

# 画像計測を利用した変状抽出の自動化に関する研究

## Study on Automatic Detection of Deterioration by Processing Shade due to Floodlights

塩崎 正人 MASANDO SHIOZAKI

既設構造物の劣化度調査が行われる際に、デジタルカメラ・デジタルビデオカメラを利用した非破壊計測手法が、従来の目視・接触式計測と併せて用いられている。また、劣化度調査では投光器を用いるケースが多く、コンクリート表面を照射することで段差・ひび割れの抽出を容易にしている。今回、この投光器の照射による陰影に着目し、この撮影画像を二値化処理し、変状を自動抽出する手法を提案する。

**キーワード：**デジタル画像, 変状抽出, 照明, 二値化処理, 度数分布, 輝度値

Nondestructive testing has been applied using digital camera or digital video camera together with the conventional technique of watching and using contact sensors to examine deterioration of existing structures. The floodlight is usually used in the examination, which enables to detect deterioration by lighting up concrete surface. In this paper, The authors note a shade by the floodlight and proposed automatic detection method because the binarization produces the photography of the concrete surface.

**Key Words:** Digitized Image, Detect Deterioration, Floodlight, Binarization ,Frequency Distribution, Luminance

### 1. はじめに

既設構造物の劣化度調査が行われる場合、段差・ひび割れといった変状に関する計測においては、従来の目視・接触式計測と併せて、デジタルカメラ・デジタルビデオカメラを利用した非破壊・非接触の計測手法が広く運用されている<sup>1),2)</sup>。



写真-1 ひび割れ検出システム<sup>3)</sup>

計測に際しては、変状を確実に把握するために投光器を用いることが多い。特に、トンネル計測を主目的とした車載型の画像計測システムにおいては、暗所でのデジタルビデオカメラ撮影となるため、投光器は必須である(写真-1)。投光器でコンクリート表面を照射することで段差・ひび割れといった変状の抽出を容易にするものである。

投光器による照明は、コンクリート表面の変状箇所における陰影を生み出している。この陰影が、投光器の位置によって形状が変化することに着目し、その撮影画像を二値化処理を行うことで変状を抽出する手法を考案した。

また、その変状の抽出を容易にするために、二値化処理した撮影画像の輝度に着目し、輝度値の度数分布と累積度数から変状の有無を示す閾値を決定する方法を考案した。

ビデオカメラを用いる場合は、動画をキャプチャーすることで連続的な静止画を得る。この膨大な静止画から変状を抽出するためには、自動処理が不可欠であり、その手法の確立が急がれている。

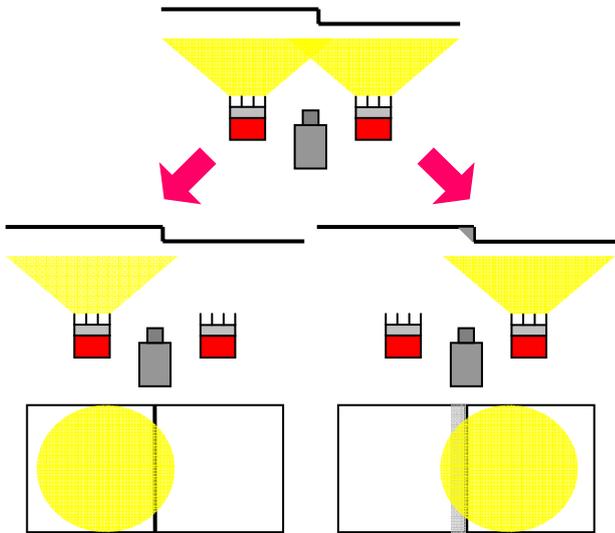


図-1 陰影による段差の抽出

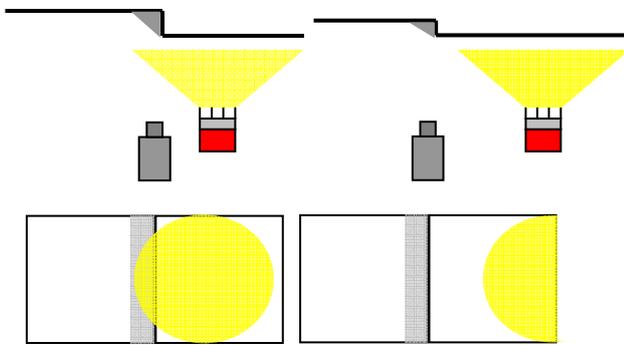


図-2 投光器位置による陰影の変化

累積度数を用いた閾値の決定方法は、二値化処理を省力化するものである。この方法について実験・検証を実施した結果を報告する。

## 2. 抽出手法

ここで、本手法の考え方について説明する。

変状の抽出のため、計測対象物に正対した位置にデジタル撮影機材を設置する。撮影機材を挟んで左右に設置した投光器から、①両方点灯、②右側のみ点灯、③左側のみ点灯、と条件を変えて照射する。各ケースで照明方向が異なるため、段差・ひび割れといった変状が発生している箇所では異なった形状の陰影が現れる。

照射パターンごとに撮影を行った場合、同じカメラ位置から照明方向が異なる3種類の画像を撮影することとなる。変状箇所では陰影の形状が異なってくるため、この形状の違いによって変状を抽出できるという考え方である。

図-1のように段差がある部分では、段差箇所では陰影が現れる。左図のように「段差の低い側」から照射した



写真-2 デジタルカメラとレンズ

表-1 デジタル一眼レフカメラ 仕様

名 称	株式会社 Nikon 製 D2X
総 画 素 数	1284 万画素
有効画素数	1240 万画素
映 像 素 子	23.7×15.7 mm

表-2 望遠型ズームレンズ 仕様

名 称	株式会社シグマ製 APO 50-500mm F4-6.3 APO EX DG HSM
焦 点 距 離	50～500 mm
レ ン ズ 構 成	16 群 20 枚
最 小 絞 り	F22 (W 端)

表-3 画素分解能 【mm】

		焦点距離	
		50 mm	500 mm
撮 影 距 離	1 m	0.105	0.006
	3 m	0.326	0.028
	5 m	0.547	0.050
	10 m	1.100	0.105

画像では段差による陰影はほとんど現れない。一方、右図のように「段差の高い側」から照射した画像では、陰影の幅が広く現れることとなる。

また、図-2にあるように、段差が大きい場合（左図）、あるいは投光器を変状箇所から離して照射した場合（右図）は、陰影の幅は広くなると考えられる。

2台の投光器に関して、左右の位置の違い以外すべて同じ条件であった場合、撮影した画像は変状箇所を除いてすべて同じ輝度となる。

これらを同じ閾値で二値化し、画素ごとの差分を算出した場合、変状箇所以外はゼロとなり、変状箇所のみが特異点として画像に現れるため、画像処理によって変状の抽出が可能であると考え、検証実験を行った。

## 3. 計測機材

変状の抽出手法の検証に際しては、望遠型ズームレンズを装着したデジタル一眼レフカメラを使用した（写



写真-3 計測対象の段差 (1 mm)



写真-4 検証実験状況

真-2)。性能諸元を表-1、表-2 に示す。また、今回使用したカメラの撮影距離・焦点距離と分解能の関係を表-3 に示す。

撮影は焦点距離が最大の位置にズームを固定した。併せて、被写界深度が最大となるよう絞り値は最小にして撮影を行った。

投光器には、株式会社キタムラ産業社製ハロゲン投光器 (500W/100V) を2台使用し、カメラを挟む形で設置した。

#### 4. 検証実験 (手法検証)

変状抽出の可否について、当社技術開発センターの屋外に保管してある RC 供試体を使用した (写真-3)。

この供試体には一部に型枠のズレによる段差が存在したため、これを変状と想定して検証実験を行った。RC 供試体の段差を計測したところ、最も差がある箇所が 1 mm であり、向かって左側が高くなっている。

撮影は、日中は投光器の効果を確認できないため、日没後に行った (写真-4)。

設置場所に関して、三脚に据えたカメラから左右 2 m

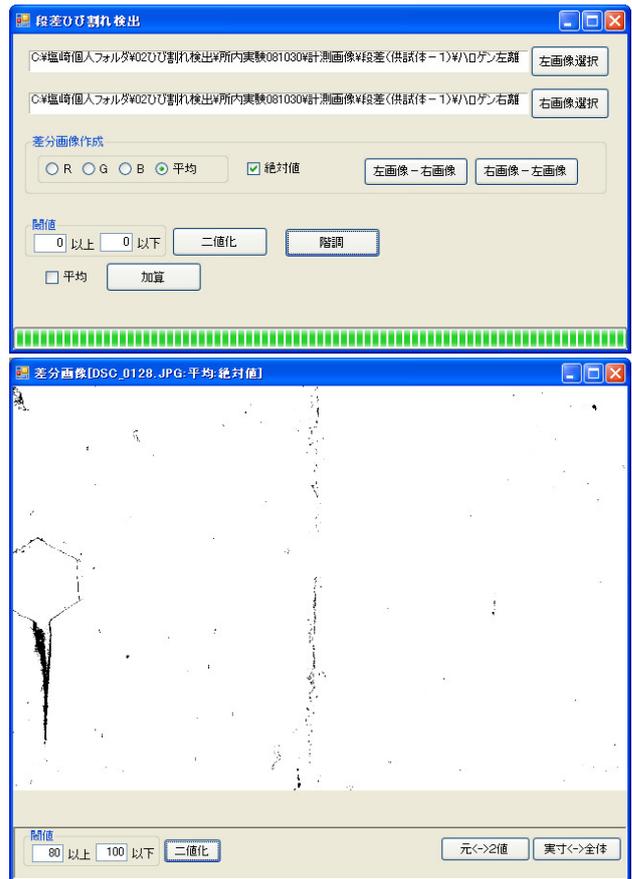


図-3 操作画面 (上) と合成画像 (下)

離れた位置にハロゲン投光器を設置した。この際、ハロゲン投光器は照明の際の放熱温度が高く、カメラと隣接させた場合、熱暴走といわれる内部基盤の故障を引き起こす可能性がある<sup>4)</sup>。このため、カメラと投光器の離間を 1 m 以上確保することとし、今回の実験では離間 2 m で撮影を行った。

また、本手法はトンネルなどの閉暗所での計測へ適用することを想定している。トンネル内の側面を想定して、撮影距離は 3 m とした。

画像処理を省力化するため、二値化処理のためにソフトウェア【DetectCrack】を開発した (図-3)。このソフトウェアは、2 枚の画像を選択すると、カラー画像を輝度を 0 (白) ~ 255 (黒) の 256 階調のグレースケールへ変換し、任意の閾値で二値化処理を行い、その変換画像を表示するものである。

#### 5. 検証結果 (手法検証)

図-4 は、片方から照射した際の撮影画像と、その二値化処理結果である。左側から照射した場合、段差箇所において、縦の陰影が現れている。

また、特異点として段差以外に気泡痕の陰影を捉えることができた。段差・ひび割れ以外の変状についても

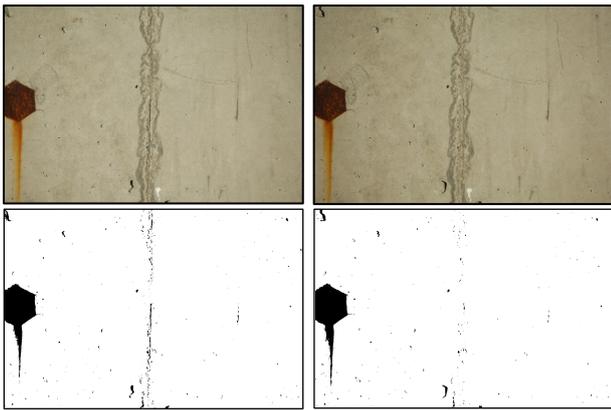


図-4 左右からの照射画像と二値化処理

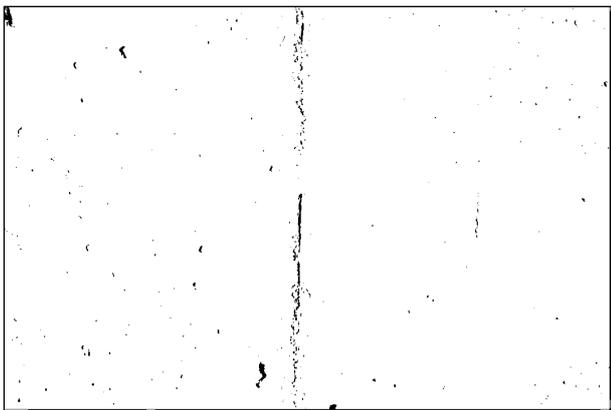


図-5 差分処理による段差抽出

抽出できる可能性が高いと思われる。

一方、左右の投光器は同機種のものを使用しているが、個体差と考えられる明るさの違いから、左右の画像で明暗に差が生じた。これは、同一の閾値で二値化処理したため、値に差が発生したと考えられる。左右の照明から同一の明るさを得られる場合は、同一の閾値で二値化処理を行えばよいが、異なる明るさとなった場合は、閾値の設定を都度変える必要がある。

このため、差分処理後に、目視で判定できるものを一部消去した。最終的な処理結果が図-5 である。この画像から段差を表す陰影を捉えることができ、本手法による変状抽出の適用性は高いと考える。

## 6. 自動抽出手法

本手法の適用性について検証を行ったが、実際に本手法を劣化度調査などで運用する場合、1枚1枚の撮影画像から人間の判断で閾値を決定し、変状を抽出するのは困難である。実際のトンネル内計測では、ビデオカメラで撮影を行い、その動画をキャプチャーして合成する。ハイビジョンカメラの場合30コマ(29.97フレーム毎秒<sup>5)</sup>)で撮影するため、1分間で1,440枚という画像処理が必要となる。これを人力で処理するには膨大な労力と

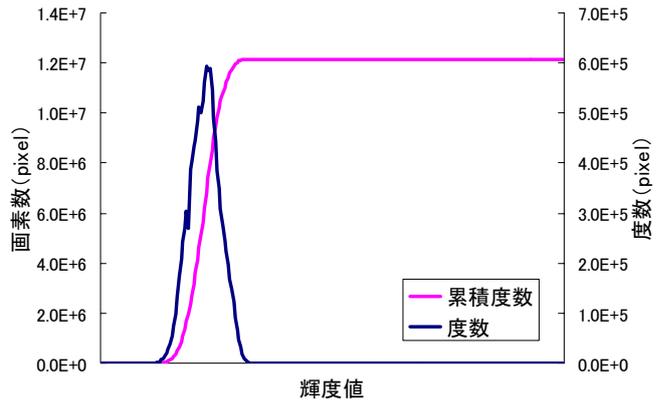


図-6 輝度値の度数分布と累積曲線例

時間が必要となるため、自動抽出に頼らざるをえない。また、二値化処理から変状を抽出する場合、目視で閾値を求めると計測者による個人差が生じる。人的誤差によるバラツキを軽減するためにも自動抽出手法の確立が必要である。

ここで、二値化処理を行う際の輝度値の度数を求めて、その累積曲線から閾値を求める方法を提案する。

二値化処理した画像の、二値化処理の度数分布と累積度数の相関は図-6 のように表される。この時は、輝度59が最頻値となり、その時の度数は593913であった。カメラの画素数が1,240万画素であることから、最終的な累積度数は $12.4 \times 10^6$ となっている。

閾値の決定方法は、輝度値0からスタートし段階的に輝度値を大きくしながら、輝度値と累積度数の相関を調べる。この時点の累積度数を総画素数(1,240万画素)で除した割合(以下、「累積度数百分率」とする)から最適の閾値を求めた。

画像それぞれで閾値を決定し差分を算出するのではなく、同じ累積度数百分率を用いて差分処理を行うことで、明暗による抽出誤差を解消し、自動処理を行うための定量的な基準とした。

基準A：変状が陰影となって現れた輝度値

基準B：画素数が実際の陰影の幅・高さに到達した時点の輝度値

「基準A」は、変状の有無を抽出する場合の基準値である。「基準B」は、その変状に対して実際の幅・高さを計測する場合の基準値であり、カメラの分解能と撮影距離から換算して幅を求める。

## 7. 検証実験(累積度数百分率)

この自動抽出手法に関する検証として、再度実験を行った。実験に際しては、変状を明確化するためRC供試体を製作した。この供試体には表面(1mm)と裏面(2



写真-5 RC 供試体 (段差 1 mm : 表)

mm) に段差を人為的に設けている (写真-5)。今回の実験では完全な暗所となる室内実験棟で撮影を行い、500 W の投光器に加えて、発熱量の小さい 150 W の投光器も使用し、投光器の違いによる抽出精度の差につい

ても検証を行った。

なお、撮影方法などについては 4. 検証実験 (手法検証) と同様としている。

### 8. 検証結果 (累積度数百分率)

図-7 は、累積度数百分率によって決定した閾値を用いた二値化処理画像の差分結果である。

同じ累積度数百分率でも閾値が異なっていることが判る。また、累積度数百分率が小さい段階では、変状のみが抽出されていることも分かる。

一方で、累積度数百分率が大きくなるにつれて、隅角部にレンズ歪みの影響が現れてくる。これは画像計測全般に当てはまることであるが、焦点距離が短くなるにつれてレンズ歪みの影響が大きくなる<sup>6)</sup>。焦点距離 500 mm の望遠レンズを使った場合、レンズの曲率半径が大きくなることから、広角レンズと比べてその影響は小さ

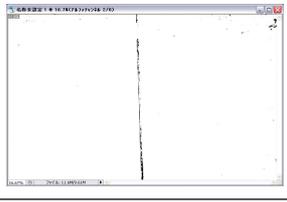
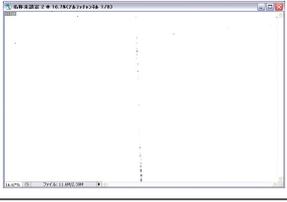
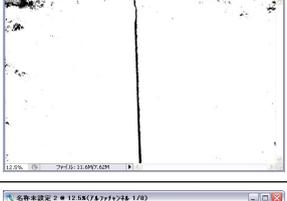
累積度数百分率	ハロゲン 150W	ハロゲン 500 W
0.5 %	 <p>輝度値 右 16 左 45</p>	 <p>輝度値 右 9 左 32</p>
2.5 %	 <p>輝度値 右 28 左 58</p>	 <p>輝度値 右 21 左 35</p>
5.0 %	 <p>輝度値 右 61 左 62</p>	 <p>輝度値 右 38 左 43</p>
10.0 %	 <p>輝度値 右 69 左 65</p>	 <p>輝度値 右 43 左 49</p>
20.0 %	 <p>輝度値 右 70 左 69</p>	 <p>輝度値 右 47 左 54</p>

図-7 累積度数百分率の違いによる変状の現れ方 (撮影距離 : 3 m, 段差 : 1 mm)

いが、閾値が大きくなるにつれて影響が現れてきたものと思われる。

## 9. まとめ

今回、照明による陰影を利用した変状抽出手法を提案し、その実験・検証を行った。

今回の実験・検証を通して、本手法の有用性を認識することができた。変状の抽出に関しては、遺伝的アルゴリズムやフラクタルといった手法を用いて解析処理を行う研究が進められているが、本手法においては照明による陰影と、画像の二値化処理による抽出であるため、その抽出方法が極めてシンプルである。投光器が最低2台と撮影機器だけで抽出が可能であるため、計測機器も少なく、また解析処理においてもパソコンへの負荷が少ないということである。トンネル計測で用いられるビデオカメラ画像の膨大なキャプチャー画像を処理する上でも、パソコンへの負荷が少ないということは処理速度の向上へと繋がるものである。

続いて、画像の二値化処理に必要な閾値を求める方法として累積度数百分率を提案し、その実験・検証を行った。

実際の劣化度調査で用いる場合、前述のように膨大な画像処理を必要とする。この処理を人力で行うことは困難であり、個体差や個人差といったバラツキを排除することができない。このため自動抽出が必要となる。

累積度数百分率は、自動処理に必要な定量的な基準を設けることができるため、ソフトウェア上で二値化から差分検出までの処理をワンスルーで進めることが可能になる。

本手法の適用先と考えている劣化度調査では、ひび割れ幅・段差高といった計測以前に、変状の有無について迅速に捉えることが求められている。画像計測を実施する場合、その処理速度を向上させることで、今後の適用

可能性が向上すると確信している。今後の課題としては、計測時間の短縮に加え、処理時間短縮に向けたソフトウェア開発が重要になると考えている。

本報が、今後の劣化度調査の一助となることを期待する。

**謝辞：**本研究は、日本大学理工学部社会交通工学科空間情報研究室：佐田達典教授との共同研究の一環として実施しているものです。この度の実験・検証に関しまして、多くのご指導をいただきました。ここに感謝の意を表します。

また、有限会社テクノフラッシュ：車田氏、菊地氏には、ソフトウェア開発に際して初期段階からご助力いただき、データ整理の省力化を図ることができました。併せて御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) (財)道路保全技術開発センター：道路トンネル点検・補修の手引き【近畿地方整備局版】，pp.70-72，2001年7月
- 2) 塩崎正人ほか：高倍率 WEB カメラを用いたひび割れ計測，2004年度土木情報利用技術講演集，Vol.29，pp.13-16，2004年10月
- 3) 西日本高速道路エンジニアリング九州（株）：ひび割れ検出システム，  
[http://http://www.w-e-kyushu.co.jp/](http://www.w-e-kyushu.co.jp/)
- 4) 日経 BP 社：日経パソコン 2006年11月13日号，No.517，p.48，2006年11月。
- 5) 大塚吉道：NTSC:フィールド周波数 59.94Hz, 1000/1001 の秘密，映像情報メディア学会誌：映像情報メディア，Vol.54，No.11，pp.1526-1527，2000年11月。
- 6) AnfoWorld：光と光の記録ーレンズ編 広角視野での撮影，  
<http://www.anfoworld.com/Lens.html#wideanglepht>