

# ベンチ発破におけるニューラルネットワークを適用した 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 中尾佳敬

## 1. はじめに

露天掘り鉱山の採掘には、効率性および経済性の観点から発破工法を用いたベンチカット工法が広く用いられている。発破により生じる起砕物の粒度は、発破規格のみならず岩盤の強度や岩盤内き裂等の岩盤の状態に依存することが明らかとなっている。そのため、採掘切羽の岩盤状態に応じて発破規格を変更することで起砕物粒度の制御が試みられているが、起砕物の細粒化や、大塊の発生による小割作業の増大ならびに破碎設備の負担増大等が問題となっており、発破規格および岩盤状態を考慮した起砕物粒度の予測手法の確立が求められている。そこで本研究では、複雑なデータの分析に長けその高い適用性から様々な分野に用いられているニューラルネットワークに着目し、本手法を用いて起砕物粒度予測モデルの構築ならびにその評価を行うとともに、発破規格や岩盤状態等の諸条件が起砕物粒度予測に及ぼす影響について種々検討した。

## 2. 起砕物粒度予測モデルおよび入出力パラメータ

本研究では、Python 内の機械学習ライブラリである PyTorch を用いてニューラルネットワークによる起砕物粒度予測モデルを構築した。なお、学習データには、これまで国内の露天掘り鉱山において実施した現場試験の結果を用いた。基礎研究の結果から、中間層を1層としそのノード数を64とした。また、各関数は回帰問題で扱われる一般的なものを用いた(活性化関数:ReLU 関数、評価関数:Adam、損失関数:RMSE(二乗平均平方根誤差))。本研究では、起砕物粒度を予測対象として、起砕物の10%毎の積算粒子径である Xp10~Xp100(mm)を予測モデルの目的変数とした。また、説明変数として各試験切羽の岩盤状態を示す起砕物の力学的物性値や岩盤のき裂間隔(Xb10~Xb100)、発破規格として最小抵抗線、火薬原単位、装薬量、起爆秒時差を用いた。

## 3. 結果および考察

### ① 既往の起砕物粒度予測モデルとの比較

既往の研究から、起砕物粒度の予測モデルとして RES モデル、回帰モデル、決定木モデルが提案されており、これら既往モデルとの精度を比較した(表1参照)。この結果、ニューラルネットワークを用いた本予測モデルは他のモデルと比べ高い予測精度を示しており、本手法の優位性が認められた。

### ② 起砕物粒度予測モデルの性能評価

起砕物粒度予測モデルの構築に用いていない現場試験データを用いて、本予測モデルの性能評価を行った。その結果、本予測モデルでは RMSE は 261 を示しており、他の予測モデルと比較して高い精度で起砕物粒度を予測できることが明らかとなった。また、Permutation Importance を用いた起砕物粒度予測結果に及ぼす各入力パラメータの影響評価から、き裂間隔、岩石の圧裂引張強度、最小抵抗線の重要度が大きいことも明らかとなった(図1参照)。

表1 各モデルの起砕物粒度予測誤差

モデル	RMSE
RES	302
回帰	280
決定木	301
ニューラル ネットワーク	146

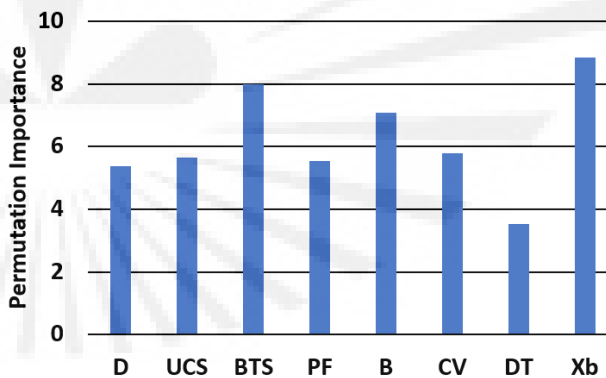


図1 Permutation Importance による  
各入力パラメータの重要度評価

## 4. まとめ

本研究で得られたニューラルネットワークを用いた起砕物粒度予測モデルは、既往のモデルと比べ予測誤差が小さく粒度分布が予測できる点で優位であり、さらに各入力パラメータの重要度評価も容易であることから、起砕物粒度の予測に有用な手法であることが明らかとなった。また、他鉱山においても、発破データを収集し学習用データを蓄積することで、本手法により起砕物粒度予測が可能になると考えられる。