

穿孔データを用いた切羽評価手法への遺伝的プログラミングの適用

安藤ハザマ 土木事業本部 正会員 ○辰巳 順一 正会員 河邊 信之
山口大学大学院 学生会員 佐々木 亨
元山口大学 土井 美里
山口大学大学院 正会員 進士 正人

1. はじめに

山岳トンネルの施工において、切羽前方の地質性状を事前に予測することは、施工時の安全性の向上や最適な支保工選定にとって重要である。このため、近年では、油圧削岩機の穿孔データ（フィード圧、回転圧、打撃圧、穿孔速度など）から切羽前方の地質性状を予測する穿孔探査法が多数の現場で適用されている。穿孔探査法は、穿孔データから穿孔エネルギーを算出し、穿孔エネルギーの変化に着目して地質性状を予測する手法である。穿孔エネルギーは、削岩機が単位体積当たりの岩盤を破砕するのに要した仕事量に相当するため、地山の硬軟の目安にはなるものの、地山を評価する一般的な指標となるまでは至っていない。

そこで、本研究では穿孔データの回帰分析を行い、切羽の地質性状を表す切羽評価点を穿孔データから算出することを試みた。本稿では、回帰分析により得られた回帰式の精度について報告する。

2. 回帰分析の手法の選定

回帰分析とは、目的変数と説明変数の間に式を当てはめ、目的変数が説明変数によってどの程度説明できるかを定量的に分析することである。本研究では、目的変数を切羽評価点、説明変数を穿孔データとして、切羽評価点を穿孔データから算出する回帰式を導き出す。

回帰分析には多くの手法があり、分析の目的、求められる精度、取扱うデータの数に応じて最適な手法を選定する必要がある。表－1に、回帰分析の種類と特徴を示す。本研究では、重回帰分析と遺伝的プログラミングの2種類で回帰分析を行い、双方の回帰式の精度を確認した。なお、遺伝的プログラミング（以下 GP という）は、進化論的な考え方に基づいてデータを演算して最適解探索を行い、最適なモデルを導き出す手法である。GP は、回帰分析の中でも式表現が可能で、かつ非線形の数式を作ることができるといった特徴がある。

表－1 回帰分析の種類と特徴

回帰分析の種類	式表現	式形の自由度	特徴
単回帰分析	可能	小	・簡易な数式でしか表現できない ・データが少なくても、ある程度の精度は期待できる
重回帰分析			
非線形回帰分析			
遺伝的プログラミング	可能	大	・複雑な数式で表現することが可能である ・多点探索により大域的な探索が可能である ・データ量が多いほど望ましい
ニューラルネットワーク	不可能	－	・複雑なモデルを作ることができるが式表現が不可能 ・データ量が多いほど望ましい
ランダムフォレスト			
サポートベクターマシン			

3. 回帰分析に用いたデータ

本研究の回帰分析に用いたデータは、福島県に位置する延長 367 m の山岳トンネル現場で得られた切羽評価点と穿孔データである。当該トンネルの地質は花崗閃緑岩であり、熱水変質帯が不規則に出現することが想定されていたため、穿孔探査法による切羽前方探査をトンネル全線で実施した。穿孔探査法はトンネル掘進 25 m ごとに実施され、穿孔箇所はトンネル 1 断面当たり 3 箇所（天端、右側、左側）であった。今回用いた穿孔データは、穿孔探査法により得られたデータである。

切羽評価点は、現場職員が目視による切羽観察により点数付けを行っている。当該トンネルでは 113 断面で

キーワード 遺伝的プログラミング、切羽評価手法、穿孔データ、回帰分析

連絡先 〒107-0052 東京都港区赤坂 6-1-20 安藤ハザマ土木事業本部技術第三部 TEL 03-6234-3673

切羽観察を実施しており、1断面につき切羽を天端、右側、左側の3箇所に分割して点数付けを行った。したがって、分析に用いたデータは、天端、右側、左側の3箇所を足し合わせた計339データである(図-1)。

穿孔データは、データ取得頻度を1秒間に1回としていたため、膨大な数となる。回帰分析の実施にあたっては、穿孔データのデータ数を切羽評価点のデータ数と同一にする必要がある。このため、分析に用いる穿孔データは、切羽観察を実施した断面の手前1m間の穿孔データを抽出し、その区間の穿孔データを平均化した(図-1、図-2参照)。

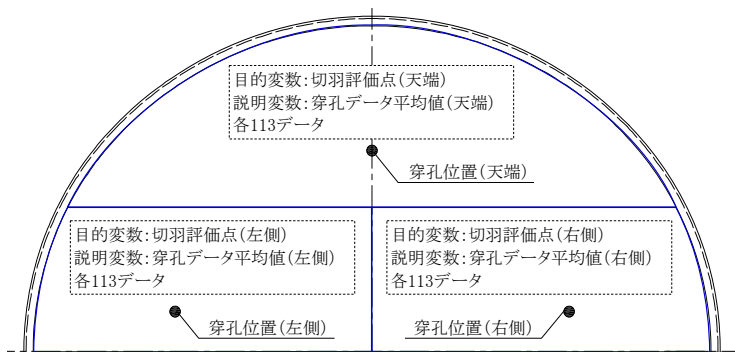


図-1 切羽評価点、穿孔データの概要図

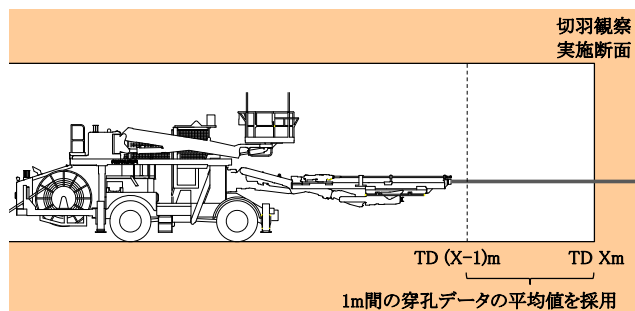


図-2 穿孔データの範囲

4. 分析結果

目的変数を切羽評価点、説明変数を穿孔データのうちフィード圧、回転圧、打撃圧、穿孔速度の4変数とした。以下に、重回帰分析、およびGPにより導き出した回帰式と、回帰式の精度を示す。

(1) 重回帰分析

回帰式を式①に、切羽評価点の観測値と予測値の相関図を図-3に示す。決定係数が0.522であることから、分析に用いた全てのデータ(計339データ)のうち約50%については、回帰式により穿孔データから切羽評価点を算出できる。

$$X = 0.391(A) + 0.105(B) + 0.357(C) - 0.277(D) \quad \text{——— (式①)}$$

X: 切羽評価点, A: 穿孔速度, B: 回転圧, C: 打撃圧

D: フィード圧

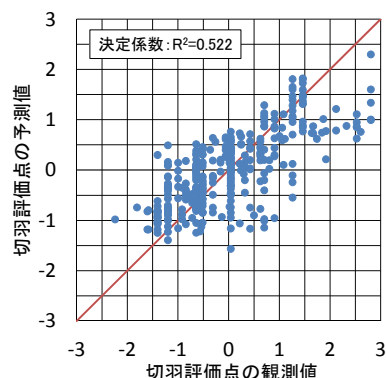


図-3 相関図(重回帰分析)

(2) 遺伝的プログラミング(GP)

回帰式を式②に、切羽評価点の観測値と予測値の相関図を図-4に示す。決定係数が0.614であることから、分析に用いた全てのデータ(計339データ)のうち約60%については、回帰式により穿孔データから切羽評価点を算出できる。

$$X = 0.231(A) + 0.193(B) + 0.312e^{0.569(C)}\{e^{-0.786(D)} + 1\} - 0.888 \quad \text{——— (式②)}$$

X: 切羽評価点, A: 穿孔速度, B: 回転圧, C: 打撃圧

D: フィード圧

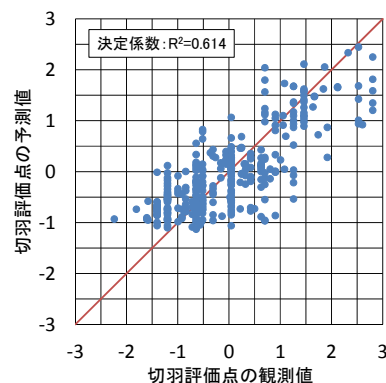


図-4 相関図(GP)

5. まとめ

穿孔データから切羽評価点を算出する回帰式の精度は、GPが重回帰分析よりも約10%高い結果となり、穿孔データを用いた切羽評価手法としてGPが有効であることが分かった。

今後は、多数のトンネル現場の穿孔データと切羽評価点を用いてGPによる回帰分析を行い、岩種や湧水状況などの地質条件の違いが回帰式の精度に及ぼす影響について確認する。