

局所外れ値因子法に基づく打音による鉄筋腐食ひび割れ判定結果に近傍数 k が及ぼす影響

防衛大学校 学生会員 ○森藤 優一 防衛大学校 正会員 黒田 一郎

1. はじめに

コンクリート構造物の非破壊検査手法の一つに打音法が挙げられるが、従来の打音法は人間の聴覚を利用した検査手法であったため、判断に熟練性を要する。その解決手法にAI技術の応用が試みられており、多くの研究が積み重ねつつある。本研究は、AI技術の一種で異常検知手法の一つである局所外れ値因子法(以下、LOF)を用いて打音によるRC供試体の腐食ひび割れ判定に応用することを試み、LOFで使用するパラメータが判定結果に及ぼす影響を検討するものである。

2. LOFによる腐食ひび割れ判定

LOFは、教師データとして正常値即ち陰性のみを必要とし、異常が発生した陽性の教師データを必要としないという特長を持つ。本研究で採用したLOFの概念図を図-1に示す。教師データ群全体の中から、テストデータA(図中の緑のマーカ)からのユークリッド距離(以下、距離)が近い順に近傍数 k だけの教師データQが選択され、テストデータAの局所密度 LD_A はA-Q間の距離の平均値の逆数で表わされる。また、 k 個選択された教師データQも同様に、教師データQの近傍の k 個の教師データR(図中の赤のマーカ)間との局所密度 LD_R をQ-R間の距離の平均値の逆数で表わすことができ、 LD_R を LD_A で除することによりテストデータのLOF値が算出される。このLOF値が、設定した閾値 T_h よりも小さいならば、テストデータと教師データは密であり推定陰性と判定され、大きいならば、疎であり推定陽性と判定される。ここで、データセット上においてテストデータ近傍の教師データ(青マーカ)の個数である近傍数 k は教師データ数の判定結果に大きく影響を及ぼす可能性が想定されるが、実在するRC供試体等から得られる特徴量に対応する近傍数 k の検討は十分になされていないことから、本研究では、RC供試体の腐食ひび割れ判定結果に近傍数 k の及ぼす影響を考察した。

3. 入力データの収集とパラメータの設定

LOFで使用する入力データを収集するために表-1の示方配合条件で図-2の諸元のRC供試体を4体作成し、全供試体の内部鉄筋に対して目標腐食率(以下、腐食率)を1%、2%の2段階に設定し電食に供し、表-2の手順で打音収録を実施した。打音収録では供試体A面中央の60×60mmの範囲を手動インパクトハンマで打撃し、A面直上300mmに設置したマイクロフォンにより収録し、音圧をサンプル長さ40msで切断した後に、フーリエ変換によって周波数解像度25Hzのベクトル量であるスペクトル(帯域500Hz~10000Hz)に変換した。そのスペクトルをLOFの入力データとして、陰性の入力データ80個と、各腐食クラス(1、2%)40個の合計80個の陽性の入力データを用意した。

表-3に判定ケースとパラメータの一覧を示す。3種の判定ケースにおいては、いずれも腐食率0%を陰性とし、1%、2%の各腐食率を陽性と扱っている。陰性の入力データ80個から無作為に選抜された40個と、陽性の入力データ40個の計80個の入力データを判定対象のテストデータとしている。教師データは、残った40個の陰性の入力データの中から無作為に教師データ数 N 個だけ選抜した。教師データ数 N はLOFによる判定結果に影響を及ぼす因子と考えられ、20、40、60の3段階である。LOFにおいてはハイパーパラメータとして近傍数 k を予め設定する必要があるが、これは、近傍数 k を教師データ数 N で除した比(以下、 k/N 比と呼ぶ)が0.05~0.8の6段階となるように設定した。以上から判定ケース毎に教師データ数 N と k/N 比をそれぞれ3段階と6段階に変えた18通りの判定条件にて判定を行なうことになるが、テストデータと教師データの選抜の影響を取り除くために無作為選抜をやり直して各9回の試行を行なっている。

表-1 示方配合条件

| 粗骨材 最大寸法 G_{max} (mm) | 水セメント比 W/C (%) | 空気量 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | |
|----------------------------------|------------------------|------------|--------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | AE剤 A |
| 20 | 60 | 3.0 | 175 | 292 | 680 | 1060 | 3.5 |

表-2 データ収集手順

| 供試体番号 | 実験経過 | | | | | |
|-----------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 腐食率 0% (電食前) | 腐食率 1% | 腐食率 2% | 腐食率 3% | 腐食率 3% | 腐食率 3% |
| 腐食供試体 No.1~4 | 打音収録 | 電食 | 打音収録 | 電食 | 打音収録 | 電食 |

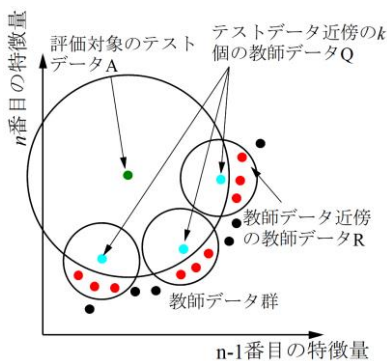


図-1 LOF 概念図

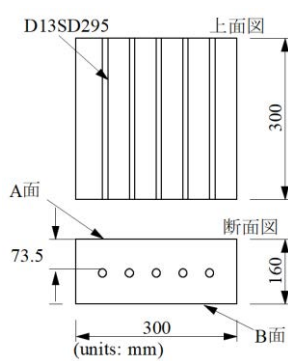


図-2 供試体諸元

キーワード 非破壊検査, 打音法, 鉄筋腐食ひび割れ, 局所外れ値因子法, 近傍数 k

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校 TEL:046-841-3810 E-mail:em61012@nda.ac.jp

4. 判定結果

LOFによる判定結果として、真陽性率TPRと偽陽性率FPRの関係を表現したROC(受信者操作特性)曲線の例を図-4に示す。ROC曲線では真陽性率TPRが1.0であると同時に偽陽性率FPRが0.0である図中の左上の隅の位置(以下、左上隅)が一切の誤謬が生じていない理想的な判定結果を表す。図-4の例では、腐食率が1%、教師データ数 N が20個で k/N 比は0.05のパラメータを採用しており、閾値 T_h を0.5から4.45の範囲で少しずつ変化させ、9回の試行の結果を示している。9回の試行のいずれにおいてもROC曲線がこの左上隅かその近傍を通過しており、学習器としての優れた特性を示している。

次に、ROC曲線のAUC値を用いて各判定ケースの判定結果を評価する。ここで、AUC値は、ROC曲線と横軸に挟まれた部

分の面積であり、この値が1.0であれば閾値を適切な値に設定すれば真陽性率TPRを1.0にすると同時に偽陽性率FPRを0.0にすることが可能であり、その際には正解率は1.0を実現可能である。図-5に、 k/N 比とAUC値の関係をまとめる。図中の黒いドットは9回の各試行のAUC値であり、白抜き着色された四角いマーカはそれらの平均値である。

図-5に示す判定ケースcor1(腐食率1%)での結果では、いずれの教師データ数 N であっても、 k/N 比が小さく0.05または0.1である場合にはAUC値はほぼ1.0であって判定結果は良好であるが、 k/N 比が大きくなるにつれて、即ち近傍数 k が大きくなるにつれてAUC値が低下していき判定結果が悪化している。この傾向は、教師データ数 N が20, 40, 60と変化しても同じである。また、図-6に示す判定ケースcor2(腐食率2%)での結果では、 k/N 比が大きくなった際のAUC値の低減傾向は腐食率1%の場合ほどは顕著ではないが、AUC値がほぼ1.0に保たれるためには k/N 比は0.4以下である必要があり、 k/N 比がそれより大きくなるとAUC値は徐々に低減する。得られる知見をまとめると、判定結果のAUC値を1.0に近く維持するためには、教師データ数 N に対して近傍数 k を充分小さくする必要があり、特に腐食率が小さい場合には k/N 比の上限はより低くなると言える。また、その傾向は教師データ数 N に依存しない。

表-3 判定ケースとパラメータの一覧

| 判定ケース | 陰性データ | 陽性データ |
|-------|-------|-------|
| cor1 | 腐食率0% | 腐食率1% |
| cor2 | 腐食率0% | 腐食率2% |

| パラメータ | 値 |
|------------|----------------|
| 教師データ数 N | 20, 40, 60 |
| k/N 比 | 0.05, 0.1, 0.2 |

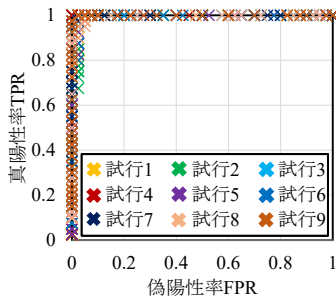


図-4 ROC曲線の例

5. まとめ

本研究では、LOFに基づくRC供試体の腐食ひび割れ判定を試み、使用するパラメータが判定結果に及ぼす影響について検討した。その結果、適切に閾値 T_h と近傍数 k を設定すれば本手法によってRC供試体の腐食ひび割れ判定が可能であることを確認した。また、判定結果の精度を高く維持するためには教師データ数 N に対して近傍数 k を十分に小さくする必要があり、特にRC供試体の腐食率が小さい場合は k/N 比の上限はより小さくなり、この傾向は教師データ数 N に依存しないことを明らかにした。

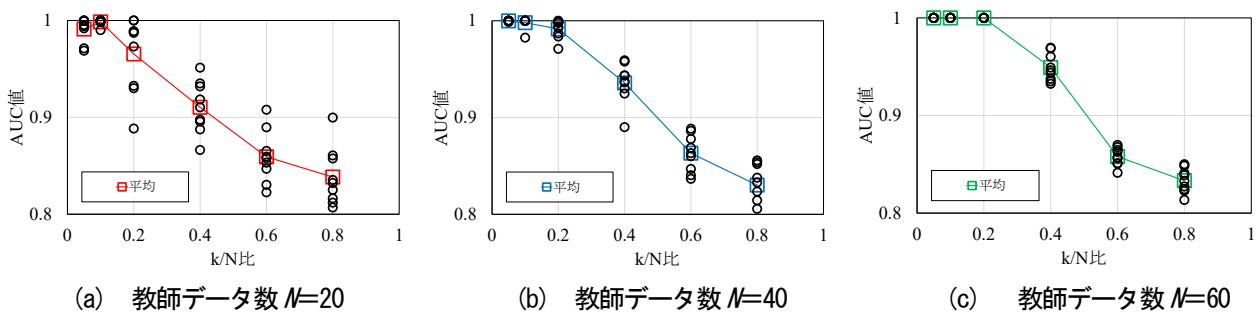


図-5 k/N 比とAUC値の関係 判定ケース cor1 (腐食率1%)

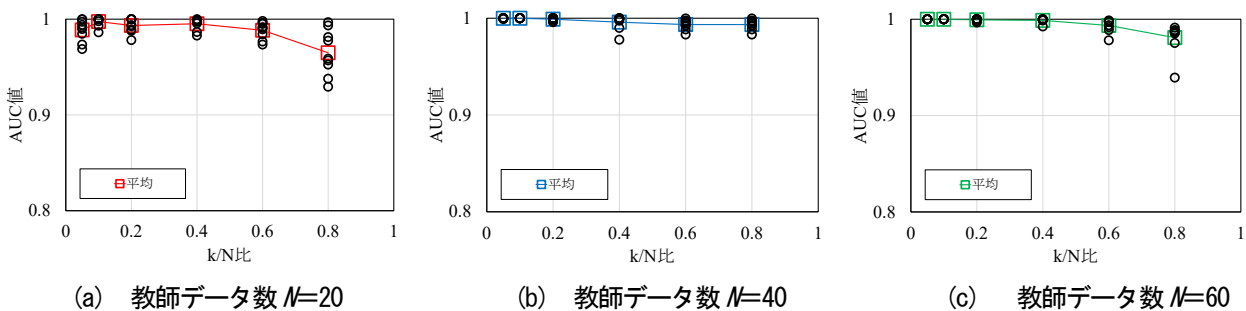


図-6 k/N 比とAUC値の関係 判定ケース cor2 (腐食率2%)