

## AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発② —切羽観察項目の統計分析について—

(一財) 先端建設技術センター フェロー ○山本 拓治 日本システムウエア(株) 正会員 野村 貴律  
 (一財) 先端建設技術センター 正会員 吉川 正 (株)安藤・間 正会員 鶴田 亮介  
 (一財) 先端建設技術センター 正会員 橋立 健司 鹿島建設(株) 正会員 宮嶋 保幸  
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 三木 茂 清水建設(株) 正会員 上岡 真也  
 戸田建設(株) 正会員 杉山 崇

### 1. はじめに

筆者らは、AI 技術と画像処理技術を用いた山岳トンネルの切羽観察支援システムの開発を進めている<sup>1)</sup>。昨年の報告<sup>2)</sup>では、切羽画像だけを用いた教師データなしの機械学習で、切羽評価項目(切羽区分、割れ目の頻度、風化変質)を推定する手法を開発した。今回、筆者らは、AI による地質評価区分の予測正答率をさらに高めるために、画像データによる予測結果に関連する地質評価項目で補正することとした。本報告は、その第一歩として、DB を作成し統計分析を行ったものである。

### 2. 切羽観察評価項目の相関分析

表-1 は、国土交通省の道路トンネル切羽観察評価表である。筆者らは、風化変質と割れ目の頻度と割れ目の形態以外の評価項目を画像だけで判断するのは難しいと考え、他の評価項目との相関や時系列の相関を考慮し深層学習のモデルを組み立てることとした。

まず、収集した 38 トンネル、13000 枚の切羽観察 DB を作成した。次に岩石グループ毎のデータ数のばらつきを分類しデータの傾向を分析した。表-2 は中硬岩の評価区分のバラツキをまとめたもので、地質の良い評価区分である 1 や地質の極端に悪い 4 の区分はデータ自体の数が少ないことがわかった。×は評価区分の 1 項目が 85%以上を占めているもので、△は評価区分の 1 項目が 65%以上を占めているものである。表-3 は一例として風化変質項目の例を示している。次にそれぞれの岩石グループ毎に、評価項目を順序のある質的変数とみなし、複合予測モデルにおいてどの評価項目を説明変数として使用するかを定めるために、各評価項目について 1 切羽前の評価項目とのスピアマンの順位相関係数を算出した。

表-1 切羽観察評価表の例

評価区分(掘削地点の地山の状況と挙動)				評価区分			
				左側	天端	右側	
切羽の状態	1. 安定	2. 崩面から岩盤が抜け落ちる	3. 崩面の押し出しを生じる	4. 崩面は自立せず崩れ、あるいは流出	2	2	2
素掘り面の状態	1. 自立(骨柱不要)	2. 崩面がたつと崩れ落ちる(後着)	3. 自立困難(崩れ後早期に支保する(先着))	4. 崩面に先行して山を穿ておく必要が有	2	2	2
圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 100 \text{ MPa}$	2. $100 \text{ MPa} > \sigma_c \geq 20 \text{ MPa}$ ハンマー打撃で砕ける	3. $20 \text{ MPa} > \sigma_c \geq 5 \text{ MPa}$ 軽い打撃で砕ける	4. $5 \text{ MPa} > \sigma_c$ ハンマー打撃で砕けない	2	2	2
風化変質	1. なし・健全	2. 岩目に沿って変色強度やや減下	3. 崩面の押し出しを生じる	4. 崩面は自立せず崩れ、あるいは流出	2	2	2
割れ目の頻度	1. 間隔 $d \geq 1 \text{ m}$ 割れ目なし	2. $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 補修、当初より未固結	2	2	2
割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土被り、当初より未固結	3	3	2
割れ目の形態	1. ランダム方向	2. 柱状	3. 層状、片状	4. 土砂状、層片状、当初より未固結	3	3	3
湧水	1. なし・湧水程度	2. 湧水程度	3. 集中湧水	4. 全面湧水	1	1	1
水による劣化	1. なし	2. 膨れを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊、流出	2	2	2

表-2 評価項目のバラツキ

評価項目	中硬質・塊状軟質・塊状	中硬質・層状
	A_切羽の状態	×
B_素掘り面の状態	×	
C_圧縮強度		
D_風化変質	△	△
E_割れ目の頻度		△
F_割れ目の状態		
G_割れ目の形態	△	△
H_湧水	×	×
I_水による劣化	△	△

表-3 風化変質項目の割合

評価区分	中硬質・塊状軟質・塊状	中硬質・層状		
	枚数	割合(%)	枚数	割合(%)
1	196	2.5	92	1.8
2	5399	69.7	3511	67.7
3	1611	20.8	1337	25.8
4	540	7.0	247	4.8
	7746		5187	

表-4 スピアマンの順位相関分析結果例

	切羽の状態	素掘り面の状態	圧縮強度	風化変質	割れ目の頻度	割れ目の状態	割れ目の形態	湧水	水による劣化
切羽の状態	1.00	0.82	0.50	0.67	0.47	0.67	0.57	0.37	0.18
素掘り面の状態	0.82	1.00	0.61	0.71	0.56	0.70	0.58	0.32	0.17
圧縮強度	0.50	0.61	1.00	0.67	0.73	0.61	0.50	0.02	0.24
風化変質	0.67	0.71	0.67	1.00	0.72	0.84	0.73	0.18	0.25
割れ目の頻度	0.47	0.56	0.73	0.72	1.00	0.75	0.69	0.01	0.29
割れ目の状態	0.67	0.70	0.61	0.84	0.75	1.00	0.79	0.20	0.20
割れ目の形態	0.57	0.58	0.50	0.73	0.69	0.79	1.00	0.06	0.24
湧水	0.37	0.32	0.02	0.18	0.01	0.20	0.06	1.00	0.18
水による劣化	0.18	0.17	0.24	0.25	0.29	0.20	0.24	0.18	1.00

キーワード 山岳トンネル, 切羽観察, AI, 深層学習

連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚 2-15-6 (一財) 先端建設技術センター TEL03-3942-3991

表-4 は、中硬岩・軟質岩（塊状）のトンネルの国交省評価項目の相関係数を算出したものである。一般に相関係数が 0.7 以上の場合は強い正の相関であるが、0.6 以上の項目を用いることとした。なお、ピアソンの相関係数に関してもほぼ同様の結果を得ている。これらの相関は、岩石グループ毎に傾向は異なるものの各評価項目には相関があることがわかった。そのため、順序ロジスティック回帰により、画像だけでは判断しにくい圧縮強度や切羽の状態及び素掘り面の状態等に関して、お互いに相関のある評価項目を使って正答率の評価を行った。

### 3. 回帰予測結果

表-4 の色のついた部分は、相関分析より得られた正の相関がある評価項目である。縦軸は順序ロジスティック回帰で予測対象とした目的変数であり、横軸の着色部の評価項目を入力する説明変数とした。順序ロジスティック回帰分析に使用したデータは岩石グループ毎に分類した切羽観察データであり、データの 75% を学習用データとし、25% を評価に使用した。例えば、圧縮強度の予測には、表-4 の相関分析で相関が認められた素掘り面の状態と風化変質と割れ目の頻度と割れ目の状態を説明変数入力データとした。切羽の状態の予測には、素掘り面の状態、風化変質、割れ目の状態を使用した。表-5 は、圧縮強度の予測結果であり、全体でみると 68% の正解率が得られた。評価区分 1 のデータは極めて少ない。これより、圧縮強度の予測に関して、画像データを補正する評価項目には、風化変質・割れ目の頻度・割れ目の状態が有効な項目であることがわかった。表-6 は、切羽の状態の予測結果である。全体では 72% の正答率があるものの、評価区分 1 と 4 のデータが極めて少ない。しかし、2 と 3 に関しては、高い正答率を得た。表-7 は、素掘り面の状態の予測結果である。これも、切羽の状態とほぼ同じ結果が出ている。データが十分にあり、線形な関係がみられた項目については単純な線形モデルでの予測が可能であると思われる。一方でデータに偏りがみられるため、すべての評価区分に対して精度を高めるにはデータ数の増加やサンプリングなどの対策が必要である。

### 4. おわりに

筆者らは、AI 技術と画像処理技術を用いた山岳トンネルの切羽観察支援システムの開発を進めている。本報告では、切羽観察 DB を作成し相関分析と回帰分析予測を行い、切羽観察項目同士には相関の高い項目があり、その説明変数を使用した回帰予測の精度が比較的高いことがわかった。そのため、画像データに統計データを加え補正するプログラムを構築できたら、正答率を向上できる可能性が高いことがわかった。また、評価対象の前切羽やその前の切羽のデータとの連続性を考慮した AI モデルが構築できれば、予測精度がさらに向上すると推定した。

### 参考文献

- 1) 吉川正ら：AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測支援による災害防止に関する研究開発①，令和 3 年度土木学会学術講演会，CS14-25，2021
- 2) 野村貴律ら：AI を活用した切羽評価支援システムのプロトタイプについて，令和 3 年度土木学会学術講演会，CS14-28，2021

表-5 圧縮強度の予測結果

推論 教師	1	2	3	4	
1	1	27	0	0	Precision 3%
2	0	319	55	1	Precision 85%
3	0	104	196	37	Precision 58%
4	0	0	45	63	Precision 58%
	Recall 100%	Recall 70%	Recall 66%	Recall 62%	正解率 68.27%

表-6 切羽の状態の予測結果

推論 教師	1	2	3	4	
1	3	51	4	0	Precision 5%
2	8	548	60	0	Precision 88%
3	0	48	65	0	Precision 57%
4	0	3	58	0	Precision 0%
	Recall 27%	Recall 84%	Recall 34%	Recall -	正解率 72.64%

表-7 素掘り面の状態の予測結果

推論 教師	1	2	3	4	
1	4	21	0	0	Precision 16%
2	5	568	68	0	Precision 88%
3	0	49	58	0	Precision 54%
4	0	4	71	0	Precision 0%
	Recall 44%	Recall 88%	Recall 29%	Recall -	正解率 74.29%