

# 論文 タッチパネルを利用したデジタル画像からのひび割れ抽出作業の効率化

河村 圭\*1・吉野 孝亮\*2・塩崎 正人\*3

**要旨:** 本研究は、変状図作成におけるひび割れ抽出作業の効率化を目的として、コンクリート壁面をデジタルカメラで撮影した画像から、タッチパネル上で、ひび割れを抽出する手法を提案する。本手法を実装したソフトでは、ユーザは、画像処理パラメータ値を入力した後に、タッチパネルに表示された撮影画像中のひび割れ抽出領域を指でなぞることにより、ひび割れを半自動的に抽出する。なお、本ソフトの有効性は、ひび割れ抽出精度および作業時間の観点から検証した。

**キーワード:** コンクリート, 点検, ひび割れ, タッチパネル, 半自動化, 画像処理, 変状図

## 1. はじめに

現在のコンクリート施設の通常点検は、現場での目視による変状点検作業と点検後のオフィスでの点検成果物の作成作業から構成される。現場での点検作業は、野帳と呼ばれる施設の展開図に手書きで、ひび割れなどの変状を記録する。この記録作業は、近接目視調査を主体として実施されていることから、上向き苦渋作業となるばかりでなく、点検結果の人的誤差や、長時間の交通規制を余儀なくされる場合もある。このため、点検作業の自動化による業務の高速化および検査の定量化が強く期待されている。現場点検に続く、オフィスでの点検成果物の作成作業では、コンピュータ支援設計 (*Computer Aided Design*:以下 CAD と記述する)を利用した変状展開図の作成、変状写真台帳の作成、さらに、判定基準をもとに施設の健全性を診断する。特に、変状展開図の作成は、CAD を利用した手動での作業となることから効率化が期待されている。

これらを背景として、コンクリート壁面をデジタルカメラで撮影した画像から、ひび割れを抽出する研究<sup>1)2)</sup>が進められているが、完全な自動抽出は実現されていない状況にある。これは、撮影環境が現場ごとに異なり撮影条件が一定でないこと、さらに、コンクリート壁面の状況や変状の状態が多様多様であることから、自動抽出を困難としている。そこで本研究では、撮影画像を表示したタッチパネルを用いて、視覚的かつ直観的な操作により、ひび割れを半自動的に抽出する手法を開発した。

## 2. 提案手法

### 2.1 ひび割れ半自動抽出法

本研究では、ひび割れ抽出作業の効率化を目的とした、ひび割れの半自動抽出手法を考案した。本手法を実装し

たソフトによるひび割れ抽出作業の様子を図-1に示す。本図に示されるように、ユーザは、タッチパネル上に表示された処理対象画像のひび割れ領域をなぞる操作により、ひび割れの抽出を行う。ここで、図-2には、具体的な半自動抽出法を示す。本手法のひび割れ抽出画像処理は、2.3に記述した著者らが研究を行ったアルゴリズムおよび画像処理パラメータ範囲を利用する。以下には、図-2中の各ステップについて記述する。

STEP1(画像入力)では、ユーザは、ひび割れ抽出処理を実施する撮影画像を任意で選択する。

STEP2(パラメータ調整)では、撮影画像の一部を切抜き、切抜き画像を用いて、2.3に記述した画像処理アルゴリズムのパラメータ調整を試行錯誤により行う。パラメータ調整において切抜き画像を対象とする理由は、パラメータの値を変更するたびに、撮影画像全体を対象として画像処理を実施した場合には、ユーザの処理待機時間が長くなることから、円滑に調整を実施するための工夫である。なお、パラメータ調整終了後には、本ソフトのバックグラウンドで、本ステップで調整された画像処理パラメータ値を用いて撮影画像全体の処理を行う。このバックグラウンド処理により、次のSTEP3の作業の効率化が期待できる。ただし、本画像全体処理結果は、ユーザには提示しない。

STEP3(ひび割れ抽出)では、指先もしくはマウスで、ひび割れ部分をなぞることにより、処理対象領域を指定する。この指先で指定された処理対象領域に対してのみ、STEP2にて事前処理した処理画像を、ユーザに提示する。なお、本操作は、繰り返しの実施が可能である。このように、指定領域に対して逐次的に2.3に示される画像処理を実施するのではなく、STEP2において事前一括処理を実施しておくことにより、ユーザは円滑に、なぞる操

\*1 山口大学大学院 理工学研究科環境共生系専攻 准教授 博士(工学) (正会員)

\*2 山口大学大学院 理工学研究科環境共生系専攻

\*3 三井住友建設(株) 技術研究開発本部 技術開発センター (正会員)

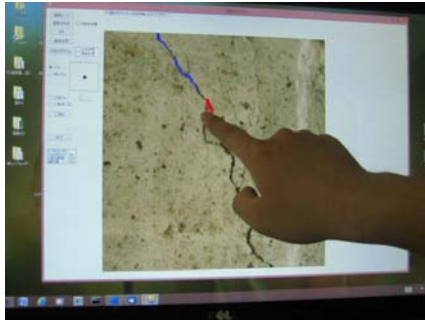


図-1 タッチパネルを利用したひび割れ抽出作業

作による、ひび割れ抽出を繰り返すことが可能となる。

STEP4(ノイズ除去)では、指先もしくはマウスで、ひび割れ以外のノイズを除去したい部分をなぞる。この指先で指定された処理対象領域に対して、ノイズを除去する。なお、消しゴム機能を使用する必要がない場合は、STEP5に移行する。

STEP5(終了判定)では、ひび割れ抽出を終了する。もしくは、ひび割れ抽出を続行する場合は、STEP3に戻る。または、パラメータを再調整する場合は、STEP2へ戻る。本ステップにおいて、本作業の最終成果物であるひび割れ抽出画像およびひび割れ変状図が生成される。なお、撮影画像が複数枚ある場合は、STEP1へ戻り、次の画像の抽出作業へ移行する。

## 2.2 タッチパネルの活用

本研究では、図-2に示すひび割れ抽出作業における人間と計算機のインタフェースとして、直観的な作業を可能とするタッチパネルを活用した。なお、本ソフトでは、指での操作の代わりとして、マウスを用いてひび割れ抽出作業を行うことも可能である。

## 2.3 ひび割れ抽出アルゴリズム

本節では、本研究で利用したひび割れ抽出アルゴリズム<sup>3)</sup>について記述する。ここで、図-3には、本アルゴリズムのフローを示す。本図に示されるように、本アルゴリズムは、大きく3つの処理工程から構成される。初めに、画像入力部により、本画像処理にて利用する色成分を選択する。本研究では、カラー画像のR,G,B成分のうち、中間波長であるG成分を用いた。次のひび割れ強調部では、シェーディング補正処理を用いて、ひび割れ候補箇所(画素値を0とする)と、それ以外の箇所(画素値を255とする)に分類する。最後のノイズ除去部では、ひび割れ候補から、ひび割れ以外のノイズ除去を行う。以上のアルゴリズムにおいて、ユーザが画像処理パラメータを調整する処理は、図-3中の、STEP3の良品推定(*fsize*)、STEP5の2値化(*binary*)、およびSTEP7の線状度判定(*linear*)の3つである。ここで、表-1には、各パラメータの範囲を示す。なお、良品推定の*fsize*は、メディアンフィルタの1辺のサイズであり、奇数の値をとる。2値化の*binary*

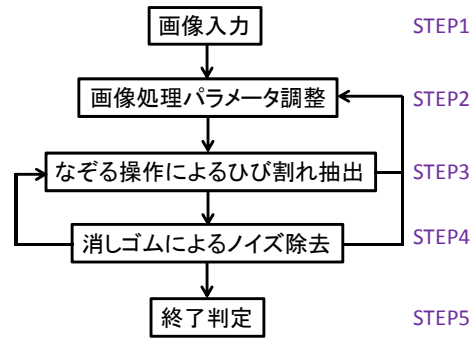


図-2 画像1枚に対するひび割れ抽出作業フロー

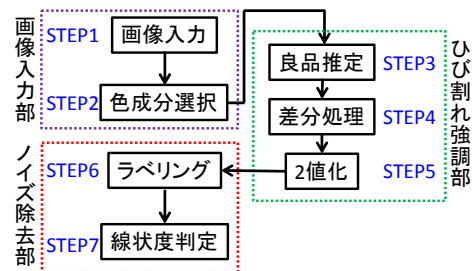


図-3 ひび割れ抽出アルゴリズム

表-1 パラメータ範囲

パラメータ	範囲
<i>fsize</i>	$1 \leq fsize \leq 133$
<i>binary</i>	$0 \leq binary \leq 255$
<i>linear</i>	$1.0 \leq linear \leq 32.5$

は、2値化の閾値であり、整数の値をとる。線状度とは、対象領域の線形性を定量化する手法であり、粒状ではなく、線状になっている(ひび割れのように細く長い形状)領域ほど、値が高くなる。線状度判定の*linear*は、この判定の閾値である。

## 3. 提案手法を実装したソフト開発

### 3.1 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。また、表-2には、本ソフトの開発および実験に利用した計算機の仕様を示す。

### 3.2 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。

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部にある画像ロード「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

表-2 計算機の仕様

項目	仕様
プロセッサ	Intel(R) Core(TM)i7-3770K CPU @ 3.50GHz
実装メモリ	32.0GB
OS	Windows7 Professional 64bit



図-4 画像処理パラメータ調整領域の選択

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。なお、本ソフトでは、画像の拡大・縮小の機能は未実装である。

STEP2 (パラメータ値入力部) : ユーザは、図-4中の画面左上部の「画像切抜き」をチェックし、画面中央に表示された処理対象画像から、切抜き箇所の中心をクリックする。クリック後には、切抜き箇所が処理対象画像中に赤枠で表示される。続いて、本ソフトの画面左上部の「パラメータ調整」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、切抜き画像が表示され、ユーザは、図-5の赤枠内にパラメータの値を入力し「処理」ボタンを押すと、入力値を利用して画像処理を行った結果が図-5中の右画面に表示される。このように、ユーザは、本画面を利用し、試行錯誤にパラメータの調整を実施する。最終的に画像全体の処置に利用する値の設定は、図-4の画面左上部「パラメータセット」ボタンを押すことより設定され、本ソフトにより本設定値に従ってバックグラウンドで自動的に画像全体が処理される。ここで、図-6には、ユーザが入力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の例を示す。なお、本画像は、本ソフトの画面上には表示されず、ユーザには提示されない。なお、本パラメータ調整手法は試行錯誤であるため、その調整時間は、ひび割れ発生状況や、画像処理に関するユーザの知識の有無に大きく影響されることから、今後、調整機能の改良が必要である。

STEP3 (ひび割れ抽出部) : ユーザは、タッチパネル上

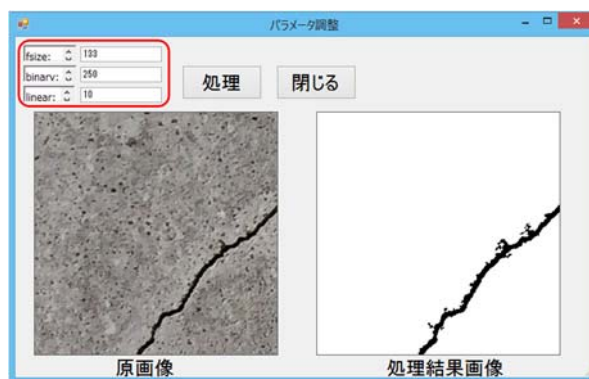


図-5 試行錯誤による画像処理パラメータ調整

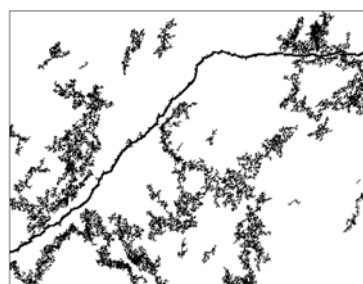


図-6 バックグラウンド処理画像

に表示された処理対象画像に対して、ひび割れの抽出領域を指でなぞることにより、ひび割れ抽出を行う。本操作は、マウスを利用して同様の処理が可能である。ここで図-7には、なぞる操作による抽出領域選択画面を示す。ユーザがタッチパネル上でなぞった個所が赤色で表示され、ひび割れ抽出の対象領域とされる。なお、ユーザがタッチパネルをなぞる際の抽出領域の幅は、ペンサイズ選択として、1pixelから51pixel(5pixel刻み)まで事前に設定可能である。ユーザの指先による抽出領域指定後には、選択領域に対して、自動的に、ひび割れ抽出を行った結果が表示される(図-8)。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に示される事前に画像処理を行った結果のひび割れ候補部(黒色の箇所)を、図-8に示されるように青色により抽出結果として提示する。すなわち、ユーザによって指定された領域のみ、画像処理結果を表示する。当然として、ユーザが設定したパラメータ値によっては、表示画面には、ひび割れが表示されない場合や、ひび割れのみではなく、ノイズも表示される場合がある。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。

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-8の画面左中央部の「消しゴム」ボタンを選択し、ノイズを消す処理を実施する。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。なお、

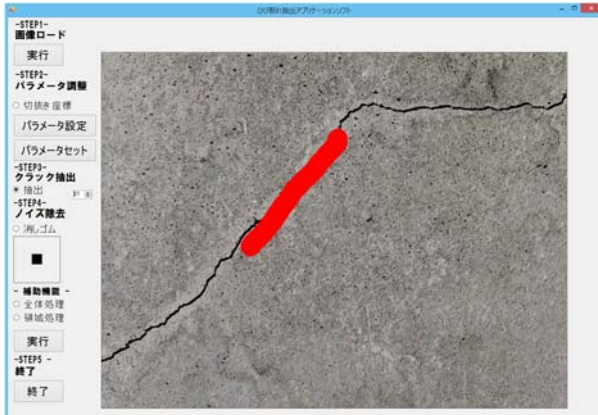


図-7 なぞる操作による抽出範囲選択画面

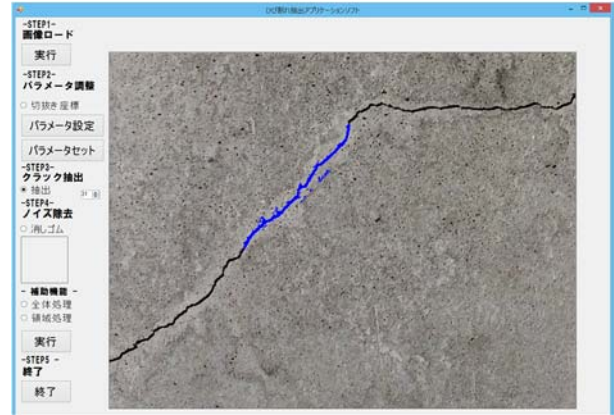
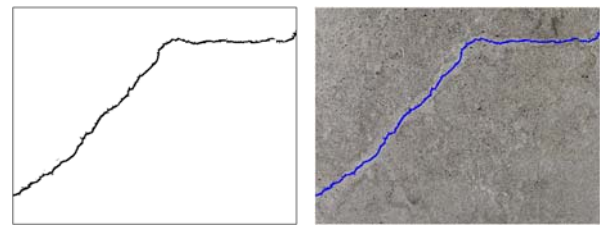


図-8 なぞる操作による抽出後の画面

本ソフトでは、未実装であるが、ひび割れに欠損がある場合、すなわち、抽出したいひび割れが抽出されていない場合、手動により描くことができる機能の追加が実用化の際には必要である。

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-8 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。さらに、別の撮影画像に対して作業を行う場合は、「終了」ボタンを押し、STEP1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(図-9(a))。また、ひび割れ抽出画像は、処理対象画像上にひび割れを青で描いた画像である(図-9(b))。



(a) ひび割れ変状図 (b) ひび割れ抽出画像

図-9 本ソフトによる結果画像

表-3 原画像の特徴

#	解像度	ひび割れ	
	横(pixel) × 縦(pixel)	分解能(mm/pixel)	最大ひび割れ幅(mm)
A	800 × 800	0.2	0.4
B		0.06	0.4
C		0.2	0.2
D		0.2	0.4

本表に示されるように、原画像のサイズは、解像度800(pixel)×800(pixel)である。実際のコンクリート表面でのサイズは、分解能0.2(mm/pixel)および分解能0.06(mm/pixel)で、それぞれ160(mm)×160(mm)また48(mm)×48(mm)である。工場内での外観検査装置を設計する際には、一般的に最小検出サイズに対して、最小画素は2画素角から4画素角を考える<sup>4)</sup>。本実験の原画像では、分解能に対して最大ひび割れ幅は1倍から6倍程度である。原画像は、フラッシュなど照明装置は利用せず、三脚を用いて一般的な一眼レフデジタルカメラで撮影した。図-10の原画像(a)および(b)は、トンネル坑口近くの壁面であり、自然光の影響が大きい条件下で撮影を行った。一方で、原画像(c)および(d)は、トンネル中央部のコンクリート壁面であり、トンネル照明の影響が大きい条件下で撮影を行った。

続いて、教師画像とは、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。ここで、図-11には、教師画像を示す。本実験では、著者らがWindowsアクセサリのペイントを用いて、原画像のひび割れ部分のみを青

## 4. 実験

### 4.1 実験概要

本実験では、本研究にて開発したソフトの有効性を、ひび割れ抽出精度および時間の観点から検証した。具体的には、ひび割れを抽出する際に、Windowsアクセサリのペイントを利用した場合と本ソフトを利用した場合とを比較した。なお、本実験では、図-2に示される作業フロー中のSTEP2「画像処理パラメータ調整」では、パラメータ値を、それぞれ $fsize = 129$ 、 $binary = 250$ 、 $linear = 6.0$ と固定した。これらは、著者らの試行錯誤による調整により、複数の画像に対して有効な汎用的な値である。

### 4.2 検証用画像および抽出結果の評価法

#### (1) 検証用画像(原画像と教師画像)

原画像とは、コンクリート表面を撮影したデジタル画像である。本実験では、既存のトンネルコンクリート壁面を撮影した。ここで、表-3および図-10には、それぞれ、本実験で利用する原画像の特徴また画像を示す。



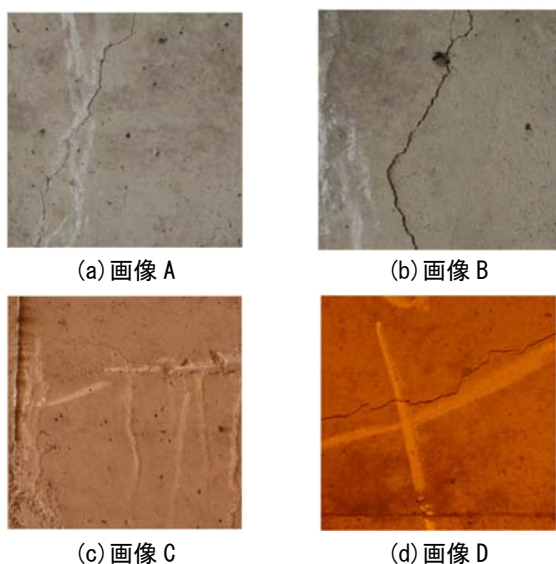


図-10 原画像

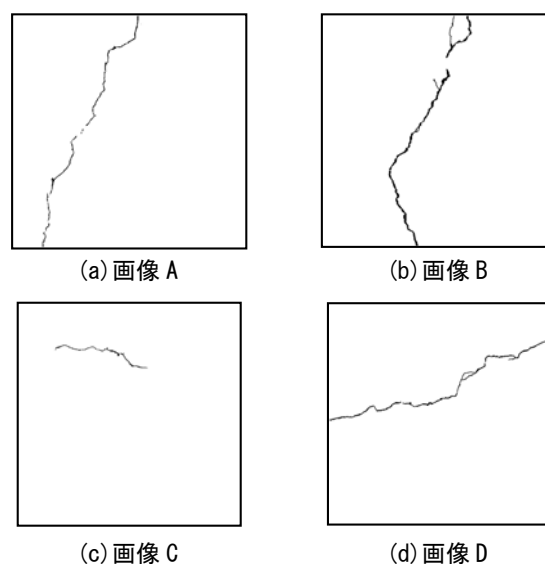


図-11 教師画像

(Red:0, Green:0, Blue:255)で塗り、さらに、Blue成分の画素値が255の画素を、ひび割れとして抽出する2値化処理を行うことで作成した。本教師画像の作成では、ひび割れ以外の箇所がノイズとして抽出されることはなく、ノイズ除去の処理は実施していない。なお、ひび割れ部分を青で塗る理由は、撮影画像のひび割れの色と区別するためであり、黒色または灰色と区別できる色であれば、どの色を選択しても良い。

## (2) 抽出結果の評価法

本実験では、教師画像の作成時間と、本ソフトによるひび割れ抽出作業時間を比較する。なお、本ソフトでは、消しゴム機能の利用を許容しており、このノイズ除去時間も、作業時間に含む。ただし、本実験では、画像処理パラメータ調整時間は、ひび割れ抽出作業時間に含んでいない。また、この教師画像を精度の高いひび割れ抽出画像として、本ソフトで抽出されたひび割れ画像と比較することにより、本ソフトの抽出精度を検証する。なお、抽出精度の検証では、式(1)また式(2)より求まる欠損の割合( $f_1$ )、ノイズの割合( $f_2$ )、および評価値( $f$ )を利用した。

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

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

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。MまたNは、それぞれ、教師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、 $m$ は、教師画像のひび割れ領域に対して、本ソフトではひび割れとして抽出されなかった画素の画素数である。すなわち、欠損画素数である。 $n$ は、教師画像のひび割れ以外の領域に対して、本ソフトではひび割れとして抽出された画素の画素数である。すなわち、ノイズ画素数である。このよ

うに $f_1$ 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、ノイズ率および欠損率と定義する。

## 4.3 結果

図-12には、本ソフトを用いた処理結果画像を示す。本結果と図-11に示される教師画像を比較すると、本ソフトを用いた処理結果画像のひび割れの形状は、教師画像と同様であるが、やや太めに抽出されている。表-3に示される撮影時の分解能の観点から抽出結果を見ると、画像Cの結果のように、分解能に対して最大ひび割れ幅が1倍程度の撮影画像であっても、ひび割れが抽出できている。続いて、表-4には、ノイズ率、欠損率、および評価値を示す。また、表-5には、教師画像に対する処理結果画像のノイズおよび欠損の画素数を示す。表-4の評価値を見ると、すべての結果が同様の値となっていることから、本ソフトは、すべての原画像に対して同様のひび割れ抽出が実施できていると言える。ノイズ率と欠損率の傾向を見ると、欠損率の結果は、すべての処理画像において、ノイズ率よりも大きい値であることから、評価値の低下は、欠損の発生が大きく影響していることがわかる。ただし、表-5に示されるように、画素数では、ノイズ発生数の方が多い。ノイズ率の結果は、ひび割れ全体が太めに抽出されたことが原因である。欠損率の結果は、原画像において、細いひび割れ個所が明瞭に撮影されていないことから、この箇所が、本ソフトでは、ひび割れとして抽出されなかったことが原因である。

さらに、表-6には、ひび割れ抽出に要した作業時間を示す。この結果を見ると、すべての原画像の処理において、本ソフトの利用により大幅に作業時間が短縮されている。本実験はコンクリート壁面の限定された小領域に対する作業時間の比較であることから、今後、トンネ

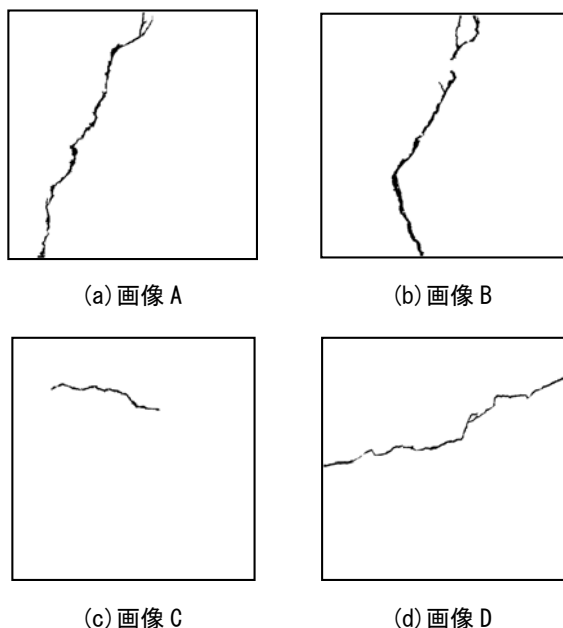


図-12 処理結果画像

ル全体に対する作業での比較が必要となる。なお、現在実施されている CAD を利用した変状図作成と同様に、トンネル全体に対する作業時間は、ひび割れ発生量に依存するが、本手法のように撮影画像を利用する場合は、撮影時の画素分解能の設定が、撮影画像枚数の増減に影響し、作業時間に大きく影響することが考えられる。

## 5. おわりに

本論文では、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では、手書きによるひび割れ抽出作業に要する時間に対して、80%以上の短縮を可能とした。また、本実験の範囲では、手書きでひび割れを抽出した場合と、ほぼ同等の抽出精度を得た。

今後の課題は、本ソフトの画像処理パラメータ調整部において、ユーザの試行錯誤による調整負担を軽減することである。また、本実験範囲では、ひび割れの形状を精度よく抽出することができ、工場内で利用する外観検査装置の画素分解能の設定基準よりも、緩和した基準において、ひび割れが抽出できるケースが見られた。このように緩和した基準での撮影が可能である場合は、1台のカメラで撮影できるコンクリート壁面の領域は大きくなることから、本ソフトによる処理作業時間を、さらに短縮できることが期待される。しかしながら、ひび割れの検出能は、撮影環境、撮影条件、画像処理に依存する。コンクリート施設では、撮影が屋外になること、また、コンクリート表面の状態また変状の形状や色は多様であ

表-4 ノイズ率、欠損率、および評価値

評価項目	画像A	画像B	画像C	画像D
ノイズ率 (%)	0.8	0.7	0.2	0.3
欠損率 (%)	5.7	6.0	10.9	14.8
評価値	0.9	0.9	0.9	0.9

表-5 処理結果画像のノイズおよび欠損の画素数

評価項目	画像A	画像B
ノイズの画素数(背景総画素数)	2531 (637469)	5575 (634425)
欠損の画素数(ひび割れ総画素数)	145 (5223)	336 (4597)
評価項目	画像C	画像D
ノイズの画素数(背景総画素数)	974 (639026)	3565 (636435)
欠損の画素数(ひび割れ総画素数)	107 (1478)	529 (1985)

表-6 ひび割れ抽出作業時間

評価項目	画像A		画像B	
	手書き	本ソフト	手書き	本ソフト
時間	17分	50秒	11分	50秒
評価項目	画像C		画像D	
	手書き	本ソフト	手書き	本ソフト
時間	13分	2分	8分40秒	50秒

ることから、多様な条件での撮影を行い、本手法の検出能また汎用性を十分に検証し、撮影条件である画素分解能を決定する必要がある。さらに、実用化を目指し、画像サイズが大きい画像また大量の画像枚数に対応する処理手法の検討が必要である。

**謝辞:** 本研究を行うにあたり、ソフト開発に関する技術支援をして頂いた有限会社テクノフラッシュの車田茂美氏、菊地典明氏、本多健治氏に感謝の意を表します。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(シーズ顕在化タイプ)平成25年度採択課題 AS2511142H の一課題として実施したものである。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 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 F, Vol.66, No.3, pp.459-470, 2010.9
- 2) 西川貴文, 吉田純司, 杉山俊幸, 齊藤成彦, 藤野陽三: 木構造状フィルタを用いたコンクリートのクラック抽出のためのロバストな画像処理システム, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.4, pp.599-616, 2007.10
- 3) 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, 2014.3
- 4) 丸地三郎: マシンビジョン入門, 日本工業出版, p.143, 2009.3