

表面変状を含むコンクリート画像からのひび割れ自動抽出手法の開発 — 閾値自動選定および領域拡張手法を用いて —

東京大学大学院 学生会員 ○山崎 満
東京大学大学院 正会員 松本 高志

1. 背景と目的

構造物の維持管理業務の一つである点検業務は、構造物の安全性、使用性を知る上で重要である。本研究ではコンクリートのひび割れに焦点を当てた。ひび割れは、コンクリート構造物の劣化進行度を知る上で最も重要な指標の一つであるが、ひび割れ点検の現場では、マーキング、スケッチ、計測といった手作業を行っており、効率性と客観性に欠ける。ひび割れは面的に進展する形状であること、そしてデジタルカメラの高性能化・高解像度化が昨今目覚ましいことから、デジタル画像の点検への利用に期待が高まっている。

デジタル画像の点検作業への利用に関する研究には、ひび割れ抽出の自動化が困難であるため、画面上で手作業によるトレースを行う必要があるという現状がある。また、画像処理の立場からのひび割れ抽出に関する研究には、コンクリート表面には穴や汚れなどの変状を含むため、画像処理によるひび割れ抽出が困難になっているが、多くの研究が基本的な手法の組合せに過ぎないため、ひび割れ画像を得るためにはフィルタの組合せやパラメータを試行錯誤的に設定する必要があるという現状がある。

そこで本研究は、「表面変状を含むコンクリートのデジタル画像から、自動的にひび割れを抽出する手法」を開発することを目的とした。

2. 手法

まず、閾値を選定する方法について述べる。ひび割れとコンクリート背景では、ひび割れ領域の画素の方が輝度値が低く背景領域の画素の方が輝度値が高いことを利用して、2つの領域に分類する。コンクリート表面の様々な状況に対してひび割れと背景を分類する閾値を決めるには、出力画像を見ながら試行錯誤的に最適な閾値を選ぶ必要があった。その省力化を図るために、閾値を自動選定する方法がいくつか考案されている。その1つである大津の方法¹⁾は、クラスの分離度を最大化する閾値を求める方法である。式(1)について、 μ_T は全体の平均値を示し、ある閾値によってクラス1とクラス2に分類されたときの平均値 μ_1 、 μ_2 を各クラスの代表値とし、生起確率 ω_1 、 ω_2 で重み付けをした和で、クラス間の分散が表される。この値を最大にする閾値を最適閾値とする。

$$\sigma_B^2 = \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + \omega_2(\mu_2 - \mu_T)^2 \quad (1)$$

もう1つの Kittler の方法²⁾は、クラスの曖昧度を最小化する閾値を求める方法である。ヒストグラムをある閾値で分類したとき、2つのクラスをそれぞれ正規分布モデルでフィッティングし、そのときの重複部分の面積によってクラスの曖昧度が表される。この面積を最小にする閾値を最適閾値とする。

次に、1つの繋がった画素のまとまりを「連結成分」と呼ぶが、その中からひび割れらしいものを選出しそれを「ひび割れ領域の種」と呼ぶことにする。ここではひび割れらしさを表す特徴量を長さ/幅の比とした。ひび割れの種の先端周辺には未抽出のひび割れが存在する可能性が高いという仮定の下に新たにひび割れ検出を行う領域を特定し、閾値自動選定法を用いて閾値を可変的に決定する方法を提案した。このような処理を領域拡張と呼ぶことにする。

さらに、ひび割れの周囲に汚れを含む画像の場合、2値化処理を行った際に汚れを含んだひび割れ領域が検出されてしまい、このままでは正確なひび割れの位置や幅を知ることができないという問題を生じる。また、

キーワード 画像処理, ひび割れ, 自動抽出

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 工学系研究科 社会基盤学専攻 応用力学研究室 TEL 03-5841-7455

排水口やあばたなどの穴を含む画像の場合、ひび割れと比べて穴の部分の方の輝度値が極端に低いために、2値化処理の際に穴の部分のみが輝度値の低いクラスに分類され、ひび割れ領域が全く検出されず、領域拡張の場所を特定できないという問題を生じる。これらの問題を回避するため、種の検出の前に、汚れ領域と穴領域を検出し、汚れ領域がある場合にはその内部でひび割れを検出し、穴領域がある場合にはその外部でひび割れを検出する手順を踏んだ。

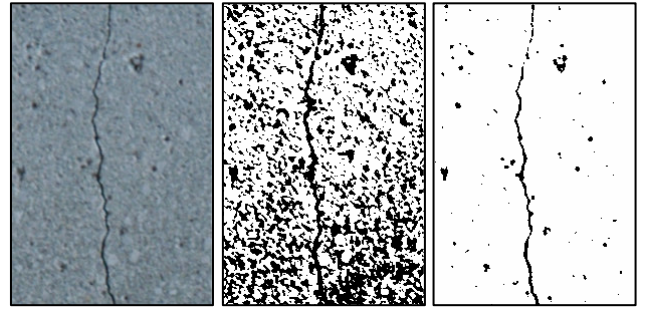


図1 閾値自動選定法による2値化結果

4. 結果

閾値自動選定法をコンクリート画像（図1左）に適用した結果を述べる。ひび割れは背景に比べて極端に面積が小さいためヒストグラムが単峰型に近くなり、大津の方法により定まる最適閾値はヒストグラム中央へと片寄る結果となり、ひび割れの検出が不可能であった（図1中）。これは、クラスの割合が極端に異なる場合における大津の方法の欠点である。一方、Kittlerの方法による最適閾値は、ヒストグラムの峰と裾をよく分離し、ひび割れを検出している（図1右）。

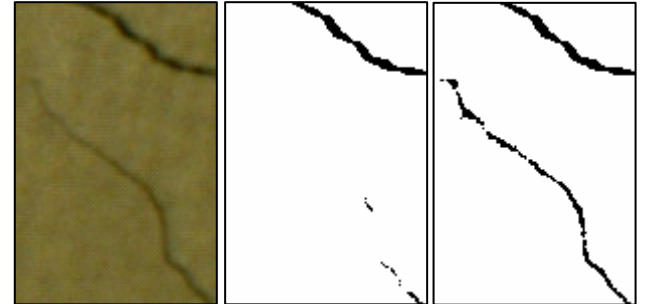


図2 領域拡張の結果

次に、領域拡張の結果を示す。コンクリート画像（図2左）に対して初めての2値化によって検出された種（図2中）の先端周辺の新たな領域において再び2値化処理を行うことによって、ひび割れ先端の細い部分までよく抽出されている（図2右）。そして、ひび割れの先端に到り、細長い成分が検出されなくなったら拡張処理を終了する。

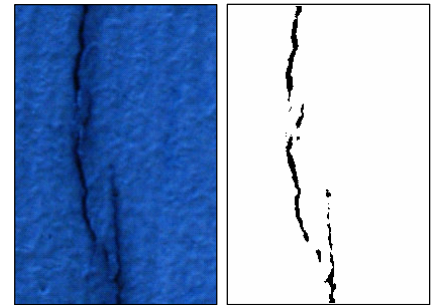


図3 汚れ領域からの抽出結果

次に、図3および図4に汚れ領域・穴領域の周辺でのひび割れ抽出結果を示す。汚れ領域には平均幅が広く、かつ長さの長い連結成分を取り出した。穴領域には長さ/幅比の小さい連結成分を取り出した。汚れ領域内および穴領域を除去した領域で2値化を行うことにより、それぞれひび割れを抽出することができた。

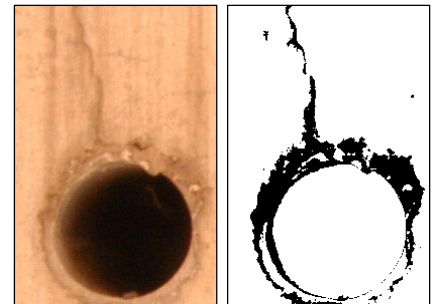


図4 穴領域周囲からの抽出結果

5. 結論

コンクリート表面に生じたひび割れの検出方法を検討した。表面のスムーズなコンクリート画像では、閾値自動選定法によってひび割れがよく抽出された。たとえ先端に抽出されない細いひび割れがあっても、よりローカルな領域に対して再び2値化を行うことによって未抽出部分も抽出することが可能であった。

ひび割れ以外の表面変状を含む中からでもひび割れ抽出を行う方法を提案した。穴や汚れを含んだコンクリート画像が対象の場合も、穴領域や汚れ領域を分類することによって、ひび割れを抽出することができた。

領域判別の精度は高いとはいえ、誤認した場合には手作業で修正する必要がある。現段階では、長さや幅という単純な特徴量のみを用い、それを経験的な閾値で分類しているため、解析する特徴量の拡充によって改善されると考えられる。

参考文献

- 1) 大津展之：判別および最小2乗規準に基づく自動しきい値選定法，電子通信学会論文誌，vol. J63-D，no. 4，pp. 349-356，1980.
- 2) J. Kittler, J. Illingworth: Minimum Error Thresholding, IEEE Pattern Recognition, vol. 19, no. 1, pp. 41-47, 1986.