

(47) 対話型遺伝的アルゴリズムを用いた ひび割れ半自動抽出ソフトの開発

村上 慧季¹・河村 圭²・塩崎 正人³

¹ 学生会員 山口大学大学院 理工学研究科環境共生系専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)
E-mail: v047vn@yamaguchi-u.ac.jp

² 正会員 山口大学大学院准教授 理工学研究科環境共生系専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)
E-mail: kay@yamaguchi-u.ac.jp

³ 正会員 三井住友建設株式会社 技術本部第三技術部 (〒104-0051 東京都中央区佃 2-1-6)
E-mail: MasandoShiozaki@smcon.co.jp

本研究では、既存のトンネル点検における変状図作成作業の効率化を目的とし、コンクリート壁面をデジタルカメラもしくはビデオカメラで撮影した画像より、半自動的にひび割れを効率的かつ高精度に抽出する手法を開発した。具体的には、対話型遺伝的アルゴリズム(iGA : interactive Genetic Algorithm)による視覚的な画像処理パラメータ調整およびタッチパネルを用いた直観的なひび割れ抽出の2つの機能の特徴とするソフトを開発した。本ソフトの有効性を検証した結果、本検証の範囲では、手書き作業と比較して、同等程度の精度でひび割れを抽出することが可能であり、作業時間を短縮することが可能であることが示された。

Key Words : crack extaction, tunnel, digital image processing, interactive genetic algorithm

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建設されたトンネルが高齢化を迎えており、その維持・管理の重要性が高まっている。現在のトンネルの検査方法は、まず、トンネル内を目視で点検し、ひび割れを野帳にスケッチする。続いて、事務所に持ち帰った野帳をもとにCADなどを用いて、ひび割れの位置や幅などを記録したトンネル変状図を作成する。CADを用いた事務作業は、手動での作業となり、ひび割れの形状を正確に表現することが困難である。そこで、本研究では、後工程での変状図作成作業の効率化を目的とした、PC上で動作するひび割れ抽出ソフトを開発した。本ソフトでは、ユーザは、iGAを用いて画像処理のパラメータを決定し、ひび割れをなぞることにより、半自動的にひび割れを抽出する。

2. 本ソフトの開発

(1) ソフトの概要

図-1には、本ソフトによるひび割れ抽出作業の様子を示す。また、図-2には、本ソフトの操作手順を示す。本ソフトでは、図-1に示すように、ユーザが抽出対象であ

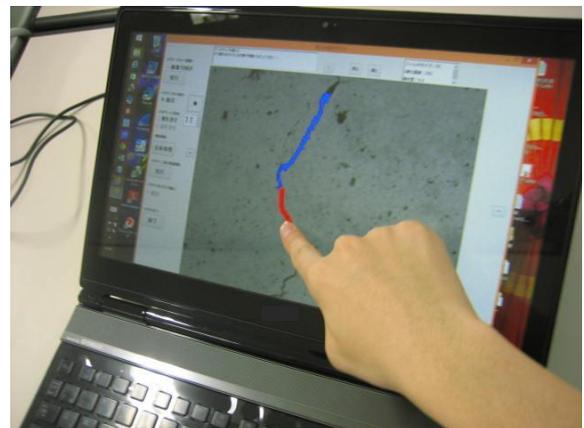


図-1 タッチパネルを利用したひび割れ抽出作業

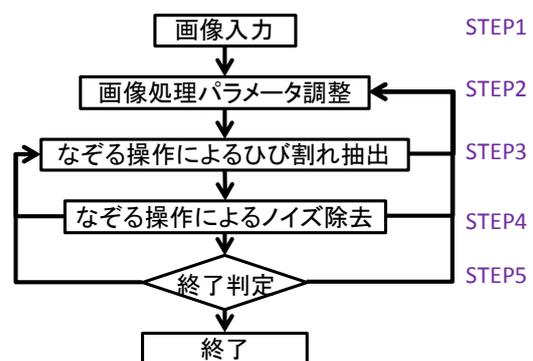


図-2 ひび割れ抽出作業フロー

るひび割れをなぞることにより、画像処理領域を指定することで半自動的にひび割れの抽出を行う。ここで、ひび割れを抽出するアルゴリズムは、河村らの研究成果¹⁾を利用した。図-3には、本アルゴリズムのフローを示す。また、本ソフトでは、iGAを用いて、画像処理に用いる本アルゴリズムのパラメータ値を決定する。表-1には、iGAで決定するパラメータとその範囲を示す。なお、表中の *fsize*, *binary*, また *linear* は、それぞれ良品推定のためのメディアンフィルタのサイズ、2値化の際の閾値、また線状度判定の閾値である。また、刻み幅は、パラメータ値が変化する最小単位である。

(2) ソフトの開発環境

本研究では、図-3に示される画像処理アルゴリズムをC言語で開発した。さらに、図-2に示されるフローは、C#にて開発を行った。

(3) 開発ソフトの操作の流れ

本節では、図-2に示されるフローを実装したソフトを解説する。なお、下記の各STEP番号は、図-2のSTEP番号に対応する。図-4には、本ソフトのメイン画面を示す。

STEP1 (画像入力部) : ユーザは、図-4に示される本ソフトの画面左上にある画像ロード「実行」ボタンを押し、ひび割れ抽出を行う画像を選択する。処理対象画像が選択された後に、図-4中の画面中央部に選択画像が表示される。なお、本研究では、標準のモニタ(タッチパネル)サイズを1920(pixel)×1080(pixel)と設定したことから、本ソフトにて処理できる画像サイズは、800(pixel)×800(pixel)とした。

STEP2 (パラメータ調整部) : 本STEPでは、パラメータ調整用サンプル画像作成時間短縮のため、処理対象画像の一部を切り抜き、切り抜いた画像をサンプルとして、画像処理アルゴリズムに利用するパラメータの調整を行う。図-5には、iGAによるパラメータ調整画面を示す。まず、ユーザは、図-4中の画面左上部の「切抜き座標」をチェックし、画面中央に表示された処理対象画像から、切抜き箇所を中心をクリックし、切抜き箇所を赤枠で指定する。続いて、本ソフトの画面左上部の「パラメータ設定」ボタンを押すと、図-5に示されるパラメータ調整画面が、図-4とは別のウィンドウとして表示される。パラメータ調整画面には、切抜き画像が画面左上に表示され、ユーザは、15枚の処理結果サンプル画像に対して、最低1から最高5の評価を与え、GAでパラメータを進化させることによりパラメータを調整する。最終的に画面中の最も良く抽出を行っている画像を選択し、図-4の画面左上部「パラメータセット」ボタンを押すことにより、ひび割れ抽出に利用するパラメータ値を設定する。この際に、本ソフトのバックグラウンド作業として、本設定

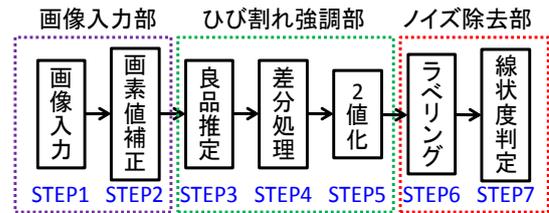


図-3 ひび割れ抽出アルゴリズム

表-1 パラメータの範囲

パラメータ	範囲	刻み幅
<i>fsize</i>	$1 \leq fsize \leq 127$	2
<i>binary</i>	$0 \leq binary \leq 255$	1
<i>linear</i>	$1.0 \leq linear \leq 32.5$	0.5



図-4 ソフトのメイン画面

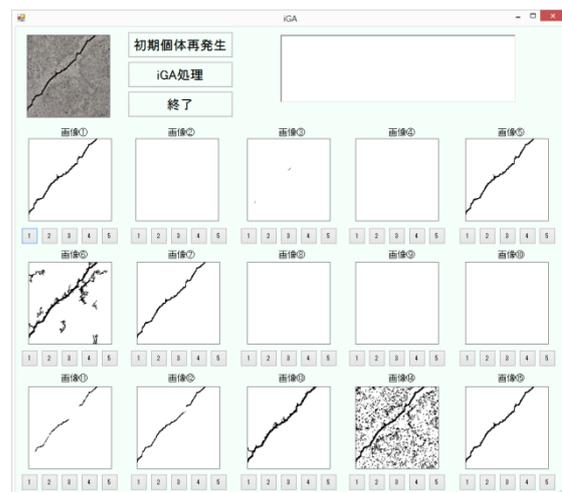


図-5 iGAによる画像処理パラメータ調整

値に従って画像全体が自動的に処理される。ここで、図-6には、ユーザが選択した画像処理パラメータ値に従って、バックグラウンドでSTEP1にて選択された撮影画像が処理された画像処理結果(裏処理画像)の例を示す。

STEP3 (ひび割れ抽出部) : ユーザは、タッチパネル上に表示された処理対象画像を指でなぞることにより、ひび割れ抽出を行う。具体的には、図-7に示すように、ユーザがタッチパネル上でなぞった箇所が赤色で表示され、ひび割れ抽出領域として指定される。この選択領域に対して、自動的に、ひび割れ抽出を行い、結果を表示する。具体的には、本ソフト内では、図-7において赤色で指定された領域に対してのみ、図-6に示す結果すなわちバックグラウンド処理結果のひび割れ候補部 (黒色の箇所) を、図-8の例のように青色で抽出結果として提示する。

STEP4 (ノイズ除去部) : STEP3の操作においてノイズが抽出された場合には、ユーザは、図-4の画面左中央部の「消しゴム」ボタンを選択し、ノイズ領域をなぞって指定する。なお、ノイズとは、ひび割れ以外の箇所が、ひび割れとして抽出されている部分である。本ソフトは、この指定された領域の画素値を青色からオリジナルの画素値に置き換える。また、ノイズが存在しない場合は、ユーザは、「消しゴム」ボタンを選択せずに、STEP5へ移る。

STEP5 (終了判定) : ひび割れ抽出処理を完了した際には、ユーザは、図-4の画面左下部の「終了」ボタンを押す。一方で、ひび割れ抽出作業を継続する場合は、STEP3へ戻る。また、パラメータの再調整を行う場合は、STEP2へ戻る。なお、終了の際には、本ソフトは、2つの結果画像 (ひび割れ変状図、ひび割れ抽出画像) を指定フォルダへ出力する。ここで、ひび割れ変状図とは、ひび割れおよび背景を、それぞれ黒また白として描いた画像である。また、ひび割れ抽出画像は、オリジナルの画像上にひび割れを青で描いた画像である。

3. 実験

(1) 検証用画像および抽出結果の評価法

a) 検証用画像 (原画像と正解画像)

図-9には、原画像および正解画像を示す。原画像とは、コンクリート壁面を撮影したデジタル画像である。本実験では、6枚の原画像を検証に用いたが、本稿には、代表として、図-9(a)に示す原画像の結果のみを記載する。なお、原画像サイズは、800(pixel)×800(pixel)である。一方で、正解画像とは、原画像のひび割れ部分のみを、完全手動で描いた画像である。本実験では、著者らがWindowsアクセサリのペイントを用いて正解画像を作成した。本実験では、試行ごとの結果のばらつきおよびユーザごとの結果の差を確認するために3名のユーザ(A,B,C)がそれぞれ、原画像ごとに、4回ずつひび割れの抽出を行った。

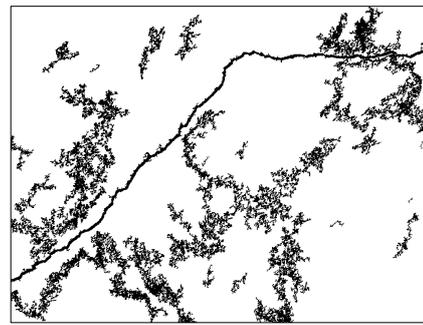


図-6 裏処理画像のイメージ



図-7 ドローによる抽出範囲選択画面



図-8 ドローによる抽出処理結果画面

b) 抽出結果の評価法

本実験では、正解画像の作成時間と本ソフトによるひび割れ抽出作業時間の比較、さらに、本ソフトの抽出精度を検証するために、正解画像と本ソフトで抽出されたひび割れ画像を比較した。なお、抽出精度の検証では、次式より求まる欠損率、ノイズ率、および評価値(f)を利用した。

$$f_1 = \frac{m}{M}, f_2 = \frac{n}{N} \quad (1)$$

$$f = 1.0 - \sqrt{\frac{1}{2}(f_1)^2 + \frac{1}{2}(f_2)^2} \quad (2)$$

ここで、評価値 f の値域は0から1.0であり、値が大きいほど評価は高い。続いて、 M また N は、それぞれ、正解画像より得られるひび割れ領域の画素数およびひび割れ領域以外の背景部分の画素数である。さらに、 m また n は、それぞれ処理結果画像においてひび割れがひび割れとして抽出されていない画素数およびノイズ画素数である。このため、 f_1 および f_2 は、それぞれ、欠損とノイズの割合であり、本研究では、これらを百分率で表したものを、欠損率およびノイズ率と定義する。

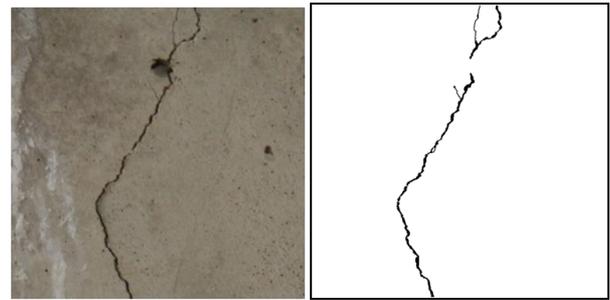
(2) 本ソフトを利用した抽出結果

図-10には、裏処理画像およびユーザの抽出作業により得られた最終結果画像(ひび割れ変状図)を示す。図-10(a)裏処理画像を見ると、ユーザはノイズが多く抽出されるパラメータを選択しているが、図-10(b)最終結果画像では、ノイズ除去の処理により、ノイズがなく、ひび割れの形状がはっきりと抽出されている。ここで、ユーザAの平均作業時間は61(秒)であり、手書き作業時間の660(秒)に対して、約90%の時間が短縮された。続いて、図-11には、ユーザ3名の図-9(a)の原画像に対する各4回試行分の合計12回の裏処理画像と最終結果画像に対するノイズ率および欠損率のプロットを示す。本図より、全てのユーザは、裏処理画像では、ノイズ率の方向にプロットがばらついている。この原因は、パラメータ調整部において、ユーザが、ひび割れの欠損を嫌い、ある程度のノイズは許容したことが考えられる。続いて、最終結果画像では、ノイズ率は低いが、欠損率の方向にプロットがばらついている。この原因は、ユーザが、ノイズ除去操作の際に、ノイズと一緒にひび割れ部を消したことが考えられる。

4. 終わりに

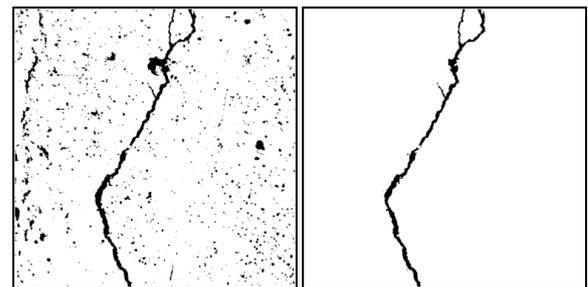
本研究では、タッチパネルを用いたひび割れ抽出作業の効率化手法を提案し、本提案手法を実装したソフトウェアを開発した。本ソフトの有効性の検証により、手書きによるひび割れ抽出作業に要する時間に対して、約70%以上の短縮が可能であることが示された。さらに、手書きでひび割れを抽出した場合と、同等の抽出精度を得ることが可能であることが示された。

今後の課題は、ユーザによる欠損のばらつきを抑えることである。また、ひび割れ幅および長さを測定する手法の確立が課題である。さらに、実用化を目指し、画像サイズが大きい画像にも対応する必要がある。



(a) 原画像 (b) 正解画像

図-9 原画像および正解画像



(a) 裏処理画像 (b) 最終結果画像

図-10 裏処理画像と最終結果画像

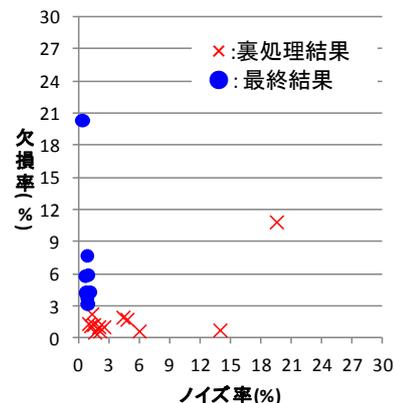


図-11 ノイズ率および欠損率のプロット

謝辞：本研究にご協力頂いた株式会社テクノフラッシュの車田茂美氏、菊地典明氏、本多健治氏、株式会社マクニカの吉野孝亮氏に心から感謝の意を示します。また、本研究は、JST 研究成果展開事業 A-STEP フィージビリティスタディ採択課題 AS2511142H の一課題として実施したものである。

参考文献

- 1) 河村圭, 吉野孝亮, Amir Tarighat, 中村秀明: 遺伝的アルゴリズムおよび決定木を用いたひび割れ抽出のための画像処理パラメータ有効範囲の特定, 土木学会論文集 F, Vol. 69, No. 2, pp.I_13-I_23, 2014.