

シールドマシンの自動操縦モデルに関する基礎的検討

大阪大学 大学院工学研究科 学生会員 ○久保田恭行
 大阪大学 大学院工学研究科 フェロー 矢吹 信喜
 大阪大学 大学院工学研究科 正会員 福田 知弘

1. 背景と目的

シールドトンネルの工事では、計画線形に沿ってシールドマシンを掘進することが基本であるが、実績との間に偏差が生じる。この際、生じた偏差を緩やかに計画線形に戻すために目標線形を作成し、これに沿って掘進する操作を行う必要がある。しかし、掘進管理者とオペレータは高齢化し、熟練した技術力が今後、失われてしまうことが懸念されている。このため、AI (Artificial Intelligence) を用いてシールドマシンの操作を自動化することが求められる。岩下ら¹⁾は計画線形が直線である区間を対象にシールドマシンの方向予測を行うシステムを開発し、杉山ら²⁾はシールドジャッキの操作のタイミングを判定するシステムを開発した。一方、目標線形に沿って掘進する操作パラメータを試行錯誤して決定しているなどの課題がある。そこで本研究では、計画線形が直線である区間を対象に、目標線形に沿ってシールドマシンが掘進すると予測される操作パラメータを自動算出する自動操縦モデルを開発することを目的とした。

2. シールドマシンの自動操縦モデル

(1) 自動操縦モデルの概要

本研究では目標線形に沿って掘進する操作パラメータを自動算出することを目的として、図-1に示す方向予測モデルと操作パラメータ最適化モデルから構成される自動操縦モデルを開発した。処理の手順は、説明変数としたセンシングデータと目標線形の位置のデータを入力することで、目標線形に沿って掘進する操作パラメータとシールドマシンの予測位置を自動算出するものである。開発したモデルはオペレータの操作パラメータの指示値を示す掘進指示書の作成を補助するものである。また、現場では4-6リングの掘進ごとに人為測量を実施し、その結果を

もとに掘進管理者が掘進指示書を作成することで、オペレータが指示値に近づくようシールドマシンを操作している。よって、掘進指示書に示す次の施工範囲である、人為測量を行った地点の切羽から1-6リング先に対して適用することを想定している。

(2) 方向予測モデル

方向予測モデルは、現在位置から1-6リング先のシールドマシンの位置と計画線形との水平方向、垂直方向、方位方向の偏差である水平偏差、垂直偏差、方位偏差を、機械学習の手法のSVR (Support Vector Regression)³⁾により、予測する機械学習モデルである。方向予測モデルでは、当該現場で掘進中に計測し、説明変数としたセンシングデータを機械学習させた後、シールドマシンの現在位置における説明変数としたセンシングデータを入力することで、偏差の変化量が予測される。次に、予測した偏差の変化量を積算することで、1-6リング先のシールドマシンの位置と計画線形との偏差を予測できる。

(3) 操作パラメータ最適化モデル

操作パラメータ最適化モデルは、目標線形に沿って掘進する操作パラメータを最適化手法である粒子フィルタ⁴⁾により、リングごとに自動算出するものである。粒子フィルタとは、複数の最適値の候補の中から、観測値の再現に必要な未知のパラメータを自動算出する手法である。よって、観測値は目標線形の偏差、未知のパラメータはオペレータの操作パ

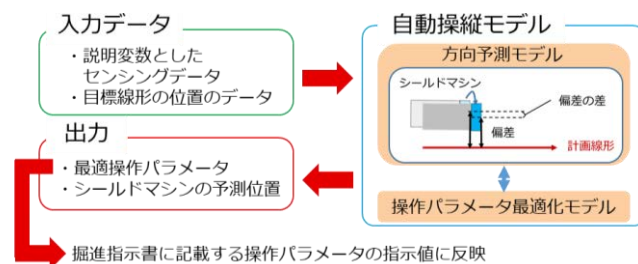


図-1 自動操縦モデルの現場での使用イメージ

キーワード シールド工法, シールドマシン, 自動化施工, 機械学習

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学 大学院工学研究科 TEL 06-6877-5111

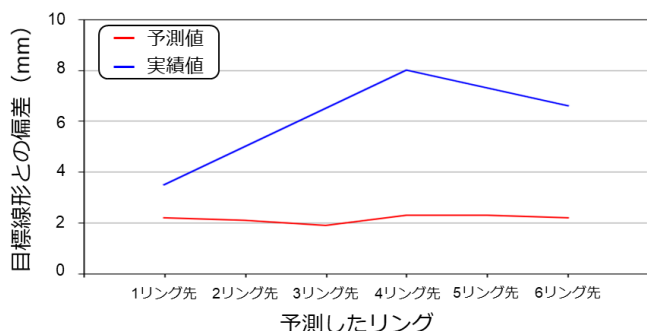


図-2 水平方向の目標線形との偏差量

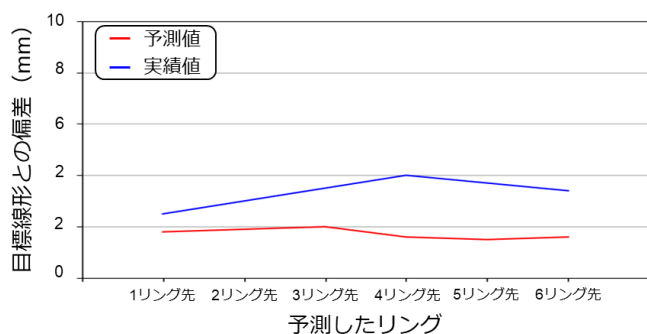


図-3 垂直方向の目標線形との偏差量

ラメータとなる。ただし、シールドジャッキは基本的に全て用いることが一般的であるため、全て用いることとした。また、目標線形の水平偏差と垂直偏差の値より、目標線形の方位偏差の値は定まるため、観測データは目標線形の偏差のうち、水平偏差と垂直偏差とした。

3. 自動操縦モデルの有効性の検証

開発した自動操縦モデルの有効性を示すため、自動算出した操作パラメータの最適値により予測したシールドマシンの位置と目標線形との偏差量が、実績値と比較して減少するか検証を行った。本検証では、泥水式のシールドマシンで施工した A 工事のセンシングデータのうち、同一の地質で計画線形が直線である区間の掘進で計測したものを対象とした。検証の手順を以下に記す。

まず、リング No.351-630 (336 m) の掘進で計測したセンシングデータを用いて方向予測モデルを構築した。次に、目標線形の値を操作パラメータ最適化モデルに入力することで算出した操作パラメータの最適値を用いて、シールドマシンが到達する位置を予測した。開発したモデルの運用時を想定し、人為的測量を行った区間であるリング No.721 までを既施工区間と仮定することで、切羽から 1-6 リング先を対

象に自動操縦モデルを適用した。なお、目標線形の水平偏差と垂直偏差を操作パラメータ最適化モデルに入力したため、水平方向と垂直方向のシールドマシンの位置と目標線形との偏差量を用いて評価した。

シールドマシンの位置と目標線形との偏差量の解析結果を図-2、図-3 に示す。自動操縦モデルを用いて求めた予測値は実績値と比較して、水平方向、垂直方向ともに目標線形との偏差量が減少した。以上より、最適化手法を導入することで、目標線形に近い掘進を行う操作パラメータを自動算出する可能性があると考えられる。

4. 結論

本報告では、既施工区間の計測データを対象に、目標線形に沿ってシールドマシンが掘進すると予測される操作パラメータを自動算出する自動操縦モデルを開発した。その結果、自動操縦モデルを適用することで、目標線形との偏差量は減少し、有効性を示すことができた。

一方、さらなる計画線形が直線である区間での検証や、計画線形が曲線である区間にも対応できるモデルに拡張する必要がある。今後、開発したモデルの改良を重ねることで解析精度の向上に努めていく次第である。

謝辞：本研究は株式会社奥村組の関係者にご協力いただいた。心より謝意を表す。

参考文献

- 1) 岩下将也, 木下茂樹, 石丸基之, 林稔: シールド工法における AI を用いた方向予測モデル構築と評価, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.45, pp.161-164, 2020.
- 2) 杉山博一, 和田健介, 野澤剛二郎, 本多眞: シールドマシンの方向制御 AI モデルの評価, 土木学会第 74 回年次学術講演会, VI-813, 2019.
- 3) Vapnik, V.: The Nature of Statistical Learning Theory, Springer, 1995.
- 4) Gordon, N., Salmond, D. and Smith, A.: Novel approach to nonlinear/ non-Gaussian Bayesian state estimation, IEE Proceeding F, Vol.140, No.2, pp.107-113, 1993.