

RGB 単色光を用いた変状抽出手法の研究

Study of Crack Detection using RGB Monochromatic Light

塩崎 正人 MASANDO SHIOZAKI

三上 博 HIROSHI MIKAMI

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、デジタルカメラや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照明を用いることが一般的である。この照明を使った変状抽出について、色空間の適用可能性を昨年度報告したが、筆者らはこの色空間を用いた変状抽出手法について、色空間の「明度」を指標とするため、RGB 単色光を用いた抽出手法検討を進めており、その成果を報告する。

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. The applicability of color space to crack detection using shade by floodlight was reported last year. Now, the crack detection method using a "brightness" of color space with RGB monochromatic light is under development, and its progress is reported in this paper.

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^{1) 2)}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。また、既設トンネルの劣化度調査では、専用車両による走行型計測も導入が始まっており、車両側面にトンネル壁面を照射する大量の投光器が配置されている（写真-1）。

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

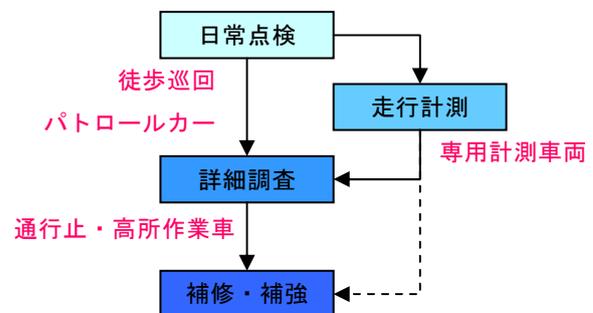


図-1 劣化度調査の流れ



写真-1 走行型画像計測車両【MIMM】

（引用：計測検査株式会社 HP）

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。これは計測機器の進歩に対して、解析作業が省力化できない要因となっている。

筆者らは、解析作業の省力化を図るため、計測時に使用する照明に着目し、照明による陰影を利用した変状抽出手法を提案した³⁾。この手法では段差に対しては明確に抽出できるが、ひび割れに対しては誤認識箇所と区別するために、計測条件に応じて適切な照度や照明位置の設定を都度行うなど、照射方法を工夫する必要があった。

このため、ひび割れに対してより効果的な抽出手法を検討することとなりLED照明に着目した。

最近では、LEDの輝度が高くなっており、省電力・低発熱という特徴を活かして投光器としての利用価値が上がっている。投光器には通常白色光が用いられるが、LEDは配色・色温度・照度等の調整が容易であるため、R（赤）G（緑色）B（青色）の各単色光を発する投光器につ

いても製作可能である。本研究では、RGB単色光を投光器に用いた場合の、ひび割れ抽出精度を確認することを目的に実験・検討を行った。

また、一般的なRGB色空間と指標の異なるHSV色空間（H：色相，S：彩度，V：明度）・HSL色空間（H：色相，S：彩度，L：輝度）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実験を行った⁴⁾。

昨年までの研究では、トンネル壁に付着する煤を模擬するため、コンクリート供試体に墨汁・マジック等を塗布し黒色に対して計測・解析を行ったが、今回、煤の付着した既設トンネルの天井PC板（写真-2）を入手した。さらに、ひび割れを発生させた供試体の表面にロウソクによる煤を付着させた供試体（写真-3, 4）を加えて計測を実施した。写真-3, 4を比較した場合、写真-4ではひび割れ部に煤が付着しているため識別が困難となっている。

目視による識別が困難なケースとして供試体を製作したものである。以降に計測・解析結果を報告する。

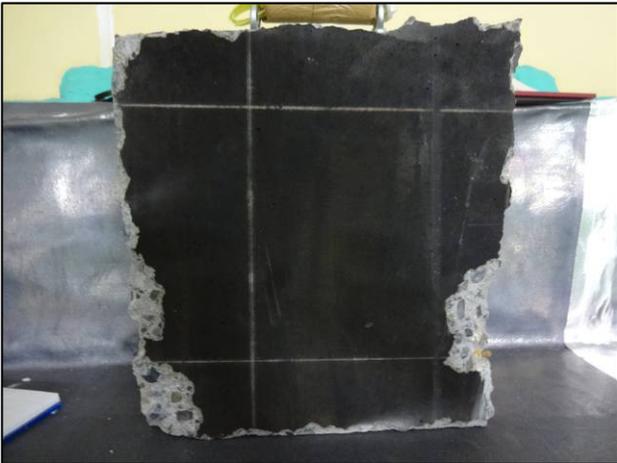


写真-2 既設トンネルの天井PC板



写真-3 ひび割れを発生させた供試体



写真-4 ロウソクのススを付着させた状態

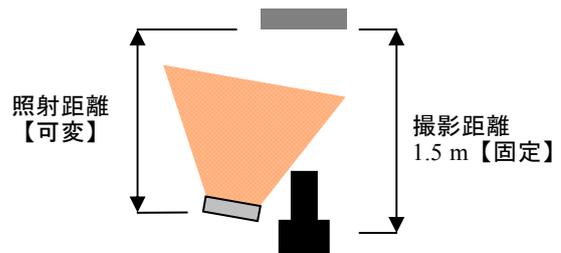


図-2 撮影方法



写真-5 撮影状況（赤色光）

表-1 照度を統一した場合の照射距離

	赤	緑	青
照射距離 (m)	2.05	2.00	0.40



写真-6 デジタルカメラとレンズ

2. RGB単色光による撮影実験

実験は自然光の侵入を防ぐため暗室にて行った。供試体に対してカメラを距離 1.5m で固定した。照明に関しては、昨年までの研究では照射距離一定で撮影を行っていたが、RGB 各照明の光量に差があることから、照射距離を一定とせず供試体前面での照度 2000lx に統一して撮影を行った(図-2, 写真-5)。照度を統一した場合の照射距離は表-1 となる。

撮影機器には株式会社 Nikon 製 D2X (有効 1240 万画素) および株式会社シグマ製 50-500mm ズームレンズを焦点距離 300 mm で使用した(写真-6)。

3. 計測結果

撮影画像からひび割れを抽出するため、HSV 色空間を適用した。RGB 単色光を照射された供試体表面は、その単色光に対応する RGB 値 (R,G,B) のみが大きくなる。

この輝度にパラメータを統一するため、明るさの単位である明度 V へは式(1)を用いて変換する。ひび割れと誤認識箇所について明度 V の差を利用して判別を行い、ひび割れのみ抽出を試みるものである。

表-2 ひび割れと誤認識箇所の明度 V (%)

	ひび割れ	ロウソク煤	天井 PC 板
	上方信頼限界値	下方信頼限界値	
赤	12	14	34
緑	7	8	11
青	23	85	98

$$V = \{\max(R, G, B) / 255\} \times 100 \quad (1)$$

図-3 に、各照明を使用して撮影した画像のひび割れとロウソク煤の明度のヒストグラムを示す。表-2 は、図-3 のヒストグラムの信頼係数 95%における、ひび割れの上方信頼限界値と煤(ロウソク、天井 PC 板)の下方信頼限界値であり、ひび割れと煤の明度 V の限界値の差が大きいほど判別しやすいことを表している。表-2 において、ひび割れとロウソク煤の明度分布を比較すると、赤色光が 2%、緑色光が 1%であり、青色光は 62%と顕著な差となった。また表-2 に示す様に、天井 PC 板のトンネル煤の明度と、ひび割れの明度の差は、赤色光 22%、緑色光 4%、青色光 75%となり、トンネル煤においても青色光が顕著な差となった。さらに、ロウソク煤よりも明度差が大きくなることが確認された。

図-4 は、明度で閾値を決めた二値化処理を行った際の、ロウソク煤の影響を検証した結果である。明度の閾値は、表-2 にあるひび割れの上方信頼限界値とロウソク煤の下方信頼限界値の中間値とした。二値化画像では、緑色光の場合、供試体の左下にロウソク煤をひび割れと誤認識してしまった部分が生じる結果となっている。また、ひび割れも薄く形が現れていない。これに対して、赤色

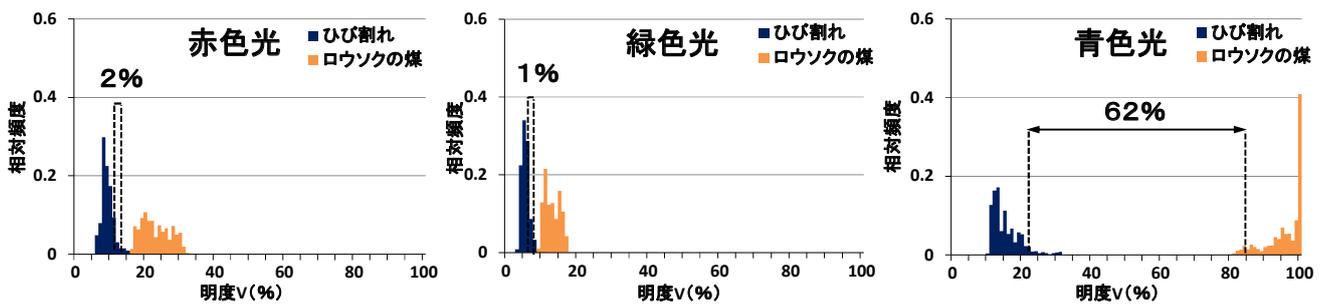


図-3 ひび割れとロウソク煤の明度分布



図-4 明度 V を閾値としたロウソク煤を付着させた供試体の二値化画像

光と青色光ではロウソク煤を誤認識することなくひび割れの形を抽出することができた。図-3に示す様に、緑色光と赤色光のひび割れとロウソク煤の明度差がそれぞれ1%と2%という近い値を示したが、赤色光の二値化画像では、ロウソク煤の影響をほとんど受けなかった。ひび割れとロウソク煤の明度が近い場合、閾値がひび割れやロウソク煤の明度と近似するため、ひび割れの形を抽出できないと考えられるが、赤色光と緑色光では異なる結果となった。図-3から推察すると、ロウソク煤の明度分布幅も影響している可能性がある。

4. 考察および今後の予定

昨年までの実験では、RGB単色光をひび割れ抽出に使用した場合、赤色光において明度差が大きくなる傾向があった。このため、RGBの波長がひび割れ抽出に影響しており、図-5にあるように可視光線では一番波長の長い赤色光だけが煤を透過すると考えられ、波長の長い赤外線もひび割れ抽出に有効ではないかと考えられた。

一方で、使用したRGB単色光の光量差が大きいことも影響していると考えられたため、今回の実験では統一した光量の下で撮影を行った。その結果、今回の実験では青色光に明度差が大きくなる傾向が認められた。ただし、ひび割れの抽出精度に関しては、赤色光・青色光ともに良好な結果が得られており、ひび割れ抽出に関しては、光量のみでは比較できないと考えられる。

これらの結果から、RGB単色光では照度【lx】以外のパラメータを統一する必要があると考えられる。照度は『人間の感じる量を表す心理物理量のひとつ』⁵⁾とあるように、人間の感覚を数値化したものであることから、工学的物理量のパラメータに統一する必要がある。

今後の課題として、RGB単色光の新しい統一パラメータについて検討を進めており、現時点では、日射計などで使われる放射照度【W/m²】の概念を導入する方向である。

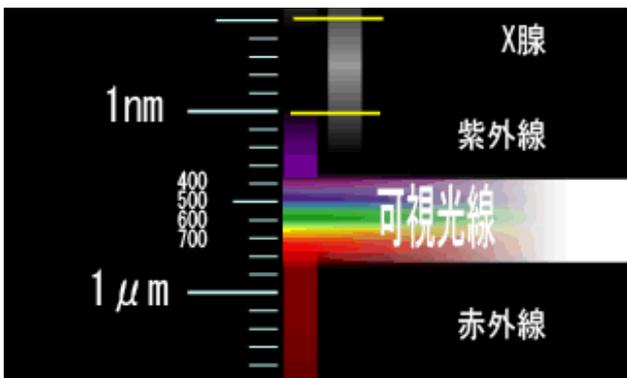


図-5 可視光線の波長

光をエネルギーと捉えることで、統一したエネルギーの下で撮影を行うことにより、明度差がどのように変化するのか研究を進めていく。

5. まとめ

本研究で得られた知見をまとめて以下に示す。

- ① RGB単色光を照射した撮影画像から明度分布を求めることで、ひび割れと煤の識別が可能であることを確認した。
- ② 今回の実験条件では、ひび割れ抽出には青色光の使用が最も良好であった。
- ③ RGB単色光を使ったひび割れ抽出有効なパラメータは、まだ検討の余地があり今後も引き続き研究を進める必要がある。

謝辞：本研究は、日本大学の佐田研究室、山口大学の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、多くのご指導を頂くこととなりました。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の車田氏および菊地氏にはソフトウェア開発にご協力頂きました。併せて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) 塩崎正人，大谷優輔，菊地典明，佐田達典，石坂哲宏：照明による陰影を利用した変状抽出手法に関する研究，2010年度土木情報利用技術論文集，Vol.19，pp.239-244，2010.10
- 4) 塩崎正人，掛橋孝夫：照明による陰影と色空間を利用した変状抽出手法，三井住友建設技術開発センター報告，No.10，pp87-93，2012.9
- 5) 一般社団法人照明学会：照明ハンドブック第2版，オーム社，2003