

トンネル掘削における火薬装填量 AI 予測モデルの検討

(株)竹中土木	正会員	○董	佳文
(株)竹中土木	正会員	森	守正
(株)コンピュータマインド	非会員	八重森	洋毅
マック(株)	非会員	森本	景介

1. はじめに

山岳トンネルのおもに硬岩から中硬岩の施工において、ダイナマイト等の火薬を用いて岩盤を破碎する発破掘削方式が一般的に採用されている。従来の発破掘削方式は、ドリルジャンボで穿孔した穴に対して、切羽作業員が火薬量を調整、装填し、雷管によって起爆させるため、切羽作業員の経験に依存するところが多い。また、装填作業時は作業員が長時間にわたって切羽直近で作業するため、肌落ちにより一歩間違えれば人命に危険を及ぼす恐れがある。

近年では、少子高齢化により労働者不足が顕在化し、建設現場の生産性向上が強く求められている状況の中、AI 技術を活用したトンネルの無人化施工による掘削効率の向上や安全性の確保が注目されている。そこで、装薬作業の自動化を見据え、作業員の経験に依存せずに火薬量を調整する手法として、ドリルジャンボより取得した穿孔位置の座標や穿孔エネルギーの数値データと、穿孔箇所の局所画像データを教師データとして、ディープラーニングの一種である CNN（畳み込みニューラルネットワーク）を用いた火薬量予測 AI モデルを構築した。本報告では、その予測精度の検証結果について報告する。

2. 火薬量予測 AI モデルの構築

AI モデルで使用した説明変数は、数値データとしてドリルジャンボより取得した穿孔長と平均穿孔エネルギー、坑口からの距離、土被り、4つの支保パターンの合計8パラメータとした。また、局所画像データとしては、トンネル切羽写真から穿孔箇所ごとに $63 \times 63 \text{pix} = 3,969 \text{pix}$ の局所画像（図1）を自動で切り取り、学習済の SqueezeNet ネットワークより抽出した特徴量 512 パラメータとした。目的変数は、火薬類消費日報より読み取った施工箇所の断面における火薬の装填総数を、ドリルジャンボの穿孔データから読み取った穿孔数で除算し算出される平均装薬量（本/孔）とした。

火薬量予測モデルは、CASE1 として数値データのみ使用した場合、CASE2 として数値データと局所画像データを併用した場合の2種類を作成し、予測値を比較検討した。CASE1 の学習手法を図2に、CASE2 の学習手法を図3に示す。過学習の影響を除去するために、入力データを9:1の割合でランダムな学習データ

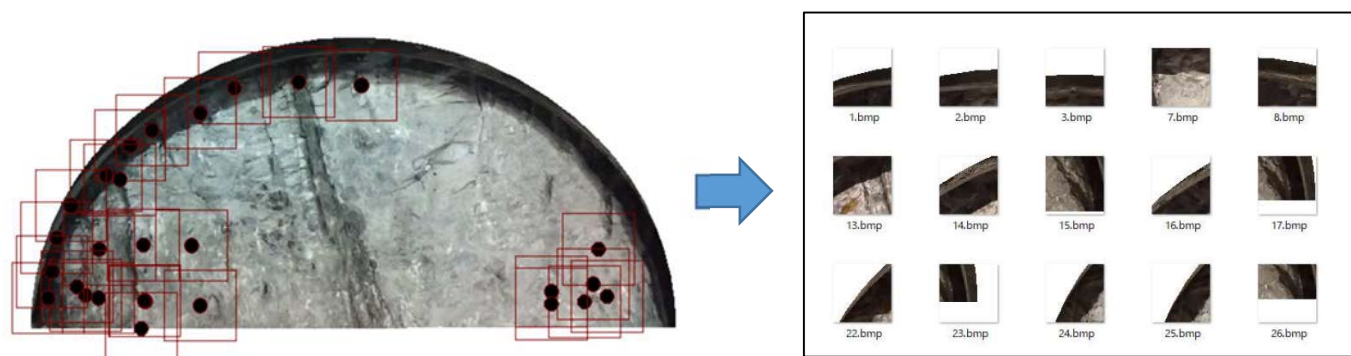


図1 穿孔箇所の切羽局所画像

キーワード トンネル、火薬量、AI、畳み込みニューラルネットワーク、自動化

連絡先 〒136-0075 東京都江東区新砂 1-3-3 (株)竹中土木 技術・生産本部 TEL 0476-47-1700

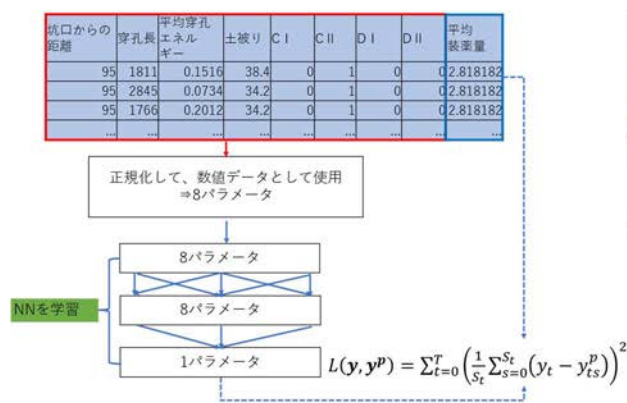


図2 CASE1の学習手法

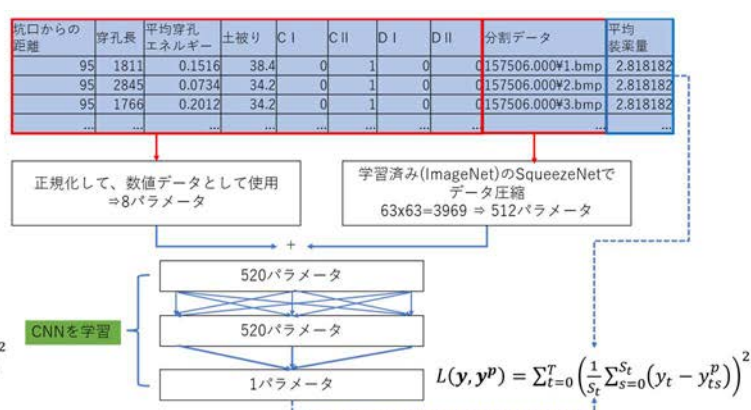


図3 CASE2の学習手法

と検証データに分割し、検証データが連続 30 回の学習で精度が上がらない場合、自動的に学習を終了するようにモデルを構築した。

3. 予測精度の検証

CASE1, CASE2 の学習結果を図 4, 検証結果を図 5 にそれぞれ示す。CASE1 の学習結果は、予測値と実績値との相関係数は 0.36 となり、学習誤差は平均 0.35 本/孔であった。検証結果は、実績値との相関係数が -0.44 となり、予測誤差が平均 0.60 本/孔と、有効な予測結果を得ることができなかった。一方、CASE2 の学習結果は、予測値と実績値との相関係数が 0.91 となり、学習誤差は平均 0.18 本/孔である。検証結果は、実績値との相関係数が 0.65 となり、予測誤差は平均 0.29 本/孔となった。

4. 検証結果の考察

予測値と実績値との相関係数と、予測値と実績値の平均誤差で予測精度を評価したところ、CASE2の方がCASE1よりも高い予測精度を得られた。この結果から、局所画像データの情報をを用いることが予測精度の向上に有用であることが示唆された。局所画像データによって、穿孔箇所の地山の状態や孔周辺の土質が把握できるため、火薬量をより正確に予測できたと考えられる。

なお、本研究では、目的変数として孔ごとの火薬装填量ではなく、孔当たりの平均装填量を使用している。今後は、穿孔箇所ごとの火薬装填量データを取得し、より詳細に全穿孔箇所ごとの土質による影響を考慮するなど、さらなるモデルの改良や検証をする必要がある。

5. 終わりに

本研究では、穿孔エネルギー等の数値データや穿孔箇所の局所画像を使用した火薬量予測 AI モデルを構築した。結果、構築した AI モデルは有用であることが示唆された。今後は、実際の現場での適用を増やし、より多くのデータを取得して火薬量予測 AI モデルを改善することで予測精度の向上を図りたいと考えている。

参考文献

- 1) 奥澤 康一他：人工知能を用いた岩種判定システム 大林組技術研究所報 No. 85 2021
- 2) 中山 英樹：深層畳み込みニューラルネットワークによる画像特徴抽出と転移学習

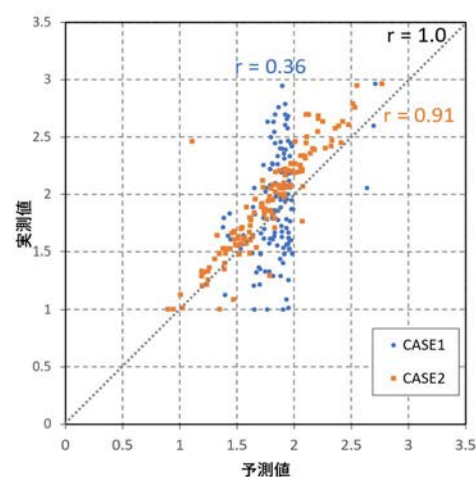


図4 CASE1, CASE2の学習結果

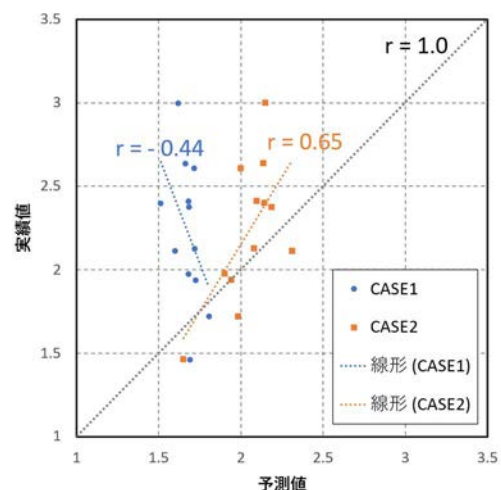


図5 CASE1, CASE2の検証結果