

(11) RGB単色光を用いた既設トンネル コンクリート壁面のひび割れ検知に関する研究

石森 章之¹・佐田 達典²・石坂 哲宏³・塩崎 正人⁴

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: cshu13003@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: sada@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp

⁴正会員 三井住友建設株式会社 技術開発センター (〒207-0132 千葉県流山市駒木518-1)
E-mail: MasamdoShiozaki@smcon.co.jp

トンネルのコンクリート壁面の点検に、目視点検と並行し照明とデジタルカメラやビデオカメラを用いる手法がある。しかし、コンクリート面を撮影した画像から二値化処理によりひび割れを抽出する場合、汚れとひび割れが誤認識される課題がある。本研究では、通常の白色光に代わり、RGB単色光照射してコンクリート面を撮影する実験を行った。撮影した画像から明度でひび割れと汚れを判別可能であるか検証し、白色光よりRGB単色光がひび割れ検知に有効であることを検証した。その結果、RGB単色光でひび割れと煤を判別可能であり、白色光よりひび割れ検知に有効であることがわかった。

Key Words : RGB monochromatic light, LED light, Crack detection, , Value,

1. はじめに

既設構造物の維持管理は、点検、劣化の予測や推定、性能評価、対策の要否判定、これら診断結果と対策の記録から構成されるのが一般的である。この中で点検は、構造物の劣化診断を行う上で出発点となる重要な業務であり、主に日々のパトロール等で構造物の状態を把握する日常点検、高所作業車等を使用し近接目視や打音、非破壊検査などを行う定期点検からなっている。近接目視は簡便であるため多くの道路管理者で行われている¹⁾が、人力に大きく依存しており、点検技術者の熟練度による差や交通規制により道路交通への影響もある。このことから、トンネルの点検では、コンクリート覆工面を照明で照らしながら、デジタルビデオカメラで計測する手法の提案や運用がされている²⁾。しかし、画像から変状箇所を抽出作業は、技術者によるトレースであるため、近接目視の場合と同じく技術者の熟練度により差が生じる。そこで、トレース作業による人為的な差をなくすために、画像処理によりひび割れ等の変状の抽出する手法に関する研究がなされているが、コンクリート面の顕著な汚れがひび割れと誤検出される課題がある³⁾。

汚れを誤検出せずにひび割れのみを抽出する撮影手法として、前川らの研究⁴⁾では、ハロゲンライトやLED白色光に代わってRGB単色光(赤色光、緑色光、青色光)を照明に用いた撮影手法が提案された。さらに二値化処理の閾値に利用される輝度値に代わってHSV色空間(色相H、彩度S、明度V)用いて撮影した画像からひび割れと汚れを判別する手法の検討が行われた。そして、RGB単色光で撮影されたひび割れと黒色スプレー(汚れを想定)のHSV色空間から明度Vに違いが確認された。しかし、実際のトンネル壁面の汚れは自動車の排気ガスの煤煙等によるものがあるため、汚れが煤の場合の検証が必要である。

本研究では、RGB単色光を用いて撮影した画像から算出した明度により、ひび割れと煤を判別可能であるか検証する。そして白色光よりRGB単色光が有効であるか検討することを目的とする。

2. 単色光を利用したひび割れ検知原理の検討

ここでは、RGB単色光を利用したひび割れ検知の考え方について説明する。

白色光を照射して撮影されたコンクリート面のひび割れには、光が届かないため陰影が発生する(図-1)。撮影したコンクリート面の画像からは、この陰影をひび割れとして認識する。ひび割れの陰影は、輝度がコンクリート面より小さくなり異なった値を示すため、陰影とコンクリート面の輝度の違いを利用することでひび割れを検知し、二値化処理により抽出可能となる。

しかし、コンクリート表面に煤等の汚れが付着していると、汚れの色が陰影の黒色に近づくため、ひび割れの陰影と汚れを輝度で判別しにくくなる。判別するためにはより強い光を照射して、汚れの輝度を高くしなければならない。

そこでひび割れと汚れを容易に判別するため、灯光器にRGB単色光を用いる。RGB単色光を照射されたひび割れには、白色光の時と同様に陰影が発生する。コンクリート面の汚れは、RGB各単色光に対応するRGB値(R,G,B)のみが大きくなるため、ひび割れの陰影とは異なった値になることが予想される。そして、輝度と同様にパラメータを1つにするため、RGB値から明るさを表す明度に式(1)で変換し、ひび割れと汚れの明度の違いを利用して判別を行うことで、ひび割れのみを検知できると考えた。

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

3. 検証実験と解析方法

(1) 実験目的

白色光とRGB各単色光を用いて撮影を行い、ひび割れと煤の画像からそれぞれの明度を算出し、RGB各単色光でひび割れと煤の明度に違いが表れるか確認を行う。さらに、ひび割れと煤の明度の違いの大きさから白色光よりRGB単色光がひび割れと汚れの判別に有効であるか検討する。

(2) 実験方法

撮影する供試体には、幅0.15mm～0.45mmのひび割れを発生させた図-2の供試体にロウソクの煤を付着させた供試体(図-3)と、実際の煤が付着したトンネルの天井PC板(図-4)を使用した。これらの供試体にデジタル一眼レフカメラを正対させ(図-1)、白色光とRGB単色光のLEDライトを照射した状態でそれぞれ撮影を行った。撮影距離は1.5mとし、自然光や室内灯の影響を受けないようにするため、暗室で実験を行った。

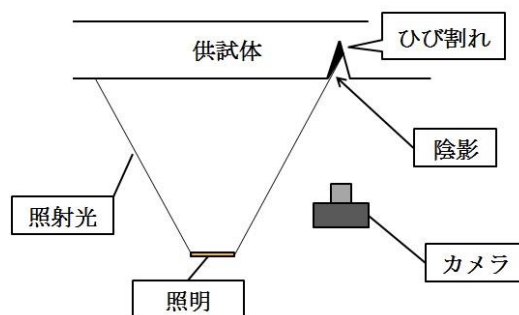


図-1 ひび割れの陰影



図-2 ひび割れを発生させた供試体

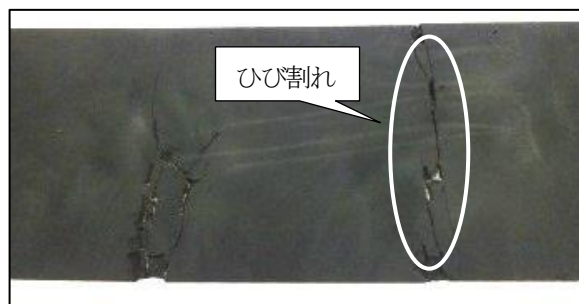


図-3 ロウソクの煤を付着させた供試体

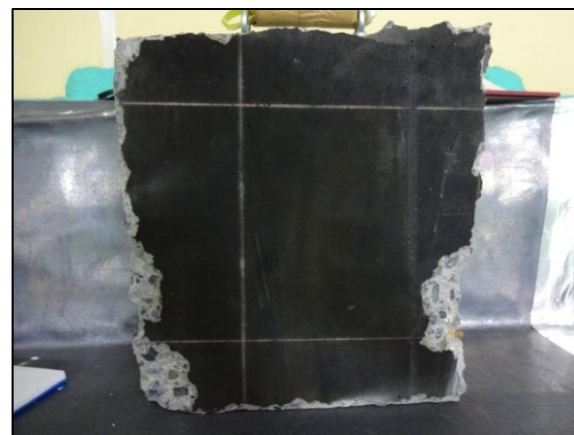


図-4 トンネル天井PC板

(3) 解析方法

白色光とRGB各単色光で撮影した図-3と図-4供試体の画像にある、ひび割れ部とそれ以外の部分(ロウソクの煤)、トンネル天井PC板の煤(実際のトンネルの煤)よりRGB値を抽出し、式(1)を用いて明度Vに変換した。

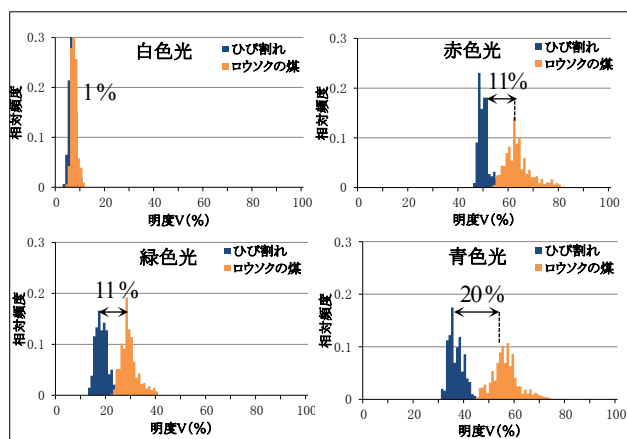


図-5 ひび割れとロウソク煤の明度分布（距離統一）

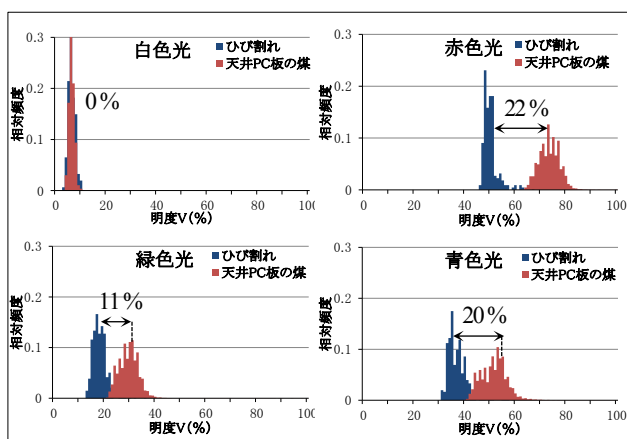


図-6 ひび割れと天井 PC 板煤の明度分布（距離統一）

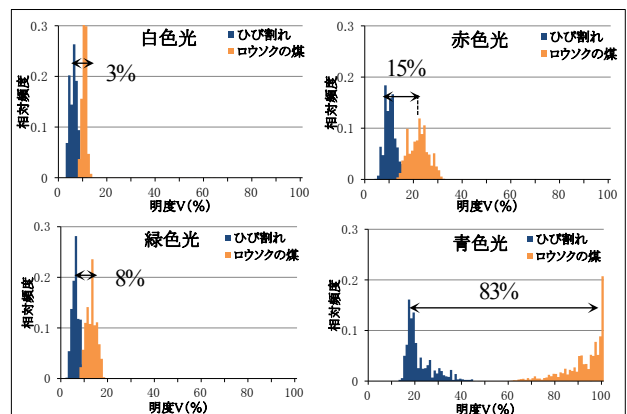


図-7 ひび割れとロウソク煤の明度分布（照度統一）

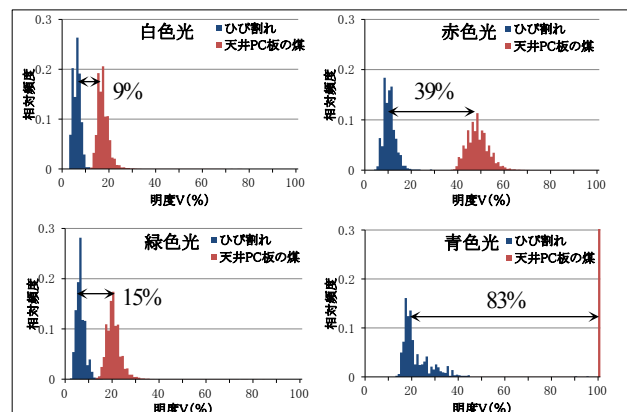


図-8 ひび割れと天井 PC 板煤の明度分布（照度統一）

表-1 照度統一時の照明から供試体までの距離

	白色光	赤色光	緑色光	青色光
供試体までの距離 (m)	1.10	2.06	2.00	0.40

4. 距離統一下での検証

照明から供試体までの距離を各色光とも2.0mに統一して撮影した画像の解析結果について述べる。

図-5と図-6はひび割れと2種類の煤の明度分布の比較である。双方向矢印の値はひび割れと煤の明度の違いを表している。2つの明度分布が横軸方向に離れているほど、明度Vによりひび割れと煤の判別が容易であることを表している。

図-5、図-6より白色光のひび割れと2種類の煤の明度に違いは見られないが、RGB単色光はひび割れと煤の明度に違いが確認された。図-5のひび割れとロウソク煤の明度分布では、RGB単色光の中でも青色光のひび割れと煤の違いが20%と顕著な違いが確認された。図-6の天井PC板の煤では、赤色光と青色光の明度に顕著な違いが見られた。このことからRGB単色光でひび割れと煤を判別できることが確認された。また、RGB単色光の中でも、特に赤色光と青色光のひび割れと煤の明度の違いが大きくなったため、判別により有効であると考えられる。

5. 照度統一下での検証

各色光の照度に差があることから照度を統一して撮影を行った。撮影距離は1.5mで変えず、照明を前後させ照度を2000lxに統一した。

図-7と図-8に照度統一下でのひび割れと煤の明度分布の比較を示す。各色光とも、ひび割れと2種類の煤の明度に違いが確認された。図-7のひび割れとロウソク煤の明度比較では、白色光よりRGB単色光の方がひび割れと煤の明度の違いが大きいことが確認できる。さらに、RGB単色光の中でも青色光が83%とひび割れと煤に顕著な違いが確認され、次いで赤色光、緑色光となった。図-8の天井板の煤も同様に、RGB単色光の方がひび割れと煤の明度の違いが大きく、中でも青色光に顕著な違いが見られた。しかし、表-1より青色光は、供試体までの距離が0.4mと最も近い距離であった。距離が近い方がより強い光が供試体に当たるため、煤の明度が高くなり、ひび割れとの違いが大きくなったと考える。また、照度は放射照度に人間が感じる明るさに応じた重みづけられた物理量であるため、これも各色光の明度と距離に影響していると考えられる。

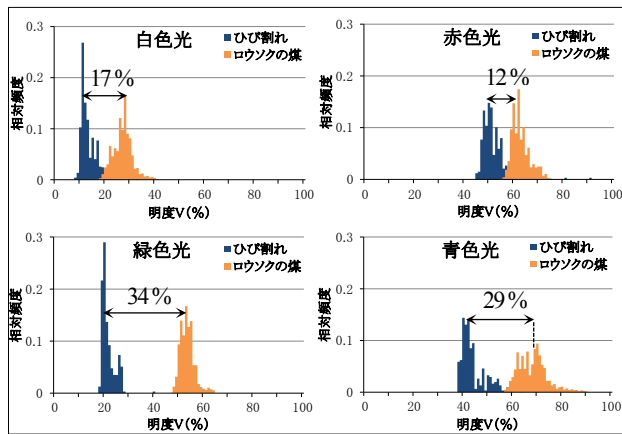


図-9 ひび割れとろうソク煤の明度分布（放射照度統一）

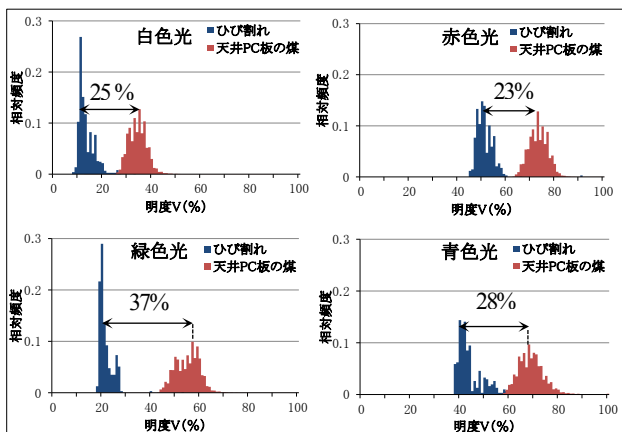


図-10 ひび割れと天井PC板煤の明度分布（放射照度統一）

表-2 放射照度統一時の照明から供試体までの距離

	白色光	赤色光	緑色光	青色光
供試体までの距離 (m)	0.80	2.00	0.57	1.57

6. 放射照度統一下の検証

照度は、光が照射された物体を眼で感じる明るさであるため、光のパワー（W）に着目し、各色光の放射照度（ W/m^2 ）を統一して撮影を行った。5章の照度統一の実験と同様に、撮影距離は1.5mで変えず、各照明を前後させて放射照度を $10\text{W}/\text{m}^2$ に統一した。

その時の各照明から供試体までの距離を表-2に、解析結果を図-9、図-10に示す。図-9と図-10とひび割れと煤の明度分布より、放射照度を統一した場合においても、各色光のひび割れと煤の明度に違いが確認された。図-9のひび割れとろうソクの煤の明度比較を見ると、今度は緑色光のひび割れと煤の明度の違いが最も大きくなった。次いで青色光、白色光、赤色光となり、距離統一と照度統一の結果で、最もひび割れと煤の明度差が小さかった

白色光が、今回の放射照度統一では赤色光より大きい違いが確認された。図-10のひび割れと天井PC板煤の明度の違いも、緑色光が最も大きく、青色光、白色光、赤色光の順にろうソクの煤の結果と同じ大小関係になった。

供試体までの距離を見ると、緑色光が0.57mと最も供試体から近い位置で、赤色光が2.00mで最も遠い位置からの照射であったことが確認できる。

RGB単色光の中では、青色光が白色光よりも供試体までの距離が遠く、ひび割れと煤の明度の違いも大きくなった。このことから放射照度統一では、白色光と比較し青色光がひび割れと煤の判別に有効であると考えられる。

7. おわりに

本研究では、RGB単色光と明度がひび割れと煤の判別に有効であるか、パラメータに距離、照度、放射照度を用いて検証を行った。

その結果、どのパラメータ統一においても、RGB単色光と明度でひび割れと煤を判別できることがわかった。また、白色光よりRGB単色光の方がひび割れと煤の明度違いが大きくなる傾向が確認された。距離や明度の大きさを考慮すると、赤色光と青色光がひび割れと煤の判別に有効であることがわかった。

実際のトンネルでの使用を想定した場合、照射距離が遠く、ひび割れと汚れの明度に違いが出る色の照明が望ましいと考えている。今後は各照明の消費電力も考慮して、RGB単色光の中で最もひび割れ検知に適した色の照明を選定して行く。

参考文献

- 1) 国土交通省道路メンテナンス技術小委員会ホームページ:道路トンネルに関するアンケート,
<http://www.mlit.go.jp/common/000988697.pdf> (入手 2013.6.2)
- 2) 国土交通省近畿地方整備局ホームページ:道路トンネル健全性評価技術の研究,
<http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/houkokukai/houkoku1.pdf> (入手 2012.7.15)
- 3) 塩崎正人ら:照明を利用した変状抽出手法に関する研究, 土木学会論文集F3, 67巻, 2号, pp.119-124, 2011.
- 4) 前川了重ら:RGB単色光を利用したコンクリート構造物のひび割れ検知に関する研究, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, pp.21-22, 2012.