

機械学習による切羽定量評価に基づく最適鏡吹付け厚決定手法の検討

鹿島建設(株) 正会員 ○村上和哉 宮嶋保幸 山下 慧 西澤勇祐 戸邊勇人
(株)システム計画研究所 西岡 拳 鶴 英雄

1. はじめに

筆者らは、トンネルの切羽肌落ち事故防止を目的として、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、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。一方、多様なデータに基づいて目的とする答えを導く機械学習の方法には様々な方法があり、それぞれ特徴を有している。そこで、本稿では、花崗岩のトンネルを対象として、様々な機械学習を利用し、地山状況に応じた鏡吹付け厚の決定方法について検討した結果を報告する。

2. 検証データの概要

今回の検証は花崗岩を主体とするトンネルを対象とした。切羽ごとにコンピュータジャンボ穿孔データや画像解析による風化面積率、割れ目交差密度、割れ目間隔を切羽の定量評価データとして取得するとともに、吹付け機に搭載したレーザー距離計によって鏡吹付け厚を計測した。また、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監視した¹⁾。対象とした35切羽から1m×1mメッシュのデータを抽出し、そのうち33の剥落なしのデータ、19の剥落ありのデータ（合計52データ）を取得した。今回の検討では、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機械学習を行った。

3. 適用した機械学習手法

機械学習には表-1に示した4つの手法を利用した。判定精度の評価にはLeave-one-outによる交差検証を行った。これは、学習する全データ（52データ）からデータを1つ抜き出したデータセットを学習し、学習したモデルが初めに抜き出したデータをテストデータとして、剥落の有無を正確に判定できるかを検証するもので、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精度の検証を行う方法である。

4. 機械学習による剥落判定精度

今回、剥落判定精度を評価するにあたり、目的とする現象（剥落の有無）に偏りがある場合に有効なBalanced Accuracyという指標を用いた。Leave-one-outによる交差検証の例として、表-2に示す手法②のテストデータの混同行列を示し、表-3に混同行列から算出される各手法の評価精度（Balanced Accuracy）を示した。表-3には、Leave-one-outによる交差検証としてテストデータの剥落判定精度をテストデータの列に示すとともに、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剥落判定精度を訓練データの列に

表-1 適用した機械学習

手法	モデルの名称	特 徴
①	SVM (SVM Classifier -Linear)	データ量が比較的少量でも学習可能な手法。比較的単純なモデル。
②	SVM (SVM Classifier -Radial basis function)	データ量が比較的少量でも学習可能な手法。非線形カーネルを使っており①に比べて表現力が高い。
③	ニューラルネットワーク (Multilayer-Perceptron)	教師データ量が多い場合、高い精度が期待できるが、データ量が少ない場合、過学習や学習が収束しない場合がある。
④	勾配ブースティング木 (Gradient Boosting Decision Tree)	データの前処理が少なく手軽なため数値データの判別問題で良く使用されている。モデルの表現力が高い。

キーワード トンネル、肌落ち事故、鏡吹付け、機械学習

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-3 KI ビル 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL03-6229-6662

示した。実際に適用する場合は、事前に学習したモデルを使って新たな切羽の剥落発生を判定するため、テストデータの剥落を判定する精度が高いことが求められる。表-3 のテストデータの判定精度に着目すると、手法①の剥落判定精度が 73%と最も高い。一方、手法③と④のテストデータは 40%、51%となっており、これらの手法は判定精度が低く、実際の現場に適用するには不十分な結果となった。手法③と④の訓練データの判定精度に着目すると、手法③では訓練データにおいても判定精度が 45%と低いことから、学習が収束しなかったことが考えられる。一方、手法④については、訓練データでは判定精度が 100%となっていることから過学習が起きたと考えられる。

5. 鏡吹付け厚の決定手法の検討

学習したモデルを使って鏡吹付け厚の決定手法を検討するため、学習データのパラメータのうち鏡吹付け厚だけを変化させて剥落発生の確信度を出力した。機械学習では確信度が 0.5 以上の場合、剥落が発生すると判定するため、剥落を防止するために必要な鏡吹付け厚は確信度が 0.5 よりも小さくなる範囲から決定できる。具体的な例として、図-2 に鏡吹付け厚が 20mm で実際に剥落が発生した切羽を対象とし、鏡吹付け厚を変化させた時の 4 つの機械学習手法から出力した確信度の変化を示す。通常、鏡吹付け厚が厚くなると剥落発生確率は小さくなるため、この傾向と機械学習による確信度の変化に着目して考察した。手法①では、鏡吹付け厚が厚くなると確信度は小さくなっており、全範囲で整合性が保たれている。これに対し、手法②は鏡吹付け厚が 0~20mm と 175mm 以上の範囲で鏡吹付け厚が厚くなるほど確信度が高くなり、整合性が保たれていない範囲が見られた。また、手法③では全範囲において鏡吹付け厚と確信度の関係が本来と逆の傾向を示しており、手法④では鏡吹付け厚と関連なく大きく変動した。以上の傾向は、図-2 に示した切羽に限らず、その他の切羽でも同様の傾向となり、前章の剥落判定精度も考慮すると、今回の検討では手法①（SVM Classifier・Linear）が鏡吹付け厚を決定する手法として適用できる可能性があることが示された。また、手法①で確信度を 0.5 より小さくするためには鏡吹付け厚が 55mm 以上必要であり、実際の鏡吹付け厚が 20mm で剥落が発生したと整合している。

6. おわりに

肌落ち事故の防止を目的として実施される鏡吹付け厚を機械学習によって決定する手法について検討した。今回の検討では、SVM Classifier・Linear が比較的適切な手法との結果が得られた。筆者らはこれまでもロジスティック回帰を利用した検討を進めており、これとともに今後データの蓄積を進め、剥落を防止するための鏡吹付け厚を高い精度で決定できる手法を確立し、肌落ち事故防止に向けて取り組む所存である。

参考文献

1) 宮嶋保幸, 福島大介, 西澤勇祐, 山下慧, 戸邊勇人：切羽定量評価結果に基づく最適鏡吹付け厚の決定技術の開発, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, 講演番号 28, pp.155-159, 2021.

表-2 手法②の混同行列 (テストデータ)

		判定ラベル	
		剥落なし	剥落あり
正解ラベル	剥落なし	29	4
	剥落あり	8	11

表-3 剥落判定精度 (Balanced Accuracy)

手法	訓練データ	テストデータ
①	73%	73%
②	74%	61%
③	45%	40%
④	100%	51%

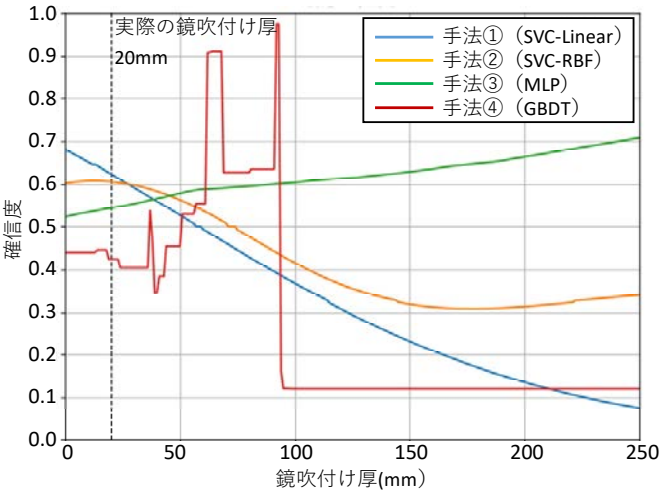


図-2 機械学習による鏡吹付け厚と確信度の関係