

AI を活用した NATM 発破良否判定システム「Blast AI」の開発

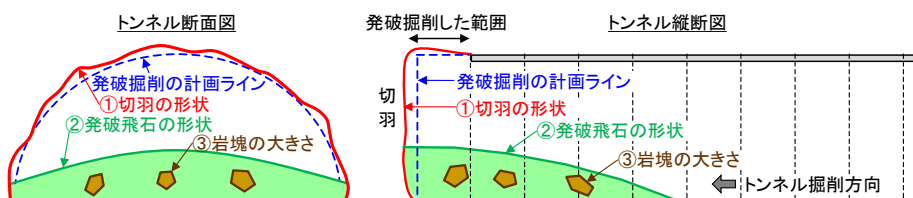
戸田建設(株) 正会員 ○杉山 崇, 正会員 中林雅昭, 正会員 田中 徹,
正会員 本木章平, 正会員 大橋英紀,
(株)Rist 非会員 遠野宏季, 非会員 樺澤達将, 非会員 Pascal Baillehache

1. はじめに

山岳トンネルの発破掘削工法において、発破後の飛石の形状を撮影した3次元データから、発破の良否をAI（人工知能）により判定する発破良否判定システム『Blast AI』を開発した。本稿では、その概要と開発過程で実施した試験・検証結果を報告する。

2. 開発の背景

中硬質岩の山岳トンネルでは、約1~2m毎に発破掘削を行うが、地質の不連続性などから、発破の良否を都度判定し、次の発破パターンに反映する必要がある。一般的に良否の判定は、図-1に示すように、①発破後の切羽形状、②発破の飛石形状および③飛石岩塊の大きさ等から行っている。①は幾何学的な目標ラインに対する凹凸などから3Dレーザースキャナ等により定量的に判定できるが、②③は適切な形状・大きさが曖昧なためトンネル熟練工の判定に委ねてきた。本開発は熟練工のもつ経験（暗黙知）をAIに学習させ後世に残すと共に、これを活用して、誰でも効率的に次の発破パターンに反映する適切な判定結果を入手できるようにするものである。



※発破飛石の形状には、発破の良否を判定する明確な判定基準ラインがない
図-1 発破後の切羽の形状、飛石形状及び岩塊の大きさのイメージ図

3. 発破後の3次元飛石形状から発破の良否を判定するAI技術：Blast AI

前記の曖昧な判定基準の内、②の「発破後の3次元飛石形状」と「熟練者による良否判定結果」の対のデータを教師データ（学習用データ）とする深層学習（Deep Learning）により、AIモデル『Blast AI』を開発した。

(1) 模擬的なトンネルで学習用データを準備

施工中のトンネルの発破データではAI学習に必要な学習用データ数が十分に得られないため、実験室内に写真-1に示す模擬的なトンネル（R=400mm, L=1,400mm）を作成した。この模擬トンネルで「良好な発破」・「普通の発破」・「不良な発破」の3カテゴリーの飛石形状を模して、デジタルカメラで撮影した写真を基にAgisoft社の「Metashape（旧 PhotoScan）」を使用してそれぞれの3次元飛石形状DXFデータを取得し、学習用データを準備した（図-2）。

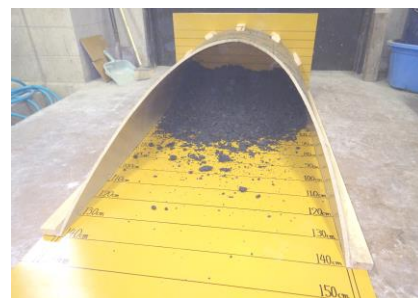


写真-1 実験室内模擬トンネル

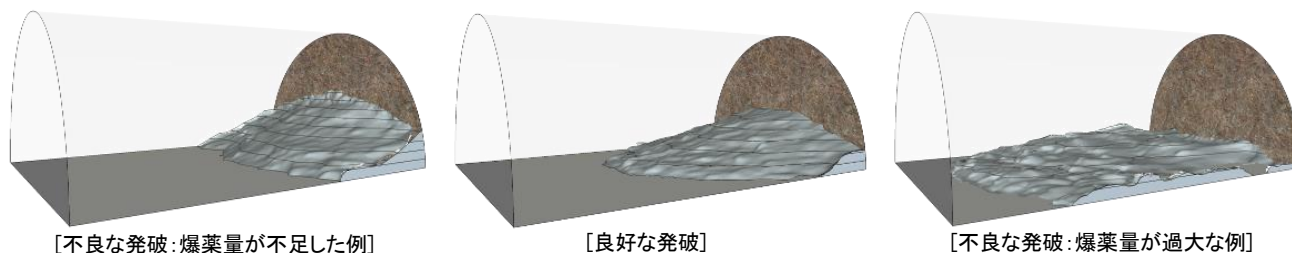


図-2 学習用データに使用した室内模擬発破形状（3次元データ）の一例

キーワード NATM, 発破良否判定, AI, 3次元データ

連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1 戸田建設(株) 本社土木技術営業部 TEL 050-3818-6607

(2) AI モデル構築

種々の模擬発破飛石形状を、トンネル経験が豊富な熟練者に判定させ、学習用データ約 150 組を準備した。AI モデル構築における工夫点として、以下の 2 点をあげる。

① データシャッフル

入力する複数の 3 次元飛石形状（点群）データの順番をランダムに並び替えた。これにより、仮に「良好な発破」×10、「普通の発破」×10、「不良な発破」×10 のデータを入力した時に、最初に入力されたデータが「良好」、最後に入力されたデータが「不良」と学習してしまう可能性を排除した。

② 点群回転・小移動によるデータ数増加

点群データを、その中心点を基準にランダム（全方位 360°）に回転するとともに、座標値をランダムにずらした。これらをそれぞれ別の点群データとして保存して利用することにより、データ数を約 9 倍の約 1,350 組に増加させ、学習精度の向上を図った。

なお、今回の AI モデル構築に使用したオープンソースソフトウェアライブラリは、Google 社の「TensorFlow」および 3D データ取扱の機能を有するスタンフォード大学の「PointNet」である。

(3) 実用可能な AI モデルを実証

構築した AI モデルを用いて、学習用データとは別に正答率確認用データを 30 組準備し、AI による良否判定を検証した結果、正答率は約 85% となり、この段階の AI モデルとして実用可能であることを確認できた（図-3、図-4）。なお、点群データ（DXF）入力後、判定に要する時間は 10 秒前後と短時間である。

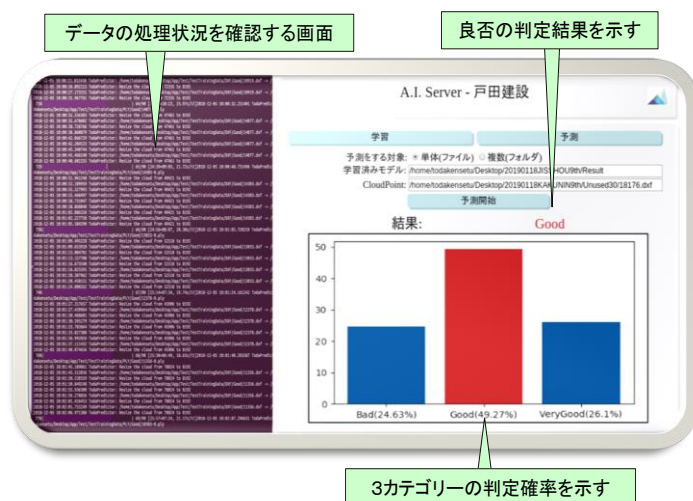


図-3 AI の学習履歴のプロット

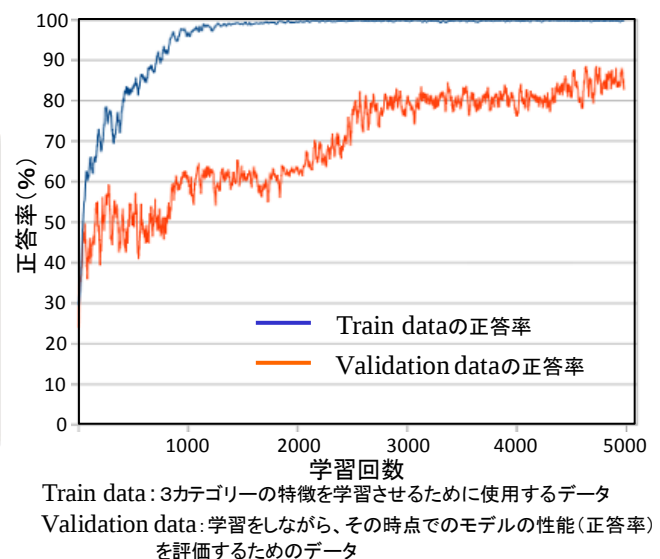


図-4 AI モデルの判定結果イメージ

4. 今後の課題

「Blast AI」を開発したことで、トンネル熟練工の経験（暗黙知）に判定を委ねてきた発破の良否が、3次元飛石形状から AI により判定できることが判った。今回開発した AI モデルは、実験室内での模擬発破データを使用したものだが、今後は当社が開発した山岳トンネル現場での UAV 自律飛行によるデータ収集技術「Blast Eye」を活用して全国の発破掘削のデータを集積し、深層学習を重ねていくことで、実際のトンネル工事において実用可能な AI を構築できる可能性がある。

しかし、**2. 開発の背景**で述べた判定要素の一つである飛石岩塊の大きさは、室内実験の都合上一定値としたことに加え、点群データでは岩塊の大きさを表現できなかった。また、学習アルゴリズムのメモリ制限等により、点群データ（80,000 ポイント前後）を約 1/10（8,192 ポイント）にリサイズして軽くする必要があったため、点群データの精密性を下げざるを得なかった。今後はこれらの課題をクリアできる、もう 1 段階進めた AI の構築を模索する必要がある。