

ANNによる穿孔データを用いた定量的な切羽評価の検討

大成建設(株)技術センター 正会員 ○宮永 隼太郎 坂井 一雄
 関西大学 正会員 北岡 貴文

1. はじめに

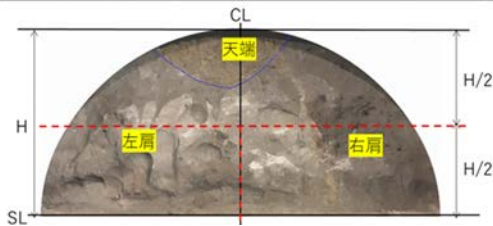
山岳トンネルでは施工中の地山の観察や計測等により、地山の挙動を把握して施工方法の最適化を図る情報化施工が行われている。切羽の地山評価を行う上では切羽観察が最も重要な作業となるが、適切な評価を行うためには十分な知識と経験が必要である。一方、近年の担い手不足や熟練作業員の減少が深刻化している状況下では、施工の自動化・機械化がますます重要になっている。そのためには、施工中に取得した客観的なデータに基づき、人間を介さずに定量的な切羽評価を行う手法が求められている。定量的な切羽評価の手法の例として、切羽写真の画像解析ならびにAI学習を用いた圧縮強度や風化変質、割目の評価¹⁾²⁾、コンピュータジャンボ穿孔データとAIを用いた圧縮強度の評価³⁾が挙げられる。一方で、湧水量や水による劣化などの評価事例は少なく、切羽観察のすべての観察項目の評価精度の違いについて十分に議論されているわけではない。さらに、日本におけるDX推進において、外部ベンダーの依存が懸念されている。そこで本稿では、自社開発によるPythonを用いたArtificial Neural Network(以下、ANNと称す)により、コンピュータジャンボの穿孔データから、切羽観察結果の観察項目ごとの評価精度の検討を行った事例を報告する。

2. 検討に用いるデータ

今回の検討では、凝灰角礫岩を主体とするAトンネルで得られたコンピュータジャンボの穿孔データと切羽観察者の評価結果を用いた。穿孔データは装薬孔およびロックボルト孔を穿孔する際に得られるデータで、孔の座標や角度、岩盤の性状に応じた種々のパラメータが得られる。本稿では装薬孔の穿孔データのうち、穿孔長10cmごとに記録された削孔速度・打撃圧・フィード圧・ダンパー圧・回転速度・回転

圧の6つのパラメータを使用した。切羽観察結果(図-1)は観察項目のうち、圧縮強度・風化変質・割目間隔・割目状態・湧水量・劣化の評価区分を使用した。また、切羽観察は天端・右肩・左肩の3領域に分けられるため、穿孔データもそれに倣い各領域における代表値を試行的に算出した。具体的には、1つの孔の平均値をとり、その後、各領域に含まれる孔のデータの平均をとって1つの領域のデータとした(図-2a)。作成したデータセット数は469であった。このうち、評価区分の加重平均法により算出した切羽評価点から判定される地山等級ごとのデータセット数はCIIが131、DIが338であった。

観察項目	評価区分						左肩	天端	右肩
	1	2	3	4	5	6			
圧縮強度 N/mm ²	100以上	100~50	50~25	25~10	10~3	3以下	2	5	3
ポイントロード	4以上	4~2	2~1	1~0.4	0.4以下				
ハンマー打撃による強度の目安	削孔を地面に突きハンマーで強打しても割れにくい。	削孔を地面に突きハンマーで強打すれば割れる。	削孔を手に持ってハンマーでたたいて割れる。	削孔をたたき回して割れることができる。	削孔を部分的に割ることができる。	かき込めば、小さな削孔を指先でつぶすことができる。			
風化変質	風化の目安	板状割れ	割目に出ない風化変質	割目まで風化変質	割目まで風化変質	土砂状風化、未固結土砂	2	4	3
熱水変質などの目安	変質は見られない	変質により割れ目に粘土を挟む	変質により割れ目に粘土を挟む	変質により割目まで強度低下		層状変質により層状変質、粘土化			
割目間隔	間隔dの目安	d≧1m	1m>d≧50cm	50cm>d≧20cm	20cm>d≧5cm	5cm>d	2	5	3
R Q D	80以上	80~50	60~30	40~10	20以下				
割目状態	割目の開口度	割目は空等している	割目の一部が開口している(幅<1mm)	割目の多くが開口している(幅<1mm)	割目が開口している(幅1~5mm)	割目が開口し5mm以上の幅がある	2	5	3
割目の挟在物	なし	なし	なし	薄い粘土を挟む(5mm以下)	薄い粘土を挟む(5mm以上)				
割目の粗度鏡肌	粗い	割目が平滑	一部に鏡肌	よく削かれた鏡肌					
走行傾斜	トンネル軸方向	傾斜45°~90°	傾斜20°~45°	傾斜0°~20°	傾斜0°~45°	傾斜45°~90°	2	2	2
トンネル軸と平行	傾斜0°~20°		傾斜0°~20°	傾斜20°~45°	傾斜45°~90°		3	1	2
湧水量	状態	なし、湧水1ℓ/分以下	湧水程度1~20ℓ/分	集中湧水20~100ℓ/分	全面湧水100ℓ/分以上		1	1	1
劣化	水による劣化	なし	腐みを生ず	膨脹化	流出		2	3	2



切羽評価点合計	76	1	49
切羽評価点(加重平均)	31.8		
地山等級	CII		

図-1 切羽観察結果

キーワード 山岳トンネル, 切羽評価, コンピュータジャンボ, 穿孔データ, Artificial Neural Network
 連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL: 045-814-7221

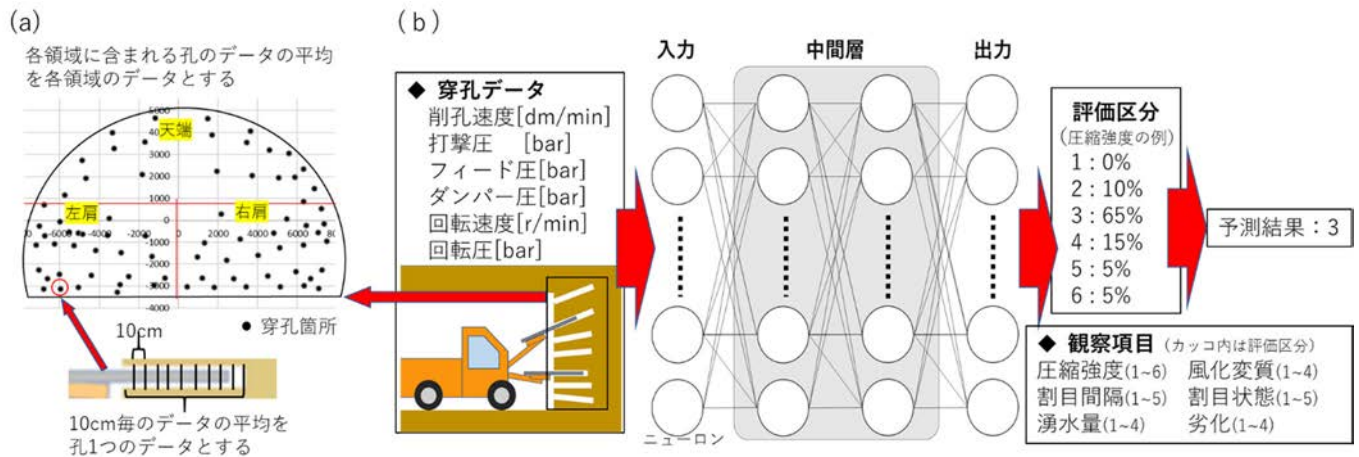


図-2 ニューラルネットワークによる切羽評価

3. ANNの解析条件

穿孔データからどの観察項目が精度良く予測できるか考察するため、観察項目ごとにANNによる解析を実施した。ANNの入力は穿孔データ6項目とし、各パラメータのばらつきが学習に与える影響を抑えるため、入力データの正規化を行った。出力はそれぞれの観察項目の評価区分とした。中間層は2、ニューロン数は30とし、中間層の活性化関数はReLU関数を用いた。出力層にはソフトマックス関数を用いて、最も確率の高い評価区分をANNの予測結果とした(図-2b)。学習データは全データセットのうち、坑口側から400セット(CII:131, DI:269)とし、残りの69セット(全てDI)をテストデータとして、ANNの予測精度を確かめた。学習回数は10,000回とした。

4. 結果

ANNの正答率を表-2に示す。ここでは切羽観察者が作成した切羽評価結果を正とする。圧縮強度はテストデータの正答率が88.4%と精度よく予測できた。風化変質においても84.0%と精度の良い結果が得られた。そのため、この2項目は穿孔データから定量的に評価しやすい項目であると考えられる。割目間隔と劣化は、テストデータの正答率がそれぞれ78.2%、71.0%とやや高い正答率であった。割目状態は57.9%と予測精度が低く、ANNの条件が適切でない、または、穿孔データから定量評価をするのに適していない可能性がある。割目の評価は切羽写真の画像解析やAI学習から行われている事例があり、穿孔データと切羽写真の両方を用いた分析により、正答率の向上が期待できるため、今後の課題とする。湧水量はテストデータの正答率は57.9%と低い一方で、学習データの正答率が93.0%と高く過学習が起きた可能性があり、ANNの条件の修正が必要である。もしくは、穿孔データからの定量評価に適していない可能性もあるため、切羽写真を用いるなどの、入力データの検討が必要である。

5. まとめ

ANNから、穿孔データから切羽評価の予測を行った結果、圧縮強度・風化変質は高い正答率が得られた。割目間隔・劣化はやや高い正答率、割目状態・湧水量は正答率が低かった。今後は、切羽評価の精度を高めるため、切羽写真を合わせた分析とともに、岩種や地山性状の異なる複数のトンネルデータを用いた分析を行う。さらに、予測結果の信頼度を確かめるため、ソフトマックス関数で得られる確率の出力値について、考察を深める予定である。

参考文献

- 1) 工藤ほか：切羽写真の画像解析による割れ目間隔の定量評価技術，土全第75回年講，2020。
- 2) 中嶋ほか：AIを用いたトンネル切羽の岩判定について，土全第76回年講，2021。
- 3) 鶴田ほか：LightGBMを用いた穿孔データからの岩盤の圧縮強度指数推定に関する検討，土全第76回年講，2021。

表-1 ANNの条件

入力層	穿孔データ
中間層	層数：2 ニューロン数：30
出力層	観察項目の 各評価区分
学習回数	10,000
学習データ	400
テストデータ	69

表-2 ANNの正答率

観察項目	学習データ	テストデータ
圧縮強度	92.7%	88.4%
風化変質	93.5%	84.0%
割目間隔	94.7%	78.2%
割目状態	82.5%	57.9%
湧水量	93.0%	57.9%
劣化	89.2%	71.0%