

J-001

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

Three dimensional visualization of cracks for the maintenance work of concrete structure

阪田 和郎† 西尾 孝治† 原 徹‡ 小堀 研一†
Kazuo Sakata Koji Nishio Toru Hara Ken-ich Kobori

1. まえがき

近年、コンクリート建造物の早期劣化が進んでいるためコンクリート建造物を早期補修する必要が生じている。また昨今、地震などの自然災害が多発していることも考えると急を要する問題である。従来、劣化したコンクリート建造物を補修するためにはコンクリート建造物の表面に生じているクラックを専門家が目視で認識し、図面に模写し、その図面をもとにコンクリート建造物の補修を行っている。しかし、これは人手を要する煩雑な作業である。

そこで、本研究では、補修作業の効率化を図ることを目的とし、画像処理フィルタを用いてデジタルカメラで撮影したコンクリート建造物の画像からクラックを自動抽出し、抽出したクラックに対応するコンクリート壁面に超音波を用いてクラックの奥行きを測定する。そして、自動抽出したクラックと測定した奥行きを用いることにより、クラックを3次元に可視化する。

2. クラックの自動抽出

2.1 抽出手順

デジタルカメラでコンクリート建造物を撮影し、その撮影画像からクラックを自動抽出する手順を図1に示す。

本研究では、コンクリート建造物にダムを選択し、そのダムにクラックが生じている箇所を撮影した画像をクラック画像として以降の処理を行う。クラック画像例を図2に示す。

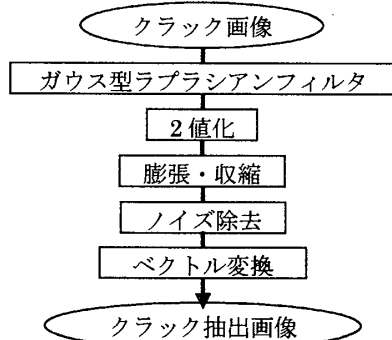


図1 抽出手順

2.2 ガウス型ラプラシアンフィルタ

クラック画像においてクラックと考えられる箇所を強調する。クラックは、クラック画像において黒色で表現されることが多い。つまり、隣接する背景画素と比較した場合、輝度値の差が大きい箇所がクラックと考えられる。

そこで、本研究ではガウス型ラプラシアンフィルタ^[1]を用いてクラック候補と考えられる輝度値の差が大きい箇所を強調する。また、輝度値の差をさらに大きくするために、

† 大阪工業大学

‡ 株式会社 藤満工務店

ガウス型ラプラシアンフィルタを用いる前処理としてクラック画像に対してコントラスト強調を行う。ガウス型ラプラシアンフィルタとは2次元ガウス分布関数の重みをつけて平滑化した後、ラプラシアンを用いて鮮鋭化するフィルタである。

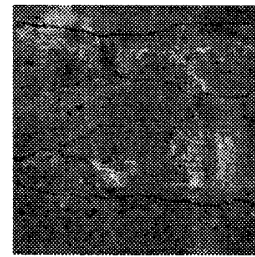


図2 クラック画像

2.3 2値化

2.2節のガウス型ラプラシアンフィルタを適用した処理画像に対して2値化を行う。低い閾値 T_l と高い閾値 T_h の2種類の閾値を用意し、それぞれの閾値を用いて2値化画像 A 、 B を生成する。高い閾値 T_h で2値化した画像、つまり輝度値の差が非常に大きい箇所のみが残っている画像をシードとし、低い閾値 T_l で2値化した画像を塗りつぶす候補範囲として、新しい2値化画像 C を作成する。 T_l で2値化した画像 A 、 T_h で2値化した画像 B 、結果の2値化画像 C をそれぞれ図3(a), (b), (c)に示す。

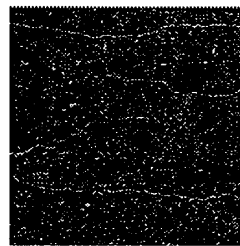
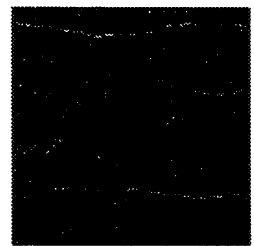
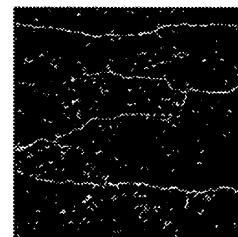
(a) T_l で2値化した画像 A (b) T_h で2値化した画像 B (c) 2値化画像 C

図3 2値化

2.4 膨張・収縮

クラック画像では1本のクラックと認識できるが、2値化後の処理画像では途切れているクラック候補が存在する。これは、1本のクラックであってもクラックが一定の輝度値の差を持つとは限らないため生じると考えられる。

そこで、途切れたクラック候補を連結させるために膨張処理と収縮処理を行う。ここでは、デジタルカメラで撮影した画像のサイズや視点距離を考慮して、専門家が連結させたいと考えているクラックの長さに対応したピクセル分の膨張処理と収縮処理を適用する。

2.5 ノイズ除去

ここまでの処理によって抽出された輝度値の差が大きい箇所がすべてクラックであるとは限らない。なぜならノイズである可能性があるからである。本研究では、輝度値の差は大きい、クラックとは考えにくい箇所をノイズとして除去する。

クラックとノイズの異なった特徴として、長さや形がある。まず、クラック候補のうち、画像に対してある一定以上の長さを持つものがクラックであると考え。そこで、クラック候補を囲むバウンディングボックスを作成し、バウンディングボックスの周囲長の長さを用いてノイズかどうか判定する。この際、画像中のすべてのクラック候補のバウンディングボックスの周囲長の平均の長さ L_{ave} を求め、 L_{ave} より短い周囲長を持つものはノイズである可能性が高いため、ノイズとして除去する。また、画像に対してある長さ L_i よりも長い周囲長を持つものは、クラックである可能性が高いためクラックとする。ここで判定したクラック画像を図4に示す。

次に、クラック候補のうち細長い形をしているものがクラックであると考え。そこで、クラック候補のうち $L_{ave} \leq L \leq L_i$ となる周囲長の長さ L を持つものについては、クラック候補の周囲長ではなくクラックの形を考慮することによって、ノイズであるかどうかの判定を行う。ここでは、多変量解析^[2]を用いてクラック候補の形の判定を行う。画像の持つ x, y 軸に対してそれぞれのクラック候補に多変量解析を行い、求めた2つの固有値 α, β において偏りが存在する場合はクラックとする。その結果のクラック画像を図5に示す。

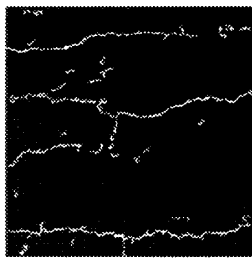


図4 周囲長を対象

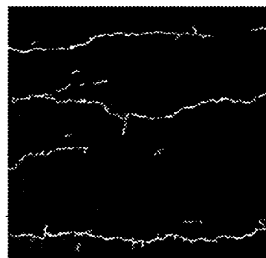


図5 周囲長と形を対象

2.6 ベクトル変換

ここまでの処理で抽出したクラックはラスタデータのため、データ量が多い。データ量が多い状態でクラックを3次元可視化すると処理コストが大きくなる。そこで、処理コストを軽減するためにベクトル変換を行う。ベクトル変換によって拡大や縮小、回転など幾何変換を容易に行

える。先にベクトル変換の前処理として、細線化処理を行ってクラックの線幅を1にする。そして、ベクトル変換を行う。本研究では、Hilditchの細線化アルゴリズム^[3]を適用した。Hilditchの細線化アルゴリズムとは、2値画像において、白画素で構成される図形の境界を白画素から背景となる黒画素に逐次変換することによって8連結で線幅1の線図形を得るアルゴリズムである。

3. 3次元可視化

劣化したコンクリートを認識するためには、従来、専門家がクラックを目視で認識し、図面に模写していた。そして、クラックの奥行きは数値のみで表現されていた。しかし、数値だけではクラックの奥行きを視覚的に認識できない。そこで、クラックの奥行きを3次元可視化を行う。

2章で抽出したクラックに対応する奥行きを、超音波でクラックに対応するコンクリート壁面から測定し、その奥行きをクラックデータに付加することによりクラックを3次元可視化する。クラックを3次元可視化した画像を図6に示す。ここでは、奥行きに応じて色を変化させることにより視覚的に奥行きを認識しやすくしている。また、3次元可視化を行うことにより、本来は観察できないような視点からクラックを評価できる利点もある。

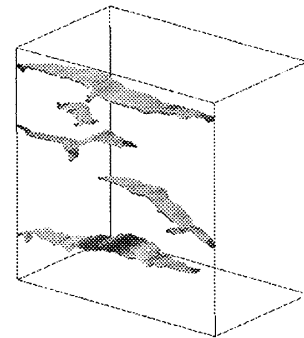


図6 3次元可視化

4. まとめ

本研究では、撮影画像からクラックを自動抽出することで効率良く3次元のクラック画像を生成する手法を提案した。クラックの3次元可視化を行うことによって、図面では把握できないクラックの奥行きを視覚的に把握できるようにした。これにより、作業コスト軽減、検査精度の向上が図られ、コンクリート建造物の補修を効率良く行うことができる。

今後の課題としては、撮影画像からクラックを抽出する精度をより向上させることや3次元可視化に有効な機能の追加があげられる。

参考文献

- 1) 土屋 裕：“画像処理”，コロナ社，pp. 73-74(1990)
- 2) 竹林 彰通：“統計”，共立出版株式会社，pp. 46-63(1997)
- 3) 高木 幹雄，下田 陽介：“新説 画像解析ハンドブック”，東京大学出版会，pp. 578(2004)