

機械学習の適用による切羽前方不良地山の施工方法の考察

(株)大林組 正会員 ○渡辺 淳 萩野 知 木梨 秀雄 鈴木 拓也

1. はじめに

近年、山岳トンネルでは切羽前方探査により地山等級や湧水の状況を把握することが、合理的な設計および施工をするうえで重要となっている。とくに、掘削時地山の安定性の指標となるひずみレベルを事前に把握することで、適切な支保パターンの選定や先受け工等の要否を判断することができる。そこで、本研究では、機械学習の適用により、前方探査データを活用して事前に掘削時の天端および、側壁ひずみ（以下、ひずみ）を予測するモデルを構築し、予測値と施工結果を比較検証した。

2. 機械学習

本研究では、ひずみを予測するモデルに、機械学習の「教師あり学習」を用いた。教師あり学習では、まず既存の入力値と出力値の組合せである教師データから、それぞれの出力値に対応する入力値のパターンを学習させ、予測モデルを構築する。この予測モデルに、新たな入力値を適用し、出力値の予測を行うものである。なお、学習段階においては、サポートベクターマシンと呼ばれる回帰学習器¹⁾を適用した。

3. 手法

本研究では、すでに竣工済みの全長約 2000m の道路トンネルを対象としている。地質は花崗岩、閃緑岩で構成され、坑口部以外の実施支保パターンは C II、D I、D II である。図 1 のように距離程（以下、TD）0～1200m を機械学習の対象に、1200m 以降を予測の対象とした。当現場ではトンネル全線に渡り、ノンコア削孔検層を実施しており、得られたフィード圧と削孔速度から、正規化削孔速度比²⁾と呼ばれるパラメータを取得した。

機械学習における入力値は土かぶり、正規化削孔速度比を、出力値は掘削時のひずみを採用した。ひずみは、計測 A の実施断面で、天端沈下量および側壁変位量を上半の掘削半径で除することにより求めており、先行変位率は 30%を見込んでいる。続いて、TD1200m までの教師データを用いて構築した予測モデルから TD1200m 以降のひずみの予測を行い、実際の計測値との比較を行った。

4. 結果

(1) 天端ひずみ

天端ひずみの実測値と予測値を図 3 に示す。学習区間の予測値および推論区間の予測値ともに、おおむね予測できている。ただし区間 A、B、C で大きな差が出ている。

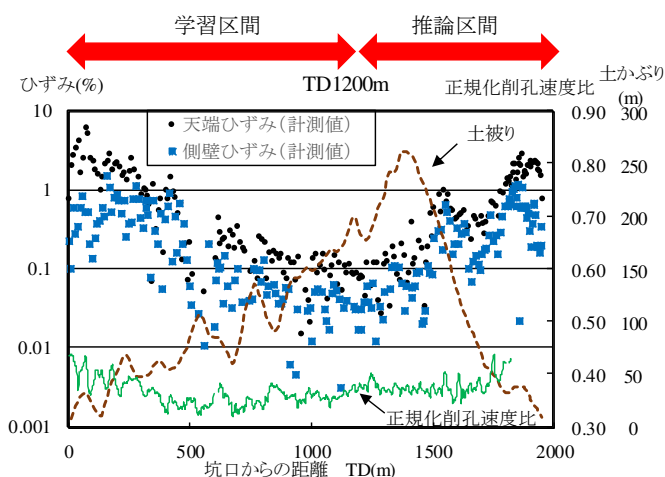


図1 ひずみ計測値、正規化削孔速度比および土被り

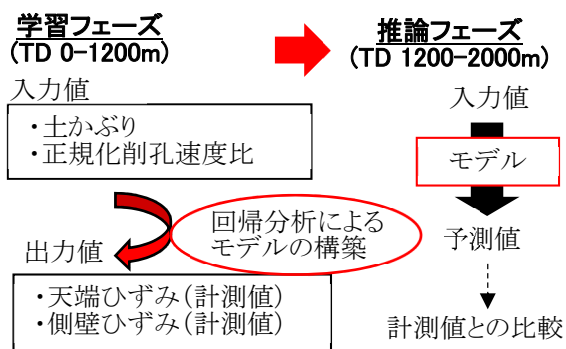


図2 学習から予測に至るプロセス

キーワード 機械学習、ひずみ、前方探査、土かぶり、トンネル

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟

(株)大林組 土木本部生産技術本部トンネル技術部 TEL03-5769-1319

(2) 側壁ひずみ

側壁ひずみの実測値と予測値を図4に示す。天端ひずみと同様に学習区間の予測値および推論区間の予測値ともに、おおむね予測できている。ただし区間A、Bで大きな差が出ている。

5. 予測不一致区間の考察

・区間A：TD0～150m は側壁ひずみが一致しているものの、天端ひずみが過小評価となっている。この区間は、起点坑口部であり長尺鋼管フォアパイリングを行っていたものの、土かぶりが大きくなってもグラウンドアーチの形成がされにくい地質であったためと考えられる。一方、TD150～400m 区間は、天端ひずみ、側壁ひずみともに過小評価となっている。この区間では、図1より、正規化削孔速度比が坑口部よりも小さく、比較的硬質であることがわかる。しかし、生データでの速度データは大小の変動が大きく、き裂の多い区間であることを示しており、変位が大きくなる傾向にあった。本モデルでは、入力値にき裂の情報を与えていないために、予測値との差が生じたものと考えられる。

・区間B：天端ひずみ、側壁ひずみともに予測値が実測値を

下回り、過小評価となっている。この区間も、TD150～400m と同様に、速度データは大小の変動が大きく、多き裂であることから変位が大きくなる傾向であった。本モデルでは、入力値にき裂の情報を与えていないために、予測値との差が生じたものと考えられる。

・区間C：天端ひずみは予測値が実測値を上回る過大評価、側壁ひずみは予測値と実測値がおおむね一致している。この区間は、当初からDIIと安全側のパターンであった。さらに露頭部や前方探査より区間Aと同様な地質であったことから、天端ひずみが大きくなることが予測できた。このため、天端崩落対策の長尺鋼管フォアポーリング、切羽安定対策の長尺鏡ボルトの他に早期閉合で施工しており、予測値に対して実際の天端ひずみを抑制されたと考えられる。本モデルでは、入力値に補助工法や閉合までの日数を与えていないために、予測値との差が生じたものと考えられる。

6. まとめ

土かぶりと正規化削孔速度比からひずみを予測するモデルを構築できた。この予測値は実測値とおおむね一致しているものの、不一致区間がみられた。この区間は、グラウンドアーチ不形成、多き裂区間、補助工法施工区間、早期閉合区間等であった。今後、これらの要素を加えることで、機械学習による掘削時のひずみ予測精度を向上させ、補助工法の要否や掘削方法の選定に役立てたい。また、現モデルを使用するうえで、ひずみの予測値と、前方探査から得られる速度データの大小の変動を同時に検討することで、補助工法の要否に大きな判断材料となる。

参考文献

- 1) 萩野 知、木梨秀雄、岡崎雄一、渡辺 淳：機械学習の適用による切羽前方地山の掘削時天端ひずみ予測、土木学会年次講演会、III-509
- 2) 桑原 徹、畑 浩二、稲川雄宣、平川泰之：変換解析システムによるノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術、トンネル工学論文集第18巻、pp.1-10、2008

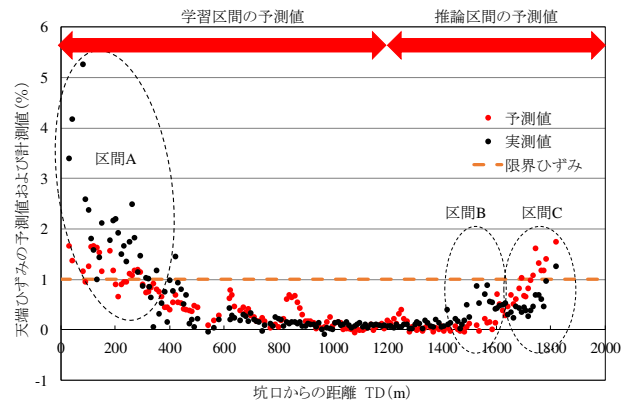


図3 天端ひずみの実測値と予測値

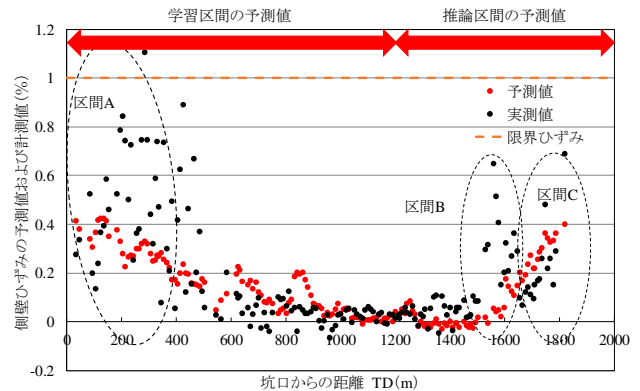


図4 側壁ひずみの予測値と計測値