

深層学習 (CNN) によるトンネル変位評価手法の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○宮石雅子 宮嶋保幸
(株)システム計画研究所 非会員 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。しかしながら地質が複雑に分布する場合、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) の計測結果を用いた変位計測手法の開発を進めている。本稿では特徴点をターゲットの替わりとした深層学習 (以下、CNN と称する) による変位評価の試みを行ったので、その結果について報告する。

2. CNN による変位算出方法

今回 A 計測と同等な変位計測を行うため、図-1 に示すように、3DLS の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を試みた。また、変位の算出過程を簡略化するために、3 次元計測データから任意の 2 次元断面での変位評価も試みた。特徴点のマッチング手法としてはパターンマッチングがあるが、特徴のある形状の位置が移動するとともに、形状自体が変位してしまった場合、特徴点に対する対応点を見逃してしまう。一方、CNN を利用した対応点検索では、CNN の頑健で豊富な情報を利用できるため、多少の変位が発生しても適切なマッチングが期待できる。

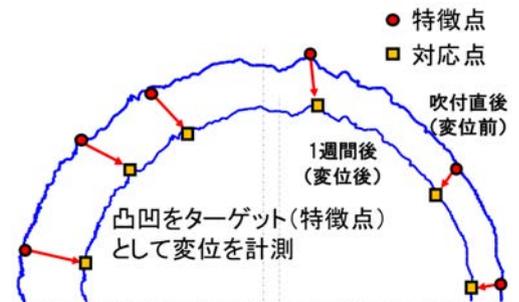


図-1 CNN による変位算出の概要

本手法の流れを図-2 に示す。まず、初期値となる比較元と比較対象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 25 mm の点群データを抽出して、xz 平面に射影、画像化する。断面画像からトンネル形状沿いに矩形を切り出し、画像のリサイズを行う。続いて、比較元矩形画像からハリスのコーナー検出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。比較対象矩形画像から、比較元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。

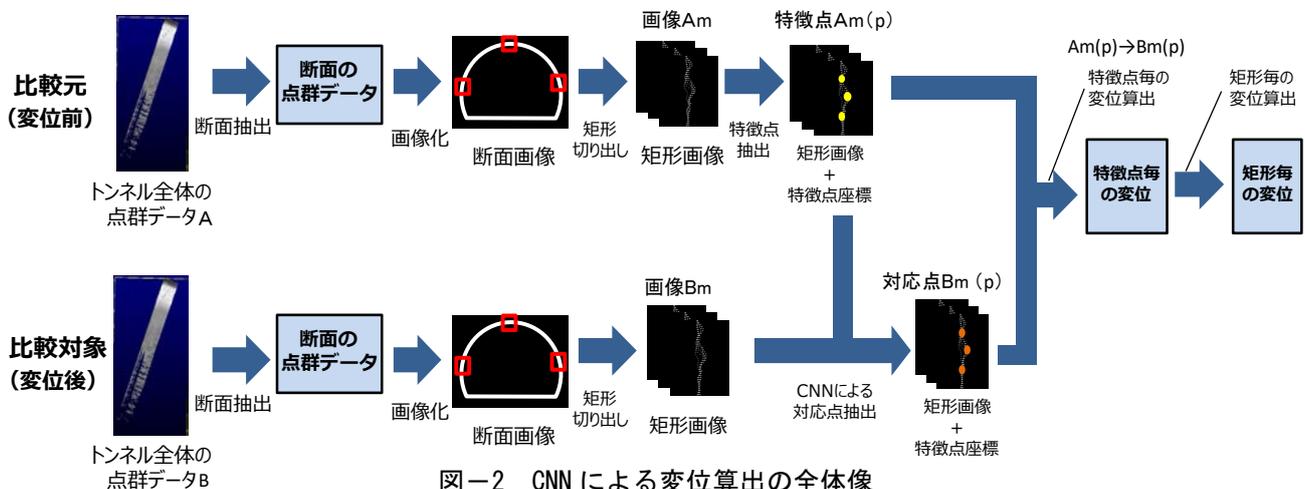


図-2 CNN による変位算出の全体像

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 TEL042-489-6596

今回、A計測と同等な変位計測を行うため、全体許容誤差を ± 5 mmに設定した。点群データを生成するまでに、スキャナの測定誤差 (± 2 mm/30m)、ペーパーターゲットの測量誤差 (± 3 mm)、点群データ生成時の誤差 (± 3 mm) が累積されている。互いに独立な誤差の場合、誤差の累計は二乗和平方根で与えられることから、CNNによる変位計算での許容誤差は ± 1.7 mmとなる。CNNによる変位計算では、1ピクセル毎の移動を認識するため、変位計算の精度は1ピクセルの大きさに依存する。したがって、1ピクセルの大きさが1.7 mm以下になるよう、表-1に示す矩形サイズと解像度を設定した。

また、比較元矩形画像から抽出した特徴点に対する対応点を、画像内の画素から全探索すると、画像の面積に比例した時間がかかる。そこで、画素値が0である領域(図-3、白色領域)かつ特徴点を中心として任意に設定した $x \times x$ (px)の領域(図-3、探索範囲)のみを探索することで高速化を図った。

3. 試行結果

同日に異なる3DLS位置から計測した点群データを解析対象とし、正解変位ゼロに対してCNNを用いて比較元で抽出した特徴点と同一の対応点を抽出できるか検証を行った。また、今回はある程度の点群データ量が存在する断面同士を比較するため、各3DLS位置の中心断面を使用した。図-4に示すように、それぞれの断面から矩形を切り出し、本手法を用いて矩形毎に変位を算出した。

矩形毎の変位の算出結果を図-5に示す。正解変位ゼロに対して、 x 変位、 z 変位ともに誤差 ± 5 mmに収まっており、本手法の適用性を確認できた。誤差が生じる原因の1つとして、比較元矩形画像と比較先矩形画像に存在する点群数の違いが考えられる。図-6に示すように矩形内に存在する点群数の違いによって、画像化したデータの見た目に差が生じていることがわかる。この差が大きいほど同一特徴点を正しく追尾できない可能性がある。今後、変位計算に必要な点群数を調査し、点群数に応じたパラメータ調整を検討する必要がある。また、誤った対応点を抽出してしまった場合、トンネル内空側に変位するのに対し、 $+z$ 方向に変位したり、左側壁で $-x$ 方向、右側壁で $+x$ 方向に変位したと判断する可能性がある。したがって、変位方向の妥当性判定アルゴリズムを追加する必要があると考える。

4. まとめ

3DLSの計測結果から、特徴点の抽出および特定する方法を開発し、実際の計測結果を用いてその適用性を確認した。今後は異なる日に取得した計測結果を用いて、変位後もCNNにより正しく特徴点を抽出できるか精度検証を行い、効率的な施工管理システムを構築する予定である。

参考文献

1) Harris, C., Stephens, M., A Combined Corner and Edge Detector, Proceedings of 4th AlveyVision Conference (1988) .

表-1 矩形サイズと解像度

矩形サイズ(メッシュ)	20×20
解像度	448×448
1pxあたりの大きさ(mm)	1.212

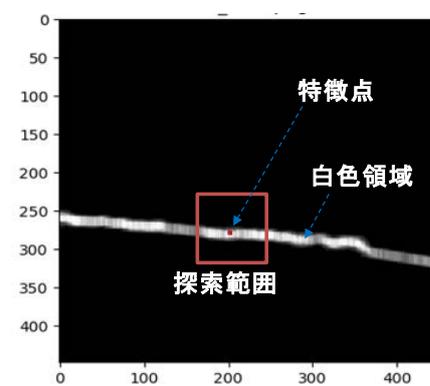


図-3 探索範囲

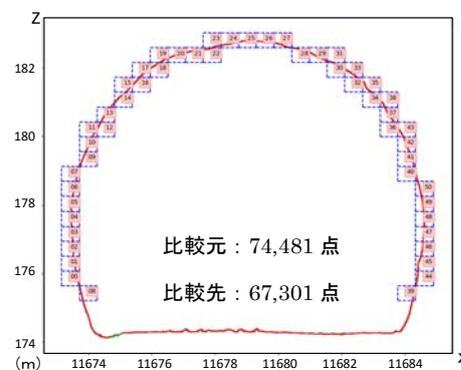


図-4 矩形の切り出し

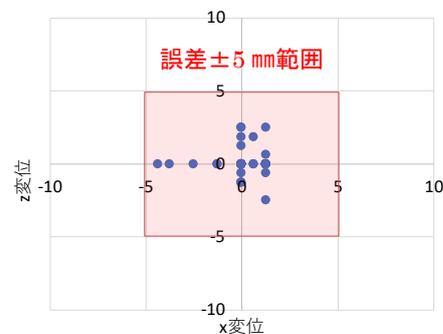


図-5 矩形毎の変位

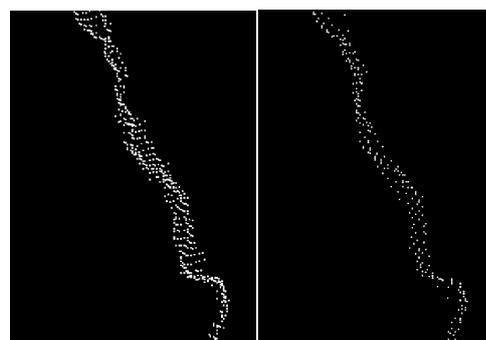


図-6 点群数による見た目の違い