性をそれぞれ見出した。

5. 参考文献

- 1) 多田祐希, 三浦泰人, 中村光: 電磁波レーダを用いた鉄筋腐食に伴う内部ひび割れの検出に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol39, No1, 2017