

点群データを活用した深層学習（CNN）によるトンネル変位算出システムの開発

鹿島建設(株) 正会員 ○石井雅子 宮嶋保幸
(株)システム計画研究所 西岡 拳

1. はじめに

トンネル工事の施工管理として内空を計測する A 計測では、掘削約 20m 毎に計測断面を設定し、反射シートやミラーで 1 断面あたり 3～5 点程度の計測を行っている。しかしながらポイント型の計測では、局所的な変位を見落とし結果的に過大な変位に至る可能性がある。そこで筆者らは高密度なトンネル計測を行うため、3D レーザースキャナ（以下、3DLS と称する）で得られた点群データを活用した深層学習（以下、CNN と称する）による変位算出システムの開発を進めている¹⁾。本稿では開発したシステムを掘削中のトンネル現場で使用し、従来 A 計測との比較による精度評価を行ったので、その結果について報告する。

2. CNN による変位算出システムの概要

今回 A 計測と同等な精度で変位計測を行うことを目標に、図-1 に示すように、3DLS で取得した点群データから吹付けコンクリートの微小な凸凹のような特徴的な形状、すなわち特徴点を抽出し、これをターゲットの替わりとした変位計測システムを開発した。

本システムの流れを図-2 に示す。まず、初期値となる変位前と変位後のトンネル点群データを読み込み、y 軸がトンネルの軸方向となるよう輪切りにし、幅 50 mm の点群データを抽出して、xz 平面に射影、画像化する。次に、CNN で解析を行うため断面画像からトンネル形状沿いに矩形を切り出し、解析可能な大きさに画像をリサイズする。続いて、変位前の矩形画像からハリスのコーナー検出²⁾と呼ばれる特徴点抽出アルゴリズムを用いて特徴点を検出する。変位後の矩形画像から、変位前の特徴点に最も似ている対応点を CNN によって抽出し、特徴点毎の変位を算出する。矩形毎の変位は矩形内に存在する特徴点毎の変位の中央値として算出する。これは、平均値や最大値では外れ値に引っ張られ精度が悪くなるためである。算出結果は図-3 に示すように Web ブラウザ上に変位コンタ

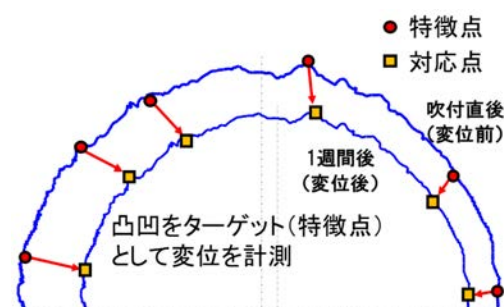


図-1 CNNによる変位算出の概要

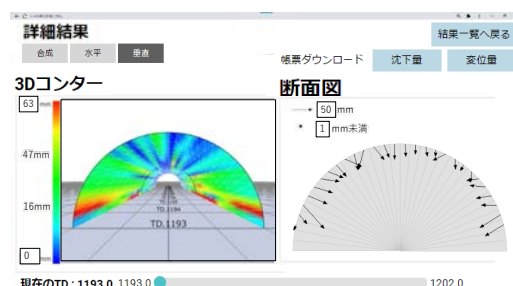


図-3 Web可視化画面

ー図・変位ベクトル図として表示され、任意の点の経時変化グラフが帳票として出力される仕様となっている。

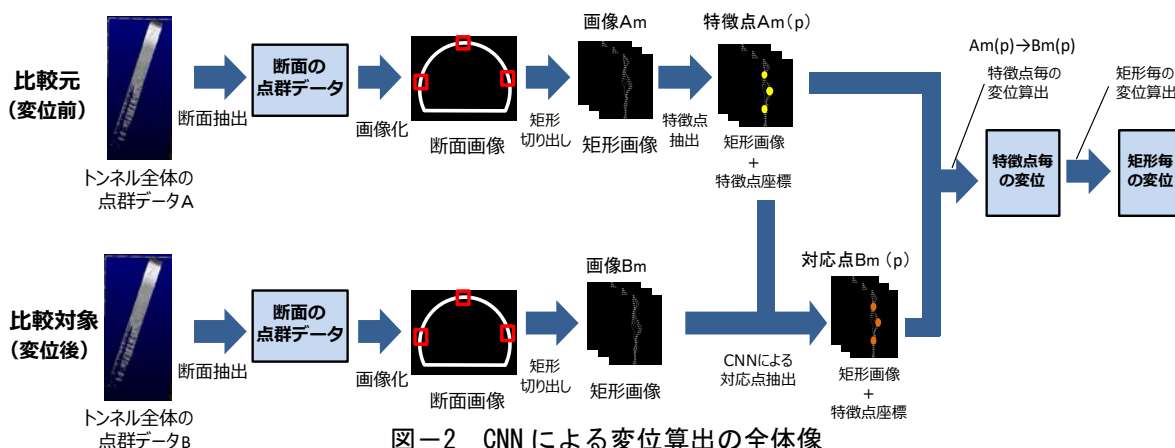


図-2 CNNによる変位算出の全体像

キーワード 3D スキャナ, A 計測, 山岳トンネル, 特徴点, CNN

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-485-1111

3. 現場計測概要

本システムの精度検証を行うべく、掘削中のトンネルにて 3DLS による変位計測を行い、従来の光波による計測結果と比較を行った。計測レイアウトを図-4 に示す。3DLS は切羽後方 10m の中央に設置し、通常的光波測量で使用している現場既存プリズム 2 点を利用した後方交会法を行い、その後 360°スキャニング計測を実施した。今回、3DLS は TOPCON GLS2200 を使用し、計測期間は 5 日間 (3~4m/日進)、計測頻度は 1 回/日とし、3DLS と光波による計測は同じタイミングで実施した。

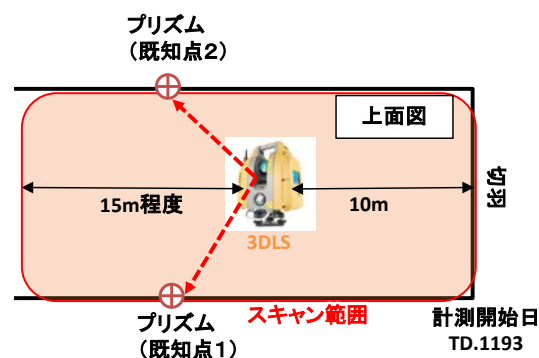


図-4 計測レイアウト

4. 計測結果

計測 5 日目の 3DLS 計測による垂直変位コンター図を図-5 に示す。同図より、トンネル軸方向において天端・左側壁で比較的大きな沈下量が発生し、徐々に左肩・左側壁でも沈下量が発生していることが確認でき、従来 A 計測では捉えられなかったトンネル全体の連続的な挙動を把握できることがわかった。

計測開始日の切羽位置 TD.1193 における変位の経時変化グラフを図-6 に示す。実線が従来 A 計測結果、点線が 3DLS 計測結果を示している。3DLS 計測結果は、従来 A 計測におけるミラー位置の近傍の矩形変位を採用している。同図より、沈下量において両者を比較すると、天端・左肩・右肩で概ね 3 mm 程度の差異に収まっていることが確認できる。一方、内空変位量においては 10 mm 程度の差異が発生している。内空変位は 2 つの矩形変位を足し合わせているため、沈下量よりも大きな差異が発生する傾向にあると考える。

3DLS 計測において差異が生じる原因の一つとして、変位前の矩形画像と変位後の矩形画像の点群密度の違いが考えられる。点群密度が大きく異なると、同一特徴点を正しく追尾できない可能性がある。今後、切出した矩形画像の画像処理や特徴点検出におけるハリスのコーナー検出のパラメータ等の検討を行う必要があると考える。

5. まとめ

点群データを活用した CNN による変位算出システムを開発し、その値は従来 A 計測と概ね同等であることを確認した。また、3DLS 計測により、従来 A 計測では捉えられなかったトンネル全体の連続的な挙動を把握できることがわかった。今後、更なる精度向上に向けてシステムの改良に取り組む所存である。また、偏圧が大きなトンネルなど三次元的なトンネル挙動を把握したい現場において、積極的に導入を進めていきたい。

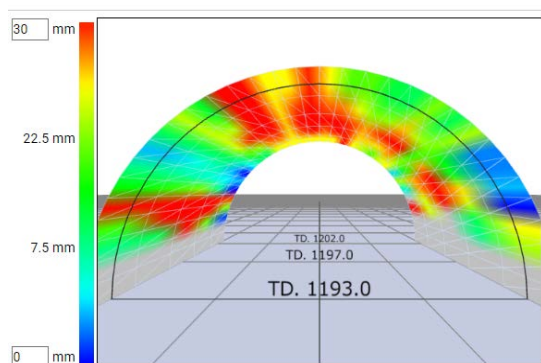


図-5 3D コンター（垂直変位）

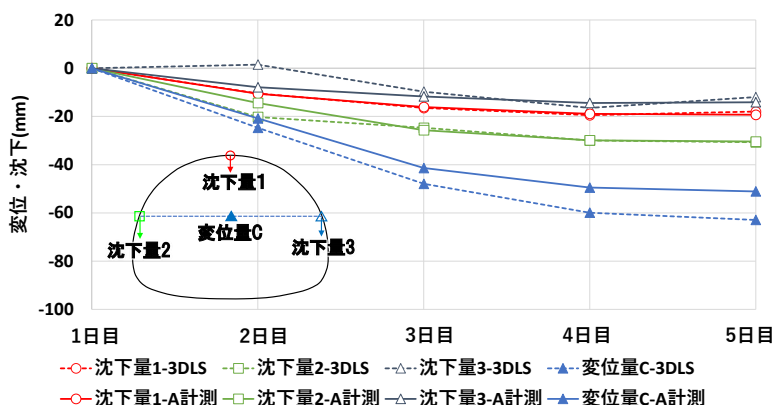


図-6 TD. 1193 における変位計測結果

参考文献

- 1) 宮石ら：深層学習（CNN）によるトンネル変位評価手法の開発，第 76 回年次学術講演会，VI-170，2021.
- 2) Harris, C., Stephens, M. : A Combined Corner and Edge Detector, Proceedings of 4th AlveyVision Conference, 1988.