

# 農業用水路等の シールドトンネルにおける 方向予測AIシステム

株式会社奥村組 東日本支社 土木技術部 土木技術部長

木下 茂樹

## 1 はじめに

近年、農業農村整備事業における水路トンネルの構築にシールド工法が採用される機会が増えてきています。また、シールド工法は、地中を機械で掘り進むことから、地中の既設構造物や地上部の土地利用などによって、トンネルの路線設定に制限を受け、大深度化、長距離化が進んでいます（図1、写真1）。これにより、シールド掘進の難易度は高くなるとともに、トンネル線形を含めて高度な掘進管理が求められています。一方で、シールド工法経験者の高齢化などにより、熟練したシールド工法の担い手は年々少なくなっているのが現状です。これらの課題を解決するため、当社ではAIを活用してシールド機の位置、方向を予測させることで、トンネルの線形管理を高度化するシステムの構築を行いました。

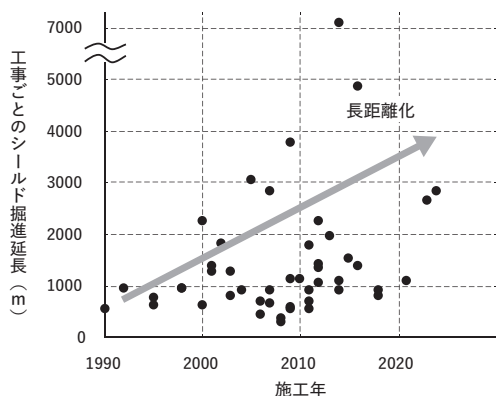


図1 農業水路シールドトンネルの実績



写真1 長距離対応シールド (北陸農政局)

本報告では、開発したシールド方向予測AIシステムに関して、シールド掘進データの機械学習方法および構築したAIモデルについて紹介いたします。また、実現場における試行を通じて実施したAIモデルの検証結果、操作シミュレーション結果についても報告します。

なお、検証業務は国土交通省の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト（PRISM）」の助成を受けて実施しました。

## 2 シールド掘進管理における 方向予測の概念

一般的にシールドは、工事ごとにシールドの形状や施工条件が異なり、画一的な方向制御の方法はありません。シールドの挙動は、各現場で個別特有な傾向を示し、例えば、「このシールドはど

うも右側に向きやすい」などのふるまいを経験することも多くあります。従来はこれをシールドの「くせ」と捉えて、操作するオペレータや掘進指示者が経験をもとに制御を行っていました。

本報告のシールド方向予測AIモデルは、シールドの掘進過程で計測される多種多様なデータについて、AIに学習させることで精度の高い方向予測を行うものです。また、シールドの操作

を入力し、シミュレートすることで、熟練オペレータと同等以上の最適な方向制御を支援するシステムを開発することも目的としました。

### ③ 方向予測AIモデルの技術概要

#### ① AIの学習対象とするシールド掘進データ

シールド工法では、多くのセンサを搭載し、掘進時は秒単位で二〇〇〜四〇〇〇のデータ（以下、掘進データ）を取得しながら、情報化施工によってトンネルを構築しています。掘進データは、PCにプログラムしたシステム（以下、掘進管理システム）を用いて一括で管理しており、図2に示したように各機構からそれぞれデータを収集しています。

AIモデルに学習させる対象としたデータは、方向予測に寄与しない掘進データを除外し、少しでも影響する可能性がある主要なデータのみ残して、一八七項目を選択しました。主要な掘進データは、大別すると三種類に分類できます（表1）。

#### ② 方向予測AIモデルの構成

方向予測AIモデルは、一定区間で掘進データを学習したうえで、直近の五リング分の掘進データを入力し、次に掘進する六リング分の方角（水平、垂直、方位偏差）を予測値として出力する構成としました（図3）。また、機械学習の方法は、サポートベクトルマシンによる回帰手法（以下SVR）を採用しています。モデルの基本仕様を表2に示します。

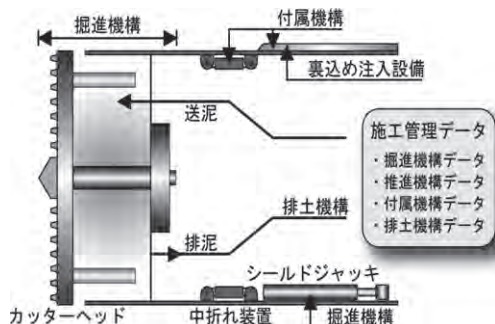


図2 シールドシステム概要（泥水式）

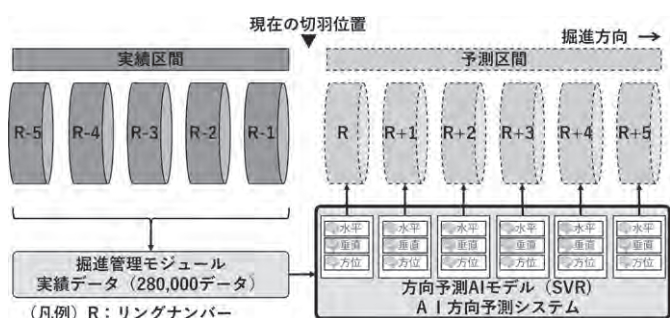


図3 方向予測AIモデルの構成

表2 AI方向予測モデルの仕様

データ	学習区間	本掘進データを対象
AIモデル	使用データ	5sごとのデータを5cmごとにまとめて取得
	目的変数	水平偏差、垂直偏差、方位偏差
	説明変数	187項目の説明変数を定義
	アルゴリズム	サポートベクトルマシンによる回帰手法
システム	予測頻度	1リング単位
	システム構成	クラウドサーバ内で予測、画面表示を実施
	評価方法	評価用の画面を掘進管理室に表示

表1 学習対象の掘進データ

大分類	分類	点数
シールドマシンの位置の把握に関する掘進データ	前胴、後胴、ジャイロコンパス、座標、偏差、変位置など	44
	方向制御に関わる掘進データ	シールドジャッキ、中折れジャッキ、コピカッタなど
土質などその他の掘進データ	記録日時、カッタービット加速度、テールクリアランスなど	23
合計		187

#### ③ 方向予測AIモデルの構築

方向予測AIのモデルは、実現場の掘進データを用いて構築しています。また、精度目標として以下の二項目を立案し、達成するまでモデルの再学習および再構築を実施しました。

- ・五リング先までの偏差における実績と予測の誤差が20mm以下
- ・入力した操作パラメータに応じ、操作シミュレーションの結果が適切に変化する

採用したモデルでは、必要な方向操作が実施されている直線部分一六六mを学習区間とし、誤差が5・1mm、操作シミュレーションも正常に動作することを確認でき、目標を達成しています。

#### ④ 現場における活用事例と検証結果

方向予測AIモデルの試行検証は、下水道の泥水式シールド（土被り四八〜六〇m、延長四、三〇〇m）と、ガス導管の泥土圧シールド（土被り七〜六四m、延長二、四〇〇m）で実施しました。いずれも大深度・長距離のシールド工事です。

##### ① 使用した方向予測AIモデル

方向予測AIモデルは、前述の学習モデルを使用し、学習区間の全データにデータクレンジングを実施して、方向予測AIモデルを生成しました。

##### ② 掘進データの取得

現場で活用が可能な方向予測を行うため

には、入力値となる掘進データをリアルタイムに方向予測AIモデルに取り込む必要があります。そこで、掘進データ、方向予測AIはクラウド環境内に置き、作成された掘進データの自動取得と方向の予測を行う仕様としています(図4)。

### ③ 方向予測

シールドの方向制御は、おおむね一方(四六リング)掘進ごとに人為的な測量を実施し、結果をもとに掘進管理者が指示書を作成して、オペレータがその指示値に近づくように操作を行います。このことを踏まえて、AIによる方向予測は、

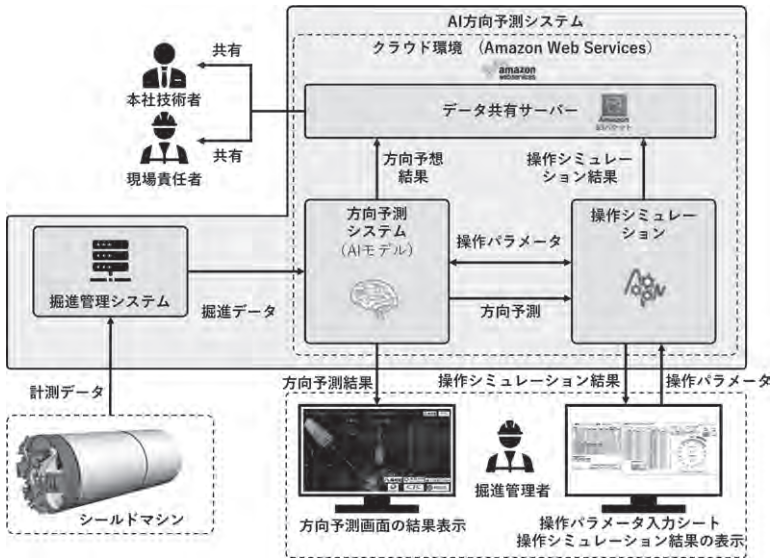


図4 シールドAI方向予測システムの全体像

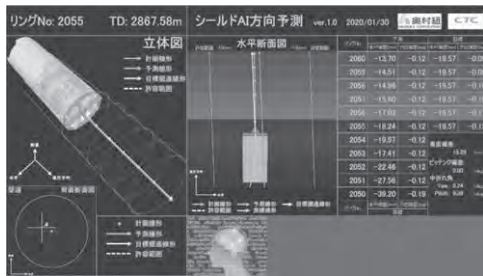


図5 システム出力画面

これから掘進する〇〇五リングでそれぞれ到達する位置(計画線形からの偏差)を予測値として画面出力するシステムとしました(図5)。

### ④ 方向予測AIを応用した操作シミュレーション

シールド掘進において方向制御に寄与する操作は、シールドジャッキや余堀り装置など多岐にわたり、これらの組み合わせだけでも理論上は、数十〜数百億通りの操作方法が選択できることとなります。そこで構築したシステムには、方向予測AIを活用して、シールドの操作を仮想的に入力すると、直近の掘進データと入力操作を用いて



図6 操作シミュレーション機能の概要

一〇五リングの到達位置を予測するシミュレーター機能(以下、操作シミュレーション…図6)を搭載しました。

### ⑤ 現場における検証結果

現場検証は、本掘進直線区間の三〇mを対象とし、方向予測および操作シミュレーションの結果と実績を比較しました。

方向予測については、予測と実績との差を二乗平均平方根誤差で評価しました。試行区間の平均誤差は水平五mm、垂直六mmとなり、必要精度を確保できています。また、操作シミュレーションについては、従来の線形管理による施工区間と、操作シミュレーターを用いた区間での出来形計測(目標線形との偏差)で評価し、従来技術が一〇mmに対して、本システムを活用した場合の偏差は七mmで、偏差を三〇%低減できています。

## 5 まとめ

方向予測は、〇〇五リング先の予測精度がすべて一〇mm以内となり、シールド掘進に利活用が可能な精度を確保できました。

操作シミュレーションでは、オペレータの経験に頼らず最適操作が決定でき、トンネル出来形精度が向上することが確認できました。

近年の作業従事者の高齢化や熟練者不足を補完する意味で重要な取組みであることから、今後も、システムの汎用性、急曲線部を含めたシールド全線の方向予測、操作シミュレーションに取り組んでいきます。