

切羽の定量評価に基づくロジスティック回帰による鏡吹付け厚さの決定手法

鹿島建設(株) 正会員 ○宮嶋保幸 福島大介 西澤勇祐 戸邊勇人

1. はじめに

筆者らは、トンネル掘削工事における切羽の肌落ち事故の防止を目的として、切羽の地山状況と鏡吹付け厚を考慮した切羽剥落危険度の評価手法についてロジスティック回帰を利用した検討を進めている¹⁾。これは、コンピュータジャンボ穿孔データや切羽画像解析による風化と割れ目の定量評価及び鏡吹付け厚をパラメータとして、蓄積したデータから求めたロジスティック関数によって剥落確率を予測するものである。

本稿では、ここで得られたロジスティック関数を利用し、地山状況に応じた鏡吹付け厚を決定する手法について、粘板岩を主体とするトンネルを対象として検討した結果を報告する。

2. ロジスティック回帰による鏡吹付け厚さの決定手法

検討対象としたトンネルの地質状況及び機械学習によって求めたロジスティック関数による剥落確率予測に関する検討については、福島らによる論文¹⁾を参照されたい。ここで求めたロジスティック関数及び判別係数を式(1)、(2)と表-1に示す。

ここで、地山状況に応じた鏡吹付け厚を決定するため、式(1)及び式(2)から鏡吹付け厚“ S_i ”を求める式に変形すると式(3)のように表すことができる。さらに、福島らの論文¹⁾に示したようにロジスティック関数では剥落発生確率が50%を境界として剥落発生の有無を判定するので、式(3)の“P”を0.5とすれば、式(4)のように表すことができる。式(4)の判別係数($\beta_w \sim \beta_0$)は蓄積したデータから表-1のように機械学習によってあらかじめ取得することができる。また、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、発破孔穿孔時に取得できる破壊エネルギー係数(p_i)²⁾と切羽写真の画像解析³⁾による風化面積率(w_i)、割れ目交差密度(c_i)を取得することができるので、式(4)により地山状況に応じた鏡吹付け厚を決定することができる。

3. 地山状況に応じた鏡吹付け厚の決定例

次に、表-2に示す地山条件を対象とした場合を想定して、鏡吹付け厚の決定方法について検討を行った。この地山条件は、福島らの論文¹⁾に示したTD.692mの切羽であり、実際には鏡吹付け厚は32mmで施工されており剥落が発生している。この場合、式(1)により剥落発生確率が0.87(87%)と0.5以上となり32mmでは鏡吹付け厚が十分でなかったと考えられる。

キーワード 切羽定量評価, 肌落ち, ロジスティクス回帰, 鏡吹付けコンクリート

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-8109

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-Z)}$$
 式(1)

$$Z = \beta_w w_i + \beta_c c_i + \beta_p p_i + \beta_s s_i + \beta_0$$
 式(2)

p: 剥落発生確率
Z: 地山条件と鏡吹付け厚さによって決定される条件
 $\beta_w \sim \beta_0$: 判別係数
 w_i : 風化面積率[※] c_i : 割れ目交差密度[※]
 p_i : 破壊エネルギー係数[※] s_i : 鏡吹付け厚[※]

※ w_i , c_i , p_i , s_i : 正規化された値

表-1 判別係数

項目	風化 面積率	割れ目 交差密度	破壊エネ ルギ-係数	鏡吹付 け厚	定数
	β_w	β_c	β_p	β_s	β_0
判別係 数	0.57	-1.20	-0.67	-1.12	0.09

$$S_i = -1 \times \frac{(\beta_w w_i + \beta_c c_i + \beta_p p_i + \beta_0) + \log \frac{1-P}{P}}{\beta_s}$$
 式(3)

$$S_i = -1 \times \frac{\beta_w w_i + \beta_c c_i + \beta_p p_i + \beta_0}{\beta_s}$$
 式(4)

一方、式(4)より剥落を防止するために必要な鏡吹付け厚を得ることができ、その厚さは72mmとなった。

次に地山条件の変化による剥落発生確率と鏡吹付け厚の関係について考察を行った。例えば、表-2の地山条件の場合、剥落発生確率と鏡吹付け厚の関係は、式(5)及び図-1のように示すことができる。ここで、図-1には表-2の地山条件の場合を黒線で示し、比較のために風化面積率と割れ目交差密度が表-2と同じ条件で、地山の硬さの指標となる破壊エネルギー係数(Ev)が、150J/cm³の脆弱な場合と350J/cm³の比較的硬い場合をそれぞれ赤線と青線で示した。

図-1に示すように、ロジスティック回帰により鏡吹付け厚に関して正しく評価できていれば、地山条件に関わらず、鏡吹付け厚を厚くするほど剥落発生確率は小さくなる傾向を示す。次に地山条件に着目すると、表-2の地山条件において剥落防止に必要な鏡吹付け厚は72mmであったのに対し、破壊エネルギー係数が150J/cm³の脆弱な場合には85mmの厚さが必要となり、350J/cm³の比較的硬質な場合には58mmと薄くすることができる。このように、鏡吹付け厚を地山条件に応じて提示することが分かった。

4. 肌落ち事故防止に向けた課題と今後の取り組み

本稿で示した手法によって肌落ち事故防止に活用するためには、以下の課題を残しており、今後の継続した取り組みにより実用化を図る所存である。

- ・ 今回は16切羽のデータにより手法の有効性について検討を行ったが、ロジスティック回帰のような機械学習では大量のデータが必要となる。今後、データを蓄積して検証と精度の向上を図る。
- ・ 地山条件と剥落発生の傾向と必要な鏡吹付け厚は、岩種によって異なることが考えられる。今後、様々な岩種を対象としてデータを蓄積、分析を行う。
- ・ 今回の検討では発破孔穿孔時の剥落を判別対象とした。そのため、脆弱な切羽で発破孔の穿孔数が少なく、偶然に剥落がないことがあった。今後、データを再評価し、学習データの品質向上を図る。
- ・ 今回の検討では発破孔穿孔時の剥落を判別対象としたが、鏡吹付けコンクリートは本来、規模の大きな肌落ちを対象としている。剥落規模をパラメータとするなどして、肌落ちを対象とした分析を行う。

参考文献

1) 福島大介, 宮嶋保幸, 戸邊勇人, 西澤勇祐: 切羽の地質評価結果と鏡吹付け厚さを考慮した切羽の剥落危険度評価, 土木学会第75回年次学術講演会, 投稿中, VI部門, 2020.

2) 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, 第27巻, I-19, pp. 1-5, 2017.

3) 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, pp. 81-86, 2019.

表-2 地山条件の例

地山パラメータ	風化面積率	割れ目交差密度	破壊エネルギー係数
計測値	0	16	249
正規化した計測値	-0.30	-0.65	-0.40

$$p = \frac{1}{1 + \exp\{-1 \times (-1.12 \times s_i + 0.79)\}}$$
 式(5)

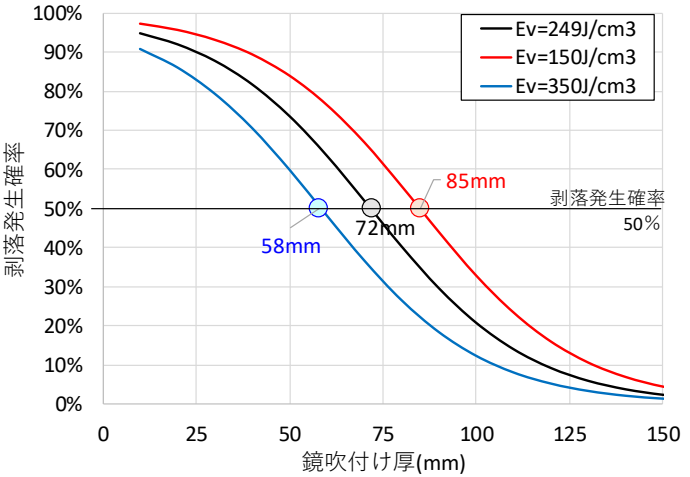


図-1 剥落発生確率と鏡吹付け厚の関係