

切羽観察への画像解析技術活用に向けた切羽写真撮影条件に関する基礎的検討

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○佐々木亨，長谷川慶彦，日下敦，巽義知，菊地浩貴

1. はじめに

山岳トンネルの施工において、支保パターンや補助工法は日々の計測や切羽観察の結果を参考に選定されるのが一般的である。しかし、切羽観察は現場技術者の知識や経験に依るところが大きく、熟練の技術者が減少することにより適切な判断が困難となることが懸念される。これに対し、近年ではAIによる画像解析技術を用いた切羽評価システムの開発が進められている。その中で、切羽写真撮影時の環境やカメラの設定が切羽評価の結果に大きな影響を与えることが明らかとなっており¹⁾、画像解析に適した切羽写真の撮影条件の検討が望まれている。本検討では、トンネル坑内でカメラの設定や環境を変更しながら切羽を撮影した画像データを用いて、トンネル坑内という暗く、自然光が入らない特殊な環境下での切羽写真の撮影条件を検討した。

2. 取得データと検討概要

本検討では、まず表-1に示すF値（絞り値）やシャッタースピード（以下、S値）、ISO感度、画素数の4つのカメラの設定と、照度および撮影距離の2つの撮影環境の組み合わせを変えて切羽写真を撮影し、各画像の解像度を確認した。本稿における解像度は、各画像に写る図-1の解像度チャートを拡大し、細くなる模様がどこまで読み取れるか併記されるメモリ1～5の数値を点数として評価した。画像が明るすぎまたは暗すぎて解像度チャートが読み取れない画像については、それぞれ「白飛び」、「黒つぶれ」として評価した。そして、切羽面が比較的明瞭に撮れている解像度4、5点の画像を取得でき、かつ白飛び・黒つぶれが発生しない撮影条件を検討した。

なお、切羽写真を撮影する際には図-1の解像度チャートを切羽面1m手前の位置に設置し、上半切羽と解像度チャートが写るように撮影し、ズーム等の補正は行わないこととした。

3. 検討結果

3. 1 撮影環境について

今回撮影した2282枚の画像のうち、解像度が4、5点の画像は922枚、1～3点の画像は1360枚、白飛びした画像は37枚、黒つぶれした画像は295枚であった。切羽からの距離および切羽面の照度ごとの解像度の割合を図-2に示す。切羽からの距離に着目すると、切羽からの距離が16mの場合は解像度が4、5点の画像は8～14%であった。一方、切羽からの距離が7.5mの場合、解像度4、5点の画像は62～69%であり、切羽に近いほうが解像度は向上する結果となった。次に、切羽面の照度に着目すると、切羽までの距離が7.5m、16mどちらの場合も、解像度が4、5点の画

表-1 切羽写真の撮影条件一覧

検討項目		カメラA	カメラB
カメラの設定	画素数（万画素）	1200, 768, 128	1800, 1100, 300
	F値（絞り値）	2.0, 2.8, 8.0	1.8, 2.8, 8.0, 11.0
	ISO感度	100~1600	125~6400
	シャッタースピード（s値）	1/160~4	1/100~1/5
撮影環境	切羽面の照度（ルクス）	150, 250	
	切羽面からの距離（m）	7.5, 16	

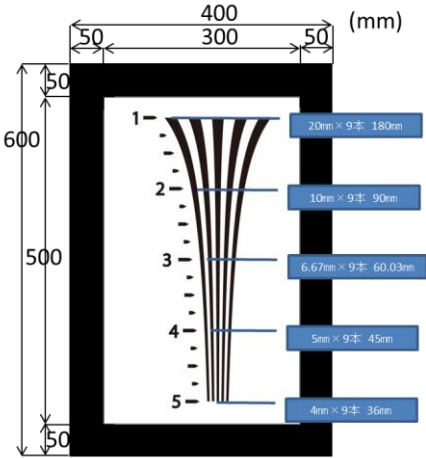


図-1 解像度チャート

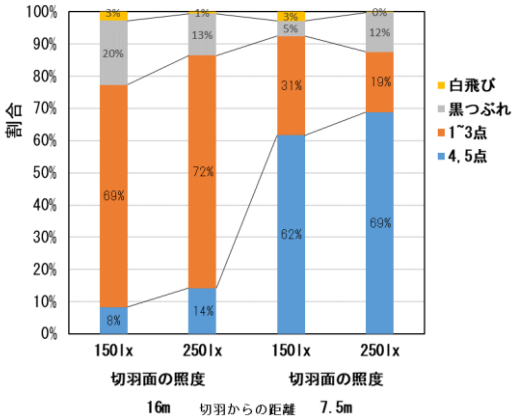


図-2 切羽距離・照度と解像度の関係

キーワード 山岳トンネル，切羽評価，切羽写真，画像解析

連絡先 〒305-8516 つくば市南原1-6（国研）土木研究所 道路技術研究グループ（トンネル） TEL 029-879-6791

像を取得できる割合は切羽面の照度が 150 ルクスと 250 ルクスではほぼ変わらない結果となった。

切羽面の照度が 150 ルクス～250 ルクスの範囲であれば、照度が画像の解像度に与える影響は切羽面の距離による影響に比べ軽微であり、照度は解像度にほぼ影響しないことが考えられる。

3. 2 カメラ設定値について

カメラの設定値については、まず、F 値、S 値および ISO 感度と解像度の関係について検討した。F 値は大きいほど暗い画像に、小さいほど明るい画像になる設定値である。一方、S 値および ISO 感度は遅い（大きい）ほど明るい画像に、早い（小さい）ほど暗い画像になる設定値である。また、これらは画質にも影響を与える指標である。広範囲を撮影する必要がある切羽写真においては、F 値が小さいほどピンボケしやすくなり、S 値および ISO 感度は大きいほど手振れやノイズの増加により画質が低下する。これらのことから、式（1）によりカメラ設定の評価点①を算出し、解像度との関係を検討した。評価点①は上述のカメラ設定の性質により、値が小さいほど明るくかつ画質が悪くなると考えられる。

$$\text{カメラ設定の評価点①} = \text{F 値} / (\text{S 値} \times \text{ISO 感度}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

図-3 は各解像度について、式（1）で算出したカメラ設定の評価点①の発生割合を示したものである。図-3 より、白飛びは全て評価点①が 0.1 以下の場合に発生していることがわかる。また、黒つぶれは評価点①が増加するほど発生しやすくなり、その多くは 0.5 より大きい場合発生する結果となった。このことから、評価点①が 0.1～0.5 の範囲であれば、少なくとも白飛び、黒つぶれを概ね避ける事ができると考えられる。

次に、画素数も考慮した指標として、式（2）で求めた評価点②により検討した。ここでは、白飛び・黒つぶれが発生しづらい評価点①が 0.1～0.5 の画像に限定して検討を行った。

$$\text{カメラ設定の評価点②} = \text{評価点①} \times \text{画素数}$$

図-4 に式（2）で求めた評価点②の区間ごとに各解像度が占める割合を示す。図-4 より、評価点②が 100 以下では解像度 4、5 点の画像が 30%程度であるのに対し、100 より大きい場合は 50%以上の割合で解像度 4、5 点の画像を取得できている。ただし、500 点以上の画像を確認すると、全体的に暗くなる傾向があり、画像解析への適用には不適切な画像であると考えられる。

以上より、トンネル切羽を撮影する際に白飛びや黒つぶれが発生しにくく、AI 適用に必要な解像度を確保できる撮影条件として、式（1）の評価点①が 0.1～0.5 の範囲に収まること、かつ、式（2）の評価点②が 100～500 の範囲に収まる事が 1 つの目安であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、同一の切羽でカメラの設定や撮影条件を変えながら撮影した多数の画像を用いて、トンネル坑内という暗く、自然光が入らない特殊な環境下において切羽写真を比較的高解像度で撮影する条件を検討し、カメラ設定の評価式と適切な設定範囲の提案を行った。今回の検討は 1 現場・1 切羽の画像を分析した結果であるため、適用現場数を増やして検討を進めていくとともに、この撮影条件で撮影した画像を用いた画像解析を実施していきたい。

参考文献

- 1) 菊池浩貴, 日下敦, 小出孝明 ほか: AI を用いた山岳トンネルの切羽評価に関する考察, 第 75 回年次学術講演会, 2019.9

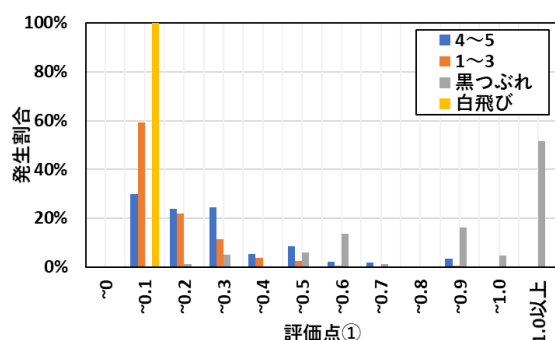


図-3 評価点①の区間ごとの解像度の発生割合

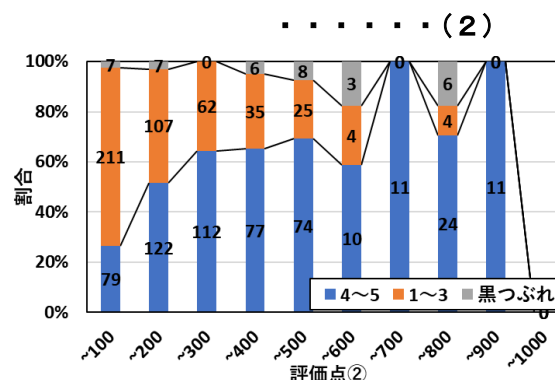


図-4 評価点②の区間ごとの解像度の割合
(図内の数値は画像の枚数)