

人工知能を活用した泥土の性状判定システムの開発

大成ロテック株式会社 正会員 〇梶田 孝太 正会員 木村 謙介
大成建設株式会社 正会員 志田 智之 正会員 高見澤計夫

1. はじめに

入職希望者の減少と高齢化による技能労働者の退職により、建設作業の自動化による生産性向上と省力化の推進は喫緊の課題となっている。機械化が進んだシールド工事においても例外ではなく、施工管理手法をはじめとして、IoTを活用した様々な取り組みが試行されている。一方、土圧式シールド工法の施工管理で最も留意すべき切羽管理は、属人的な掘削土砂の性状把握に基づいており、多くの時間を費やしている。本稿ではこのような現状を踏まえ、AI（人工知能）による画像認識技術を活用して掘削土砂の性状を連続的に評価する手順と手法を検討したので、その結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

実験に用いた試料土は、レキ分（川原石、コンクリート用砕石、6号砕石、7号砕石）、砂分（細目砂）、粘土分（赤土）を表-1に示す割合で混合したもので、粒度分布は図-1に示す通りである。これに水、加泥材を添加して性状を5区分（硬、やや硬、正常、やや軟、軟）に調整し実験に用いた。

2.2 使用機材

1) カメラ

AI学習データの撮影用カメラは、遠隔操作可能でブレ補正機能を有した高性能カメラ（画像サイズ：4k フレームレート：60fps）を使用した。また、照明等の外的要因による画像の違いが反映されるように、カメラの設置角度を3区分（35°、45°、55°）で変化させた。

2) 実験装置

トンネル坑内の状況を再現するために、撮影箇所のベルトコンベヤーは暗幕で覆い、LED照明で照度を確保した（写真-1、2）。

2.3 土砂の性状判定基準

試料土の硬軟の判定基準はスランプ値とし、「硬」は10cm以下、「やや硬」は11cmから15cm、「正常」は16cmから20cm、「やや軟」は21cmから25cm、「軟」は26cm以上とした。

表-1 試料土の配合

使用材料 試料土	川原石	砕石 2005	6号砕石	7号砕石	細目砂	赤土
配合①	2.0	2.0	13.0	3.0	20.0	60.0
配合②	2.0	2.0	13.0	3.0	40.0	40.0
配合③	2.0	2.0	13.0	3.0	60.0	20.0

【単位：％】

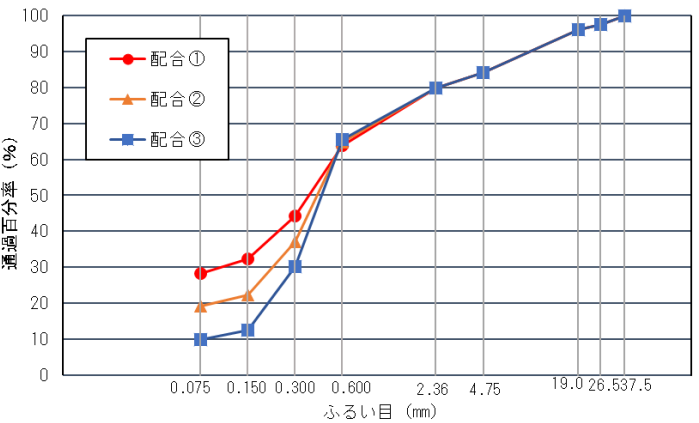


図-1 試料土の粒径加積曲線



写真-1 実験装置外観



写真-2 実験装置内部

キーワード AI, 画像認識, 畳み込みニューラルネットワーク, 土圧式シールド工法, 土砂性状
連絡先 〒365-0027 埼玉県鴻巣市上谷 1456 大成ロテック株式会社 技術研究所 TEL 048-541-6511

3. AI による泥土性状判定

3.1 前処理

撮影した映像を 1 秒間隔で静止画に変換した後、試料土が映るベルトコンベヤー中央部から 192×192 ピクセルの画像を切り出した。切り出した画像から 64×64 ピクセルを抜き出して 32 ピクセルずつ移動させながら特徴点を抽出した（図 - 2）。

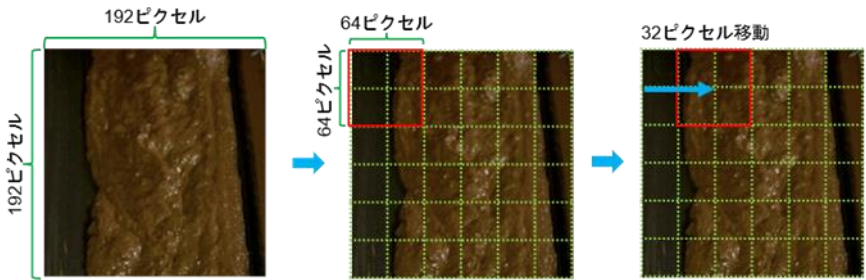


図-2 土砂部分の切り出し

3.2 判別モデルの作成

前処理で生成した静止画を、土砂無しを含めた 6 性状にラベリングし、クラス分けして、学習用データセット（5 性状×15,000 枚に土砂無し 600 枚を加えた計 75,600 枚）を作成した（図-3）。その後、学習用データセットを用いて、畳み込みニューラルネットワーク（以下、CNN）¹⁾ で学習を行った。

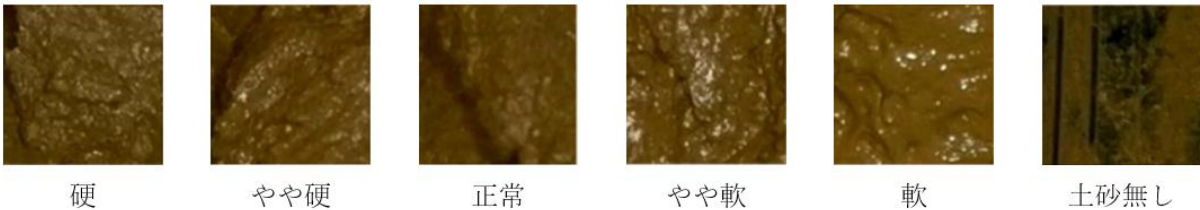


図-3 試験土の画像と性状の例

3.3 判定結果

学習用データとは別にテストデータセットを作成し、学習モデルによる推論結果と正解の差異を評価した。ラベリングした土砂性状 5 区分と分類された結果より、正解率（全データに対して正解の数の割合）、適合率（推論した結果にどれだけ正解が含まれるか）、再現率（正解の中にどれだけ推論できたものが含まれるか）の 3 指標により評価を行った。判定結果を混合行列で表-2 に示す。

再現率（平均）91.74%，適合率（平均）93.36%，正解率 92.90%で判定できており、精度のよい学習モデルが作成できた。蓄積したデータセットは、スランブ値を指標として試料土の硬軟を人為的に調整したことから、画像と正解データとの関連性が強く表現されていたため、CNN を用いて非常に良い推論を行うことができたと考えられる。

表-2 テストデータを用いた判定結果

土砂性状		予 測 値						合 計
		軟	やや軟	正常	やや硬	硬	土砂無し	
正 解 値	軟	2,516	85	10	2	5	0	2,618
	やや軟	37	3,871	379	16	5	0	4,308
	正常	7	277	3,778	213	72	0	4,347
	やや硬	0	3	84	3,653	94	0	3,834
	硬	8	1	23	46	4,384	9	4,471
	土砂無し	1	0	0	0	25	139	165
	合 計	2,569	4,237	4,274	3,930	4,585	148	

4. 今後の展望

シールド掘削対象土の粒度分布に調整した試料土を作成し、土砂性状（塑性流動状態の良否）と対応させた画像データをあらかじめ取得することで、シールド掘進開始時から A I による土砂性状の判定が可能であることが示唆された。今後は、シールド工法による施工実績が非常に少なく、乱れた状態では砂より流動化しやすいことで知られる「しらす」が掘削対象の工事に適用して、本報の手順と手法の有効性を評価していく予定である。

参考文献

Fukushima, Neocognitron (1980). “A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position”. Biological Cybernetics 36 (4): 193–202. doi:10.1007/bf00344251. PMID 7370364