

シールド掘削土砂の連続評価技術の開発

楸大林組 ○正会員 山田 祐樹 正会員 山崎 啓三
 正会員 中筋 真紀 正会員 東野 弘幸
 青山 裕作 佐藤 圭吾

1. はじめに

トンネル技術のひとつであるシールド工法は、シールド機を用いた機械式掘削であり、他工種に比べて、機械化はかなり進んでいるが、未だに自動運転にまでは至っていない。当社でもシールドの自動化施工への挑戦として「大林インテリジェントシールド (OGENTS)」の開発を進めており、その要素技術のひとつとして、掘削土砂性状の連続評価を行っている¹⁾。今回、郡山市上下水道局発注の小原田貯留管築造工事において、掘削土砂性状の連続計測を試みた。本稿では、その概要と計測結果について述べる。

2. シールド工事の概要

小原田貯留管築造工事は、近年増加しているゲリラ豪雨による浸水被害軽減対策として行われている。シールド外径φ4,530mm、施工延長 L=1,398.4m の泥土圧シールド工事である。対象となる地質断面および計測区間を図-1に示す。今回は掘進延長 1,070m (1065R) 付近から 1,340m (1285R) 付近の約 270m 区間において、本技術による試計測を行った。計測の対象とした区間の地質は、洪積礫質土が主体であり、1185R 以降、徐々に洪積粘性土層が現れている。

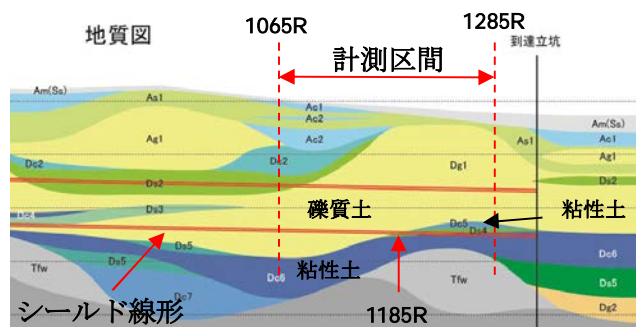


図-1 地質断面図と計測区間

3. 掘削土砂性状の連続評価技術の概要

泥土圧シールドの掘削では、シールド機から検出される様々なデータを監視しながらシールド機を運転している。一方、掘削土砂の性状は、職員による確認や比重計測などは行われているものの、連続的な計測データはなく、記録としても残されていないのが現状である。また、オペレータにより掘削時の操作が異なるなど、同一の指標で連続評価することは困難であった。そこで、シールド掘削の自動化を実現するために必要となる掘削土砂性状の連続評価手法として、AIによる物体検出手法を用いた画像解析技術の検討を行った。

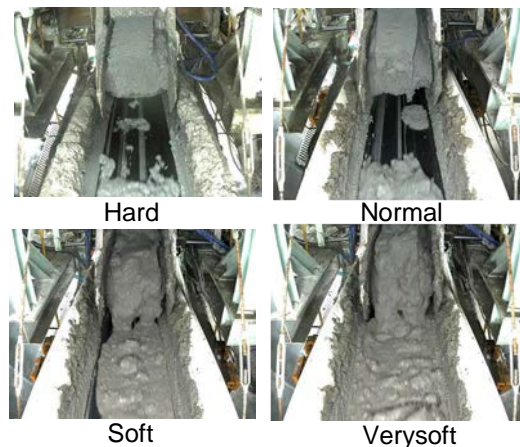


図-2 判別モデルの例

本技術は、シールド掘削土砂をずり鋼車に積載するためのベルトコンベヤー上で撮影した動画を対象に、掘削土砂の性状推定を画像解析技術で連続的に行うものである。近年、AIを用いた画像解析技術のうち、画像の中から定められた物体の位置とカテゴリーを識別する物体検出技術として様々な手法が提案されている。本技術では、他の手法と比べて検出速度に優れ、汎用性の高い物体検出アルゴリズムである YOLO²⁾ (You Only Look Once) を用いた。今回は、ベルトコンベヤー上を移動する掘削土砂を対象に Verysoft (超軟弱・噴発気味)、Soft (軟弱)、Normal (通常)、Hard (硬い) の 4 区分に Belt (ベルトコンベヤー) を加えた 5 種類に分類する性状推定モデルを作成し、試計測を行った。図-2 に各区分の機械学習用のデータの例を示す。なお、AIによる性状推定モデルの構築手順の詳細については既往の論文を参照されたい¹⁾。

キーワード 泥土圧シールド, 掘削土砂, ベルトコンベヤー, AI (人工知能), 物体検出手法,

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 TEL042-492-1015

4. 土砂性状の連続推定結果と掘進データの比較

作成した性状推定モデルの適用性を確認するため、試計測に先立ち、目視により判定した結果との比較を行った。目視との画像による推定結果の比較を図-3に示す。目視との正解率を比較した結果では、概ね7割程度以上の正解率が得られており、推定モデルとして適用性が高いと判断した。

図-4に1065Rから1285Rまでの各リングの性状推定結果を示す。性状推定結果はBeltを除いた4区分の割合を示している。一部データの欠損がみられる箇所は収録用PCのエラーによるものである。また、グラフ中にはシールド掘進時の各リングの平均推力の変化を併せて示している。性状推定結果に着目すると、計測開始当初(1065R~1100R)は、Hard(硬い)の判定結果が卓越していたのに対し、掘削が進むにつれて、徐々にその割合が減少しているのがわかる。そして、およそ1190R以降は、Verysoft(超軟弱)が急激に卓越し、その後にNormal(普通)の割合が増加した。図-4のグラフ下部には、実際の排土状況を目視により評価した結果を示している。1190Rまでは

砂質土が主体であったのに対し、1190R以降は粘性土が増加し、噴発気味の土砂と粘性土の塊が交互にみられるようになっており、画像による推定結果の変化と概ね一致している。特に、地質断面図より推定された粘性土層が現れる距離(1185R)と性状が大きく変化した距離は概ね整合していた。

次にシールド推力に着目すると、1185Rまではシールド推力が7000~8000kNで推移しているのに対し、1190R以降は4000kN程度まで低下しているのがわかる。今回計測の対象とした区間ではシールド掘進時の速度はほぼ同一であったことから、1185Rまでは砂質土が主体のためシールド推力が増加し、それ以降、粘性土の増加に伴いシールド推力が低下したものと推察される。土砂性状の推定結果は、シールド推力の変化とも良い対応を示している。これらの結果から今回の手法により土砂性状の連続評価が可能であることがわかった。

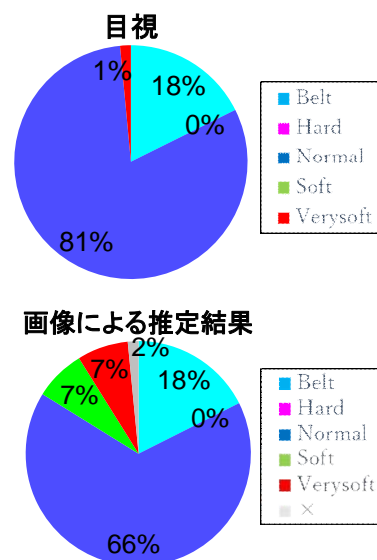


図-3 目視との比較例(354R)

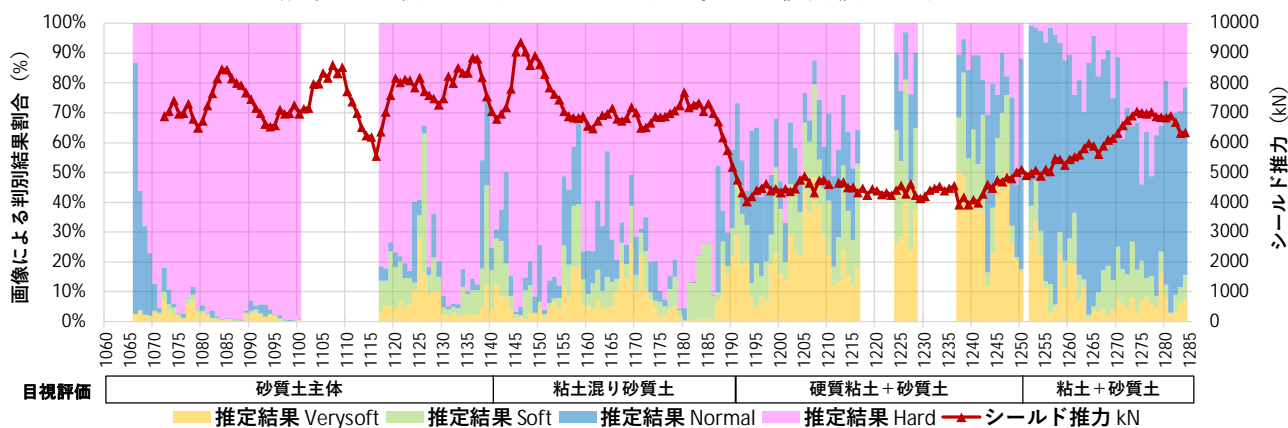


図-4 各リングの性状推定結果

5. まとめ

本稿では、小原田貯留管築造工事において試行した掘削土砂性状の連続計測結果について述べた。同一の推定モデルを用いて連続計測を行うことにより、土砂性状の変化を評価できることがわかった。今後は、土質の異なる掘削土砂への適用性を確認するとともに、他のアルゴリズムモデルの検討や評価指標の再検討を積極的に進め、シールド掘削の自動運転技術の実用化に向けて検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 大前, 山崎, 山下, 福武, 山田, 青山: AIによる物体検出手法を用いたシールド掘削土砂の連続評価技術, 土木学会第75回年次学術講演会, 2020.8
- 2) Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick and Ali Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection", arXiv:1506.02640 [cs.CV], <https://arxiv.org/pdf/1506.02640.pdf>