

# 統計的手法による山岳トンネル切羽の鏡吹付け厚の最適管理システムの開発

## Development of Optimal Management System for Shotcrete Thickness of Tunnel Face by Statistical Method

宮 嶋 保 幸      戸 邊 勇 人      山 下      慧

### 要 約

山岳トンネルの建設では肌落ち災害防止のため、鏡吹付けコンクリートが施工される。しかしこれらの施工は、切羽ごとに地質状況に応じた厚さを決定することが難しく、肌落ち事故が発生しているのが現状である。本研究では、切羽写真の画像解析による風化と割れ目分布データとコンピュータジャンボ穿孔データによる地質定量評価結果に加え、当該切羽の鏡吹付け厚および剥落情報を収集し、収集したデータからロジスティック回帰を利用して地質状況に応じた鏡吹付け厚を提示できるモデルを開発した。当モデルを花崗岩のトンネルで適用した結果、肌落ちを防止するための最適な鏡吹付け厚を 75%程度の精度で提示できることが分かった。また、ロジスティック回帰は隠れ層のない機械学習手法のため、地質状況や鏡吹付け厚と剥落の関係性を明確に示すことができることを明らかにした。

### 目 次

- I. はじめに
- II. ロジスティック回帰による最適鏡吹付け厚の決定方法
- III. 花崗岩トンネルでの最適鏡吹付け厚決定方法の適用
- IV. おわりに

#### I. はじめに

山岳トンネルでは肌落ち災害防止のため、鏡吹付けコンクリートが吹付けられている。2016 年には、厚生労働省から「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」が周知され、地山の状態に応じて、適切な吹付け厚を確保する必要があることが示された。しかしながら、切羽の地質状況は掘削ごとに変化することに加え、鏡吹付けコンクリートは掘削後ただちに施工されるため、切羽の地質状況を詳細に観察して評価する時間的な余裕はなく、地質状況に応じた適切な鏡吹付けコンクリートの厚さを決定することは難しい。このため、従来から切羽の地質状況をリアルタイムに定量評価できる技術が求められてきた。

これまでに筆者らは、切羽写真から切羽の風化度や割れ目分布を定量評価し、切羽の剥落の発生確率を定量評価する技術の開発に取り組んできた。これは、様々なトンネ

ルから 307 の切羽写真を収集し、画像解析技術を利用して切羽の風化度と割れ目分布を定量評価するとともに、当該の切羽において発破孔穿孔時の剥落発生の有無を記録し、これらの蓄積したデータに基づき、切羽の地質状況の定量評価結果に応じた剥落発生の確率を評価するものである。本研究では、これに加えて、切羽の強度の指標としてコンピュータジャンボの穿孔データを利用し、さらに発破孔穿孔箇所の鏡吹付け厚を計測し、地質状況に応じた、剥落を防止するために必要な鏡吹付け厚を提示するモデル構築について検討を行った。モデル構築には、多変量を統計的に取り扱う手法から、モデルが単純で評価結果の因果関係が明確なロジスティック回帰を利用した手法を考案した。

さらに、考案したモデルについて、花崗岩を主体とするトンネルを対象として検証を行った。その結果、肌落ちを防止するための最適な鏡吹付け厚を 75%程度の精度で提示できることを明らかにするとともに、判別係数やオッズ比により、鏡吹付け厚と剥落の関係性を明確に示すことができた。本報ではこれらの開発成果について報告する。

#### II. ロジスティック回帰による最適鏡吹付け厚決定方法

##### 1. ロジスティック回帰の利用

近年では、切羽の客観的な評価や岩判定の遠隔立会による生産性向上を目的として、切羽の定量評価技術の研究が

**キーワード**：肌落ち、切羽定量評価、ロジスティック回帰、安全管理

**Keywords**：rock falling, geological evaluation of tunnel face, logistic regression, safety management

進められている。例えば中岡ら<sup>3)</sup>は、切羽画像から圧縮強度や風化度などの項目を評価することを目的として、AlexNetによってカテゴリー分類し、その結果をSVMによってランク分けを行う研究を行っている。また、菊池ら<sup>4)</sup>は、切羽画像を用いたCNNによる切羽評価方法に関し、Grand-CAMを用いて判定の着目箇所を視覚的に表現し、判定結果の正答率だけではなく、判定過程にも着目すべきであることを示した。一方、鶴田ら<sup>5)</sup>は、圧縮強度をドリルジャンボ穿孔データのAI回帰分析により評価し、風化を切羽のスペクトル画像からAIを使って評価し、割れ目間隔をステレオカメラによる切羽の点群データから評価するなど、評価項目ごとにセンシングと解析手法を選定する研究を進めている。以上のように、AIやセンシング技術の普及により、切羽の地質状況を定量評価する研究が進められているが、その目的は、人による切羽観察を定量化するものであり、肌落ち災害防止に着目した研究は極めて少なく、CNNなどの複雑なモデルを利用しているため、評価結果の根拠を評価することが難しい。

これに対し、本研究で対象とする肌落ち災害防止を目的とした鏡吹付け厚の決定手法は、岩盤の強度や風化、割れ目と鏡吹付け厚などの複数のパラメータを与えられた場合に、肌落ちが発生するか、しないかを判断する手法に置き換えることができる。この判断を的確に行うことができれば、新たな地質状況が与えられたときに、肌落ちを発生させないために必要な鏡吹付け厚を決定できる。そこで本研究では、多変量を統計的に解析することが可能であり、得られた結果に対して、その根拠を示すことができるロジスティック回帰を利用した。ロジスティック回帰は、複数の変数から目的とした事象が発生するか、発生しないかを分類する機械学習手法の一種である。具体的には、複数の変数に重みをかけて、これらを合算し、この結果を活性化関数を通して、事象が発生する確率を出力するものである。ロジスティック回帰は演算が一層の単純なモデルのため、変数ごとの重みやオッズ比から、どの変数がどのように影響しているかを評価できる。特に、今回の変数となる強度や風化度、割れ目分布などの地質状況と鏡吹付け厚は、肌落ちの発生と直接的に関連するため、ニューラルネットワークやディープラーニングのように多層の階層構造を持たなくても判別できる可能性があると考えられる。

## 2. ロジスティック回帰による剥落発生確率の判定

本研究の目的は肌落ち災害を防止するために必要となる鏡吹付け厚を決定することだが、肌落ち災害に至る規模の大きな落石は発生頻度が極めて低く、検証に必要なデータ収集が難しい。そこで、肌落ちの危険性を示す指標として、発破孔の穿孔時に発破孔近傍の地山が剥落する切羽は、

肌落ちの危険性が高い切羽と想定し、剥落の発生有無を肌落ちの危険性を示すデータとして収集した。

ここで、剥落を確率的に発生する現象とした場合、確率的な現象の評価方法として正規分布関数の利用が考えられる。しかしながら、正規分布関数は解析的に積分できないため、機械学習やロジスティック解析では、正規分布と似た分布を持つシグモイド関数が利用される<sup>6)</sup>。式(1)はロジスティック関数で利用する活性化関数をシグモイド関数で表している。シグモイド関数は、計測された実数値からある現象が発生する確率を出力するときに利用されるもので、これを本研究で利用する場合、 $P$ は剥落が起こる確率を示している。また、式(1)および式(2)の $Z$ は地質状況と鏡吹付け厚によって決定される条件である。式(1)によって決定される $P$ すなわち剥落発生確率の関数は、Fig.1に示すようなS字カーブを示し、同図に点線で示した正規分布のカーブとほぼ同じ形状を示すことが分かる。

ロジスティック回帰の学習段階においては、Fig.1に示すように、ある事象が発生した場合をオレンジのプロットで示す100%、発生しなかった場合を青のプロットで示す0%として、これを最も精度良く判別できる判別係数 $\beta$ を決定する。実践段階では、取得した様々なパラメータから $P$ を算出し、 $P$ が50%以上となる場合を剥落あり、50%未満を剥落なしと判定する。なお、破壊エネルギー係数や風化度などは、それぞれ絶対値が異なる範囲の値をとるため、式に示した $p_i$ ,  $w_i$ ,  $i_i$ ,  $c_i$ ,  $s_i$ は統計処理で行われる平均値を0、標準偏差を1とする正規化を行った値である。

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-Z)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Z = \beta_p p_i + \beta_w w_i + \beta_i i_i + \beta_c c_i + \beta_s s_i + \beta_0 \quad \dots\dots(2)$$

$P$  : 剥落発生確率

$Z$  : 地質条件と鏡吹付け厚によって決定される条件

$\beta_p$  : 破壊エネルギー係数に対する判別係数

$\beta_w$  : 風化度に対する判別係数

$\beta_i$  : 割れ目間隔に対する判別係数

$\beta_c$  : 割れ目交差密度に対する判別係数

$\beta_s$  : 鏡吹付け厚に対する判別係数

$\beta_0$  : 定数

$p_i$  : 破壊エネルギー係数<sup>\*\*</sup>

$w_i$  : 風化度<sup>\*\*</sup>

$i_i$  : 割れ目間隔<sup>\*\*</sup>

$c_i$  : 割れ目交差密度<sup>\*\*</sup>

$s_i$  : 鏡吹付け厚<sup>\*\*</sup>

<sup>\*\*</sup>  $p_i$ ,  $w_i$ ,  $i_i$ ,  $c_i$ ,  $s_i$  : 正規化された値

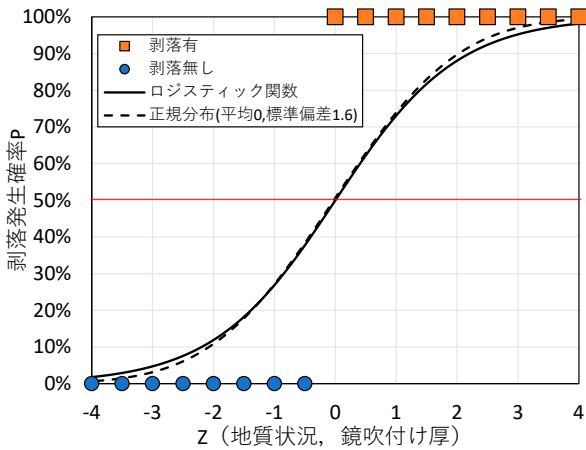


Fig.1 ロジスティック回帰曲線 (Logistic Regression Curve)

### 3. ロジスティック回帰による鏡吹付け厚決定方法

本研究の目的は、剥落を防止するために必要な鏡吹付け厚を地質状況に応じて決定することから、学習時には入力データとなっている鏡吹付け厚について、実践時には、出力するモデルを構築することである。ロジスティック関数では剥落発生確率  $P$  が 50%を境界として剥落発生の有無判定をするので、ここで  $P$  を 0.5 (50%) とした場合、式(1)と式(2)から鏡吹付け厚 " $S_i$ " を求める式に変形すると、地質状況に応じた鏡吹付け厚を決定する式(3)を得ることができる。実際の掘削時には、鏡吹付けコンクリートを施工する前に、破壊エネルギー係数  $p_i$  と風化度  $w_i$ 、割れ目間隔  $i_i$ 、割れ目交差密度  $c_i$  を取得できるので、式(3)により地質状況に応じた最適鏡吹付け厚を決定できる。

$$\text{吹付け厚 } s_i = -1 \times \frac{\beta_p p_i + \beta_w w_i + \beta_i i_i + \beta_c c_i + \beta_0}{\beta_s} \quad (3)$$

### 4. 本研究に用いたデータの収集方法

切羽の地山評価には、日常管理の切羽観察において「圧縮強度」、「風化変質」、「割れ目間隔」、「割れ目状態」、「走向傾斜」、「湧水量」、「水による劣化」に着目して評価されている。本研究ではこれを参考とし、地質状況を自動でデジタル評価できることを前提として、岩盤の強度、風化度、割れ目分布に着目した。具体的には、以下の4つの地質評価項目と鏡吹付け厚および剥落状況のデータを収集した。

#### (1) 破壊エネルギー係数<sup>7)</sup>

岩盤の強度は切羽の安定性に大きな影響を与える。岩盤の強度に相関する評価値としてコンピュータジャンボから自動的に取得できる破壊エネルギー係数を利用した。

#### (2) 風化度<sup>2)</sup>

風化によって岩盤の固結度が低下し、割れ目の風化が著

しい場合、割れ目から岩塊が剥落する危険性が高くなる。風化度のデジタル評価は切羽写真の画像解析を利用した。

#### (3) 割れ目間隔<sup>8)</sup>

割れ目間隔は切羽の安定性に影響を与える。割れ目間隔のデジタル評価は切羽写真の画像解析を利用した。

#### (4) 割れ目交差密度<sup>2)</sup>

剥落は割れ目が交差する箇所が発生する可能性が高いと想定し、筆者らが割れ目分布の状況の評価する指標として、割れ目交差密度<sup>2)</sup>を考案した。割れ目交差密度のデジタル評価は、切羽写真の画像解析を利用した。

#### (5) 鏡吹付け厚の計測<sup>9)</sup>

鏡吹付け厚の計測に利用した鏡吹付け厚管理システムは、分解能 1mm、測定精度±3mm のレーザー距離計 10台をタブレット PC で制御し、鏡吹付けの厚さを記録する。

#### (6) WEB カメラによる切羽の剥落状況記録<sup>2)</sup>

穿孔機械 (ジャンボ) に WEB カメラを搭載し、発破孔穿孔時の剥落の有無と剥落が発生した箇所を記録した。

## III. 花崗岩トンネルでの最適鏡吹付け厚決定方法の適用

### 1. 花崗岩のトンネルで収集したデータの概要

ロジスティック回帰による鏡吹付け厚の決定手法を花崗岩を主体とするトンネルの延長約 300m を対象として、適用した。当該区間の土被りは 30~80m であり、岩塊は比較的硬いが、割れ目沿いに風化の進む切羽であり、剥落は風化の進んだ箇所で頻繁に見られた。

対象とした 35 切羽から、Fig.2 に示すように、切羽ごとに穿孔データ、画像解析による風化面積率、割れ目間隔、割れ目交差密度を切羽の定量評価データとして取得するとともに、切羽の肌落ち危険度を検証するために発破孔穿孔時の切羽の剥落の有無を動画によって記録した。35 切羽から 52 箇所の鏡吹付け厚データを取得した。

ロジスティック回帰は、鏡吹付け厚を計測した 52 箇所の切羽の定量評価データと鏡吹付け厚を入力データとして、切羽の剥落発生の有無について判定する学習を行った。この時、過去の発生した肌落ち災害の大きさの平均値が長辺 1.0m、短辺 0.6m、厚さ 0.3m であること<sup>10)</sup>を考慮し、切羽の定量評価データは、切羽を 1m×1m のメッシュに区切り、メッシュごとの平均値を入力データとした。

Fig.2 は収集したデータの例を示しており、当該切羽では赤枠に示す 2 箇所の鏡吹付け厚データを取得し、計測箇所の定量評価結果を示した。なお、収集した 52 データのうち、19 に剥落があり、33 は剥落なしであった。

### 2. ロジスティック回帰による剥落発生の判定精度

ロジスティック回帰の結果、得られた判別係数を Table 1 に示し、判別係数を式(1)に適用して得られる  $P$  (剥落発生確率) と  $Z$  (地質状況と鏡吹付け厚によって決定される条

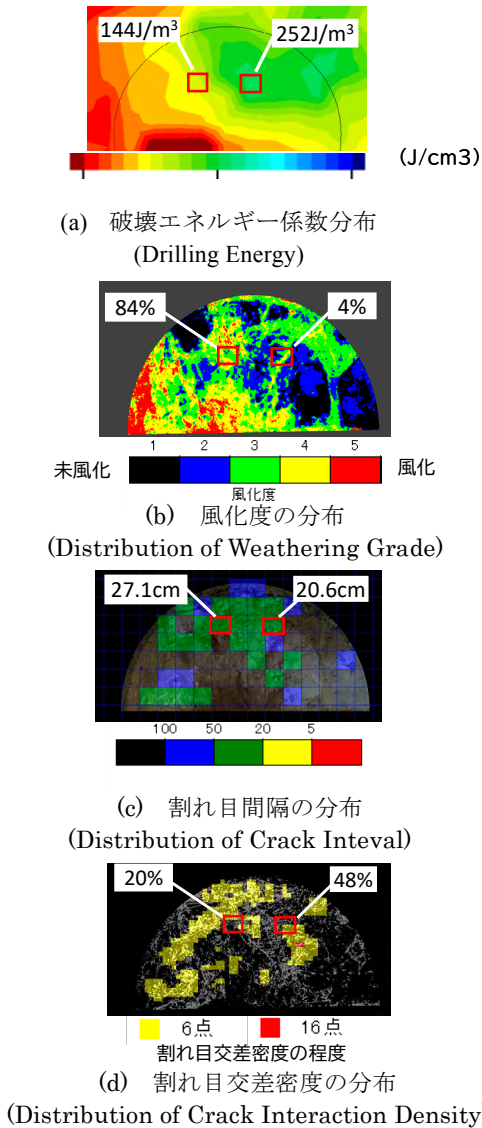


Fig.2 収集したデータの例 (Example of Collected Data)

Table 1 判別係数 (Discrimination Coefficient)

項目	判別係数
破壊エネルギー係数	$\beta p$ 0.11
風化面積率	$\beta w$ 0.90
割れ目間隔	$\beta i$ 0.14
割れ目交差密度	$\beta c$ 0.12
鏡吹付け厚	$\beta s$ -1.11
定数	$\beta 0$ -0.74

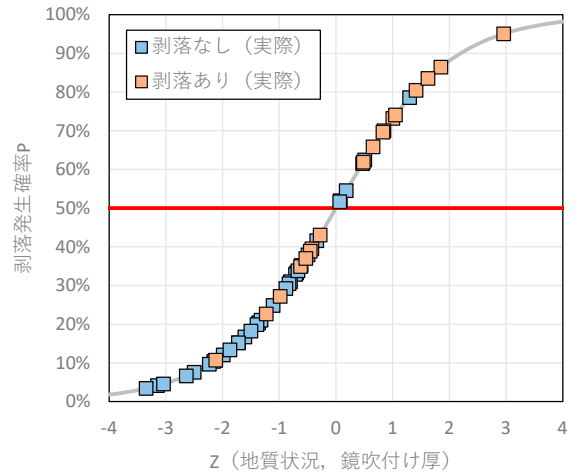


Fig.3 ロジスティック関数による剥落発生確率評価 (Probability of Rock Fall in Logistic Function)

Table 2 訓練データの剥落判定精度 (Balanced Accuracy of Training Data)

ロジスティック 回帰結果	予測結果		正答率
	剥落なし	剥落あり	
実際の 剥落なし	29	4	88%
切羽 剥落あり	8	11	58%
正答率	78%	73%	77%

Table 3 剥落判定精度 (Balanced Accuracy)

機械学習の手法	訓練	テスト
ロジスティック回帰	77%	75%

件) の関係を Fig.3 に示す。Fig.3 には、学習に使用した 52 データの判別結果もプロットし、訓練データの評価精度 (Balanced Accuracy) を Table 2 に示した。このグラフにおいて、オレンジ色のプロットは剥落が発生したデータであり、青色のプロットは剥落が発生しなかったデータである。前述のとおり、P が 50% を境界として剥落の有無を判定するので、オレンジ色のプロットが 50% よりも大きな範囲にあり、青色のプロットが 50% よりも小さな範囲にあれば評価が正しいことを示す。Table 2 に示す評価精度 77% は、学習モデルが学習時に使用した訓練データそのものの再現性を示すものである。

Table 3 には、上記の訓練時の評価精度に加えて、実践段階における精度を評価するため、訓練データが少ない場合に利用される Leave-one-out によって剥落判定精度を示

した。Leave-one-out とは、全データ (52 データ) から 1 つデータを抜き出したデータセットで学習し、学習したモデルで初めに抜き出したデータをテストデータとして剥落有無を正確に判定できるか検証するもので、この操作を抜き出すデータを変えながら全データに対して実施し、精度検証を行うものである。Table 3 より、ロジスティック回帰においては、訓練とテストともに、剥落発生の有無を 75% 程度の精度で判定できることが明らかとなった。

### 3. ロジスティック回帰による剥落判定モデルの分析

地質状況と鏡吹付け厚の剥落発生への影響について、オッズ比に着目して分析を行った。オッズ比とは、風化度など特定の地山評価項目の剥落発生への影響の大きさを計るため、ある1項目を1単位増減したときの影響の度合いを示すものである。ある項目を増減しても剥落発生確率が変化しない場合、オッズ比1であり、オッズ比がどの程度1より大きいのか、あるいは小さいかを比較すれば、どの項目が剥落発生に大きく影響を与えているかを判定できる。

今回の検討で得られたオッズ比を Table 4 に示す。Table 4 より、風化面積率と鏡吹付け厚は、その他の項目に比べて剥落発生確率に与える影響が大きく、一方、破壊エネルギー係数の影響が極めて小さい。ここで、今回対象としたトンネルの地質状況と剥落発生箇所を比較した。当該の範囲では全体的に比較的硬い岩盤が分布しており強度の変化は小さかった。このため、破壊エネルギー係数と剥落に有意な関係が見られなかったと考えられる。また、剥落は割れ目沿いに風化が著しい箇所が発生しており、割れ目間隔や割れ目交差密度よりも、風化が剥落に影響を与えており、オッズ比から判定できる地質状況と剥落の関係は、このような特徴を示すことができたと考えられる。

このように、ロジスティック回帰では、地山パラメータや鏡吹付け厚が剥落に影響する寄与度や性質を評価できるため、ニューラルネットワークやディープラーニングのように結果への考察がブラックボックス化することなく、現場へ適用するに当たり、検証や確認を行いながら、精度向上の取り組みが可能であることが明らかとなった。

### 4. 最適鏡吹付け厚の決定方法の検証

鏡吹付け厚の決定方法について検証するため、収集した52データのうち、施工時に剥落が発生した Table 5 に示す1切羽を対象として、剥落防止に必要な鏡吹付け厚について検討を行った。ロジスティック回帰を利用する場合には、式(1)に述べたように各計測値の正規化が必要となるため、Table 5 には正規化した値も示した。

ここで、式(1)および式(2)の  $S_i$  (鏡吹付け厚) だけを変数として、 $P$  (剥落発生確率) との関係を図4に示した。Fig.4より、実際に施工された21mmの鏡吹付け厚の場合、剥落発生確率は80%であり、剥落発生と整合している。また、剥落防止のために必要となる鏡吹付け厚は、 $P$  が50%となる81mm必要だったことが認められた。このことは、式(3)からも求めることができる。以上のように、剥落が発生した切羽を対象として検証した結果、地質状況に応じた最適な鏡吹付け厚を提示できることが分かった。

Table 4 オッズ比 (Odds Ratio)

項目	オッズ比
破壊エネルギー係数	1.11
風化面積率	2.46
割れ目間隔	1.15
割れ目交差密度	1.13
鏡吹付け厚	0.33

Table 5 鏡吹付け厚決定の検討対象とした切羽の条件 (Geological Conditions for the Tunnel Face to be Examined for Determining the Shotcrete Thickness)

項目	計測値	正規化した値
破壊エネルギー係数	144J/cm <sup>3</sup>	-1.25
風化面積率	84%	1.42
割れ目間隔	27.1cm	-0.38
割れ目交差密度	20%	-0.36
鏡吹付け厚	21mm	-1.00

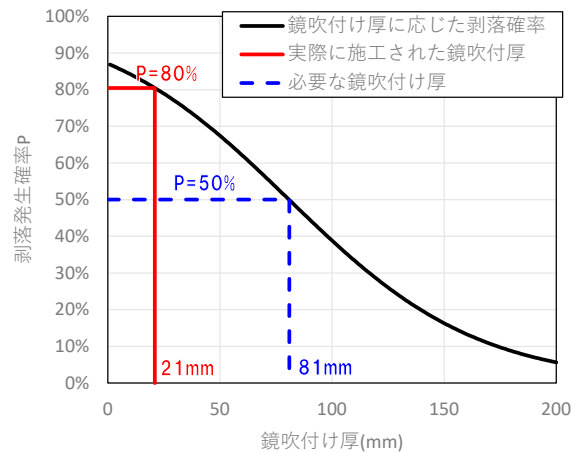


Fig.4 ロジスティック関数による鏡吹付け厚の決定 (Determination of Shotcrete Thickness by Logistic Function)

### IV. おわりに

肌落ち災害防止を目的として、地質状況に応じた最適な鏡吹付け厚を提示するため、ロジスティック回帰を利用し、切羽剥落を防止に必要な鏡吹付け厚を提示するモデルを考案した。当手法を検証するため、花崗岩のトンネルを対象としたデータを利用し、以下の結論を得た。

- ① ロジスティック回帰では、オッズ比から地山パラメータが剥落に影響する寄与度を評価できる。花崗岩を対象とした検討から、風化と鏡吹付け厚が剥落に強く影響を与えており、実際の剥落と整合的であった。
- ② 今回、適用した花崗岩のトンネルでは、最適な鏡吹付け厚を75%の精度で提示することができた。

今後、精度向上にはデータ蓄積が重要である。このため、今回開発した技術をスマートフォンに搭載し、切羽でリアルタイムに鏡吹付け厚を確認できるシステムを構築した



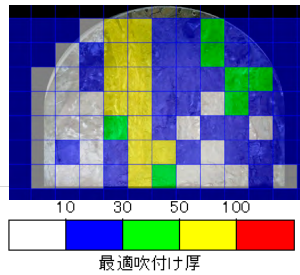


Fig.5 リアルタイム最適鏡吹付け厚管理システム  
(Real-time Optimal Shotcrete Thickness Management System)

(Fig.5)。Ⅲ章1節に示したとおり過去の肌落ちの大きさを考慮し、1m×1mのメッシュにロジスティック回帰に基づいた最適鏡吹付け厚を出力する。当システムは、日常管理の切羽写真撮影の要領で撮影し、簡単な操作で解析が開始され、1分後には、解析結果を切羽で確認できるとともに、結果は自動的に蓄積できる。今後、当システムを現場に導入してデータを蓄積し、最適な鏡吹付け厚の決定精度の向上を図り、トンネル建設工事の安全性向上に貢献したい。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省ガイドライン；山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドラインの改正について、2018.1.18. <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakuujouhou-11300000-Roudoukijunkyokuanzeniseibu/0000149302.pdf> (参照 2021.12.10)
- 2) 戸邊勇人, 宮嶋保幸, 白鷺卓, 山本拓治；山岳トンネル切羽の剥落危険度評価システムの開発と現場への適用, 第46回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 2019, pp.81-86.
- 3) 中岡健一, 畑浩二；人口知能による切羽評価で抽出される特徴の可視化とその利用方法, 第47回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 講演番号12, 2020, pp.62-67.
- 4) 菊地浩貴, 日下敦, 小出孝明, 巽義知, 長谷川慶彦；AIを用いた山岳トンネルの切羽評価に関する一考察, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-736, 2019.
- 5) 鶴田亮介, 谷口翔, 多寶徹；山岳トンネルの「切羽地質情報取得システム」の開発, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, VI-673, 2020.
- 6) 赤石雅典；最短コースでわかるディープラーニングの数学, 日経BP社, 2021, pp.164-165.
- 7) 白鷺卓, 宮嶋保幸, 山本拓治, 西川幸一, 福田博之；トンネルの施工穿孔データを利用したオンタイム切羽評価と前方予測, トンネル工学報告集, Vol.27, I-19, 2017, pp.1-5.
- 8) 工藤翔太, 戸邊勇人, 宮嶋保幸；切羽写真の画像解析による割目間隔の定量評価技術, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, III-53, 2020.
- 9) 宮嶋保幸, 福島大介, 戸邊勇人, 女賀崇司, 松浦 遵；トンネル切羽の鏡吹付けコンクリートの厚さ管理システムの開発, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-733, 2019.
- 10) 吉川直孝, 伊藤和也, 豊澤康男, 堀智仁, 玉手聡；トンネル切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案, 労働安全衛生総合研究所技術資料, TD-No.2, 2012. <https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/doc/td/TD-No2.pdf#zoom=100> (参照 2021.12.10)

## Development of Optimal Management System for Shotcrete Thickness of Tunnel Face by Statistical Method

*Yasuyuki Miyajima, Hayato Tobe and Kei Yamashita*

Shotcrete is installed in tunnels to prevent rock fall disasters. It is difficult to determine the thickness of shotcrete for each tunnel face depending on the geological conditions, and it is recommended to spray the shotcrete at a thickness of 3 to 5 cm depending on the support pattern. In this study, we collected the results of a quantitative evaluation of the geology of a tunnel face using image analysis technology and a large amount of drilling data, as well as the shotcrete thickness and rock fall information of the tunnel face, and we used logistic regression on the shotcrete thickness which was determined on the basis of the geological conditions. As a result, it was found that the shotcrete thickness can be determined with an accuracy of about 75%. We also show that since logistic regression is a machine learning method without hidden layers, it can clearly show the relationship between geological conditions and shotcrete thickness and rock fall.