

# 路面画像からのクラック抽出方式

## A Crack Detection Method in Road Surface Images

田中 直樹†  
Naoki Tanaka

平田 仁久‡  
Hitohisa Hirata

### 1. まえがき

道路面のメンテナンスには、路面に生じたクラック（ひび割れ）の検出などによる路面の状態の把握が必要となる。実際の道路メンテナンスの現場では、レーザー光を用いたイメージングシステム搭載した作業車を低速で走行させ、観測された画像（以下、路面画像）を目視により確認する作業を実施している。道路は何十キロ、百キロ単位で続くため路面画像の数は膨大となり、多大な目視作業を必要としている。本研究では、この路面画像の目視作業の自動化の一環として、路面画像からのクラックの検出方式について述べる。路面画像におけるクラックは、深さや形状が様々であり、また、荒れた路面と区別が難しいことなどの理由により、未だ高精度の抽出方式は提案されていない。本稿で提案する方式は、モルフォロジー演算によりクラックの画像的特性である「線状性」を検出することにより高精度にクラック領域を検出できる。また、「線状クラック」「面状クラック」の判別方式も併せて提案している。

### 2. クラック抽出方式

本研究で抽出対象とする路面画像におけるクラックは（特徴1）周囲よりも相対的に暗く、かつ明度の絶対値も小さい（黒い）。

（特徴2）周囲よりも沈み込んだ線状形状を持つ。またその領域幅はある幅以下である。

という特徴を持つ（あるいは持つと仮定する）。

以下のクラック抽出方式では、原画像から、それぞれ、特徴1を持つ領域を「黒領域抽出」で、特徴2を持つ領域を「鞍状点抽出」で求める。その両者の論理積を取ることで特徴1及び特徴2を併せ持つ領域を抽出する。さらに、得られた論理積に対して、黒領域を拘束条件としたコンディショナル dilationによりクラック領域が抽出される。

#### 2.1 実験対象画像

実験に用いた路面画像は、レーザー光を道路表面に照射し、その反射光（散乱光）を観測することにより得たものである。観測された路面画像は、縦・横ともに512画素、階調値256であるが、実質解像度は縦・横ともにその4分の1程度であるため128×128に再サンプリングを行っている。路面画像には、専門家の目視により作成された希望出力結果が添付されている。画像は319枚あり、そのうちクラックを含むもの（希望出力にクラックが示されているもの）が105枚ある。残りの画像は、路面のその他の要素（白線、黄線、マンホール、ジョイント）を含むもの、路面要素を含まないものである。また、希望出力は、含まれる主要な路面要素により

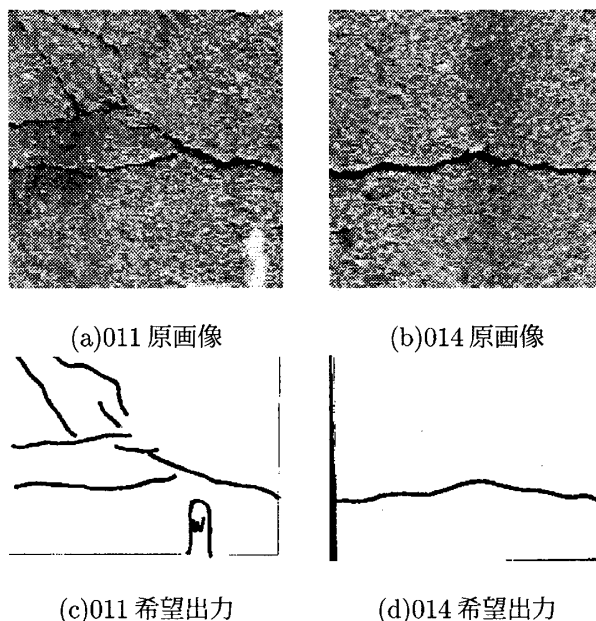


図1: 路面画像と希望出力の例

「種別」が付加されている。クラックの場合、「線状クラック」「面状クラック」という種別が与えられている。図1に路面画像と希望出力結果の例を示す。

#### 2.2 前処理

路面の材質や劣化の度合いにより、路面画像の平均輝度やコントラストにはかなりの変動が見られる。そこで以下の手順により濃度変換を行う。入力画像を  $G_o(x)$  とすると、

(i)  $G_o(x)$  の輝度値の最大値・最小値を求め、それぞれが最大輝度 (255)、最小輝度 (0) となるように線形濃度変換を施す。濃度変換後の画像を  $G'_o(x)$  とする。

(ii)  $G'_o(x)$  の平均輝度値を  $m$  とすると

$$H(x) = \begin{cases} HT(G'_o(x)) & : m \leq \theta_1 \\ G'_o(x) & : m > \theta_1 \end{cases}$$

ここで、 $HT()$  は、ヒストグラム等化処理を表しており  $\theta_1 = 100$  とした。

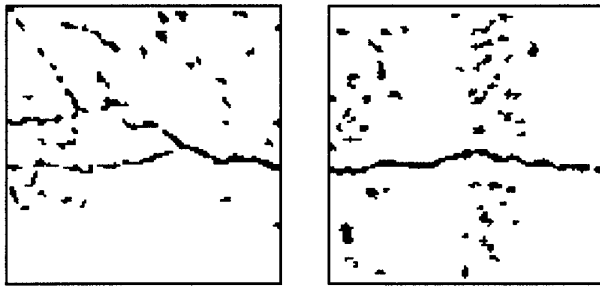
#### 2.3 黒領域抽出

ここでは  $H(x)$  から、上述のクラックの「特徴1」を満たす黒領域を抽出する。抽出には、 $H(x)$  の画像全体の平均値 ( $Ave$ )、標準偏差 ( $Sd$ ) と、画素  $x$  の周辺領域内の平均値 ( $ave(x)$ ) と標準偏差 ( $sd(x)$ ) を参照した2値化処理を用いる。

$$B_c(x) = \begin{cases} 1 : ((H(x) < (Ave - Sd) \text{ and} \\ (H(x) < (ave(x) - sd(x)) \text{ and} (sd(x) > 20)) \\ 0 : \text{上記以外} \end{cases}$$

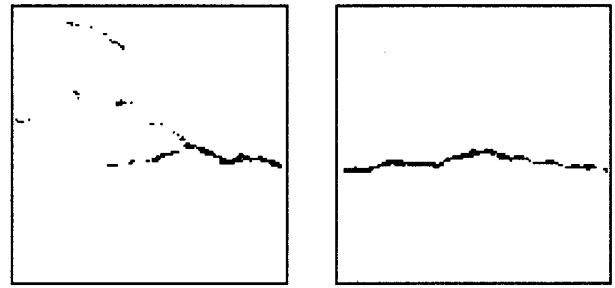
†神戸大学海事科学部, Kobe University

‡神戸大学大学院自然科学研究科, Kobe University



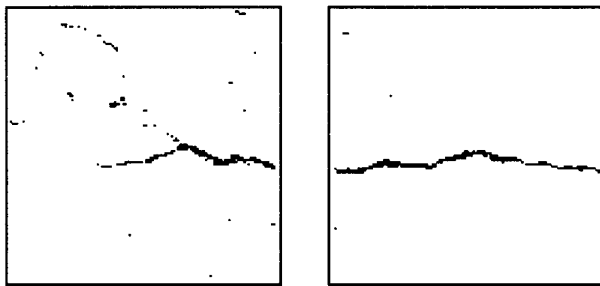
(a)011 (b)014

図 2:  $B'_c(x)$  の例



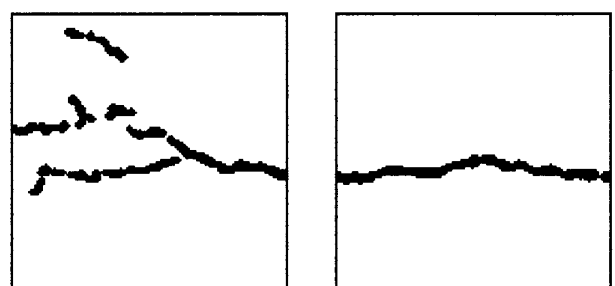
(a)011 (b)014

図 4:  $M'_c(x)$  の例



(a)011 (b)014

図 3:  $T_c(x)$  の例



(a)011 (b)014

図 5:  $M_{c2}(x)$  の例

局所的な平均値、標準偏差の計算領域は  $7 \times 7$  画素の領域としている。さらに、 $B_c(x)$  から画素数 4 以下の領域を削除することによりノイズ除去を実施する。ノイズ除去後の画像を  $B'_c(x)$  とする。 $B'_c(x)$  の例を図 2 に示す。

#### 2.4 鞍状点抽出

ここでは、 $H(x)$  からクラックの「特徴 2」を満たす画素を抽出する。 $H(x)$  に対するブラック Top-hat 処理後、2 値化処理を施す。ブラック Top-hat 処理とは、対象画像にまず closing 演算をおこなう。closing 演算は構造化要素に比べて小さい(狭い)溝を埋める効果がある。closing 演算後の画像と演算前の画像との差分を取ることにより、closing により埋められた「溝」の部分を得ることができる。すなわち、絶対値による暗さではなく、周囲よりも相対的に暗く、かつ、幅の狭い領域を検出することができる。ブラック Top-hat 後の画像の 2 値化を容易にするために輝度値ゼロを除外したヒストグラム等化を行っている。

$$T_c(x) = |HT_{nz}(H(x) \bullet_g K_{disk(20)} - H(x))|_{\theta_2}$$

ここで、 $\|\theta$  は閾値  $\theta$  による 2 値化処理、 $HT_{nz}()$  は、輝度値ゼロを除いたヒストグラム等化処理を表す。また、 $\theta_2$  は  $HT_{nz}()$  処理後の平均輝度値とした。closing における構造化要素は直径 20 画素のディスクである。 $T_c(x)$  の例を図 3 に示す。

#### 2.5 黒領域画像と鞍状点画像の論理積

前節までで得られた黒領域画像  $B'_c(x)$  と、鞍状点画像  $T_c(x)$  の論理積を求める。すなわち、「特徴 1」と「特徴

2」の両方を満たす画素を求める。

$$M_c(x) = B'_c(x) \cap T_c(x)$$

$M_c(x)$  から画素数 10 以下の領域を削除している。削除後の画像を  $M'_c(x)$  とし、その例を図 4 に示す。

#### 2.6 領域拡張処理

$B_c(x)$  を、ディスク状の構造化要素(直径 3 画素)を用いた dilation により太め処理を施したものを  $B'_{c2}(x)$  とする。すなわち、

$$B'_{c2}(x) = B'_c(x) \oplus K_{disk(3)}$$

この  $M'(x)$  を拘束条件として、 $M'(x)$  に対して条件付き dilation をおこなう。

$$M_{c2}(x) = M'(x)|_{\oplus B'_{c2}(x)} \oplus K_{square(3)}$$

この処理は、 $M'(x)$  を膨張させ、膨張結果と  $B'_{c2}(x)$  の論理積を求めるという操作を、変化がなくなるまで実施する。これらの画像間には

$$M'(x) \subseteq M_{c2}(x) \subseteq B'_{c2}(x)$$

なる関係が成り立つ。また、この  $M_{c2}(x)$  が、クラック領域の抽出結果画像となる。 $M_{c2}(x)$  の例を図 5 に示す。

表 1: クラック抽出実験結果

正抽出	過剰抽出
102/110	15/78

## 2.7 クラック抽出実験結果

クラック領域の抽出結果を表1に示す。319枚の路面画像中、目視により「クラック」と判定されている画像は105枚である。この105枚の内、本方式でクラック領域が抽出されたものは97枚であった。また、残りの214枚の中でクラック以外の要素を持つものが131枚存在する。その他の要素が存在する場合、その他の要素をクラックとして抽出してしまう傾向がある。例えば、白線のかすれや、マンホールの周辺、ジョイントなどである。これらは、画像特性的にはクラックと区別が付かないものであり、また、その他の要素が抽出できればクラックを見分けることができるものである。そのために今回は、正抽出・誤抽出の判定から除外している。従って目視判定において画像中に要素なし、すなわちクラックも存在しない画像は83枚となる。この83枚の画像中、20枚についてクラック領域が抽出されている。これら20枚の原画像を、改めて目視により再判定を試みると5枚にはクラックが存在すると考えられた。すなわち、5枚に関しては本来クラックが存在する(専門家の誤判定)と考えてよい。すなわち、本来クラックの存在しない画像は78枚で、そのうち15枚について誤抽出(過剰抽出)となった。これらの誤抽出の主な原因は路面の「荒れ」であった。また、誤抽出されたクラックは、ほとんどが「面状クラック」であり、後述の「面状・線状」の判定後に再抽出を行うことで改善が期待できる(次節にて詳述)。

## 3. 面状クラック・線状クラックの判別

### 3.1 面状クラック・線状クラックの判別方式

クラックの場合、希望出力にはクラックの線画と共に「線状クラック」「面状クラック」の種別が与えられている。すなわち、クラックが線状であるか面状であるかを区別することが望まれている。そこで、ここでは抽出されたクラック領域の形状を計測することによる面状・線状判別をおこなう。判別方法としては、クラック領域として抽出された領域数、個々の領域の長さや形状を計測することが考えられたが、単一のクラックが複数の領域に分かれて抽出される傾向にあるため、一枚の路面画像から抽出されたクラック領域全体の広がりや形状を判別に用いることとした。クラック領域全体の主成分分析をおこない、長軸に関わる固有値を $\lambda_1$ 、短軸に関わる固有値を $\lambda_2$ とすると、その両者の比すなわち

$$\Lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

が、画像全体におけるクラック領域の広がりを示すことになる。路面画像中に単一のクラックが存在する場合

表 2: 面状・線状判定実験結果

面状	線状
37/39	19/47

は、多少の揺らぎはあるものの画像の一边から別の一边にほぼ直線上に走る。従って、クラック領域の形状は細長い形となり、長軸は長く、短軸は短くなるため $\Lambda$ は、大きな値となる。複数のクラックが存在する場合にはクラック領域の形状は広がりを持つものとなり、長軸、短軸の差は小さくなり従って $\Lambda$ の値も小さくなる。ここでは、 $\Lambda$ の値を用いて線状・面状の判別を行った。すなわち、

$$\begin{cases} \text{面状クラック} : \Lambda \leq \theta_3 \\ \text{線状クラック} : \Lambda > \theta_3 \end{cases}$$

### 3.2 面状クラック・線状クラックの判別実験

路面画像319枚のうち、希望出力においてクラックが存在し、かつ面状・線状の種別が与えられているものは86枚ある。上述のように希望出力にクラックが指定されているものは105枚あるが、そのなかで19枚は、クラック+その他の要素となっており種別は、クラックではなく他の要素であたえられている画像である。ここでは、面状・線状の種別が与えられている、この86枚を実験対象とした。86枚のうち47枚が線状クラックであり、残りの39枚が面状クラックである。また、判定のための閾値 $\theta_3 = 33$ とした。判定実験結果を表2に示す。

まず、面状クラックでは誤って「線状」と判定されたものは2例であった。この2例を図6に示すが、この両者とも本来は線状クラックであると思われる。従って、面状クラックの判定は39枚のすべてが正解であるといえる。線状クラックに関しては、47枚中28枚が面状と判定されている。これらの誤判定の原因は、  
(i) 2本以上のクラックが存在し、本来線状クラックではない(専門家の判定の誤り)16枚(図7に例を示す。)  
(ii) 路面の凸凹などのためにクラック以外の領域を検出した(ノイズ)12枚(図8に例を示す。)

(i)に関しては、本来正解とすべきものである。(ii)については、クラック抽出過程に戻り、クラック領域の抽出パラメータを変更しノイズの抑制を図ることが考えられる。すなわち、面状クラックとの判定結果が出た場合について、そのすべての画像についてノイズを抑制するようにクラックの再抽出を試みる。なお、ノイズの問題は、2.で述べたクラック抽出方式における過剰抽出についても同様である。クラックの過剰抽出も原因は路面の凸凹によるものであり、また、それらは、面状・線状の判定を行えばほぼすべての場合で面状と判定されている。つまり、面状クラックと判定されるものを別パラメータで再抽出することは、クラックの過剰抽出も抑制する可

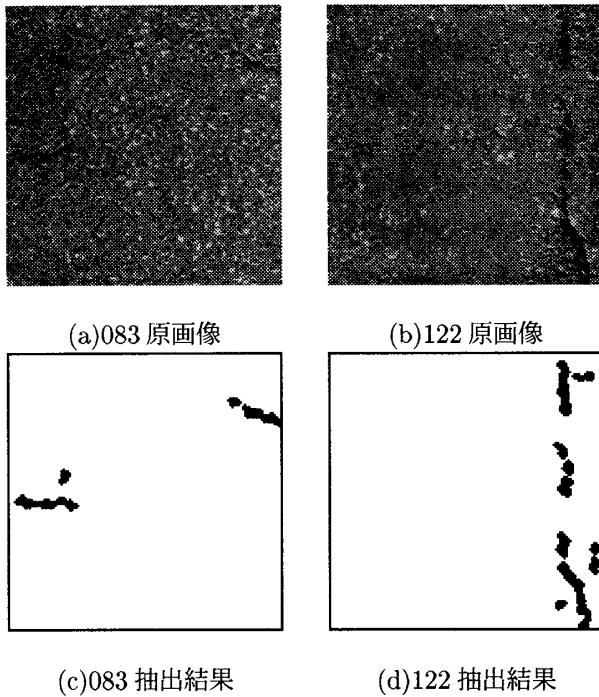


図 6: 面状クラック誤判定の例

能性がある。現在、再抽出のためのパラメータについて検討を行っている。

#### 4. まとめ

クラックの抽出では、低コントラストのものやかなり曖昧なクラックも抽出が可能であった。抽出もれとなったものは主に微小なクラック（長さが短いもの）であった。面状・線状の判定においては面状クラックに関してはほぼ完全に判定が可能であった。線状クラックが面状となる誤りが多く見受けられたが、別パラメータによるクラックの再抽出により改善が期待できる。また、この再抽出は、クラックの過剰抽出の改善にもつながると考えられる。

#### 参考文献

- [1] H.Talbot, "A Morphological Algorithm for Linear Segment Detection", Mathematical Morphology and its Applications to Image and Signal Processing, Kluwer Academic Pub.1996.
- [2] "A Detection method of Crack and structural object of the Road Surface images" Naoki TANAKA and Masayo MOURI, IAPR Workshop on Machine Vision Application 2000, MVA 2000,(2000)387-390
- [3] "A Crack Detection Method in Road Surface Images Using Morphology" Naoki TANAKA and Kenji UEMATSU, IAPR Workshop on Machine Vision Application '98,MVA'98,(1998) 154-157

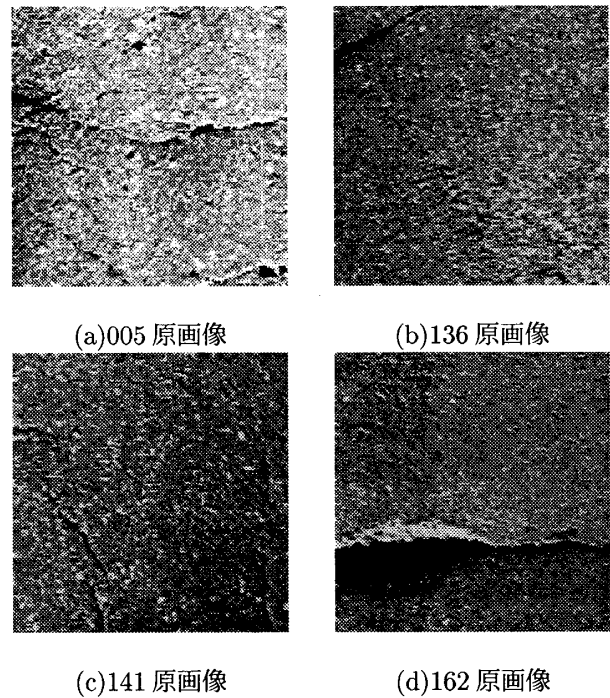


図 7: 判定誤り (i) の例

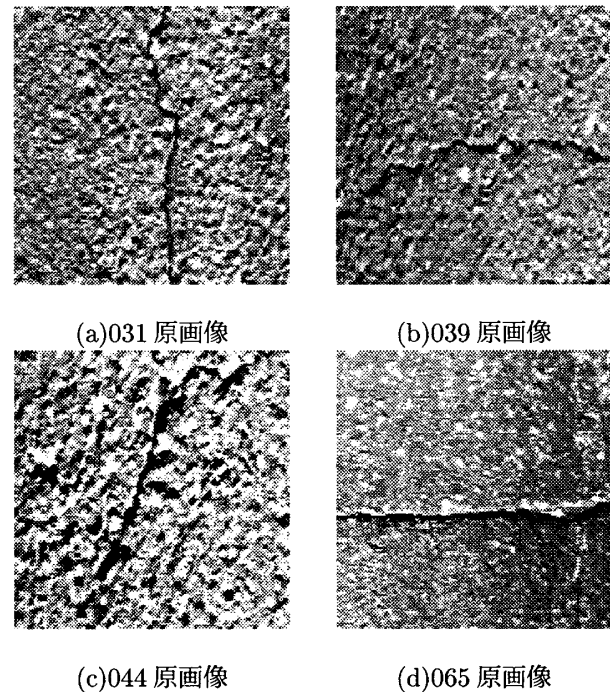


図 8: ノイズ (ii) の例