

効率的な道路維持管理を実現する 舗装ひび割れ認識技術

Automatic Crack Recognition Technology Offering Efficient Maintenance System for Road Pavement

倉立 尚明

熊倉 信行

関 晃仁

■KURATATE Takaaki

■KUMAKURA Nobuyuki

■SEKI Akihito

老朽化が課題となっている道路インフラにおいて、道路舗装は、適切な年数を設定した定期的な点検を行い、劣化状況を把握することが望ましいとされている。しかし、長大な市町村道を管理する自治体にとっては、国が直接管理している直轄国道で実施しているような路面性状測定車による点検では、費用面での負担が大きい、及び車両が大きいため幅員が狭い道路に入れない、という二つの課題がある。

東芝は、効率的な道路舗装の点検を支援するサービスを目指して、一般的なモバイルマッピングシステム (MMS) や市販ビデオカメラなどの車載カメラを用いて計測された路面映像から、アスファルト道路舗装のひび割れを自動認識する技術を開発している。この舗装ひび割れ認識技術を適用した評価実験の結果、算出したひび割れ率と、路面性状測定車で計測し解析されたひび割れ率がほぼ同じ傾向を示すことを確認できた。

In order to maintain and manage aging road infrastructure, it is necessary to correctly grasp the state of deterioration of road pavement through periodic inspections at appropriate intervals. Road inspection vehicles are used on expressways, national highways, and other major roads to detect the conditions of the pavement. However, the financial burden of such inspection work, as well as the narrow width of some roads, are significant issues for municipalities responsible for managing large regional road networks.

Toshiba has been engaged in the development of an automatic crack recognition technology aimed at realizing a support system for efficient inspection of road pavement, based on image analysis technologies that make it possible to detect cracks in pavement from road surface images captured by onboard cameras such as a mobile mapping system (MMS) and consumer camcorders. From the results of experiments using this crack recognition technology incorporating a newly developed algorithm, we have confirmed that crack ratios calculated by the algorithm show the same tendency as those obtained by current road crack measurement services using road inspection vehicles.

1 まえがき

高度経済成長期以降に集中的に整備された道路や、橋梁(きょうりょう)、トンネル、上下水道などの社会インフラが、近年一斉に老朽化しているため、政府は、効率的に点検を行う技術や手法の開発及び活用や、アセットマネジメントによる維持管理費削減を推進している。特に道路に関しては、2012年12月の笹子トンネル天井板落下事故を契機に、道路ストック総点検が実施された。2013年11月に内閣府の“インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議”によりインフラ長寿命化基本計画が策定され、道路管理者に対して、橋梁やトンネルについては5年に1回の近接目視による点検を義務付け、道路舗装及び道路附属物については適切な更新年数を設定して点検することを検討するとしている。一方で、全国の高速自動車道、一般国道、都道府県道、及び市町村道に関する道路統計によると、市町村が管理する道路総延長の割合は83%であり、更に構造物については橋梁で57%、トンネルで26%という構成になっている⁽¹⁾。

この中で、高速道路や直轄国道の道路舗装点検は、路面性状測定車を利用して既に実施されている。路面性状測定車

は、専用の撮影装置を搭載し、調査対象道路を走行しながら必要な計測を行い、ひび割れ率、わだち掘れ量、及び平坦性の3値を求める。ここで、ひび割れ率は道路舗装面の状態を、わだち掘れ量は道路の横断方向の凹凸状況を、そして平坦性は道路の進行方向の凹凸状況をそれぞれ示す評価値であり、これらの3値より求められるMCI (Maintenance Control Index)⁽²⁾と呼ばれる指数を用いて道路舗装面を評価し、状態の把握や修繕の判断を行っている。しかし、この方式では、点検費用が高く、また、路面性状測定車が大きい幅員の狭い道路には不向きであるため、道路総延長が長い市町村が管理する道路への適用には課題が多い。

2 東芝が考える市町村向け道路維持管理

市町村における道路維持管理は、現状、職員による日常点検や、住民情報に基づく状況把握が主体である。そこで東芝は、MMSや市販ビデオカメラなどの撮影装置で計測した道路映像から舗装面のひび割れを自動検出し、ひび割れ率を自動算出する技術を活用し、市町村管理の道路の状態把握を容易かつ低コストで実現することを考えている⁽³⁾。これにより、自

治体は次のようなメリットを創出できる。

- (1) 住民からの問合せ時に、問合せ場所の道路状態が確認でき、住民サービス向上に寄与する。
- (2) 道路映像の提供により、ひびの形状や状態などを現場に行かなくても把握でき、職員の負荷軽減に寄与する。
- (3) 日常点検との組合せにより、道路の状態変化の把握が容易になり、修繕の優先度付けなど維持管理の高度化が実現できる。

3 舗装ひび割れ認識技術

3.1 舗装ひび割れ認識

舗装ひび割れのある道路の一部の画像を図1(a)に示す。この画像に対して、ひび割れ部分を手書きで着色したものが図1(b)である。これからわかるように、ひび割れは画像上で線状に、しかも周囲とは異なる輝度になっている。そこで、画像の各画素での輝度情報を用いて、線状になっている部分の抽出を行う。

まず、画像に微分処理などを施すことにより、輝度値が谷又は山状に変化している画素を検出する。検出された位置が近

い画素を連結し、その長さや周囲との輝度値の差に基づいて、ひび割れ候補として抽出する(図1(c))。この時点ではあくまで候補であるため、実際のひび割れ部分以外にも、路面の細かな特徴から大小様々な候補が得られている。

ここで、これらのひび割れ候補から、実際のひび割れを選び出すために、周辺画素を含めた輝度値など複数の特徴量をガイドとして学習を行う教師あり学習方式を用いる。

舗装ひび割れが計測された試験用の画像を用いて同様にひび割れ候補をあらかじめ抽出し、これらを人手によりひび割れ及び非ひび割れに分類しておく。そしてこの試験用画像における全ての分類結果とそれぞれの特徴量を用いて、ひび割れらしさを算出するための教師あり学習を行う。この教師あり学習の結果を用いると、新たに得られた任意のひび割れ候補について、同様に求められた特徴量を入力することにより、ひび割れらしさを得ることができる。このひび割れらしさから、それがひび割れか否かを決定することができる。

この認識結果を図1(d)に示す。この例では上下方向に延びるひび割れの上下端を除き、ひび割れを認識することができた。上下端が認識できなかった原因は、画像上のひび割れの写り方により、ひび割れ候補の段階で途切れて抽出されたためである。

自動認識されたひび割れの構造を詳細に見ると、細かいところで手書きの結果との差異が見られるが、軽微であり、全体としてはひび割れの特徴が得られていることがわかる。

このように、人手による抽出結果と完全には一致しないが、後述するひび割れ率算出に必要な特徴を、自動的かつ高速に認識することが可能である。

3.2 ひび割れ率の計算

次に路面画像から認識された舗装ひび割れから、道路維持管理の評価指標として用いられるひび割れ率⁽⁴⁾を算出する。ひび割れ率とは、所定の道路区間に存在するひび割れの本数に基づいて道路の劣化度合いを判定する指標であり、数値が大きいほうが多くのひび割れが生じていることを意味する。具体的には、アスファルトの路面を50×50 cmの升目に分割し、升目内のひび割れの本数に応じてひびの面積換算を行う。調査対象区間に対して全体面積を分母に、積算されたひびの面積を分子として算出される値がひび割れ率である。

このひび割れ率を算出するためには、道路路面を真上から見た画像(オルソ画像)が必要になる。当社が活用を考えているMMSや市販ビデオカメラを用いた車載カメラの場合、車内やルーフキャリアなどにカメラを設置して道路面に対し斜めの角度で計測を行うため、オルソ画像への変換が必要になる。

オルソ画像は、計測したカメラそのものの特性と、路面に対する位置や姿勢を含むカメラパラメータを用いて、計測された動画を車両の進行方向と速度に合わせてつなぎ合わせるにより作成する。このつなぎ合わせに必要な車両の運動情報

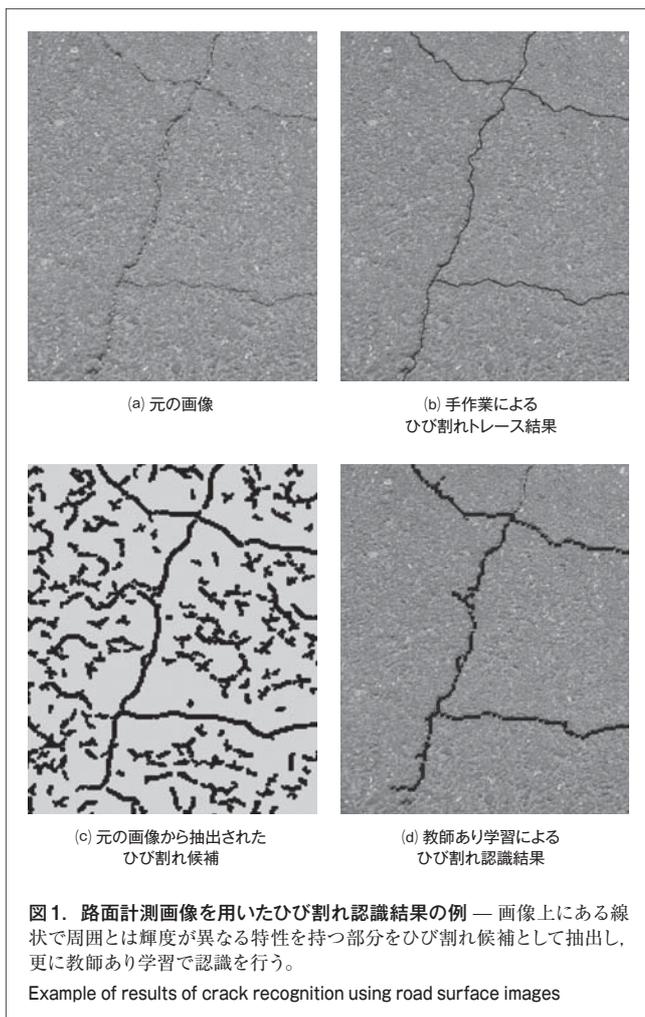


図1. 路面計測画像を用いたひび割れ認識結果の例 — 画像上にある線状で周囲とは輝度が異なる特性を持つ部分をひび割れ候補として抽出し、更に教師あり学習で認識を行う。

Example of results of crack recognition using road surface images

は、車載カメラ計測と同時に全地球衛星測位システム (GNSS) を用いるか、連続するフレームから変換したオルソ画像内の特徴点の動きから求める。

オルソ画像上では、1画素の大きさと実際の長さとの対応が定義できるので、容易に50×50 cmの升目が設定できる。この升目を用いて、先に検出したひび割れの升目ごとの本数を計数することにより、ひび割れ率を算出する。

4 評価実験

舗装点検では、同じ場所を異なる日時や撮影条件で計測した道路画像を用いるため、認識されたひび割れや算出したひび割れ率が同様の傾向でなければならない。

そこで、当社の舗装ひび割れ認識技術の性能を評価するために、路面性状測定車によるひび割れ率情報がある道路に対して評価実験を実施した。実験では、MMSと市販ビデオカメラを用いて路面を計測し、ひび認識結果及びひび割れ率を比

較した。以下にその詳細を述べる。

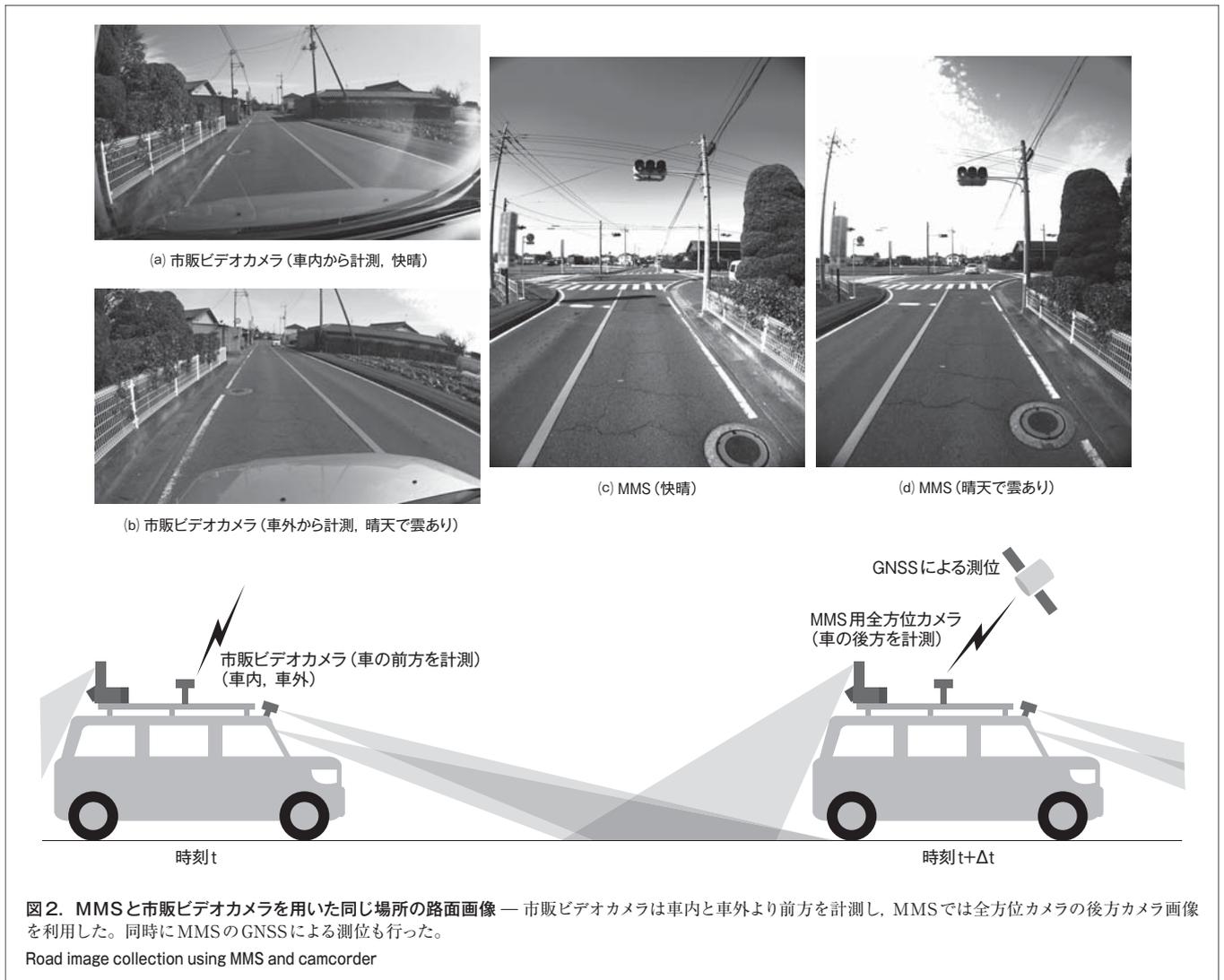
4.1 路面の計測

MMSでは、搭載されている複数のカメラのうち水平後方を観測するカメラの画像だけを利用し、市販ビデオカメラでは前方の計測を行った。

また、再現性検証のため、同一区間に対し2回走行計測を行った。市販ビデオカメラについては車内と車外からの計測条件の違いを調べるため、1回目は車内から、2回目は車外から計測した。

計測は同じ日に実施し、1回目は雲がほとんどなく路面に周辺物の影がくっきり見えるほどの快晴で、2回目はその2時間後で雲がわずかにかかる晴天で、路面は明るいものの周辺物の影は1回目ほどにははっきり見えない状況だった。

MMS及び市販ビデオカメラの観測方向の模式図と、2回の計測でほぼ同じ地点の路面領域を観測した画像例を図2に示す。



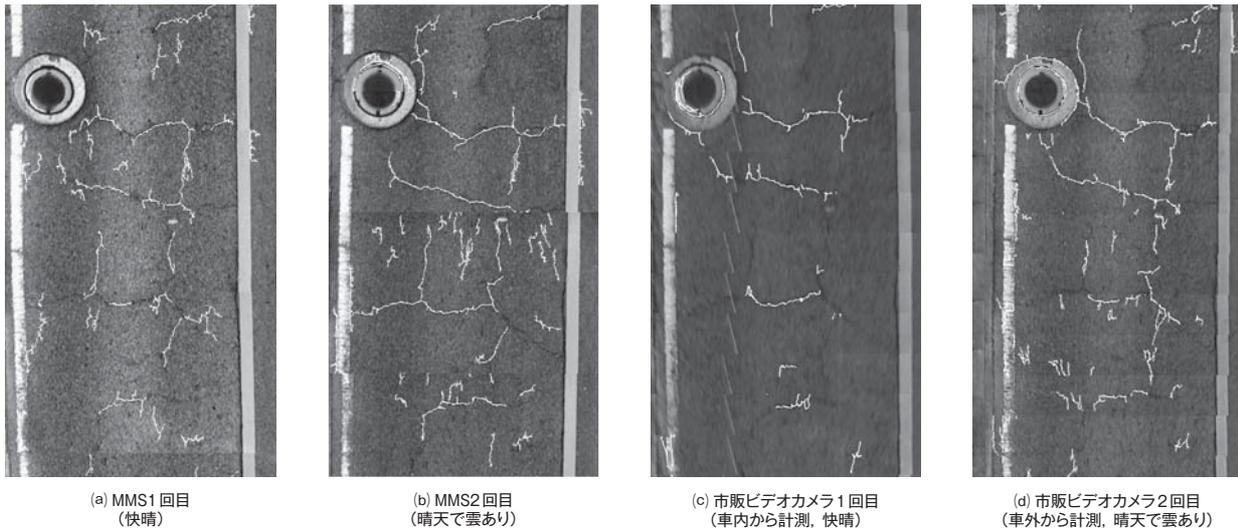


図3. 路面領域のオルソ画像とひび割れ認識結果 — MMSでも市販ビデオカメラでも、計測条件によらず顕著なひび割れは認識できている。
Comparison of road surface images obtained by MMS and camcorder and results of crack recognition

4.2 舗装ひび割れ認識結果

それぞれの機材と計測条件ごとに、自動認識したひび割れを書き込んだオルソ画像を図3に示す。市販ビデオカメラ1回目にはフロントガラスへの映り込みが周期的に斜めの線として現れているが、この周辺では誤検出を避けるため入力画像においてマスクを定義し、自動検出からは除外するようにしてある。直射日光の強弱や、市販ビデオカメラ設置場所の相違(1回目:車内, 2回目:車外)の影響で、1回目と2回目で認識結果に差異が見られるが、目視できる顕著なひび割れは、いずれの場合も認識できている。

4.3 ひび割れ率の比較

実験対象とした区間(全長約1.4 km)を路面性状測定車の計測結果と同じ処理区間に分割し、舗装ひび割れ率を算出した。

それぞれの機材と計測条件での画像から算出したひび割れ率を図4に示す。路面性状測定車による測定は、この計測実験の約1年半前であり、この間に舗装の劣化が進んでいる可能性はあるが、そのままの値を用いた。

図4より、いずれの場合も絶対値としては路面性状測定車と差異はあるものの、ひび割れ率の増減については同様の傾向が得られていることがわかる。

個々について詳細に見ると、MMSの1回目と2回目の比較では、ある区間において1回目に高いひび割れ率が得られている。これは主に路面の影による誤検出によるもので、特に快晴時の樹木の影による複雑なパターンが影響していた。

市販ビデオカメラでは、絶対値はMMSに比べると低めに得られている。これは、市販ビデオカメラの画像はMMSの画像に比べてひび割れが不明瞭であることが主要因である。特に市販ビデオカメラ1回目の車内からの計測では、フロントガラ

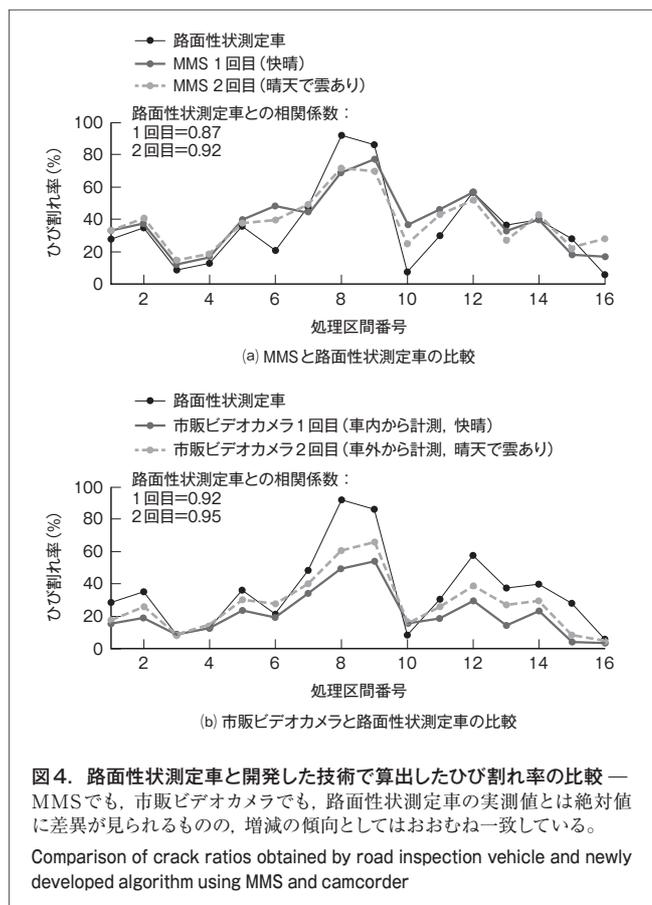
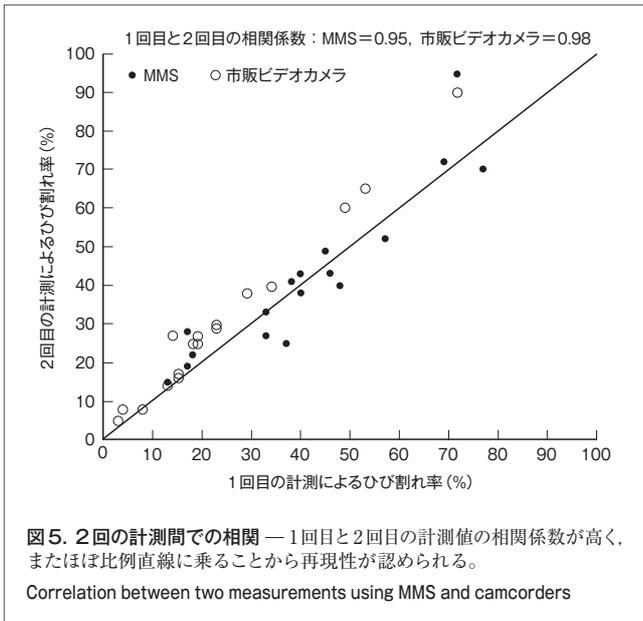


図4. 路面性状測定車と開発した技術で算出したひび割れ率の比較 — MMSでも、市販ビデオカメラでも、路面性状測定車の実測値とは絶対値に差異が見られるものの、増減の傾向としてはおおむね一致している。
Comparison of crack ratios obtained by road inspection vehicle and newly developed algorithm using MMS and camcorder

スへのダッシュボードの映り込みで路面のピントが甘くなり、かつ映り込みの虚像によりひび割れ認識が阻害されたことが原因となり、2回目の車外からの計測よりも低い値となっている。
更にこれら2回の検出結果について、再現性を調べるため、



同じ区間における1回目のひび割れ率に対する2回目のひび割れ率をプロットしたものが図5である。図中の直線は傾き1の直線で、これに近いほど1回目と2回目で近い値が得られていること、すなわち再現性が高いことを意味する。市販ビデオカメラの場合は、1回目の車内からの計測が明瞭にひび割れを視認できなかったため、この直線よりも上側に分布している。MMS及び市販ビデオカメラともども分布は直線に近く、1回目と2回目の相関係数はいずれも1に近い値となった。このように、画質差によるひび割れ率の絶対値に差異はあるが、ひび割れ率の相対的な変化については再現性が高いことがわかった。

4.4 考察

このように、今回開発した当社の舗装ひび割れ認識技術を用いたひび割れ率計算結果は、数例ではあるが、既知の測定結果と同じ傾向を示した。

また、この実験では、異なる時刻に計測した映像から求めたひび割れ率に対して再現性があることを確認できた。路面の舗装修繕の要否は、修繕要、ようす見、及び異常なしの3段階での判定となり、ひび割れ率の値が等しくなることまでは要求されないため、路面のひび割れの状態を簡易的に判定する手段の一つとして有効であると考えられる。

しかし、画像による計測であるため、天候や計測時間による画像の明るさ、計測時の速度などの影響を受けることは避けられないので、計測条件や運用手順を明確にすることが重要である。

5 あとがき

今回の実験では、当社が開発した簡易的な舗装ひび割れ認識技術を用い、MMSや市販ビデオカメラにより計測した路面画像からひび割れ率を求め、路面性状測定車による既知のひび割れ率と同じ傾向を得ることができた。

今後は実証実験による知見を重ね、道路管理者の意見も取り入れた舗装ひび割れ認識技術の開発を行うとともに、市町村管理道路への展開を進めていく。

文 献

- (1) 国土交通省道路局. “道路統計年報2014”. 国土交通省ホームページ. <<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/>>, (参照 2015-07-17).
- (2) 飯島 尚 他. MCIによる舗装の供用性の評価. 土木技術資料. 23, 11, 1981, p.577-582.
- (3) 熊倉信行 他. “道路維持管理の高度化、効率化に向けたICT技術の活用”. 土木学会平成27年度全国大会第70回年次学術講演会. 岡山, 2015-09, 土木学会. 2015, VI-134.
- (4) 日本道路協会. 舗装調査・試験法便覧. 日本道路協会, 2007, 1480p.



倉立 尚明 KURATATE Takaaki, D.Eng.

研究開発統括部 研究開発センター インタラクティブメディアラボラトリー研究主務, 博士(工学). 画像処理やコンピュータグラフィックスなどの研究に従事. 情報処理学会, 画像電子学会会員. Interactive Media Lab.



熊倉 信行 KUMAKURA Nobuyuki

コミュニティ・ソリューション社 コミュニティ・ソリューション事業部参事. 社会インフラの安心・安全に関する新規事業創出に従事. 土木学会会員. Community Solutions Div.



関 晃仁 SEKI Akihito, D.Eng.

研究開発統括部 研究開発センター インタラクティブメディアラボラトリー研究主務, 博士(工学). 3次元形状復元技術及びパターン認識技術の研究・開発に従事. 情報処理学会会員. Interactive Media Lab.