

画像処理とナイーブベイズ分類器を組み合わせた コンクリート表面のひび割れ検出手法

愛媛大学 学生会員○片岡 望 正会員 全 邦釘 正会員 大賀 水田生

1.はじめに

コンクリート構造物の維持管理においては、目視によるひび割れ損傷度判定やひび割れ状況や範囲などのスケッチを用いて劣化予測することにより適切な補修を行う時期を決定する取り組みが行われている。しかし、これらの点検では損傷評価を人間の主観で行うため、観測者間の個人差が存在することになる。また、ひび割れ幅やひび割れ面積などの特徴量といった定量的な評価が難しいという問題もある。そのため、ひび割れを撮影したデジタル画像から画像処理を用いてひび割れを検出するという試みが行われており、これらの手法では前述での特徴量の算出を行えることから定量性を確保できる。しかし、これらの画像処理による手法の多くは、ひび割れ部分が基本的には黒色に近いという考えが根本にあるため、ひび割れではないが黒に近い色の画素や、ひび割れではあるが白に近い色の画素を本質的に考慮できない。そこで本研究では画像処理に機械学習を組み合わせることで、従来よりも高精度なひび割れ検出手法を開発することを目的とする。

2.手法

本研究ではひび割れの特徴などのデータを事前に与え、それを学習させることで検出対象画像をひび割れとそうでない領域に分類し、ひび割れ検出を行う。この分類を行う際にナイーブベイズ分類器を用いる。ナイーブベイズ分類器はクラス変数 C_m についての条件付きモデルであり、 C_m は任意の特徴変数 F_1 から F_n までに依存している。これは $p(C_m|F_1, \dots, F_n)$ と表され、これにベイズの定理を適用する。実際には、分母は C_m に依存しておらず、分母は一定であるように F_i を与えるために、分子のみを考慮すればよい。よって、分子に条件付き確率の定義を繰り返し適用する。ここで、各特徴変数 F_i が条件付きで他の特徴変数 F_j (ただし $i \neq j$)と独立であるとする。つまり、独立性の仮定のもとで、クラス変数の条件付き分布は式(1)のように表される。

$$\begin{aligned} p(C_m|F_1, \dots, F_n) &= \left(\frac{p(C_m)p(F_1, \dots, F_n|C_m)}{p(F_1, \dots, F_n)} \right) \\ &= \frac{1}{Z} p(C_m) \prod_{i=1}^n p(F_i|C_m) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで Z は $F_1, \dots, F_n$ にのみ依存する係数であり、特徴変数群の値が既知であれば定数となる。ここまで述べたナイーブベイズモデルを用いて、ナイーブベイズ分類器を構築する。その際によく用いられる決定規則は最も尤もらしい仮説を採用するというもので、最大事後確率(MAP)決定規則と呼ばれている。そのような分類器を関数 *classify* とすると、次の式(2)が導出される。

$$\text{classify}(f_1, \dots, f_n) = \arg \max_{C_m} p(C_m) \prod_{i=1}^n p(F_i = f_i|C_m) \quad (2)$$

このナイーブベイズ分類器をひび割れの検出に使用するという事は画像をひび割れとそうでない領域に分類することであり、分類を行うには式(2)で用いられる尤度 $p(F_i|C_m)$ を算出する必要がある。そして、尤度 $p(F_i|C_m)$ の特徴変数 F_i は分類を行う上で影響を与える値であり、本研究では尤度 $p(F_i|C_{m=1,2,\dots})$ の C_1 を「ひび割れである」、また C_2 を「ひび割れてない」とする。そのため、分類を行う上で判断要素といえる尤度 $p(F_i|C_m)$ はひび割れの特徴、またはひび割れてない特徴を表すものとなる。よって、その特徴がどのようなものであるかを認識させるために、学習材料となる撮影画像のひび割れである部分を指定した教師画像を作成する。そして、教師画像を7枚と教師画像に用いた画像に30通りのフィルタをそれぞれ適用させた画像を210枚用

いて教師画像に用いた画像のひび割れ検出を行う．その際に，誤検出や未検出が表れた場合に C_1 「ひび割れである」， C_2 「ひび割れでない」に加えて C_3 「検出結果における誤検出」， C_4 「検出結果における未検出」を教師画像に取り入れ教師画像を改善する．ただし，検出結果画像の出力時には C_1 もしくは C_4 と分類された画素をひび割れであるとする．教師画像の改善を行うことによりクラス変数 C_m を増やし，ナイーブベイズ分類器による判断基準を新たに設けることができたため精度を向上させることができる．また，改善を行った教師画像を用いて再びひび割れ検出を行い，適宜クラス変数を追加する作業を繰り返す．そこで，検出結果画像の変化率を求め，変化率が0.5%未満になった場合に結果が収束したと判断し，教師画像の改善を中止する．

3.検出結果

本研究では一枚が5184×3456ピクセルである撮影画像を用いて教師画像を7枚用意し，教師画像に用いた画像に30通りのフィルタをそれぞれ適用させた画像を210枚用いて，教師画像に含まれていないひび割れを撮影した画像(例として図-1)からナイーブベイズ分類器によってひび割れの検出を行った．尚，クラス変数 C_m の個数 m は10で収束したため，これを用いた．ひび割れ検出結果を図-2に示す．そして，本研究手法の精度を定量的に評価するために検出対象画像のひび割れをトレースした結果を正解画像とし，本研究によってひび割れを検出した結果画像と，既往の伊藤ら¹⁾の手法によるひび割れ検出の結果画像を比較する．これにより，本研究において提案したひび割れの検出手法の精度がどの程度向上しているのかを検証する．比較項目として，藤田ら²⁾は感度，特異度，適合率によりひび割れ検出手法の精度検証を行っており，本研究でもこれらの指標を用いることとする．ここで，感度と特異度はひび割れである部分とひび割れでない部分のそれぞれの正検出率を表す．また，適合率はひび割れとして検出された画素の正解率を示す．



図-1 検出対象画像



図-2 本研究手法による結果

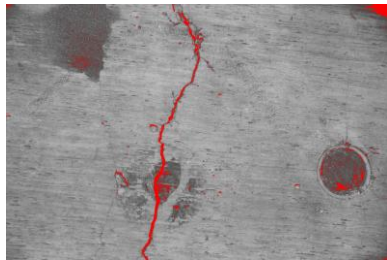


図-3 伊藤ら¹⁾の手法による結果

表-1 感度，特異度，適合率による検出結果比較

	本研究による手法(%)	伊藤ら ¹⁾ による手法(%)
感度	80.02	66.11
特異度	99.70	99.24
適合率	66.85	54.88

4.結論

本研究では画像処理とナイーブベイズ分類器を組み合わせたひび割れ検出手法を提案し，その精度と既往の研究において提案されたひび割れ検出手法の精度を定量的に比較した．感度，特異度，適合率はいずれも既往の研究手法よりも本研究の手法が優れていることを表しており，既往の研究手法において問題であった検出精度が大きく改善されていることを確認できた．

5.参考文献

- 1) 伊藤厚史，青木義満，橋本周司：画像処理を用いた高精度なコンクリート部材表面のひび割れ抽出とその解析，計測自動制御学会，第59回パターン計測部会研究会予稿集，pp.1-6，2002.
- 2) 藤田悠介，中村秀明，浜本義彦：画像処理によるコンクリート構造物の高精度なひび割れ自動抽出，土木学会論文集，Vol.66，No.3，pp.459-470，2010.