

AIによるシールド掘進合理化技術の開発状況報告

清水建設(株) 正会員 ○増田 湖一, 新宮 康之, 杉山 博一、和田 健介
清水・五洋特定建設工事共同企業体 正会員 安井 克豊
名古屋工業大学 非会員 加藤 昇平
国土交通省 関東地方整備局 東京空港整備事務所 非会員 鈴木 誠, 田崎 仁久

1. はじめに

当社は ICT, IoT, 人工知能 (AI) などの最新技術を活用した次世代型トンネル構築システムの開発に取り組んでいる。その中で、シールドトンネル工事を対象として AI を用いた施工合理化技術の開発を進めており、それぞれ、掘進計画を支援する「計画支援 AI」と、シールド掘進機の操作を支援する「操作支援 AI」と呼称している。本稿ではそれら2つの AI システムの開発状況を報告する。

2. 計画支援 AI [概要]

シールド工事では職員が計画線形に対するシールド機の運転方法と、形状の異なる複数のセグメントの割り付け方法について事前に検討を行い、掘進指示書を作成する。

「計画支援 AI」はこの検討を AI が担う。AI は複数の試行を繰り返しながら自己学習し最適解を導く強化学習によりトンネル線形に適したシールド機操作計画及びセグメントの配置計画を提案する。

3. 計画支援 AI [シミュレーターの開発]

AI システムの開発は、当社が保有するシールド工事の経験と、名古屋工業大学大学院工学研究科・加藤昇平教授の AI アルゴリズムのノウハウを融合した AI シミュレーションプログラムとして構築した (図-1)。これはシールド掘進をゲームに見立て、実際のシールド機やセグメントおよび線形条件を考慮して AI が試行 (模擬掘進) を重ね、条件を選択すれば高得点が獲得できるかを自己学習する。最終的に自己記録を更新できない最高得点に辿り着き、この結果を最適解として掘進指示書に反映する。尚、AI は機械学習と遺伝的アルゴリズムにより、これらの解を最適化する。

4. 計画支援 AI [効果]

現在は前述の AI を活用した 3D シミュレーターの開発が完成しており (図-2)、セグメント外径 $\phi 11.7\text{m}$ の泥水式シールド現場における、縦断曲線 $R=530\text{m}$ を含む平面曲線 $R=220\text{m}$ 区間での 70Ring 分の試行を約 15 分で完了できている。これにより掘進指示書作成の大幅な時間短縮と省力化につながると期待している。

また、シミュレーションではテールクリアランスやテールボイド量を制約条件としている。これまで人間の計画では困難であった各クリアランスの予測を同時に実施することで、テールの“せり”や過度な余掘りを計画段階から防止することができる。これによりセグメントの品質や地山安定性の確保、および掘削土量を最小化することによる建設廃棄物の減容化も期待できる。

キーワード 生産性向上, シールドトンネル, 人工知能, 自動運転

連絡先 〒541-8520 大阪市中央区本町三丁目 5-7 清水建設株式会社 関西支店土木第一部 TEL06-6263-2835

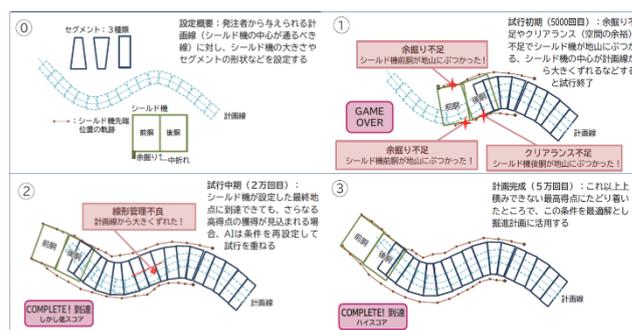


図-1 掘進ゲームのイメージ

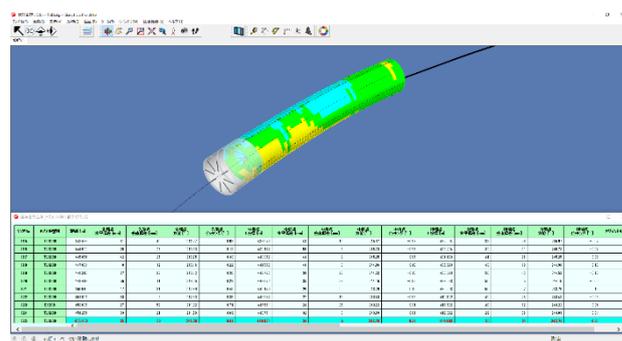


図-2 3D シミュレーターの画面

5. 操作支援 AI [概要]

著者らはシールド機の自動運転を見据えて、掘進方向をガイダンスする AI モデル¹⁾ および AI システム²⁾ の開発を行い、実際の掘進現場において本システムの有効性検証を段階的に開始している³⁾。

ここでは、オペレーターが操作支援 AI のガイダンスに従って掘進を実施した結果を報告する。

6. 操作支援 AI [現場実装]

2018 年の九州での現場検証に続いて、2019 年は東京都内のシールド現場に本システムを実装した。工事概要を表-1 に示す。

2018 年の現場検証では、AI の予測内容とオペレーターの操作内容の比較検証が主な目的であったが、今回の実装検証では AI の予測内容を実施工に反映し（ガイダンス掘進を実施し）、適正な操作が可能か否かの検証を実施した。

本検証に先立って、AI 予測精度と自動運転適用性の更なる向上を課題として下記のシステムの改良を実施した。

①変化への追従性向上

掘進に伴い対象地盤に変化があった場合や、カッタービット摩耗等によるシールド機の挙動変化なども考慮できる AI モデルを再構築した。

②シールドジャッキ選択ガイダンス

これまでの方向制御に資する予測内容は「力点」と呼ぶモーメント作用点で評価していたが、自動運転への展開を考慮して、選択すべきジャッキをガイダンス出力が可能なシステムとした。

7. 操作支援 AI [ガイダンス掘進の結果]

今回の検証中においても数回程度のモデル改善を重ね、最終的には「掘進指示書」の指示内容に対してシールドジャッキのストローク差が 2 mm（指示：左勝 76 mm，結果：左勝 78 mm），方位角が 0.02°（指示：220.69°，結果：220.67°）の差で掘進することができ、人間同様の操作が可能であると判断できた。

8. おわりに

これら 2 つの AI システムの開発は順調であり、操作支援 AI については 2021 年にはシールド機自動運転システムの実装を目指している。また、これらのシステムを統合して「シールド AI」とし、シールド工場の更なる生産性向上・スマート化を目指してゆく所存である。

最後に、本 AI システムの開発にあたり、現場検証に快諾を頂きました発注者の皆様をはじめ、関係者各位に心から感謝の意を表明します。

参考文献

- 1) 和田健他：シールドマシンの特性を考慮した AI モデル，土木学会第 74 回年次学術講演会，VI-814，2019。
- 2) 杉山博一他：シールドマシンの操作支援用 AI システムの開発，土木学会第 73 回年次学術講演会，VI-144，2018。
- 3) 樋口貴哉他：AI によるシールド掘進合理化技術の実装実験報告，土木学会第 74 回年次学術講演会，VI-1086，2019。

表-1

工事名	東京国際空港際内トンネル他築造等工事
発注者	国土交通省
シールド	φ11.93m 泥水式シールド
セグメント	外径 φ11.7m 桁高 0.5m 合成セグメント



図-3 現場鳥観図

図-4 AI システムと操作盤



図-5 ガイダンス画面と操作状況

表-2 ガイダンス掘進の結果 (No.1, 296R)

	掘進指示	操作結果	誤差
S/J ストローク差	左勝 76 mm	左勝 78 mm	+2 mm
方位角 (ジャイロ)	220.69°	220.67°	-0.02°