

コンクリートクラックの特徴量把握のための 木構造状フィルタを用いた画像処理システムの構築とその適用

東京大学大学院 フェロー ○藤野 陽三
山梨大学 正会員 吉田 純司

東京大学大学院 学生員 西川 貴文
山梨大学 フェロー 杉山 俊幸

1. はじめに

コンクリートを用いた構造において、クラックは、耐荷力や耐久性の低下、水密性や防水性の低下など、構造物の安全性や機能性に悪影響を及ぼす可能性を有する。そのため、発生、進展するクラックの幅、長さ、方向などの特徴量を定量的に把握することが重要である。しかしながら、従来の調査・診断においては、検査員による目視と打音検査が主流となっており、これらの方法では客観的かつ定量的で再現性のある評価が困難である。この現況に対し、クラックの計測・検出を目的とした画像診断手法について様々な研究が行われているが、それらの手法は、限定される適用範囲や、要する労力・時間の面で課題が残されており、実フィールドにおける調査・診断には適用し難い。

本研究では、様々な条件下で撮影されたコンクリート構造の表面の画像を対象とし、まず、照明条件の変化や汚れなどのノイズに左右されずにクラックを抽出する頑健な木構造状の画像フィルタを構築する。次いで、抽出結果をもとに、クラックの代表的な特徴量である幅と方向を精度良く同定する手法を構築する。

2. クラック抽出のためのフィルタの構築

(1) 木構造状画像フィルタ生成システム

これまでに提案されているコンクリートクラックを対象とした画像診断手法は、一般に、処理対象が限定的であることや、処理手法の設計に莫大な時間を要するなどの問題点が残っている。本研究では、それらを改善するため、図-1 に示すような木構造状に配置した画像フィルタの適切な組み合わせを遺伝的プログラミング(以下、GP)によって探索するシステム(以下、木構造状画像フィルタ生成システム)を応用した。特に、画像撮影時の照明レベルの違いや、コンクリート表面に付着する汚れや型枠の跡などのノイズに対し、頑健にクラックを抽出するフィルタの生成を目的とした。

(2) 複合画像フィルタ探索のための教師画像

GPにおいて探索される画像フィルタの評価に用いる教師画像は、頑健なフィルタを構築するため、対象としたコンクリート表面の画像(以下、対象画像)からノイズが多くクラックの識別が困難な箇所などを複数

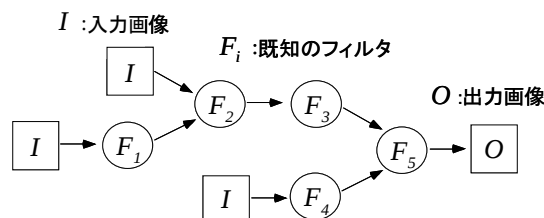
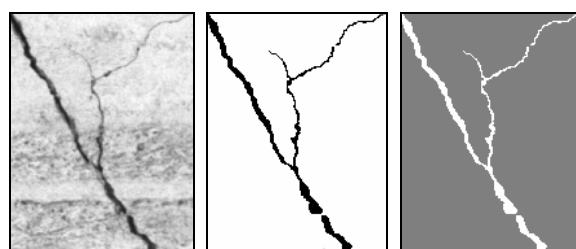


図-1 GPを用いて生成される木構造状の画像フィルタ



(a) 原画像 1 (b) 目標画像 1 (c) 重み画像 1

図-2 複合画像フィルタ探索のための教師画像の例

枚抽出したものとした。一例として、図-2 (a)に示す原画像に対応する目標画像および重み画像を、図-2 (b)および(c)に示す。木構造状画像フィルタ生成システムでは、入力画像 I に対する処理結果 O が、目標画像を精度よく再現するフィルタの組み合わせを探索する。

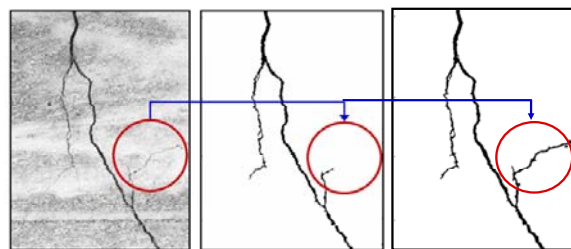
(3) 複合画像フィルタの探索方法の考案

本研究では、複数枚の原画像を木構造状画像フィルタ生成システムに入力するため、GPによるフィルタの探索計算の効率化と、より良好な探索解を得ることを目的に、二段階で探索する方法を考案した。

探索の第一段階では計算効率の観点から、サイズの大きい原画像を除外して探索を行う。基準となる原画像(以下、基準原画像)に加え、ランダムに3枚の原画像を選択してフィルタを探索し、最良個体を保持する。この探索では、サイズが比較的小さい原画像3枚を常に対象としていることから、計算時間は1~2日程度である。第二段階では、第一段階の最良個体のみを集めた集団(約50個体)に対し、すべての原画像を入力画像として探索する操作を複数回実施し、そのうちの最も優れた個体を「最良の複合画像フィルタ」とする。第二段階の探索では、個体数が約50と少ないため世代数を第一段階の1/10程度に低減でき、すべての原

キーワード：コンクリート構造、クラック、幅、角度、画像処理、遺伝的プログラミング

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院社会基盤学専攻 TEL03-5841-6099



(a) 対象画像 10 (b) 消失部 (c) 再抽出結果
図-3 重ね合わせ処理とノイズ除去によって消失したクラックの先端部の再抽出

画像を一度に用いても計算時間は1日程度である。

(4) 重ね合わせ処理によるフィルタの適用方法の考案

探索によって得られた最良のフィルタを対象画像へ適用した結果、いずれの対象画像についても、汚れなどを抑え、クラックのみを比較的良く抽出することができたものの、完全には抽出されていない箇所がいくつか見られた。そこで、対象画像にフィルタを適用した結果と、対象画像の解像度を1/4に低下させた画像にフィルタを適用した結果を重ね合わせる手法を考案した。この重ね合わせ処理を用いてフィルタを適用することにより、微細なクラックが分断されて抽出される現象を抑制することができる。

3. 不明瞭なクラックの再抽出手法の考案

前述の変換処理によって得られた画像において、僅かながら残留するノイズの除去処理を行うと、図-3(b)に示すように、ノイズとともに微細なクラックが消失する場面が見られた。そこで、それら消失した不明瞭なクラックを、2節で得られた最良のフィルタを用いて再抽出する手法を考案した。本手法では、クラックの消失箇所のうち、基準原画像のサイズと等しい大きさの領域に対し、最良のフィルタを局所的に繰り返し適用することで、図-3(c)に示すように、消失箇所を自動的に再抽出することを可能としている。

以上の画像処理によって、コンクリート表面の画像から、クラックのみを非常に良好に抽出することが可能となる。図-4に、本手法によってクラックを抽出した画像の一例を示す。

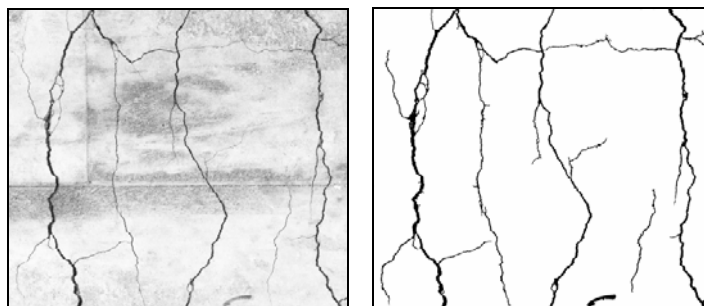
4. クラックの特徴量の把握

(1) クラックの方向の算出

本研究では、クラックの方向を「クラックの中心線の方角」と定義し、抽出したクラックを細線化して得られる点列を Spline 関数によって補間し、その近似曲線の単位接線ベクトルを求めることで方向を算出した。

(2) クラックの幅の算出

クラックの幅方向の両端縁は、幅方向の階調値の変化率が最も大きくなる位置であると考えられる。そこ



(a) 対象画像 13 (b) クラック抽出の結果
図-4 クラック抽出の対象としたコンクリート表面の画像とその抽出結果の例

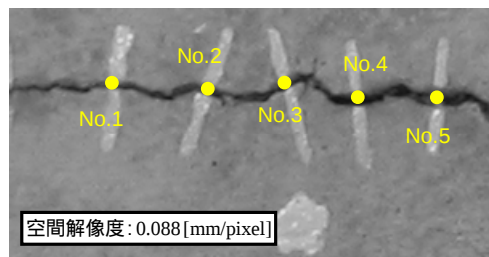


図-5 精度検証のために用いた評価画像の例(●: クラックの幅および接線方向の計測点)

表-1 評価画像において算出した幅と実測値との比較の例

計測点	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
A 計算値 [mm]	0.32	0.50	0.76	1.03	0.87
B 実測値 [mm]	0.35	0.45	0.75	1.05	0.90
A - B [mm]	-0.03	+0.05	+0.01	-0.02	-0.03

で、本研究では、クラックの幅方向における階調値変化を近似する曲線を定め、その微分値から両端縁を特定し、それらの画像座標から幅の算出を行った。

図-5に示すような算出精度の検証に用いた評価画像において、クラックの幅を算出した結果の例を表-1に示す。本手法による算出結果と目視による測定結果の差が、いずれの計測点においても100分の1mm単位で同程度の値を示しており、本研究で構築したシステムの精度とその有用性が認められることがわかる。

5. まとめ

本研究では、コンクリート構造の表面を撮影した画像から、様々な状況の下でも安定してクラックを抽出し、その特徴量を把握するためのロバストな画像処理システムを構築し、その有効性を示した。

参考文献

- ・長尾智晴：進化的画像処理，昭光堂，2002.
- ・青木紳也，長尾智晴：木構造状画像変換の自動構築 ACTIT，映像情報メディア学会誌，Vol.53, No.6, pp.888-894, 1999.