

(12) ひび割れ抽出画像処理ソフトにおける 抽出点指示手法の提案

児玉 聖治¹・河村 圭²・村上 慧季³・塩崎 正人⁴・中村 秀明⁵

¹学生会員 山口大学大学院 創成科学研究科電気電子情報系専攻(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)
E-mail: w036vg@yamaguchi-u.ac.jp

²正会員 山口大学大学院准教授 創成科学研究科電気電子情報系専攻
(〒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

⁴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

⁵正会員 山口大学大学院教授 創成科学研究科電気電子情報系専攻
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)
E-mail: nakahide@yamaguchi-u.ac.jp

本研究では、ひび割れ抽出ソフトにおいて、ユーザが処理対象であるコンクリート壁面画像中の任意のひび割れ部分を指示することで、より効率的に処理対象画像に適した画像処理パラメータを設定することを可能とする手法の提案を行う。なお、ひび割れ抽出ソフトとは、著者らが開発した、コンクリート壁面をデジタルカメラなどで撮影したデジタル画像より、ひび割れを効率的に抽出するソフトウェアである。本提案手法の有効性を検証した結果、本検証の範囲では、従来のひび割れ抽出ソフトと比較して、本提案手法を使用することにより、同等のひび割れ抽出精度を保持した上で、作業時間を短縮し、かつ操作回数を削減することが可能であることが示された。

Key Words : crack extraction, concrete structures, image processing, interactive genetic algorithm

1. はじめに

コンクリート施設における点検現場での変状記録作業では、近接目視による野帳へのスケッチが一般的な方法である。しかし、近年では、デジタルカメラなどで撮影したデジタル画像を結合させ、コンクリート壁面全体の撮影画像展開図を作成する記録方法が開発されている¹⁾。また、その後の作業工程においても、従来の野帳をもとにしたCADを用いた手作業での変状展開図作成に代わる手法として、現場で撮影したデジタル画像に対し画像処理を用いて変状を抽出するといった手法が開発されている。しかし、デジタル画像からの変状抽出は、コンクリート表面の状態や照明条件が均一でないことから、パラメータ値を固定した画像処理アルゴリズムによる全自動抽出が難しい。さらに、点検作業者の多くが画像処理に関する専門的な知識を有さないため、多様なコンクリート画像に対する画像

処理パラメータの調整が困難である。そこで、著者らは、iGA (*interactive Genetic Algorithm*: 対話型遺伝的アルゴリズム)を用いてデジタル画像から半自動的にひび割れを抽出するソフトウェア(以下、本ソフトと記述する)を開発した²⁾。具体的には、サンプル画像を用いた視覚的な画像処理パラメータの調整、および、なぞる動作によるひび割れの抽出を可能とした。これにより、ユーザは画像処理に関する専門的な知識を必要とせず、さらに、多様なコンクリート壁面に対する画像処理能力の汎用性を実現した。しかし、本ソフトを用いた抽出作業時間のうち、画像処理で使用するパラメータ調整作業時間が大きな割合を占めており、ユーザの負担となっていた。

以上を背景として、本研究では、デジタル画像からひび割れの抽出を行うソフトウェアにおける画像処理パラメータ調整作業の効率化を目的として、抽出点指示手法(以下、本指示手法と記述する)を提案する。本

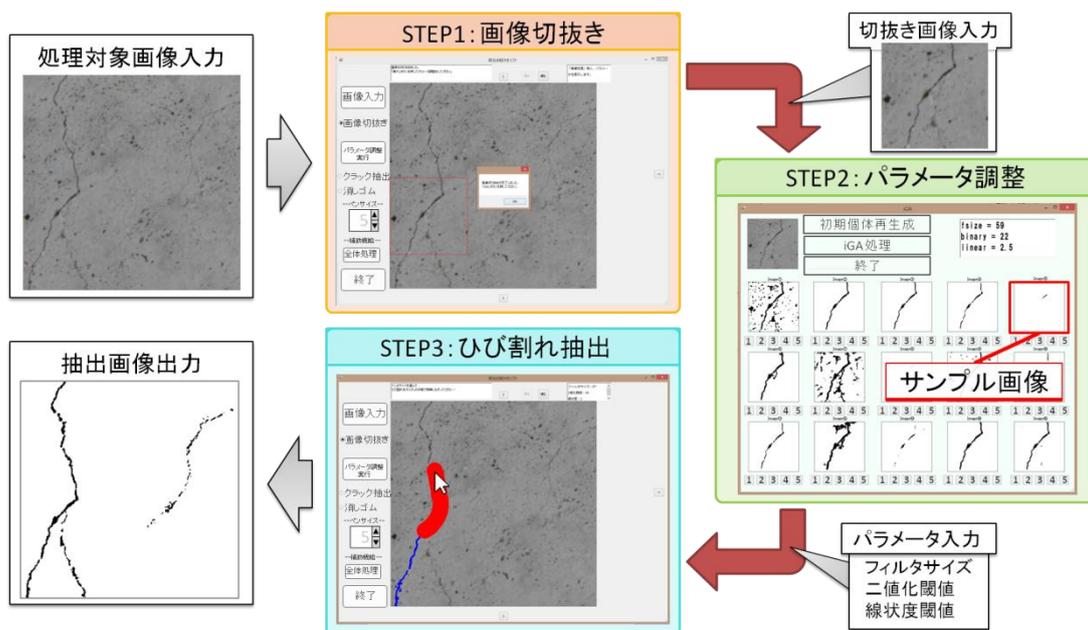


図-1 ひび割れ抽出ソフトの流れ

指示手法は、画像処理パラメータ調整作業前に、ユーザがひび割れとして抽出したい箇所を指示しておくことにより、ソフトウェアが画像処理パラメータ調整作業時に、ユーザの期待する画像処理パラメータを効率良く生成することを可能とした。

さらに、本研究では、本ソフトに本指示手法を実装し、本指示手法使用時と未使用時の抽出結果および抽出過程を比較することにより、本指示手法の有効性を検証した。

2. ひび割れ抽出ソフト

(1) ひび割れ抽出の流れ

本ソフトは、トンネル壁面を撮影した画像から、ひび割れ部分を抽出するソフトである。図-1には、本ソフトによるひび割れ抽出作業の手順を示す。以下では、図中の各ステップを解説する。

STEP1：本ステップでは、本ソフトに入力された処理対象画像から、STEP2で使用する300(pixel)×300(pixel)の切り抜き画像を作成する。STEP2において切り抜き画像を使用することで、処理対象画像全体に対し画像処理を行うよりも、画像処理に要する時間を短縮することが出来る。

STEP2：本ステップでは、STEP3のひび割れ抽出で使用するひび割れ抽出のための画像処理パラメータをiGAを用いて調整する。画像処理パラメータ調整については、2.(2)にて解説する。

STEP3：本ステップでは、ユーザがひび割れをなぞる動作によって処理対象画像からひび割れ部分を抽出す

る。さらに、成果物として抽出画像を出力する。具体的には、本ソフトは、ユーザのなぞる動作によって設定された抽出領域に対して、STEP2で調整された画像処理パラメータを用いた画像処理を行い、ひび割れとして抽出された箇所を青色で画面に表示する。図-1中のSTEP3には、ひび割れ抽出時の様子を示しており、赤色の範囲が、抽出領域として設定された範囲である。

(2) 画像処理パラメータ調整

本ソフトにおける画像処理パラメータの調整には、iGAを用いている。iGAとは、遺伝的に学習を行うことで近似最適解を求める手法であり、評価の部分人間の感性を用いて行うことで、複雑な構造の解析を可能とする。

図-1中のSTEP2では、まず、本ソフトは、内部処理として、画像処理パラメータ値をランダムに与えられた個体を15個作成し、各個体が持つパラメータ値の情報をもとに切り抜き画像に対して画像処理を行った画像を15枚生成する。さらに、内部処理で生成した15枚の画像をサンプル画像としてユーザに提示する。続いて、ユーザは、15枚のサンプル画像から、切り抜き画像に対して、良好にひび割れ抽出処理が行われているサンプル画像を1枚選択することで、ひび割れ抽出において使用する画像処理パラメータ値を決定する。この際、ユーザが良好と判断するサンプル画像が存在しない場合は、サンプル画像の再生成、またはサンプル画像の進化を繰り返すことで、最適なサンプル画像を導き出す。ここで、サンプル画像の進化とは、ユーザが各サンプル画像を評価し、本ソフトがその情報をもとに、優秀なサンプル画像を生成する処理である。

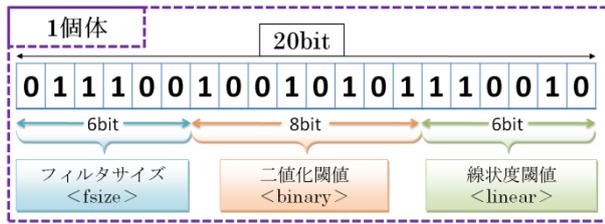


図-2 個体のコーディング

表-1 画像処理パラメータの範囲

パラメータ	範囲	刻み幅	要素数(bit)
フィルタサイズ	$3 \leq fsize \leq 129$	2	6
二値化閾値	$1 \leq binary \leq 255$	1	8
線状度閾値	$1.0 \leq linear \leq 31.5$	0.5	6

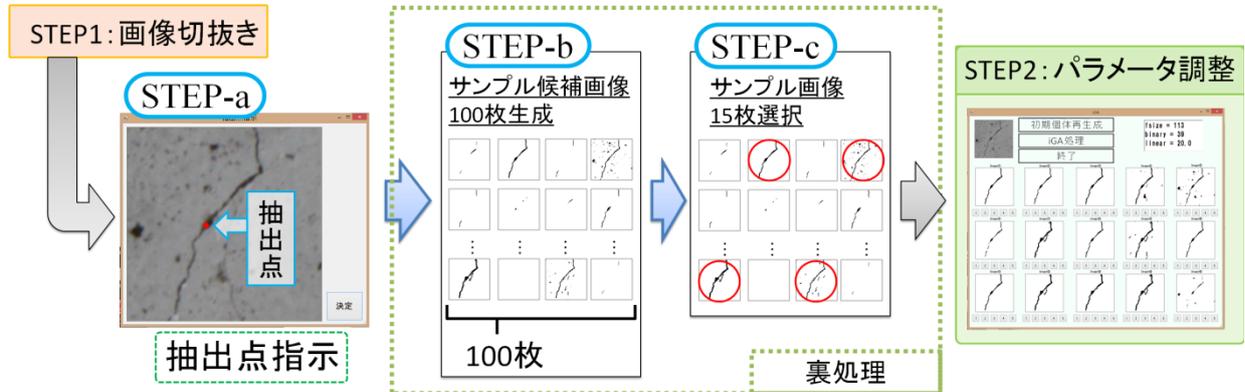


図-3 抽出点指示手法の流れ

(3) 個体

本ソフトにおいて、画像処理パラメータ調整で使用する個体は、1個体が20bitで構成される。1個体は、画像処理で使用するフィルタサイズ、二値化閾値、および線状度閾値の3つの画像処理パラメータより構成される。ここで図-2には、個体のコーディングを示す。また、表-1には、各画像処理パラメータの範囲を示す。

3. 抽出点指示手法

(1) 目的

抽出点指示手法は、本ソフトにおいて課題であった、画像処理パラメータ調整におけるユーザの負担軽減を目的として開発した。本指示手法は、ユーザがひび割れとして抽出したい箇所を視覚的に判断し、本ソフトへ抽出箇所として指示することにより、ユーザの期待する画像処理パラメータを効率良く導き出す。

(2) 抽出点指示手法の流れ

本指示手法は、図-1中のSTEP1とSTEP2の間で動作する。図-3には、本指示手法の流れを示す。以下では、各ステップについて解説する。なお、STEP-b および STEP-cは、ユーザが確認できない裏処理であり、ソフトウェア内部で行われる。

STEP-a: 本ステップでは、ユーザが、切抜き画像からひび割れとして抽出したい箇所を1箇所指示する。図-3に示すように、ユーザが指示したひび割れ箇所は画面上に赤点で表示される。

STEP-b: 本ステップでは、ランダムに100個の個体を生成し、それぞれの個体の持つ画像処理パラメータ値の情報をもとに、100枚のサンプル候補画像を生成する。ここで、個体の生成に上限を設定し100個とした理由は、サンプル候補画像の生成における画像処理に要する時間を必要以上に増加させないためである。

STEP-c: 本ステップでは、STEP-bにて生成したサンプル候補画像から、制約条件を満たす画像を15枚選択し、サンプル画像とする。ここで、制約条件とは、STEP-aにおいてユーザが指示した箇所をひび割れ部分として抽出できているかである。なお、サンプル画像が15枚揃わない場合は、制約条件を満足しないサンプル候補画像のうち最後に生成されたものから順に不足枚数分をサンプル画像として追加する。

4. 検証

(1) 検証方法

本研究では、本指示手法の有効性を検証する。本検証は、3人の被験者に、実際に本指示手法を実装した本ソフトを使用してコンクリート壁面画像からひび割れの抽出を行ってもらい、本指示手法を使用した場合と未使用の場合を比較した。被験者は、3枚の800(pixel)×800(pixel)のコンクリート壁面原画像、これらの原画像を回転させた画像、また反転させた画像の計9枚に対して、ひび割れの抽出を実施した。表-2には、本検証において使用した3枚のコンクリート壁面原画像の特徴を示す。本検証は、以下の観点によっ

て評価を行った。

a) 抽出精度

抽出精度の評価は、ノイズ率および欠損率によって求めた抽出精度評価値を用いて行う。ここで、ノイズや欠損の割合は、著者がペイントソフトを用いて作成した理想的なひび割れ抽出正解画像と被験者のひび割れ抽出結果画像との差異画素数によって求める。抽出精度評価値は、0.0 から 1.0 の範囲で求められ、1.0 に近いほど理想的な抽出結果であることを示す。式(1)および式(2)には、ノイズ率、欠損率、および抽出精度評価値の計算式を示す。

$$\text{ノイズ率} = \frac{n}{N} \times 100, \quad \text{欠損率} = \frac{m}{M} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{評価値} = 1.0 - \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{n}{N}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{m}{M}\right)^2} \quad (2)$$

ここで、式中の n は抽出結果画像のノイズ画素数である。 N は正解画像の背景画素数である。 m は抽出結果画像の欠損画素数である。さらに、 M は正解画像のひび割れ画素数である。

b) 調整時間・操作回数

調整時間とは、ひび割れ抽出作業において、画像処理パラメータの調整に要した時間である。操作回数とは、画像処理パラメータ調整時に、サンプル画像の再生成、または進化を行った回数である。

(2) 結果

図-4 から図-6 には、被験者 3 名が各画像に対して行ったひび割れ抽出について、本指示手法使用前と使用後に分けて、それぞれに対して、ひび割れ抽出精度評価値、画像処理パラメータ調整時間、操作回数の平均をまとめたグラフを示す。抽出精度の観点からの比較では、図-4 の結果より、本指示手法使用前と使用後で、抽出精度評価値は、ほぼ同等であることが分かる。続いて、調整時間の比較では、図-5 の結果より、本指示手法を使用することで、全ての被験者において、パラメータ調整時間の短縮を実現できたことが分かる。さらに、操作回数の比較では、図-6 の結果より、本指示手法を使用することで、全ての被験者において、大幅に操作回数の削減を実現できたことが分かる。

5. 終わりに

本研究では、ひび割れ抽出ソフトにおける、画像処理パラメータ調整の効率化を目的として、抽出点指示手法を提案し、本指示手法を実装したソフトを開発した。さらに、その有効性の検証を行った。

本指示手法の有効性検証結果として、本指示手法を

表-2 コンクリート壁面原画像の特徴

画像	ひび割れの幅	壁の汚れ具合	照明の色
画像a	広い	少ない	橙
画像b	細い	ふつう	グレー
画像c	かなり細い	少ない	白

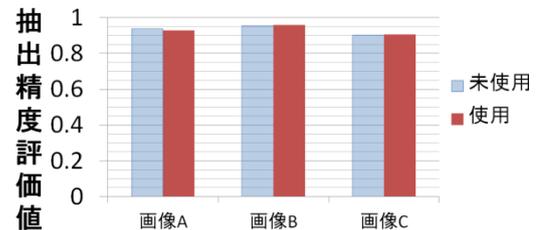


図-4 抽出精度評価値検証結果

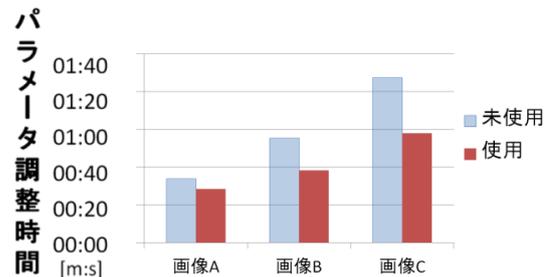


図-5 パラメータ調整時間検証結果



図-6 操作回数検証結果

使用することで、ひび割れ抽出精度を維持した上で、画像処理パラメータの調整時間の短縮および調整回数的大幅な削減を実現出来ることが分かった。このことから、本指示手法は、ひび割れ抽出ソフトに対して、有効性があると言える。

今後の課題として、本指示手法において、複数の箇所を抽出点として指示可能にすることが挙げられる。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 15K06180 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 河村 圭, 古賀通博, 松本潤児, 塩崎正人, 澤村修司：画像処理技術を用いたトンネル壁面画像展開図作成における結合精度向上手法, 土木学会論文集 F3, Vol.71, No. 2, pp.I_142-I_151, 2016.
- 2) 河村 圭, 村上慧季, 塩崎正人：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手法の研究, 土木学会論文集 F3, Vol.71, No. 2, pp.I_114-I_122, 2016.