

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

鹿島建設(株) 正会員 ○福島大介 宮嶋保幸 戸邊勇人 西澤勇祐

1. はじめに

筆者らは、切羽の肌落ちや崩落事故防止を目的として、切羽写真の画像解析による風化や割れ目の定量評価技術とコンピュータジャンボの穿孔データによる強度評価技術を開発し、適切な鏡吹付け厚の提案や補助工法の要否判定に利用している¹⁾²⁾。また、レーザ距離計を用いて吹付け中の鏡吹付けコンクリートの厚さをモニタリングしながら、設計厚さに達した際にオペレータに合図を送るシステムを開発し³⁾、適切な鏡吹付け厚の確保を図るとともに鏡吹付け厚データを収集している。本稿では、掘削中のトンネルから、これらの評価技術にて収集した地山評価データと、発破孔穿孔時の剥落状況との比較・分析を行うとともに、ロジスティック回帰を利用した剥落危険度の評価について検討を行った結果を報告する。

2. 検討対象としたトンネルの地質概要

検討対象としたトンネルは四万十帯に位置する付加体であり、切羽では主に粘板岩と砂岩が出現した。砂岩は強度が高く切羽は安定しており、粘板岩は割れ目が発達し、鏡肌が見られる切羽は非常に脆弱であった。

3. 剥落危険度評価のためのデータの収集方法

各切羽の地質状況を定量評価するため、切羽写真の画像解析により風化と割れ目交差箇所を面積（パーセント）として評価し、コンピュータジャンボによる穿孔データから破壊エネルギー係数として強度を評価した。また、切羽の鏡吹付け厚さは鏡吹付け厚管理システムによって5箇所の厚さを自動蓄積した。

切羽の肌落ちの危険度評価には、実際に肌落ちの実績を収集する必要があるが、肌落ち事故に至るような落石の発生が極めて稀であり、データの蓄積が困難であることから、穿孔時に発生する剥落を規模の小さな肌落ちと考え、データを収集した。剥落の有無は、ジャンボに設置したカメラから確認した。図-1に収集した地山評価データの例を示す。データを収集した16切羽のうち、8切羽で剥落を確認した。

4. 地山評価データと剥落の特徴

表-1にトンネル距離程ごとに整理した切羽毎の評価結果を示す。表-1では、剥落を確認した切羽をハッチした。表中の鏡吹付け厚の最小値と最大値とは、計測した5点の内の最小値と最大値を示している。

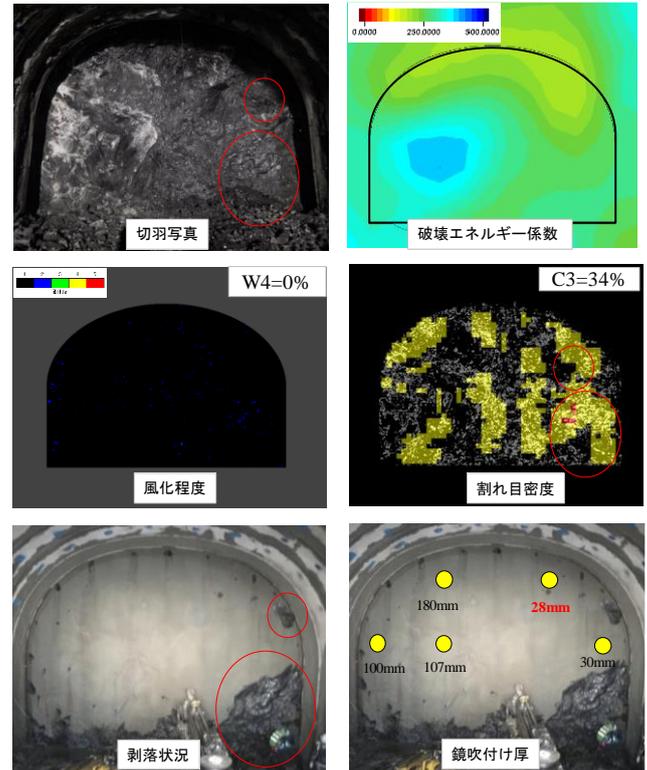


図-1 地山評価データの例 (TD.644m)

表-1 地山評価データと剥落状況

TD.(m)	風化面積率 (%)	割れ目交差密度 (%)	破壊エネルギー係数 (J/cm ³)	鏡吹付け厚 (mm)	
				最小値	最大値
644	0	34	292	30	180
648	0	14	225	29	63
652	0	38	192	96	121
659	0	36	232	25	100
664	0	26	267	62	67
692	0	16	63	32	135
763	16.8	36	164	58	66
767	0	42	159	43	66
834	0	47	254	91	91
836	2	26	261	40	40
841	0	8	206	70	85
855	0	8	286	71	98
862	0	7	124	77	77
896	0	7	245	51	88
900	0	6	235	79	187
914	1.3	36	213	36	81

■ 剥落を確認した切羽

キーワード：トンネル、切羽定量評価、肌落ち、ロジスティック回帰

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 TEL042-489-6593

表-1 をみると、剥落が発生している切羽では、鏡吹付け厚さの最小値が 50mm 未満の 7 切羽中 5 切羽で剥落が発生していることがわかる。最小値が 50mm 未満でも剥落が発生しなかった TD.659m の切羽では破壊エネルギー係数が $232\text{J}/\text{cm}^3$ であり、岩盤が硬質であったため鏡吹付け厚が薄くても剥落が発生しなかったと考えられる。もう一方の TD.914m の切羽では粘板岩と砂岩が混在した地山であり、鏡吹付け厚が薄い箇所は硬質な砂岩部分であったために剥落が発生しなかったと考えられる。この結果から、鏡吹付けの厚みが剥落の防止に寄与していることが確認できた。

5. ロジスティック回帰による剥落危険度の評価

剥落危険度を評価するため、地山の定量評価データと鏡吹付け厚さを説明変数として、剥落の有無を評価するためにロジスティック回帰を利用した。ロジスティック回帰では、ある条件 Z において、目的とする事象が起こる確率 p を図-2 に示す関数と式(1)で定義する。本研究において、ある条件 Z とは、風化や割れ目、破壊エネルギー係数からなる地山評価と鏡吹付け厚で決定する。目的とする事象は「剥落」であるので、 p は剥落が起こる確率となる。学習する段階では、剥落した切羽の p を 100%、剥落のない切羽を 0%として、剥落の有無を最も精度よく判別することができる式(2)をデータから学習し、判別係数 ($\beta_w \sim \beta_0$) を求めた。判定には、剥落の有無の中間値である 50%を基準として、剥落確率 p が 50%以上となる場合を剥落あり、50%未満を剥落なしとして判定した。

表-2 に判定精度を示すが、今回分析に利用したデータは 16 切羽と少なくテストデータでの評価を行っていないため、精度を評価することが難しい。また、精度は 69%と十分とはいえないが、多様な地山評価パラメータと鏡吹付け厚さから定量的に剥落危険度を評価できる手法として有効であることを確認した。

6. まとめ

地山評価データと剥落の分析から鏡吹付け厚さが切羽の剥落防止に寄与していることを確認した。また、ロジスティック回帰を利用して地山の定量評価結果と鏡吹付け厚さの計測結果から、切羽の剥落危険度の評価手法について検討し、剥落発生確率として定量評価できることを確認した。今後、データをさらに蓄積して予想精度の向上に努めるとともに、肌落ち事故を防止するために必要となる最適な鏡吹付け厚の提案に向けた取組みを継続していく。

参考文献

- 1) 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.
- 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) 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.

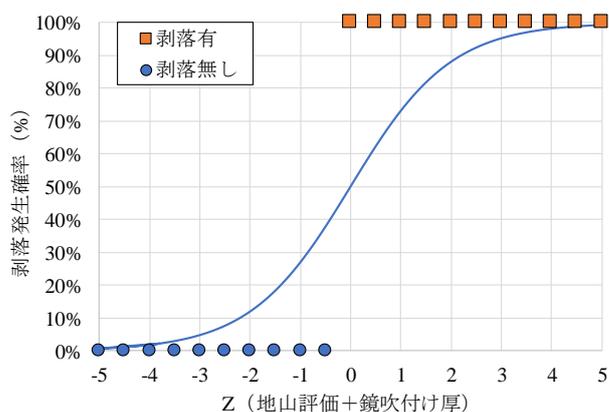


図-2 ロジスティック関数

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-Z)} \quad \text{式(1)}$$

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

p : 事象が起こる確率 (剥落)

Z : 地山条件と鏡吹付け厚さ

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

$\beta_w \sim \beta_0$: 判別係数

表-2 ロジスティック回帰の実施結果

予測/実際		実際の切羽		正解率
		剥落なし	剥落あり	
予測結果	剥落なし	4	3	57%
	剥落あり	2	7	78%
正答率		67%	70%	全体正解率 69%