

# ベンチ発破における機械学習を適用した起砕物粒度予測に関する研究

岩盤・開発機械システム工学研究室 修士2年 塩盛貴弘

## 1. はじめに

露天掘り鉱山では、効率性および経済性の観点からベンチ発破を用いた採掘が行われている。発破により生じる起砕物の粒径(起砕物粒度)は、発破規格、岩盤強度や岩盤内き裂の状況など様々な要因に依存することが知られているが、それらを考慮した上で粒径を制御する手法が未だ確立されているとは言い難く、起砕物の細粒化や大塊の発生によって生じる小割作業の増大や破碎設備の負担増加が問題となっている。そこで本研究では、発破試験で得られた発破規格等の各パラメータが起砕物粒度に与える影響を定量的に評価し、起砕物粒度の予測モデルを算出および評価することで、露天掘り鉱山における起砕物粒度予測の手法に関して知見を得ることを目的とする。

## 2. 発破試験および各パラメータ

発破試験では、切羽発破後に起砕された鉱石をデジタルカメラで撮影し、粒度分布解析ソフト Split-Desktop を用いた画像解析により起砕物の粒度分布を求めた。その積算 50% 粒径を  $Xp50$  (mm) とし、予測対象としてモデルの目的変数に設定した。また、各試験切羽の起砕物の力学的物性値および発破前に測定した抵抗線、ベンチ高さ等の各発破規格、岩盤のき裂密度 ( $Xb50$ ) を説明変数とした。

## 3. 起砕物粒度予測モデル

### A) RES モデル

RES (Rock Engineering Systems) を用いて VI (Vulnerability Index : 脆弱性指数) を算出し、 $Xp50$  との関係性を調べ、RES モデルとした。VI と  $Xp50$  の関係を (1) 式および図 1 に示す。

$$Xp50(\text{mm}) = 49.54(VI) - 957.01 \quad (1)$$

### B) 重回帰モデル

各パラメータと  $Xp50$  の単回帰分析の結果から、 $Xb50$ 、D (起爆方向)、PF (火薬原単位)、B (抵抗線)、UCS (一軸圧縮強度) の 5 つのパラメータを抽出した。これらを説明変数として  $Xp50$  との間で多重線形回帰分析を実施し、結果を重回帰モデルとした。(2) 式および図 2 に得られた結果を示す。

$$Xp50 = 0.19(Xb50) - 150.05(D) + 756.32(PF) + 91.61(B) + 0.69(UCS) + 13.05 \quad (2)$$

### C) 機械学習モデル

Python 3 内のライブラリである scikit-learn を用いて、40 個の発破データの  $Xb50$ 、D、UCS、PF、B、CV (装薬量) を説明変数とした決定木、ランダムフォレスト、勾配ブースティング決定木による起砕物粒度予測モデルを構築し、各パラメータの特徴量を算出した。勾配ブースティング決定木による  $Xp50$  の予測値と実測値の関係を図 3 に示す。

## 4. モデル評価・考察

各モデルを比較した結果、 $R^2$  値は勾配ブースティング決定木による機械学習モデルが最も良い値を示したことから、起砕物粒度予測における各パラメータの重み付け、重要度の評価には機械学習が適しているといえる。他鉱山で本研究の手法を適用する場合には、継続的にデータ収集を行い、多量のデータからパラメータ抽出をすることでモデル算出をする必要がある。

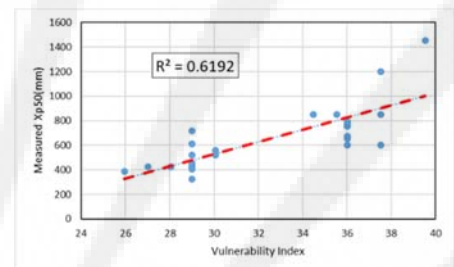


図 1 VI と  $Xp50$  の関係

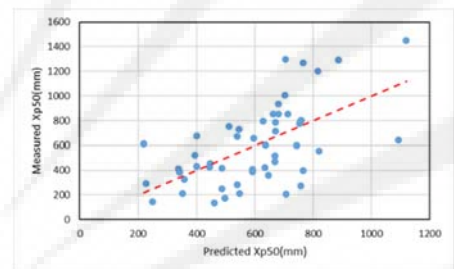


図 2 重回帰モデルによる  $Xp50$  の予測値と実測値の関係

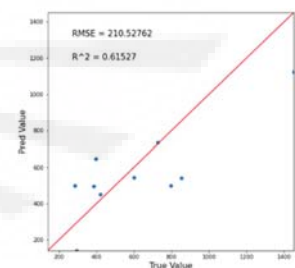


図 3 勾配ブースティング決定木による  $Xp50$  の予測値と実測値の関係