

穿孔探査データを用いた前方切羽評価点の予測に関する研究

山口大学大学院理工学研究科 学生会員 ○佐々木亨 安藤ハザマ 土木事業本部 正会員 辰巳順一
国土交通省（元山口大学工学部） 土井美里 山口大学大学院創成科学研究科 正会員 森本真吾
山口大学大学院創成科学研究科 正会員 進士正人

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、切羽前方地山の地質状況を事前に把握することは、施工時の安全性だけでなく支保選定やより適切な工程管理において重要である。しかし、日本の地質は複雑に変化するため、事前設計の段階で前方の地山状況を完全に把握することは困難である。そのため近年では切羽前方地山を把握する手法として DRilling Survey System(以下、DRISS と称する)と呼ばれる切羽前方探査法が複数のトンネル建設現場で適用されている¹⁾。しかしながら、DRISS による地山評価は、図-1 に示すように穿孔速度や穿孔エネルギーといった機械挙動データの一部のパラメータの経距変化に着目した定性的な評価が主たる評価項目となっている。

本研究では前方地山の定量的な評価を切羽からの DRISS の機械挙動データから推定することを目的に、A トンネルにおける機械挙動データ(表-1)を用いて統計解析を行い、前方地山の切羽評価点を予測する回帰式を導出した。また、統計解析を行う過程でデータの標準化が算出される予測式および予測精度にどのような影響を与えるのか考察した。

2. 統計解析手法

本研究では回帰分析の1つである遺伝的プログラミング（以下、GP と称する）を用いた。ここで GP とは、進化的な考え方にに基づき、最適解探索を行い、最適モデルを導き出す統計解析手法である。また、回帰分析の中でも GP は自由な式形の回帰式を導出できる点に特色がある。ここでは、目的変数を切羽評価点、説明変数を機械挙動データとする回帰分析を行った。ただし、説明変数は、説明変数の有意確立 P-値と目的変数である切羽評価点との相関係数より変数選択を行い、結果、回転圧、打撃圧、フィード圧、穿孔速度の4データのみを使用することとした。

3. 現場データを用いた回帰式の導出

3.1 A トンネルにおける回帰式の導出

本研究で用いた A トンネルの切羽評価点は 113 断面であり、機械挙動データ数は天端部、右肩部、左肩部の3ヶ所の計 339 データである。なお、ここで使用するデータは切羽評価点に対応する切羽直近 1m 間の機械挙動データの平均値である。

なお、全体の 70%のデータを学習データとして用い、回帰式を導出した。70%のデータから得られる予測値と観測値の R^2 および RMSE の値と、残りの 30%の評価データで得られるそれぞれの値が最も高精度となるような回帰式を選択した。

3.2 GP の結果

式(1)に DRISS データを用いて GP によって導出された回帰式を示す。

キーワード 前方地山予測, 統計解析, DRISS,

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学工学部 社会建設工学科

TEL 0836-85-9332

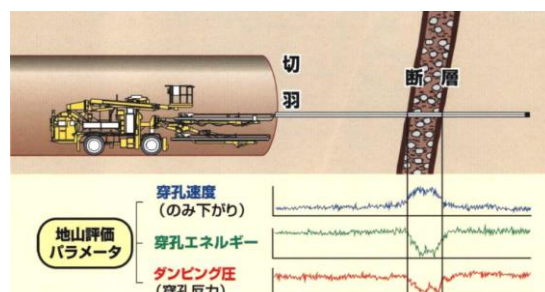


図-1 DRISS の地山評価概要図¹⁾

表-1 機械挙動データの概要

機械挙動データ	単位	内容
穿孔深度	m	切羽から計測位置までの距離
回転圧	MPa	回転するのに必要な力
打撃圧	MPa	岩盤を打撃する力
フィード圧	MPa	刃先を押し込む力
穿孔速度	cm/s	削孔する速さ
穿孔エネルギー	J/cm ³	削孔する時に必要なエネルギー

$$\text{切羽評価点} = 0.0529(B) + 0.0687(A) + 0.0108(C)(D) + \frac{0.0339(C)^2 \times [0.524(A) + 0.409(C)]}{1.067(D)^2} - 0.0008212 \quad (1)$$

ここで、A：穿孔速度 B：回転圧 C：打撃圧 D：フィード圧

この回帰式では $R^2=0.614$ 、 $RMSE=0.259$ という精度で切羽評価点を予測することができたが式形が複雑であり、特に用いる説明変数に偏りが生じており、予測精度の低下が懸念された。

4. 標準化による改良

4.1 標準化

本研究で用いたデータは単位や桁数が異なっているため、予測精度の向上を目指して式(2)を用いて説明変数、目的変数の標準化を行い、算出される係数の統一をする必要があると判断した。

$$X = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

X：標準化したデータ x：元のデータ μ ：データの平均 σ ：データの標準偏差

3.2 標準化後の GP の結果

標準化したデータを用いた GP によって導出された回帰式を式(3)に示す。このとき結果は $R^2=0.614$ 、 $RMSE=0.629$ であった。RMSE は標準化する前よりも大きくなっているが、これは標準化によって変数のスケールを統一したためであり問題はないと考えられる。また、式形を比較しても標準化後のほうが単純な式となっており、使われる変数に偏りがなくなることがわかる。このことから、標準化することによって式形が単純になり高精度の予測を行うことができると考えられる。

表-2 支保パターンの中率

天端	90.3%
右肩部	92.9%
左肩部	96.5%

次に、表-2 に示す支保パターンの中率によって回帰式の評価を行う。支保パターンの中率とは、実際に施工された支保パターンの目安幅に、予測した切羽評価点が含まれる割合を示したものである。天端部、右肩部、左肩部の各削孔場所の支保パターンの中率は全て 90%を超える結果であったことから、この式は地山の変化を判断できるだけでなく、志保パターンの選定に際し、目安の一つとして利用できると考えられる。

$$\text{切羽評価点} = 0.231(A) + 0.193(B) + 0.312e^{0.569(C)} \{e^{-0.786(D)} + 1\} - 0.888 \quad (3)$$

ここで、A：穿孔速度 B：回転圧 C：打撃圧 D：フィード圧

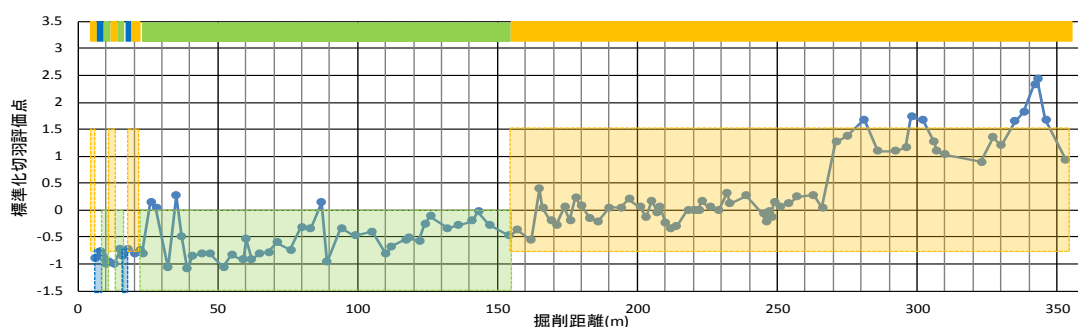


図-2 天端部の支保パターンの中率(標準化後)

5. 結論

GP を用いて機械挙動データから切羽評価点を予測する際に全変数を標準化することによって、式形を簡略化した上で同程度あるいはより良い精度で切羽評価点を予測することができるとわかった。また、このようにして導出した回帰式を用いれば前方地山の変化を把握するだけでなく、機械挙動データが支保パターン選定の援用方法としては寄与できると考えられる。

参考文献

1) ジェオフロンテ研究会：現場技術者のための切羽前方探査技術読本，2012.3