

建設中のトンネル覆工コンクリートにおける表面気泡の検出および定量評価法

山口大学大学院	学生会員	○Huang Huatao
五洋建設株式会社	非会員	岡本健太
山口大学大学院	正会員	吉武 勇

1. はじめに

コンクリート構造物の表面品質は、一般に点検員の目視により評価するため、点検員の経験や技術などに依存し、定性的な評価となる可能性がある。また、トンネルの覆工コンクリートは一般に広大な表面積を有するため、その表面の目視観察には多くの時間と手間を要する。近年、トンネル覆工コンクリート表面気泡を簡易的に定量評価するため、カラー画像の画像解析法が開発された¹⁾。しかしこのカラー画像解析を行う場合でも、太陽光がほとんど入らず、トンネル坑内の照明のみがコンクリート表面色に影響を及ぼす環境下において、撮影時にフラッシュを使用するとコンクリート表面の撮影画像が白くなり、表面気泡の判別が困難となる課題があった。そこで本研究では、フラッシュにカラーフィルターを取り付け、撮影画像の RGB 値に変化を与えた。建設中のトンネル覆工コンクリートのカラー画像解析から、表面気泡を適切に検出し、定量評価することを目的とした。ここでは NATM トンネル建設環境下において、カラーフィルターの正解率と適合率について報告する。

2. 実験方法

本研究では市販の 19 種類のカラーフィルター(図-1)を用い、フィルターを用いないケースも含めて計 20 種類の撮影画像について画像解析を行った。撮影実験は実際の NATM トンネル施工現場で行った。撮影には一眼レフカメラ(2420 万画素)を用い、カラーフィルターをフラッシュに取り付けた。カメラは覆工コンクリート側壁面の 1m 前に配置し、フィルターを換えながら同条件下で撮影を行った。なお各カラーフィルターにつき、フラッシュ発光時間を 1/9000, 1/4000, 1/2000 秒、計 3 水準に変えて撮影した。すべての撮影画像から 2000×2000 画素の同じ領域をトリミングし、図-2 に示す画像解析ソフトウェアを用いて画像解析を行った。トリミングした画像は 9 つの領域に分割し、それぞれ



図-1 カラーフィルターの種類

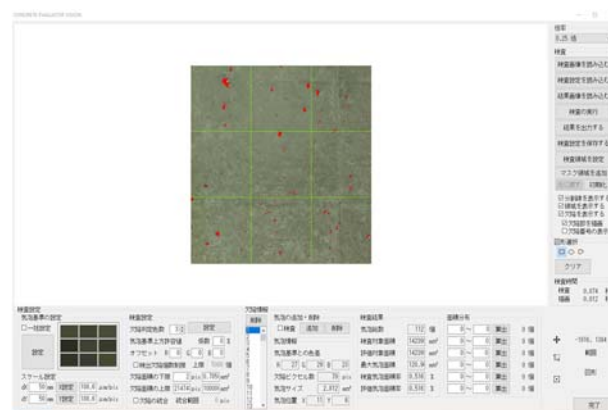


図-2 画像解析ソフトウェア¹⁾

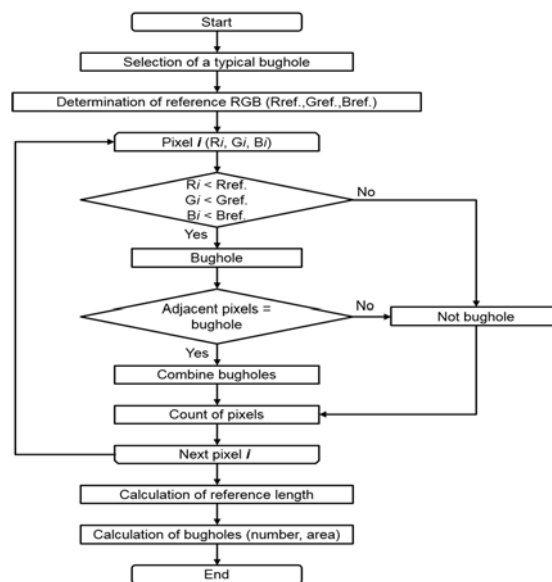


図-3 画像解析のフロー¹⁾

の領域で代表的な表面気泡を選択し、RGB 値の基準を設定した。使用した画像解析では、選択した基準気泡の RGB 値を基に気泡を検出でき、目視では判別困難な大きさ（1mm²未満）の気泡まで検出できる¹⁾。また、長

キーワード 覆工コンクリート, 表層品質, 気泡, 画像解析, カラーフィルター, 混同行列

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 TEL 0836-85-9306

さの設定を行うことで、表面気泡の総面積と各表面気泡面積を自動的に計算することができる。画像解析のフローを図-3に示す。さらに混同行列を用いて TP：表面気泡を正しく検出、FN：同非検出、FP：表面気泡以外を表面気泡と誤検出、TN：表面気泡以外を正しく検出、上記の各個数をまとめ、正解率： $(TP+TN)/(TP+FN+FP+TN)$ と適合率： $TP/(TP+FP)$ を求めた。なお表面気泡の正值は、撮影画像を拡大して詳細な画像解析を行った結果によるものである。

3. 結果と考察

正解率および適合率の基準として、カラーフィルターおよびフラッシュを用いず撮影した画像について、詳細に解析した結果を用いた。この詳細画像解析により検出した 1mm²以上の表面気泡は 311 個であった。各カラーフィルターについて混同行列を用いて求めた表面気泡 4-5mm²のフラッシュ発光時間 (sec) を 1/9000, 1/4000 に設定した正解率、適合率を図-4 および図-5に示す。これら棒グラフの各色は、カラーフィルターの色に対応している。

フラッシュ発光時間を 1/9000 に設定するとき、Deep Purple のカラーフィルター画像の検出結果が高かった。しかし、フラッシュ発光時間を 1/4000 に上がるにつれて、Special KH Lavender のカラーフィルターの正解率および適合率が向上したが、それ以外のカラーフィルターの数値が低くなった。4-5mm²に限らず、5-10mm² および 10-20mm² のデータも同様の傾向を示した。

各撮影画像表面の平均の RGB 値および換算した HSV 値 (色相 Hue, 彩度 Saturation, 明度 Value) を表-1 に示す。RGB 色空間モデルの特性のため、コンクリート表面の RGB 値は、フラッシュの発光量とともに増加しているが、RGB 値の増量には規則性はみられない。RGB 値を HSV 値に変換した後、フラッシュ発光時間が 1/9000 から 1/4000 に上がると、全カラーフィルターの色相および明度が増加したが、彩度はそれぞれ異なった。Special KH Lavender の彩度は増加したが、これは HSV 色空間モデルの中、239° はシアン領域にあり、240°からはブルーの領域となったためである。全結果において、Deep Purple と Special KH Lavender の色相や彩度の変化は微小であった。これらのカラーフィルターを用いた画像では優れた検出率を示した。Medium Yellow と 1/2 CTO を比較すると、明度が同等であっても色相と彩度が異なると、正解率、適合率が異なること

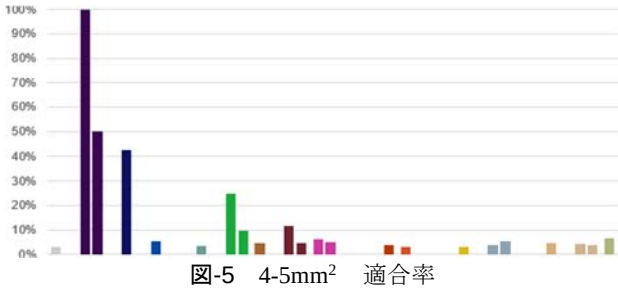
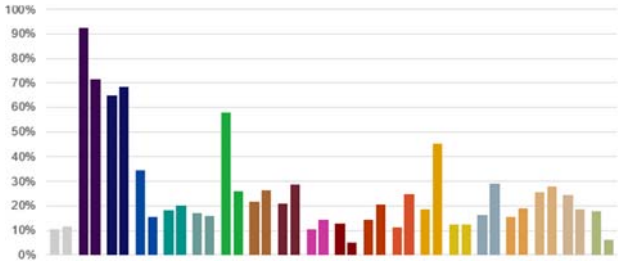


表-1 コンクリート表面 RGB 値および変換した HSV 値

		R	G	B	H	S	V
無色	1	206	206	205	60°	0.5%	80.8%
	2	243	243	243	0°	0.0%	95.3%
Deep purple	1	60	7	82	282°	91.5%	32.2%
	2	101	12	138	282°	91.3%	54.1%
Special KH Lavender	1	15	16	95	239°	84.2%	37.3%
	2	23	23	151	240°	84.8%	59.2%
Medium yellow	1	217	188	19	51°	91.2%	85.1%
	2	253	233	52	54°	79.4%	99.2%
1/2 CTO	1	217	174	121	33°	44.2%	85.1%
	2	252	221	170	37°	32.5%	98.8%

1：フラッシュ発光時間 1/9000, 2：フラッシュ発光時間 1/4000

を示した。Deep Purple の色相、彩度が変わらず、明度だけが上がる時、各数値が低くなった傾向がみられたが、Special KH Lavender の色相、彩度が同じ変化傾向の下で、各数値が向上した。明度が異なる条件下で、色相や彩度によって検出率が異なった。さらに異なるカラーフィルターを使用する場合、コンクリート表面の色むらの面積も異なることがわかった。

4. まとめ

- (1) 色相や彩度の変化が微小なカラーフィルターは優れた検出率を示した。
- (2) 明度が一定の場合、色相と彩度を調整することで表面気泡の検出率を向上できる。
- (3) カラーフィルターを用いた画像解析により、コンクリート表面の色むらの影響を低減できる。

参考文献

1) Yoshitake I., et al., Image analysis for the detection and quantification of concrete bugholes in a tunnel lining, *Case Studies in Construction Materials*, Vol.8, pp.116-130, 2018.