

AIによるシールド掘進計画支援システムの開発

AIが自己学習により掘進計画を最適化

中谷 武彦

建設業における生産性向上のためのツールとしてAIの活用がある。特に、AIが自己学習によって良い答えを導き出す強化学習の手法は、AIに最も期待する機能の一つである。本稿では、この強化学習の適用について検討し、その適用対象にシールド工法における計画業務を扱った。直線と曲線を組合せて構成するトンネル線形に対するシールド機の操作計画、並びにセグメントの割付計画を本手法に基づいてAIがシミュレーションを行う。この開発事例を、建設業における更なるAI適用に向けて展開していく意向である。

キーワード：シールド工法、AI、強化学習、計画シミュレーション、CIM

1. はじめに

i-Constructionをはじめ、情報化技術の活用による建設業の生産性向上は急務である。その中で期待されるものの一つがAIの活用である。

筆者らは、シールド工法において従来から収集していた施工管理データに工夫を加え、AIが機械学習に基づいてシールド掘進操作支援を行うシステムの開発を試みている¹⁾。この取組みでは、実施工から収集するデータを「正しい操作」のための手本として学ぶ方式であり、良質かつ大量のデータを必要とする。データの収集・保管の仕組みと共に、得られたデータから良質のデータを抽出する工夫が求められる。

一方今回は、実データから学ぶ仕組みではなく、自己の試行錯誤から学ぶ仕組みを扱った。これによってAIが施工計画を支援するシステムの開発について報告する。

2. 強化学習、他

自己学習の仕組みの一つに強化学習がある。Google社が出資するDeep Mind社の人工知能DQN²⁾をテレビゲーム『ブロック崩し』へ活用した事例が有名である。何回も繰り返しプレイすることによってゲームの攻略法を自己学習し、試行を重ねるにつれて得点をアップしていく(図-1)。強化学習と類次の手法である遺伝アルゴリズム(GA)にも活用の余地がある。生物の進化する過程に着目し、複数の答えを遺伝的に

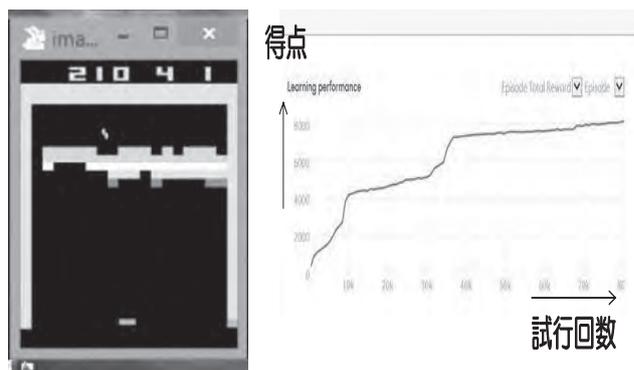


図-1 ブロック崩しでの活用事例

変化させながらよりよい答えを導き出す手法である。

このタイプのAI技術では、前述のように蓄積された実施工データを必要としない。代わりに検討対象のシミュレーションを行う“場所”と、AIの検討結果の良し悪しを評価する“指標”が必要となる。すなわち検討対象を前述の事例のような“ゲーム”の場でAIにプレーさせ、その結果をゲームの得点として評価するしくみが必要となる。

3. シールド掘進シミュレーション

(1) 概要

シールド工法では、曲線を含むトンネル線形に対して、異形セグメントと標準セグメントを組合せ、シールド機の中折れと余掘り装置を使ってトンネルを掘進する。計画段階においては、実施工に先立ってこれらの計画値を検討する。従来の計画方法では、シールド

機メーカーが保有する専用のプログラムを用いて、中折れ値、余掘り値の計画シミュレーション（一般に“カーブシミュレーション”と呼ぶ）を行う（図-2）。シールド機形状や与えられた曲線半径等に基づいて、三角関数を用いた理論計算によって計画値を算出するものである。またセグメントの組合せ計画については、現場の技術者が手計算に基づいて実施する（図-3、セグメント割付計画）。

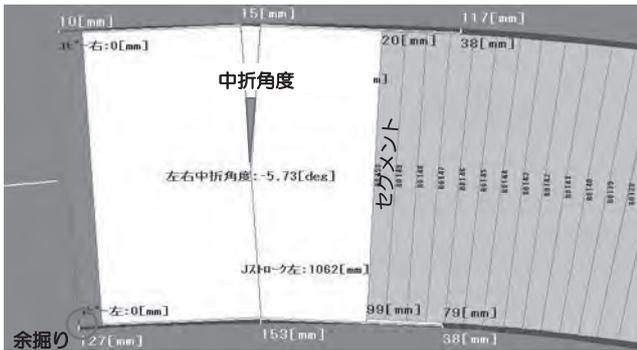


図-2 カーブシミュレーション

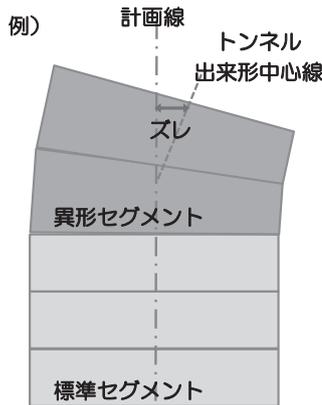


図-3 セグメント割付

(2) 開発システム (AI によるシミュレータ)

そのような従来のやり方に対して、AIを活用するシミュレータでは、AIが自ら設定するセグメントの割付けや、中折れ、余掘りの設定値を試行錯誤しながら仮想空間上で模擬掘進を行う。そして各試行における計画線形に対する偏差や、掘進の効率性を評価し、その評価に基づいて掘進計画を都度向上させていく（図-4）。最後に評価得点が高止まりするところを最適解として扱い掘進計画に活用する、というものである。

結果を評価する得点算出においては、偏差だけでなくテールクリアランス確保や、掘削地山とシールドマシンとの干渉度合いなども評価指標として取入れる。評価手法の設定に際して、技術者が実際に掘進計画を作成する際の考え方を忠実に反映させる工夫を施した。例えば複数の評価項目間では、「どの項目がどの程度重要か？」を採点の重みによって順位づけた。このように従来曖昧にしていた評価基準をも明確にし、かつ重要性の優劣評価を加えることで、より客観性の高い掘進計画の作成へつながらる。

開発したシステムを、実工事の施工計画に適用し、従来の技術者によるセグメント割付計画、およびシールド機メーカーによる掘進シミュレーション結果との比較を行った。結果に大きな差違はなく、いずれも実施施工に対して適用可能な計画であることが確認できた。

(3) 3次元への展開

ここまで報告したシミュレータは、従来の検討業務と同様に、平面と縦断を別々に扱う2次元によるものである。作成に当たっては、セグメントやシールド機

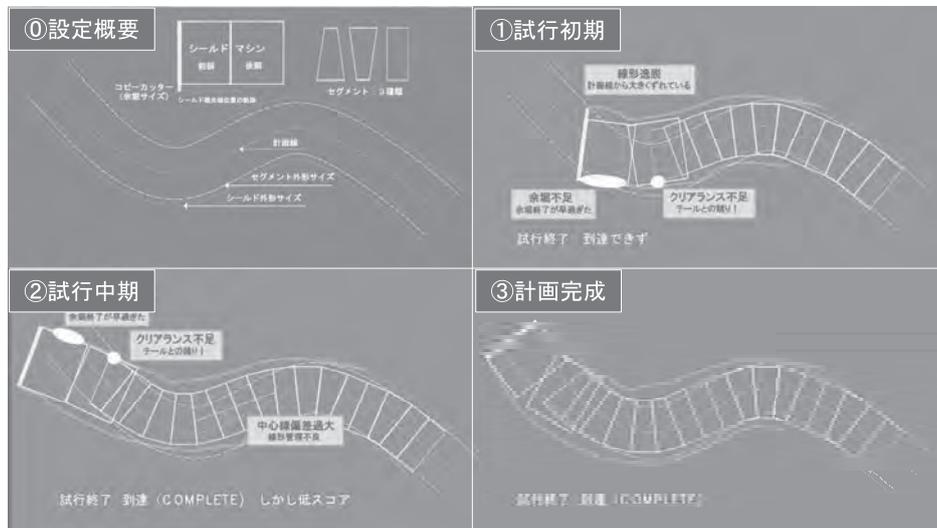
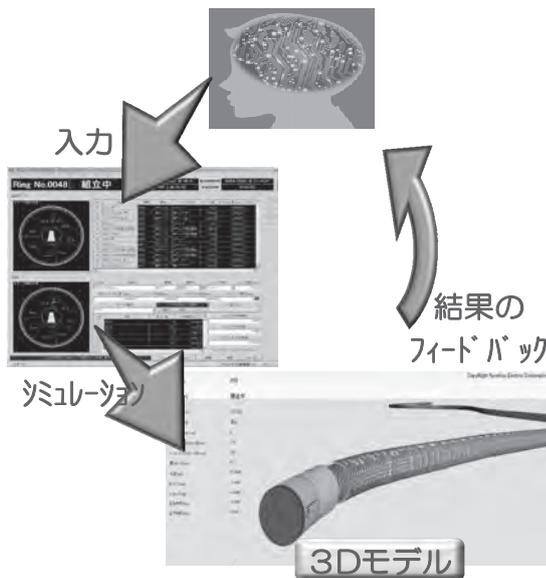


図-4 シミュレータのイメージ

を動かす仮想空間のグラフィック部分もゼロからプログラミングした。一方昨今では、シールド工事に特化したCIM（あるいは3次元モデル作成システム、以下「シールドCIM」）が利用可能であり、技術者が入力画面からセグメントタイプや掘進計画値を入力することで3次元の計画シミュレーションを行うことが可能である。このシールドCIMを活用して、入力の役割をAIに実行させる（すなわち従来のヒトの作業をAIに代行させる）ことが考えられ、これによって更にCIM活用、AI活用が広がっていく、と期待できる。

またこの開発シミュレータは、施工開始前の計画作成だけでなく、施工開始後の位置ズレ修正など任意の場面で活用できる。すなわち、掘進途中で計画線形からのズレが生じた場面からの修正掘進シミュレーションをAIが行う。具体的な活用手順は、①その場面でのシールド機位置とセグメント出来形を測量結果からシールドCIMに入力する。②3次元モデル上で、AIが余掘り量やテールクリアランスを確認しながら修正掘進計画を作成する、となる。イメージを図—5に示す。



図—5 CIMとAIの融合

4. おわりに

強化学習のようにAIが自分で試行錯誤して学んでいく、物事を改善していく、という機能は、我々がAIに期待する最も有用な働きの1つである。さらにそのAIの機能を、昨今活用促進されている3Dモデル上での検討に適用すれば、「施工計画」という業務が画期的に変化するものと期待できる。本稿ではまず、そのシールド工法における取組みを報告した。この手法が、建設業における他の工法での施工計画／管理業務、あるいは設計業務にも展開しうることを視野に入れて、更なる展開を図っていく所存である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 杉山博一ほか、人工知能によるシールドマシン操作に関する予備的検討、第72回年次学術講演会概要集、土木学会、2017
- 2) <https://deepmind.com/research/dqn/>

【筆者紹介】

中谷 武彦（なかや たけひこ）
清水建設㈱
土木総本部土木技術本部 開発機械部
技術開発グループ
課長

