

## I-27 照明による陰影を利用した変状抽出手法に関する研究

## Study to detect deterioration using a shade by the floodlight

塩崎正人<sup>1</sup>・大谷優輔<sup>2</sup>・菊地典明<sup>3</sup>・佐田達典<sup>4</sup>・石坂哲宏<sup>5</sup>

Masando SHIOZAKI, Yusuke OTANI, Noriaki KIKUCHI, Tatsunori SADA and Tetsuhiro ISHIZAKA

**抄録：** 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、変状を抽出する手法を提案する。

**Abstract:** When we examine deterioration of an existing structure, it is applicable to the nondestructive testing that used digital camera or digital video camera matching with the past technique as a watching and a contact sensor. The floodlight is almost used in the examination, it is possible to detect deterioration lighting a concrete surface. In the present case, we note a shade by the floodlight and devise to detect deterioration because the binarization method produces the photography of the concrete surface.

**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

**Keywords :** 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>。

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(図-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している。

これらの変状を抽出する場合、人力によるトレースが一般的である。人力によるトレースの場合、作業者の熟練度によって精度・作業時間に差が出るため、遺伝的アルゴリズムやフラクタルといった手法が用いての自動抽出が研究されているが、データ処理量が膨大であり、実構造物の調査へ適用する場合、処理時間の問題があるといえる。

今回提案する変状抽出手法では、照明による陰影に着目した。この陰影は、投光器の位置によって形状が変化するため、その撮影画像を二値化処理することで変状を抽出する手法であるため、解析処理が容易である。

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た。ここで、輝度とはカラー画像をグレースケールへ変換し、白色を0とし黒色を255とする256階調の明るさを表すものであり、この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。

今回、変状の抽出手法に関する実験・検証を実施したため、その結果を報告する。



図-1 ひび割れ検出システム<sup>3)</sup>

- |            |   |
|------------|---|
| 1 : 正会員    | 三井住友建設(株) 技術研究開発本部 技術開発センター 土質地盤グループ<br>(〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1, Tel :04-7140-5202, E-mail : MasandoShiozaki@smcon.co.jp) |
| 2 : 非会員    | 鹿島道路(株) 横浜支店 工事部工事課   |
| 3 : 非会員    | (有) テクノフラッシュ ソリューション・エンジニア  |
| 4 : 正会員 工博 | 日本大学 理工学部 社会交通工学科 空間情報研究室 教授  |
| 5 : 正会員 工博 | 日本大学 理工学部 社会交通工学科 空間情報研究室 助教  |

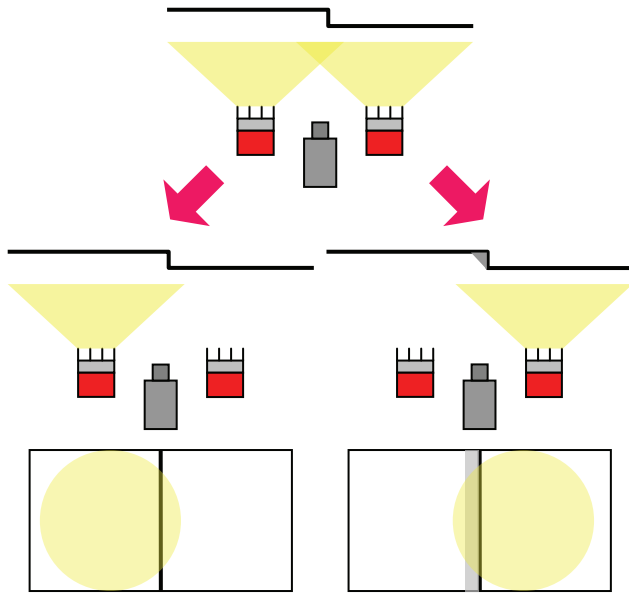


図-2 陰影による段差の抽出

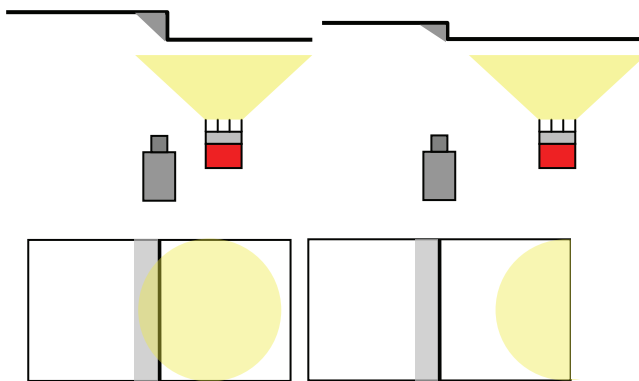


図-3 投光器位置による陰影の変化

## 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-2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。



図-4 デジタルカメラとレンズ

また、図-3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は（右図）、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全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全て同じ輝度となる。

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（図-4）。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

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<br>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<br>影<br>距<br>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  |



図-5 計測対象の段差 (1 mm)



図-6 検証実験状況

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、三井住友建設 (株) 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 (図-5)。

この供試体には一部に型枠のズレ (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。

三脚に据えたカメラから、左右 2 m 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

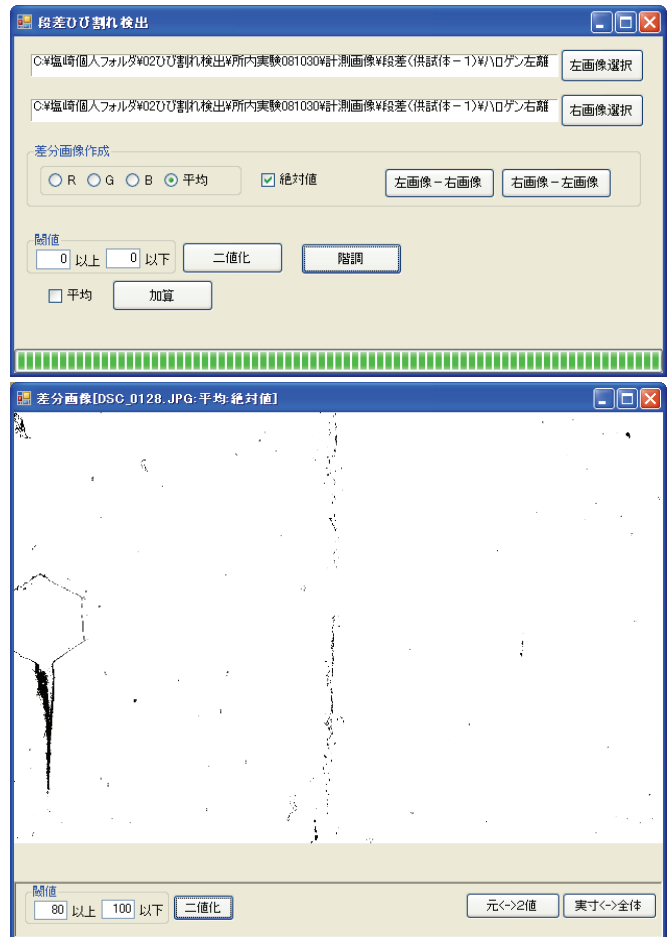


図-7 操作画面 (上) と合成画像 (下)

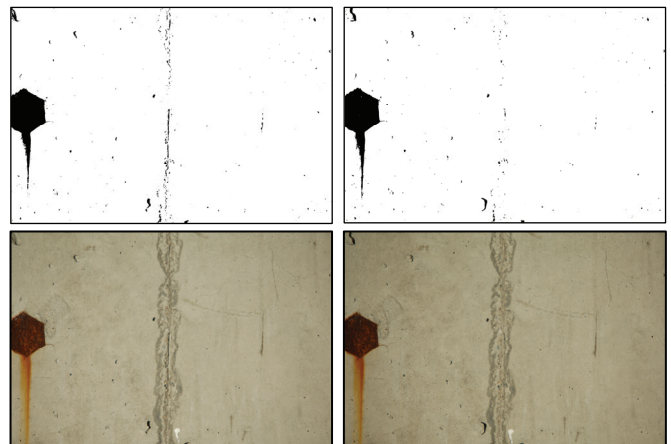


図-8 左右からの照射画像と二値化処理

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、本手法はトンネル等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。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

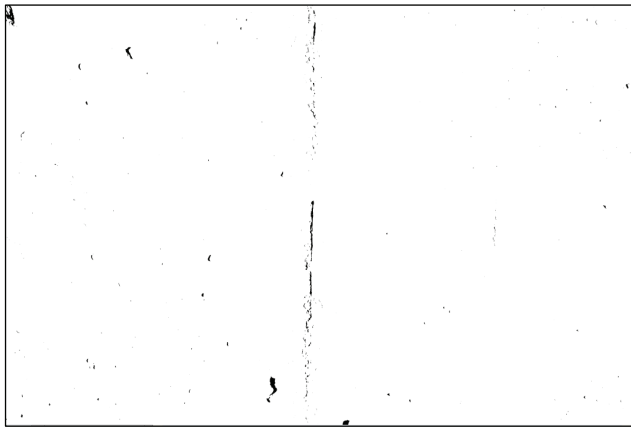


図-9 差分処理による段差抽出

を表示するソフトウェアである。

## 5. 検証結果（手法検証）

図-8は、左上・左下の2枚は左側からの照射した場合、右上・右下の2枚は右側からの照射した場合の撮影画像と、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30lxの照度差があり、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、閾値の設定をその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-9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た。本手法では打ち継ぎ目など直線的な変状抽出に対する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等で運用する場合、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を要する。実際のトンネル計測では、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1440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時間が必要となるため、自動抽出に頼ら

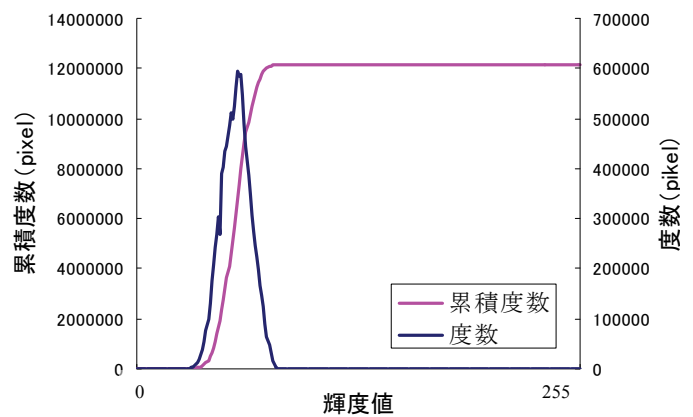


図-10 輝度値の度数分布と累積曲線例

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。人的誤差によるばらつき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-10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1240万画素であることから、最終的な累積度数は12400000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（1240万画素）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

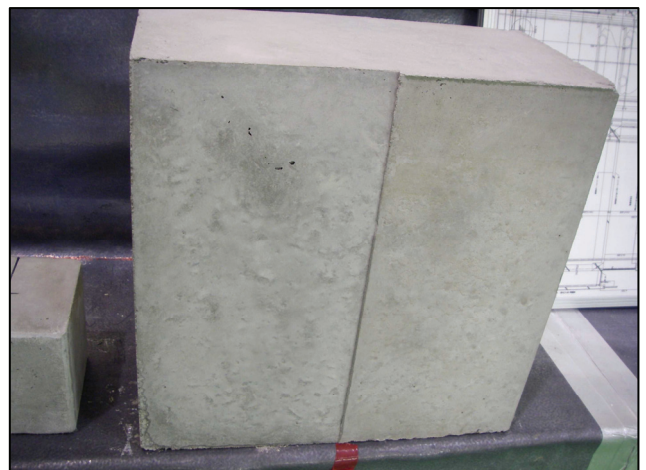


図-11 RC供試体（段差1mm：表）


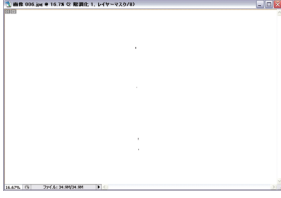
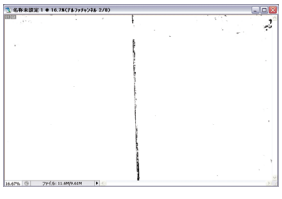
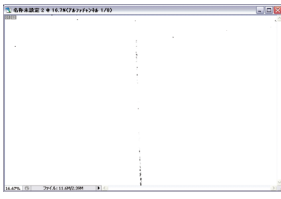
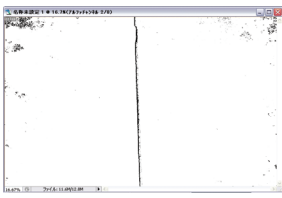
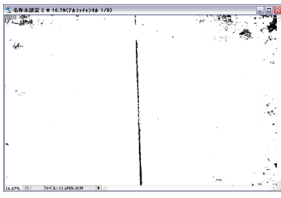
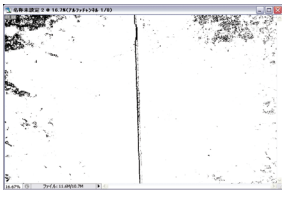
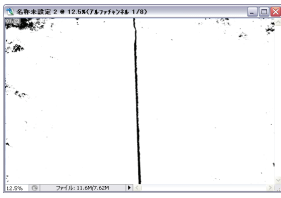
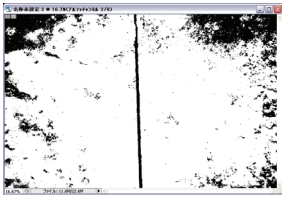
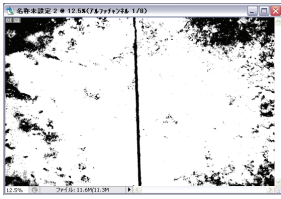
| 累積度数百分率 | ハロゲン 150W   |                     | ハロゲン 500 W   |                     |
|---------|---|---------------------|--|---------------------|
| 0.5 %   |    | 輝度値<br>右 16<br>左 45 |    | 輝度値<br>右 9<br>左 32  |
| 2.5 %   |    | 輝度値<br>右 28<br>左 58 |    | 輝度値<br>右 21<br>左 35 |
| 5.0 %   |    | 輝度値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

図-12 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）

「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（1 mm）と裏面（2 mm）に段差を人為的に設けている（図-11）。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、撮影方法等については 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-12 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判る。

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。本手法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機材が少なく、また、解析は二値化処理と輝度値の統計処理となるため、パソコンへの負荷が少ないという利点がある。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。実際の劣化度調査において、車載したビデオカメラを用いた画像計測を行う場合、1440枚/minという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ばらつき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ため、解析処理に負荷の少ない手法は有用といえる。

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。累積度数百分率を利用することで、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。

一方で、レンズ歪みによる影響も大きいことが判明した。累積度数百分率を求める場合において、レンズ歪みによって輝度値の度数分布が影響を受けていた。レンズ歪みは中心部では小さく、隅角部で大きくなることが判っている。このため撮影画像の端部をトリミングし、中心付近のみの画像を利用することを検討しており、自動処理に組み込む計画である。これによりレンズ歪みの影響を最小限にし、抽出精度を向上させたいと考えている。

本手法の適用先と考えている劣化度調査では、段差やひび割れといった変状のサイズを計測できることが求められるが、実際の運用に際しては、先ず「変状の有無」を確実に抽出することが優先される。変状の有無が判明した後に、近接目視点検等の詳細調査が実施され、変状箇所に関する正確な幅や高さを計測する場面が多いため、本手法においても「基準A」の抽出精度を向上させる方向で研究を進める計画である。

今回は、段差を対象に検証を行った。段差はその箇所の両側で高さの違いが生じるため、陰影は直線的かつ明確な形となって現れる。一方、実際の劣化度調査で抽出対象となるひび割れは、段差と異なり同一面上に発生することから、陰影が明確な形で現れることはない。加えて、形状が直線とは限らず、幅・深さについても同様とはならない。このため、現手法で明確な陰影が現れず、直線に近いもの・幅の広いものといっ

たひび割れについて抽出可能と考えている。

しかし、ひび割れについても陰影が現れることは判っており、輝度値に差をつけることができればひび割れも抽出可能となる。現在、照明装置の改良や光源の色温度変更をはじめに、ひび割れ抽出に向けた実験を進めており、追って検証結果を報告できるものと考えている。

最後に、昨今の照明業界ではLED照明が主流となりつつある。LED照明は消費電力が少なく、発熱量も小さいため、画像計測における投光器としても有用と考えている<sup>7)</sup>。今回の実験においても、LED照明を用いた撮影を行ったのであるが、ハロゲン投光器が3000lxの照度であったのに対し、LED照明では400lxと光量が不足していた。このためカメラのシャッタースピードが低速となり、走行しながら撮影は不可能であると判断した。しかし、LED照明はこれから開発が進む分野であり、将来的にはLED照明を利用したいと考えており研究を進めている。

本報が、今後の劣化度調査の一助となることに期待する。

**謝辞：**本論文作成にあたり多くの方々のご指導、ご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

平成21年度日本大学理工学部社会交通工学科空間情報研究室卒業生である小久保晶匡君には、研究開発初期の段階でご協力頂き、現在へと研究が繋がっております。また、有限会社テクノフラッシュ：車田氏には、ソフトウェア開発に関して初期段階からご助力頂きました。

この場を借りまして、改めて御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1)財団法人 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，佐田達典，斯波明宏，樋口正典：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式会社：ひび割れ検出システム，<[http:// http://www.w-e-kyushu.co.jp/](http://http://www.w-e-kyushu.co.jp/)>，（入手 2010.5.26）。
- 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>>，（入手 2010.5.28）。
- 7)塩崎正人，鈴木茂之，永井友康：既設構造物の調査・計測へのLED投光器の適用，平成19年度土木学会関東支部技術研究発表会，2008.3

(2010.5.28 受付)