

# モルフォロジーを用いたコンクリート画像からの亀裂抽出

## Crack Extraction from Concrete Image Using Mathematical Morphology

手島 裕詞†  
Yuji Teshima

原 徹‡  
Toru Hara

小堀 研一\*  
Ken-ichi Kobori

### 1. まえがき

コンクリートは加工が容易で耐久性も高いため、高度経済成長期にコンクリート建造物が日本各地で建設されてきた。その結果、コンクリート建造物は、今日の生活で必要不可欠なものとなっている。しかし、耐久性に優れているとはいえ、経年劣化に伴い、ひび割れや点状の窪みが生じるため、補修作業が必要になる。現在、コンクリート建造物に対する補修工事は、建造物の壁面に生じているクラックの状態や大きさを専門家が目視で認識し、それらの情報から作成した図面を用いて補修計画を作成し補修を行っている。そのため、クラックの状態を図面化するには、非常に手間を要する作業となる。しかし、コンクリート建造物をデジタルカメラ等で撮影し、得られた画像からコンクリート壁面のクラックを自動抽出することができれば、補修計画や補修工事に対して検査精度やコスト的な面で非常に有効である[1]。

そこで本研究では、非線形フィルタであるモルフォロジー演算を用いて、コンクリート建造物に特化したクラックの自動抽出手法を提案する。提案手法では、モルフォロジー演算を適用する際に使用する構造関数（以下、フィルタと呼ぶ）を複数用いることにより、効率的に亀裂を抽出する。また、実験により提案手法の有効性を検証する。なお、亀裂抽出に用いる処理対象画像は、白黒濃淡画像とする。

### 2. モルフォロジー演算

モルフォロジー演算とは、ミンコフスキー和およびミンコフスキー差という二つの基本演算があり、それらを任意に組み合わせることで画像に適用することで様々な効果を得ることができる。また、フィルタを自由に設計できることが特徴であり、処理目的に応じて適切に設計できれば、従来の画像処理手法より良好な結果を得ることができる。本研究では、基本演算であるミンコフスキー和とミンコフスキー差をクラックの抽出に用いる。以下に、二つの基本演算を説明する。

ミンコフスキー和を  $\{F+G\}(x)$ 、ミンコフスキー差を  $\{F-G\}(x)$  とすると、 $\{F+G\}(x)$ 、 $\{F-G\}(x)$  はそれぞれ式(1)、(2)で表すことができる。

$$\{f+G\}(x) = \max_{\substack{x-u \in F \\ u \in G}} \{f(x-u) + g(u)\} \quad (1)$$

$$\{f-G\}(x) = \min_{u \in G} \{f(x-u) - g(u)\} \quad (2)$$

†静岡理科大学 理工学部 情報システム学科

‡フェニックスエンジニアリング株式会社

\*大阪工業大学 情報科学部 情報メディア学科

ここで、 $f$ は処理対象画像を表しており、 $g$ はフィルタを表している。また、 $F$ および $G$ はそれぞれ関数 $f$ と $g$ の定義域を意味している。また、フィルタが2値の場合のミンコフスキー和およびミンコフスキー差は、それぞれ $g$ の定義域における最大値、および最小値演算に対応する。提案手法では、2値のフィルタを使用している。

### 3. 提案手法

本研究では、モルフォロジー演算を適用して、コンクリート建造物のクラックを抽出する。その場合に、円形と4種類の有方向フィルタを用いて処理を行う。

以下に提案手法の処理概要を示す。

#### 3.1 提案手法の概要

提案手法では、図1に示す5種類の定義域を持つフィルタを使用する。まず前処理として図1(a)に示すフィルタを用いてノイズを除去するとともにシード画像を生成する。シード画像とは、明らかに亀裂と考えられる領域を抽出した画像である。次に、亀裂の方向を考慮して図1(b)~(e)のフィルタを選択し、モルフォロジー演算を用いて亀裂を抽出する。この結果をペイント画像とする。最後に、シード画像を基としてペイント画像を塗りつぶすことで、ノイズを抑えた亀裂抽出画像を求める。

また、提案手法では画像の黒い領域を亀裂として考え、白い領域をエフロレッセンス（白華）やコンクリート壁面に生じるノイズとして考える。

次に提案手法について詳しく述べる。

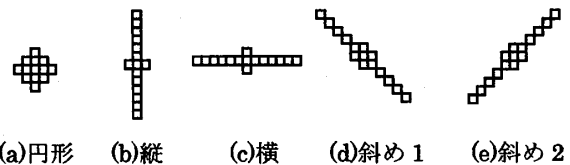


図1 フィルタの定義域

#### 3.2 亀裂抽出手法

提案手法では、前節で説明したように5種類のフィルタを用いて亀裂を抽出する。以下に提案手法について手順を説明する。

- (1)前処理として、図1(a)のフィルタを用いて、ミンコフスキー差およびミンコフスキー和を順に適用 (Opening) し、エフロレッセンス（白華）や周辺の画素の値と比較して輝度値が高い領域をノイズとしてある程度除去しておく。
- (2)方向性を持たない図1(a)のフィルタを用いて(1)の結果にミンコフスキー和を適用する。
- (3)(1)の結果と(2)の結果の画像について、それぞれの画素に対し、{(2)の結果} - {(1)の結果}を行い、差分画像を求める。ここで得られた差分画像は、差分値が大きいかほど深い亀裂を表していると考えられることができる。

(4)(3)で得られた差分画像の差分値についての平均を求め、それを用いて閾値を設定し、ノイズ部分と考えられる差分値の小さい領域を削除する。閾値を  $TH_{circle}$  とすると  $TH_{circle}$  は式(3)で表される。

$$TH_{circle} = M \times ave \quad (3)$$

$M$  は定数であり、 $ave$  は差分値の平均を表している。

(5)(4)で得られた画像について膨張収縮フィルタを適用したあと、それぞれの閉領域の外接長方形の大きさが閾値より小さい場合は、ノイズとして削除する。この画像をシード画像とする。

(7)ペイント画像を求めるために、まず図 1(b)~(e)4 種類の有方向フィルタを処理対象画像の画素単位で選択する。(3)で得られた差分画像について(4)の処理と同様に  $ave$  を用いて閾値  $TH_{select}$  を求める。 $TH_{select}$  より小さい差分値はノイズとして除去する。 $TH_{select}$  は式(4)で表される。

$$TH_{select} = T \times ave \quad (4)$$

ここで、 $T$  ( $M > T$ ) は定数である。フィルタの決定には 4 種類の有方向フィルタについて式(5)に示す評価値  $e-val$  を用いる。

$$e-val(x) = \sum_{u \in G} S \times h(x-u) - i(x-u) \quad (5)$$

ここで  $h$  は、 $TH_{select}$  を用いてノイズを除去された画像であり  $i$  は(1)の処理によって得られた結果画像である。ただし、 $i$  は  $TH_{select}$  より差分値が小さい位置の輝度値は 0 とする。4 種類の有方向フィルタについて  $e-val(x)$  を求め、最大の値になるフィルタの方向に亀裂が生じているものとする。また、 $S$  は定数  $N$  を用いて式(6)で表される。

$$S = \frac{N}{TH_{select}} \quad (6)$$

なお、 $e-val(x)$  の評価値によってフィルタを決定するが図 1(b)の評価値が最大になる場合、図 1(c)のフィルタを設定する。同様に、図 1(c)が最大値の場合は図 1(b)、図 1(d)が最大値の場合は図 1(e)、図 1(e)が最大値の場合は図 1(d)のフィルタを設定する。また 4 種類の  $e-val(x)$  の値が 0 より小さい場合は、フィルタは設定しないものとする。

(8)(7)で設定したフィルタを用いてミンコフスキー和を適用する。

(9)(8)の結果と(1)の結果の画像について、それぞれの画素に対して{(8)の結果} - {(1)の結果}を行い、差分画像を求める。

(10) (9)で得られた差分画像の差分値についての平均を求め、(4)と同様に閾値  $TH_p$  を設定する。 $TH_p$  は式(7)で表される。

$$TH_p = P \times ave_d \quad (7)$$

$P$  は定数であり、 $ave_d$  は(9)で得られた差分画像の差分値の平均を表している。 $TH_p$  より小さい差分値は、ノイズとして除去する。

(11) (10)で得られた画像について膨張収縮フィルタを適用したあと、それぞれの閉領域の外接長方形の大きさが閾値より小さい場合は、ノイズとして削除する。この画像をペイント画像とする。

(12)(5)で得られたシード画像を基として、(11)で得られたペイント画像に対して塗りつぶし処理を行う。

(12)(11)で得られた画像に細線化処理を施し、ひげの除去を行い亀裂の抽出結果とする。

#### 4. 実験と考察

提案手法を検証するためにいくつかの実験を行った。実験に用いた画像の解像度は  $512 \times 512$  の白黒濃淡画像である。また実験に用いた計算機は、Pentium M 2GHz, WindowsXP である。また全ての実験において定数  $M, T, N, P$  は、それぞれ 2.9, 0.75, 450, 1.5 と設定した。実験結果を図 3 に示す。

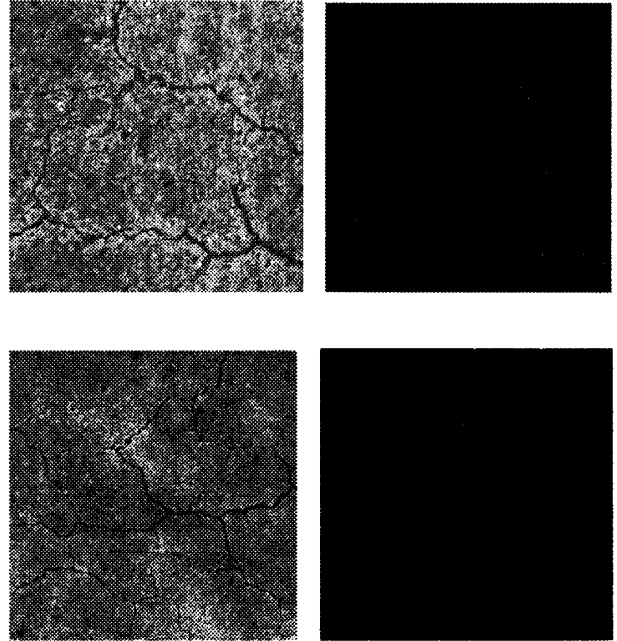


図 3 亀裂抽出結果

図 3 より、良好な結果が得られていることがわかる。また、シード画像とペイント画像を用いることにより、ノイズが軽減していると考えられる。なお、抽出時間は 2 秒であった。

#### 5. あとがき

本研究では、コンクリート建造物の修復作業を支援するために、デジタルカメラで撮影されたコンクリート壁面画像から亀裂を自動抽出する手法を提案した。提案手法では、円形のフィルタと 4 種類の有方向フィルタを用いることにより良好な結果が得られた。また、シード画像とペイント画像の 2 種類の画像から亀裂を求めることにより、ノイズを軽減させることができることを確認した。

今後の課題としては、閾値の設定方法について再検討することにより、亀裂の抽出精度を高めていきたいと考えている。また、実用化する場合、処理時間が重要であるため、GPU 計算などの高速化手法についても取り組む予定である。

#### [参考文献]

- [1] 阪田, 西尾, 原, 小堀: “コンクリート建造物の補修のためのクラック 3 次元可視化”, FIT2005 講演論文集, pp.169-170, (2005)