

# 照明による陰影と色空間を利用した変状抽出手法

## Crack Detection using Shade or Color Space by Floodlight

塩崎 正人 MASANDO SHIOZAKI

掛橋 孝夫 TAKAO KAKEHASHI

近年、既設構造物の劣化度調査が行われる際、従来の近接目視点検・接触式計測と並行して、デジタルカメラ・デジタルビデオカメラを利用した画像計測手法が用いられている。画像計測を用いたコンクリート表面の変状調査では投光器を用いることが一般的である。この照明による陰影を利用した段差・ひび割れといった変状抽出手法についてその成果を報告する。一方で、画像計測では段差・ひび割れといった変状とそれ以外の汚れ等を選別することが困難であるため、変状抽出には経験者による確認が必要である。筆者らはこの選別に関して照明と色空間を用いた選別手法について研究を進めており、併せてその結果を報告する。

**キーワード**：デジタル画像，LED ライト，変状抽出，色空間

Image Processing by digital devices is applied to examine deterioration of existing structures. A floodlight is commonly used for crack detection. This paper describes the test result of crack detection used shade by floodlight and the difficulties to distinguish gaps and cracks from other stains on a crack surface. To overcome this point, other image processing method based on color space was investigated. And the applicability to crack detection is suggested.

**Key Words**: Digital Image, LED Light, Crack Detection, Color Space

### 1. はじめに

既設構造物の劣化度調査を行う場合、日々の巡回である日常点検や当該箇所を閉鎖して行う詳細調査があり、その結果を受けて補修・補強が行われるのが一般的である（図-1）。この点検・調査には従来の近接目視点検・接触式計測と並行して、デジタルカメラ・デジタルビデオカメラを利用した画像計測手法<sup>1), 2)</sup>を用いることが増えており、これらの計測を行う際は、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。

しかし、デジタル撮影機器の進歩に合わせて、画像計測の計測精度は飛躍的に向上したが、ひび割れや段差といった変状を抽出する作業は、経験者によるトレースが一般的である。これは、コンクリート表面の汚れや文字（以下、「誤認識箇所」とする）と変状を選別するためには、経験者の判断を必要とするからである。この人力によるトレースは、熟練度によって精度・作業時間に差が生じる。初心者と熟練者では変状と誤認識箇所を選別する正確さに差があることに加え、判断する時間も異なる。

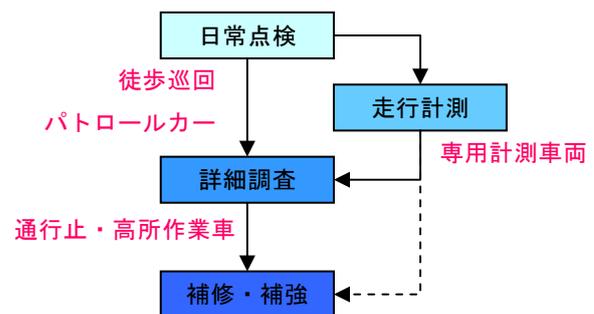


図-1 劣化度調査の流れ

これは計測機器の進歩に対して、解析時間が省力化できない要因となっている。

筆者らは、この照明による陰影を利用した変状抽出手法を考案した。この手法では、カメラと照明という一般的な機器を利用して計測が可能であり、二値化処理による差分から変状抽出を行うものである。また、変状の抽出手法の研究を進める過程で、誤認識箇所についても照明を用いて抽出できる可能性があることが判ってきた。同じ対象を撮影する場合であっても、照射位置が異なる

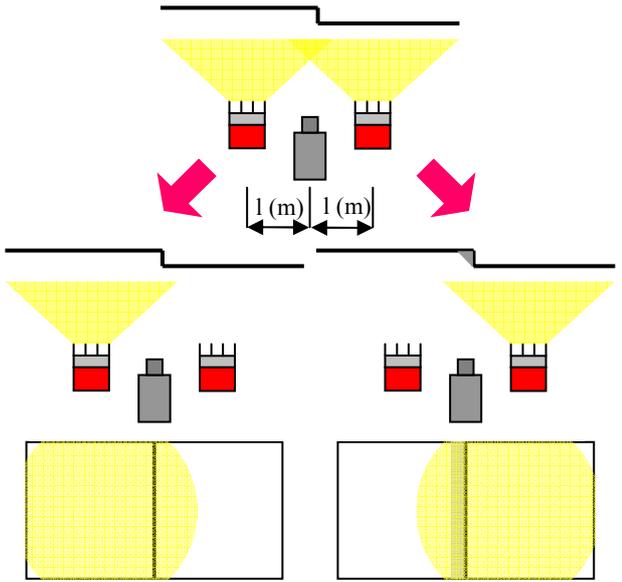


図-2 陰影による段差の抽出

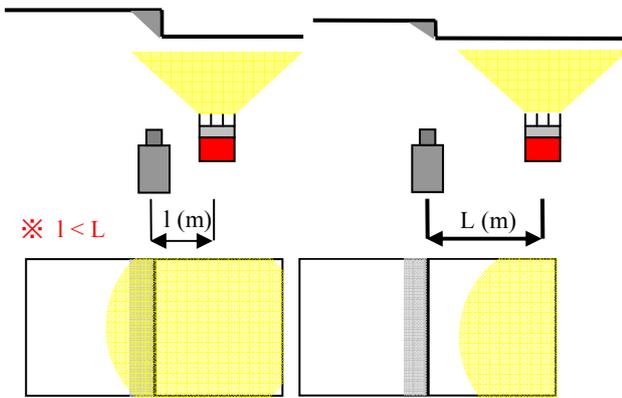


図-3 投光器位置による陰影の変化

場合、誤認識箇所の陰影に変化が出ることが実験結果から判明したためである。

併せて、一般的な RGB 色空間と指標の異なる HSL 色空間を適用し、変状と誤認識箇所を定量的に選別する手法についても研究を進めており、その現状についても報告する。

## 2. 陰影を利用した変状抽出手法の考え方

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。各ケースで照射方向が異なるため、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(図-2)。

このため、同じカメラ位置から照射方向が異なる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。

段差がある部分では、段差箇所で陰影が現れ、図-2に示す左図のように「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、図-2に示す右図のように「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-3にあるように、段差が大きい場合(左図)、あるいはカメラと投光器の離間  $l$  を変状箇所から離れた離間  $L$  で照射した場合は(右図)、陰影の幅は広くなると考えられるため、段差の違いについても抽出可能ではないかと考えた。

ここで使用する2台の投光器に、指向性の偏りがなく左右の位置の違い以外すべて同じ条件であれば、照明の重なり合う部分については、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。照明箇所の異なる画像を同じ閾値で二値化し、画素ごとの差分を算出した場合、変状箇所以外は差がゼロとなり、変状箇所のみにもった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た。次に検証実験について述べる。

## 3. 静止撮影による変状抽出の検証実験

### (1) 検証方法

変状抽出の可否について、RC 供試体を使用した(写真-1)。

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てところ、最も差がある箇所でも  $1\text{ mm}$  であり、向かって左側が高くなっている。

計測機材は、カメラ【Nikon D2X】、レンズ【SIGMA APO 50-500mm F4-6.3 APO EX DG HSM】を用いて、焦点距離  $500\text{ mm}$  で撮影を行った。投光器は【キタムラ産業社製 ハロゲン投光器 (500W/100V)】を2台使用し、カメラを挟む形で左右に設置した。撮影は、投光器以外の光源を排除するため日没後に行った。

設置の際には、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>3)</sup>。このため、カメラと投光器の離間を  $1\text{ m}$  以上確保して撮影を行った(写真-2)。

また、本手法は道路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ため、供試体との撮影距離は、トンネル車道から側面までの距離を考慮して  $3\text{ m}$  としている。この時の分解能は  $0.028\text{ mm}$  である。

撮影後の画像処理を省力化するため、二値化処理・差



写真-1 計測対象となる段差 (1 mm)



写真-2 検証実験状況

分処理用ソフトウェア 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、カラー画像の輝度を 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、その変換画像や差分画像を表示・出力するソフトウェアである。

#### (2) 検証実験結果

図-4 は、左右の照明を片方ずつ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(図-5 左図)。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、差分処理後に消えるはずのナットの輪郭が一部残っている(図-5 左図)。これは、左右の投光器は同機種のもを使用しているが、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てしまい、同一の閾値で二値化処理したため、陰影の現れ方に差が発生したと考えられる。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。最終的な処理結果を図-5

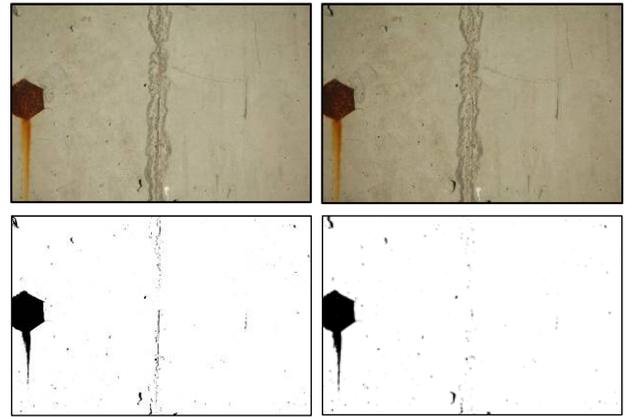


図-4 左右からの照射画像と二値化処理  
(左：左側からの照射、右：右側からの照射)



図-5 差分処理による段差抽出  
(左：差分処理後、右：最終処理結果)

右図に示す。

検証実験で段差を表す陰影を捉えることができた。本手法による変状抽出への適用性は高いと判断する。ただし、2 台の投光器に同機種を用いたとしても、左右の照明から同一の明るさを得られない場合もあり、閾値の設定を都度変える必要が生じるという課題も判明した。

#### 4. 移動撮影による誤認識箇所の抽出実験

##### (1) ビデオカメラを用いた移動計測

検証実験では、二値化処理した画像にナットの輪郭が一部残るといった問題が発生した。陰影を利用した変状抽出手法は、2 枚の画像を差分処理して特異点を抽出するが、照度のバラツキ等で差がゼロとはならず、二値化画像には変状以外の特異点も残る結果となった。

このため、ひび割れ抽出の差分処理前に、誤認識箇所を抽出・除去する必要があると考えた。例えば、図-6 のような鉄筋の錆汁の場合、左画像からは褐色の錆汁と判定できるが、右の二値化画像からはひび割れか錆汁かを判断することは困難であるため、二値化処理前に誤認識箇所を抽出する必要があるといえる。

道路トンネル等を計測する場合、撮影機材を車載し、移動しながら撮影する方法が一般的である。この場合は、連続的に撮影が可能なデジタルビデオカメラを用いることが多く、連続的なデータを取得することが可能である。この動画はキャプチャーによりコマ送りの静止画像とし

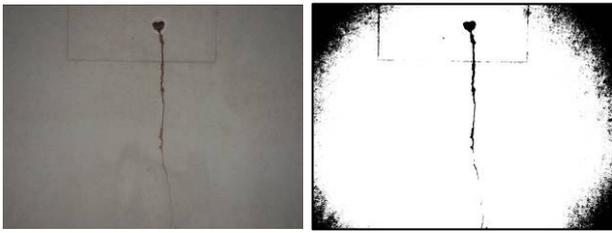


図-6 コンクリート表面の錆汁とその二値化画像

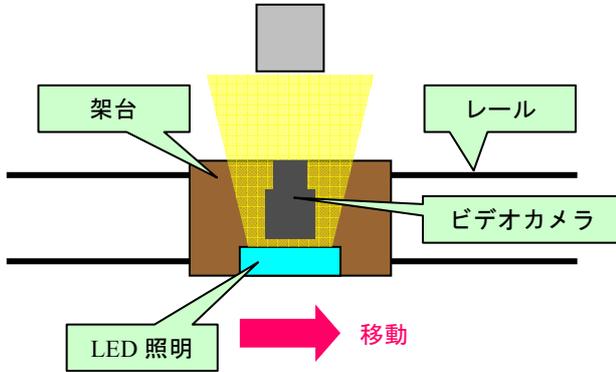


図-7 実験模式図

て取得することができることから、移動撮影を行った場合、計測対象に対して投光器の照射位置が変化していく過程を捉えることが可能である。この照明位置の変化による誤認識箇所の選別可否を確認するため実験を行った。

## (2) 誤認識箇所の抽出実験

図-7 に示すとおり、デジタル撮影機材と投光器を載せる架台に車輪を取り付け、架台をレール上で動かしながら撮影するための台車を製作した。架台上には 140 万画素の工業用 CCD ビデオカメラ【imi tech 社製 IMx-17FT】、焦点距離 16mm 固定のカメラレンズ【FUJINON 社製 HF16HA-1B】と LED 照明を設置した。シャッタースピードは、 $S=1/133, 1/400$  の 2 種類とし、画像の明暗と振動によるブレの発生程度を確認することとした。

今回の実験では、カメラと照明が近接するため、低発熱で長時間稼働する LED を採用している。また、室内実験となったため撮影距離を 1 m とし、この時の分解能は 0.285 mm であった。

この架台を人が後ろから押しながらレール上を移動させ、計測対象となる RC 供試体（写真-3）の撮影を行った。架台の移動速度は歩く速さ（時速 4 km/h 程度）である。RC 供試体にはひび割れ（0.35 mm：中央付近）と油性マジックで書かれた「4」の文字があり、この文字を誤認識箇所と仮定して抽出を行った。

## (3) 抽出実験結果

動画からキャプチャーした静止画像の中から、RC 供試体全体が写っている画像を 3 枚（左端・中央・右端）

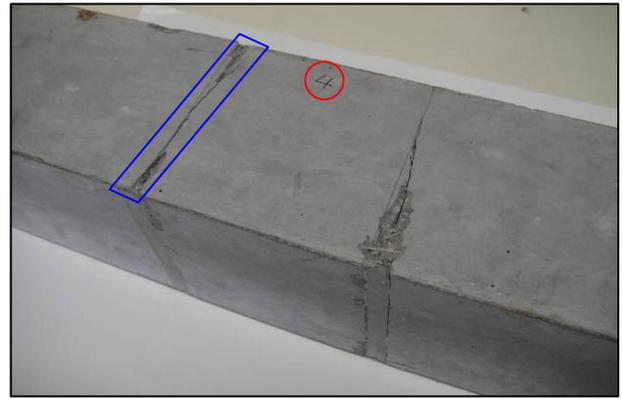


写真-3 RC 供試体（誤認識箇所抽出用）

抽出し、計測対象を拡大して二値化処理した画像を表-1 に示す。二値化処理は 0（白）～255（黒）の 256 階調とし、「カメラ左」の画像においてひび割れと誤認識箇所である文字「4」の両方が判別可能な閾値を設定し、画像の二値化処理を行った。

二値化処理画像からは、いずれのシャッタースピードを採用した場合でも、カメラが RC 供試体正面に位置した時は、文字「4」が画像から消えたことが判る。これは、照明が当たることで凹凸のあるひび割れには陰影が現れるが、表面上の誤認識箇所は陰影が現れないためと考えられる。

一方、シャッタースピードに着目した場合、遅いシャッタースピード ( $S=1/133$ ) で撮影した二値化処理画像は、ひび割れを示すラインが途切れて不明瞭となった。これは LED 照明の光量が適正値を超えて「白飛び」を起こしたためと考えられる。

今回の実験では、誤認識箇所である文字「4」の位置が既知であったため、文字「4」を判別するための適切な閾値を設定することができたといえる。このように、コンクリート表面の状態が事前に判明している場合には適用可能と考えているが、実際のトンネル等を調査する場合には、適切な照度・絞りおよびシャッタースピードを設定するために試撮影を行う必要がある。加えて、ひび割れの方向が台車の移動方向と平行となっていたため、陰影を捉えることができたとも考えられる。移動方向に対して直行するひび割れの場合は、照明と正対した時にひび割れが消えてしまう可能性が高く、この場合は照明位置を変更して別途撮影する必要がある。

## 5. 色空間を用いた判定方法

### (1) HSL 色空間を用いた誤認識箇所の判定

抽出実験の結果から、誤認識箇所を抽出する場合は、適切なカメラ設定（照度・絞りおよびシャッタースピー

表-1 二値化処理結果

撮影位置	カメラ左	カメラ中央	カメラ右
シャッタースピード S=1/400 閾値：85			
シャッタースピード S=1/133 閾値：210			

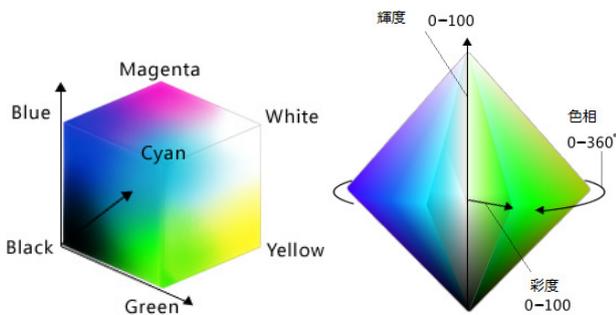


図-8 RGB 色空間 (左) と HSL 色空間 (右)

ド)が必要であることが判った。画像計測では、一般的に二値化処理やエッジフィルターを用いて変状を抽出する機会が多いが、実際のコンクリート表面にあるひび割れ・汚れおよび文字は、画像上では同じ黒色系の特異点となり、変状と誤認識箇所を選別することは困難である。適切なカメラ設定のための試撮影を必要とせず、通常の計測手順で誤認識箇所を抽出する方法を検討した結果、色空間による定量化を試みることにした。

一般的に知られている色空間は RGB であるが、色分布とは異なる色空間を示す HSL 色空間で解析を行うことを考えた(図-8)。HSL は、H:色相, S:彩度, L:輝度を表している。HSL 色空間へは RGB からの変換式を用いることで数値化が可能である。

RGB 色空間が3つのパラメータから「色」を表現するのに対して、HSL 色空間では「色相」や「彩度」を表現しており、同じような黒色系の特異点に対して、異なる数値による差別化が可能ではないかと考えた。

(2) HSL 色空間の判定実験

この仮説を検証するため、黒色系の誤認識箇所を想定

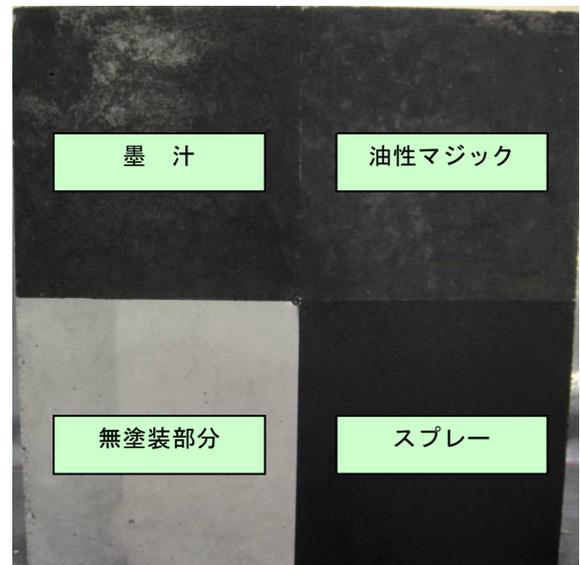


写真-4 塗りつぶした供試体

して墨汁・マジックおよびスプレーで塗りつぶした供試体を製作した(写真-4)。墨汁は排気ガス等のススを想定しており、マジック・スプレーはコンクリート表面へ表記された文字を想定している。これを3.(1)で示した機材で撮影し HSL 変換したものが表-2 である。比較対象として、写真-3 にあるひび割れを HSL 色空間へ変換した表-3 を並記する。

変換結果をみると、ひび割れと誤認識箇所の違いが現れていることが判った。3 種類の塗料を比較すると、彩度と輝度に差が現れている。輝度については無塗装面と黒色面なので差が出ると考えられるが、彩度について塗料によっても差が出ている。この彩度を指標として同系色の誤認識箇所について選別ができるのではないかと考えている。

表-2 HSL 色空間への変換結果

	H (色相)	S (彩度)	L (輝度)
墨 汁	200°	20	6
油性マジック	210°	12	7
スプレー	210°	9	4

表-3 ひび割れ(写真-3)のHSL色空間

	H (色相)	S (彩度)	L (輝度)
ひび割れ	80°	5	13

(3) 単色光撮影によるひび割れ抽出の検討

このHSL色空間については、照明色を変えた撮影方法での判定についても研究を進めている。RGB単色光を用いた計測方法であり、単色光で撮影した画像をHSL色空間で判定するものである。写真-5に示すひび割れのあるコンクリート供試体に黒スプレーを塗布し、スプレー部とひび割れ部の「彩度」を比較すると、照明色による分布に特長があることが判ってきた(図-9, 10)。照明色を変えることで誤認識箇所やススに覆われたひび割れを抽出できる可能性があり、さらに検証を進めたい。

6. まとめ

カメラ・照明および画像の二値化処理で変状を抽出するという本手法が、コンクリート表面に発生するさまざまな変状に適用可能と考えている。

しかし、照明による陰影だけではどのような変状なのか、また誤認識箇所との選別が困難であることも判った。また、計測前に適切なカメラ設定と試撮影を必要とする。計測対象に合わせて設定を行い計測する方法も1つのやり方であるが、解析前に誤認識箇所を選別する方法は、事前の試撮影が不要となるため、より容易に計測を行うことができる。色空間による判定については、今後も研究を進めたい。

今後、既設構造物の維持管理が増加することが確実である。交通量の多いトンネルではススの付着もひどくなっており、点検・調査を行う上で、簡便な判定手法が求められてくる。本手法が維持管理技術発展の一助となることを期待している。

謝辞：本研究は、日本大学：佐田研究室，山口大学：河村研究室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・検証に関しましても、多くのご指導



写真-5 RC 供試体 (左) とスプレー塗布 (右)

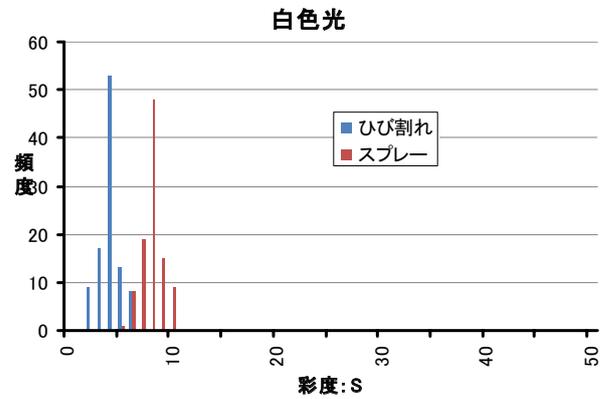


図-9 白色光での彩度の分布

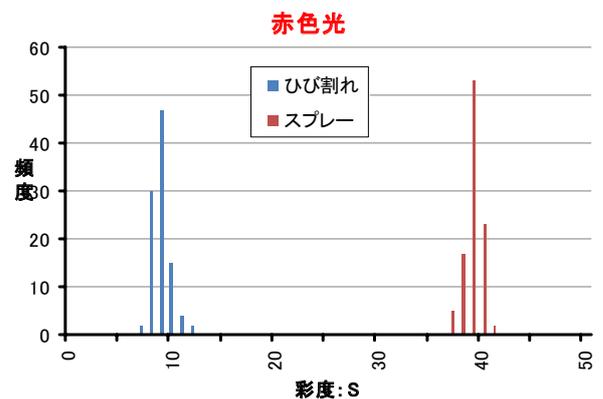


図-10 赤色光での彩度の分布

を頂くこととなりました。ここに感謝の意を表します。

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.70-72，2001.7
- 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.13-16，2004.10
- 3) 日経BP社：日経パソコン2006年11月13日号，No.517，p.48，2006.11