

主観的判断の影響を低減した地山評価支援システム構築の試み

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○田村賢人, 佐々木亨, 日下敦, 菊地浩貴

1. はじめに

山岳トンネルの施工においては、事前段階で得られる地山情報には不確実性が含まれており、トンネル周辺地山の挙動や支保の効果を正確に把握することが難しい。そのため、日々の観察や計測結果を整理し、地山の挙動や支保の効果を確認しながら、当初の設計・施工法を適合したものに修正していくことが重要である。しかし、切羽の状況等を適切に評価し判断できるかどうかは技術者の知識や経験に依るところが大きく、技術者により判断が異なる場合もある。このような背景から、近年 AI（人工知能）を用いた画像解析や削孔データの分析により地山評価を行うシステム開発が進められているが、その判断や学習した関係（式）がブラックボックス化されていることや学習させる教師データの質に結果が左右される¹⁾ことなどが課題とされている。そこで筆者らは、主観的判断の影響を低減した地山評価支援システムの開発に向け、地山評価の流れを再整理し、客観的な判断材料を提供するシステムの構築について検討した。本稿では過去の施工実績から変位や支保変状等の発生リスクを把握し、地山評価を支援するシステムについて検討した結果を報告する。

2. 地山評価の流れ

山岳トンネル施工時の地山評価の流れを模式的に表したものを図-1に示す。技術者は、地山の状態(x)を見極めて適切な結果(z)になるように最適な人為的判断(y)を行うのが一般的である。切羽において地山の状態を見極めるためには、通常、切羽写真の取得や湧水量の計測、削孔データ等の事実を取得し(A)、情報処理をして必要な情報を抽出し(B)、それらの抽出された各要素を評価して記録し(C1)、それらの結果を統計的手法等を活用して評価し(C2)、その結果をもとに総合的に地山等級を判定する(D)という過程を経ることが多い。最終的には過去の経験等(E)も考慮して支保工や補助工法等の仕様を決定する。

画像解析等により地山評価を行う際には深層ニューラルネットワーク（以下、DNN）等のアルゴリズムを用いた AI が多く用いられてきた。この DNN 等の計算モデルは、簡潔に述べると初等教育で学習する一次方程式の仲間であると考えられる²⁾。山岳トンネル施工時の地山評価においては、自然由来の地山条件(x) に対し人為的行為(y)を行うことで、トンネルの構造安定性や切羽安全性等の結果(z) が得られると考え、下記の関数で表現されることが考えられる。

$$z = f(x, y) \quad \dots (1)$$

ここに、

x：自然由来の地山の特徴を表すパラメータ。与条件として不変の条件。

y：掘削方法や支保工、補助工法等の人為的な行為に関する特徴を表すパラメータを示し、任意に変更が可能。

z：構造安定性や切羽安全性等を表すパラメータを示す。切羽崩落の有無、支保工の変位や変状、供用開始後の覆工の変状等が含まれる。

3. 検討の概要

地山等級の判定にあたっては、図-1 における C を統計的に処理した結果³⁾ から地山等級を判定する(D) 場合が多い。この統計処理においては、 $D=g(C)$ の関数を用いていることになるが、C は技術者の知識や経験を基にした主観的判断による誤差を一定以上含んでいること、D についても主観的判断が含まれるとともに、妥当性が十分には精査されていないデータも含まれる場合もあることから、最終的な判断(y)においては既往の経験等(E)も重視される。また、近年の地山評価に関する AI（例えば 4)～5)）においては、 $A \rightarrow B \rightarrow C$, $A \rightarrow C$, $A \rightarrow D$ （場合によっては、 $A \rightarrow y$ ）

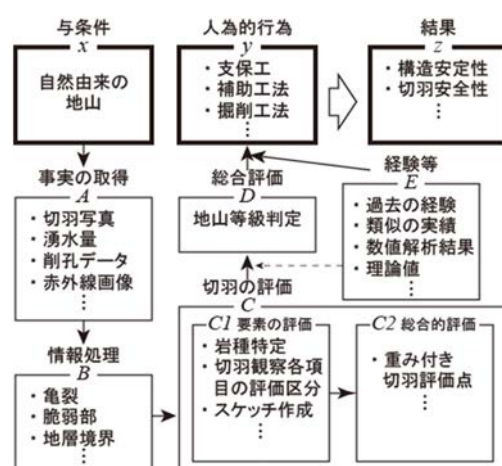


図-1 山岳トンネルにおける地山評価

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所道路技術研究グループ TEL 029-879-6791

キーワード 山岳トンネル, 地山評価, 計測結果

などのプロセスの自動化を試みるものが多いが、教師データとなるCやDに主観的判断が含まれるため、多量の教師データの質の確保に課題が残る。

本研究では、最終的な判断(y)は技術者が行うことを前提に、なるべく客観的な判断材料を提供することを目的とし、極力主観的判断を除外した類似の実績を出力する地山評価支援システムの構築を試みた。具体的には、与条件 x としては、A を代入するのが最も客観性に優れると考えられるが、統一的なデータが極めて限られているため、ここでは主観的判断を一定程度含むものの比較の入力パラメータとしての統一性が確保できる切羽評価点³⁾ (C2) を用いることとした。人為的行為 y としては、適用した支保パターンと補助工法の有無、結果 z としては、最終変位量、支保工変状、切羽崩壊の有無を用いた。すなわち、 $z = f(C2, y)$ の関係式で類似実績の出力を試みた。なお、ここで出力されるデータは実際の現場ではE相当として用いることを想定している。

4. 分析結果

施工時に切羽観察項目を9項目4段階で評価しているトンネルの約3600の計測断面を対象に分析を行った結果の一例を図-2に示す。図-2は、与条件 x として岩石グループが軟質岩（層状）で、切羽評価点が1.9点～2.2点または1.6点～1.9点の場合に、人為的行為 y として支保パターンCIIまたはDIを適用した場合の最終変位ヒストグラム(z)である。対象とした切羽評価点1.6点～2.2点の範囲では、過去の実績からは支保パターンCIIとDIともに採用実績がある条件である³⁾。分析の結果、切羽評価点が比較的小さい1.6～1.9点の条件では、支保パターンの違いによる変位の発生傾向に大差ない一方で、切羽評価点が比較的大きい1.9点～2.2点の条件では、より剛性の高いDIパターンを採用することで、最終変位が抑制できる傾向が読み取れる。

次に、与条件 x として岩石グループが軟質岩（層状）で、切羽評価点が2.0～2.5点の場合に、人為的行為 y として先受工の採否と切羽崩落の有無の統計結果を表-1に示す。当該条件における先受け工の採用率は6.6%、切羽崩落の発生率は0.8%であった。切羽崩落が発生した切羽は全て切羽観察項目のうちの素掘り面の状態の評価区分が「4」と評価された切羽であった。与条件 x として素掘り面の状態が「4」であることを条件に追加した場合の分析結果を図-3に示す。当該条件の45%で切羽崩落が発生しており、先受け工が採用された切羽では、発生していないことが過去の実績から分かり、補助工法の採否の判断材料となると考えられる。

5. まとめ

本稿では、山岳トンネル施工時における地山評価の流れを再整理するとともに、最終的な判断は技術者が行うという考えを前提に、地山評価に必要な客観的な判断材料を提供することを目的とした、地山評価支援システムの構築を試みた結果の一例について報告した。本システムは検討段階ではあるが、条件の設定方法次第では最終変位の発生量や支保工変状の発生確率等の地山評価の客観的指標となる情報を出力できる可能性を示した。システムに入力する情報の精度を向上することができれば、より精度の高い分析を行うことが可能と考えられる。また、今後はAI等の技術を用いたシステムの構築により、省力化及びより客観性の高い分析を行いたいと考えている。しかしながら、現時点では統計処理やAIによる分析において相関性を見つけることはできても、因果関係を工学的に分析することは困難であるため、最終的な判断は技術者が行わなければならない点については留意が必要である。

参考文献

1) 田村賢人, 佐々木亨, 菊地浩貴, 日下敦: 画像解析技術活用に向けた切羽写真撮影条件に関する一考察, 第49回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp. 330-331, 2023

2) 内田誠一: AIとは何か?-入門編-, 土木学会誌, Vol. 106, No. 1, pp. 12-15, 2021

3) (社)日本道路協会: 道路トンネル観察・計測指針 平成21年改訂版, pp. 108-118, 2009

4) 菊地浩貴, 日下敦, 小出孝明, 巽義知, 長谷川慶彦: AIを用いた山岳トンネルの切羽評価に関する一考察, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-736, 2019

5) 黒田晴, 石川大輔, 梅田克史, 額瀨善孝: トンネルにおけるAIを用いた地山等級推定の基礎的検討, トンネルと地下, Vol. 52 No. 11, pp. 937-945, 2021

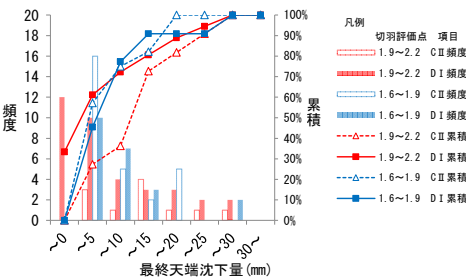


図-2 天端沈下発生傾向

表-1 先受工の採用の有無と切羽掘削面崩落の頻度

		切羽掘削面崩落の有無		計
		あり	なし	
天端先受け工の有無	あり	0	63	63 (6.6%)
	なし	8	880	888 (93.4%)
計		8 (0.8%)	943 (99.2%)	951 (100%)

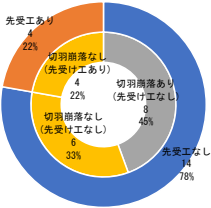


図-3 切羽崩壊の分析結果（素掘り面の状態：4）