

# 3D レーザースキャナで計測した特徴点を用いたトンネル変形計測手法の開発

鹿島建設（株） 正会員 ○清水清一郎 宮嶋保幸

## 1. 開発背景

国交省では『i-Construction』として、3D データの活用による建設現場の生産性・安全性向上を目指している。3D 点群データを取得する 3D レーザースキャナー（以下、3DLS）は、従来、計測時間として 15 分程度が必要であったが、技術向上に伴い 3~5 分程度の短時間で構造物の 3D 計測が可能となった。

一方、トンネル工事の施工管理として変位を計測する 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、結果的に過大な変状に至る可能性がある。今回筆者らは高密度なトンネル計測を行うため、3DLS の計測結果を用いた変形計測手法の開発を行ったので、その結果について報告する。

## 2. 変位の算出方法

3DLS で計測した点群データから、トンネル壁面の変形を評価する方法として、覆工コンクリートの巻厚管理に利用されているメッシュ分割が考えられる。しかし、この手法ではトンネル形状の中心点を基準とした放射方向の変位しかわからないため、側壁の脚部沈下のような施工管理上重要な変位を見落とす可能性がある。

今回 A 計測と同等な変形計測を行うため、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て変形計測の評価を試みた。また、変位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 次元断面での変形評価を試みた（図-1）。

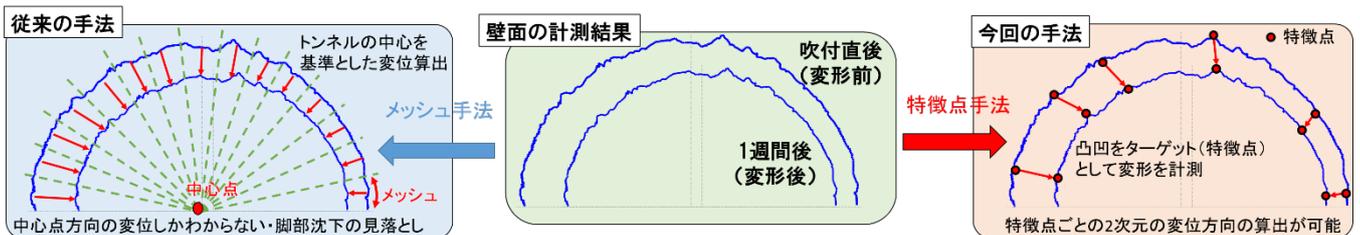


図-1 変形計測手法の比較

特徴点の抽出には壁面の凸凹を尖りとして数値化し、局所的な尖りと、広い範囲の尖りの比を特徴量として定義した。（図-2）今回特徴量  $C(r, \theta)$  は、曲線  $S: r = s(\theta)$  の曲率の比を用いて式 1 とした。

$$C(r, \theta) = \frac{\int_{\theta-\beta}^{\theta+\beta} \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2} d\theta}{2\beta r} = \frac{\alpha \int_{\theta-\beta}^{\theta+\beta} \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2} d\theta}{\beta \int_{\theta-\alpha}^{\theta+\alpha} \sqrt{r^2 + \left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2} d\theta} \quad (\text{式 1})$$

$r, \theta$ : 極座標による値,  $\alpha, \beta$ : 任意の角度 (ただし  $\alpha > \beta$ )

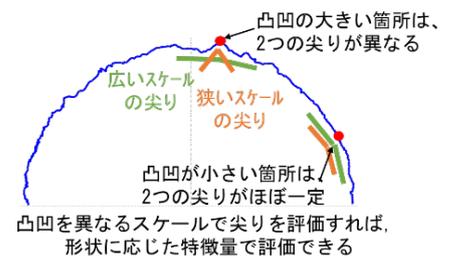


図-2 特徴点の見つけ方

## 3. 机上検討

特徴点を用いた手法がトンネル変形計測に適用可能か検討するため、 $(\alpha, \beta) = (0.5^\circ, 0.05^\circ)$  とし、トンネルの上半に特徴点として 1 か所とげ（図-3）をつけたトンネル模擬データで検証した。模擬データの仕様を図-3 とし、結果を図-4 に示す、図-4 は横軸にトンネルの中心を軸として右側壁からの角度（天端:  $90^\circ$ ）、縦軸に特徴量を示している。また、図-5 にとげを中心とした特徴量の変化を示す。

図-4 よりとげの箇所では特徴量が 1 から変化が発生することを確認した。図-5 より、とげの中心及びとげの

キーワード 3D スキャナ, i-Construction, A 計測, 山岳トンネル, 特徴点

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 TEL042-489-6545

端 (ケース 1, 2, 3 は 0.5° , ケース 4 は 0.3° ) で特徴量が 1 より小さくなることを確認できる. これは狭い範囲の尖りがとげの端で小さくなるためであり, 今回定義した特徴量は特徴点を抽出することが可能であることを確認した. なお, 設計断面のトンネル軸を中心とし

ケース	とげの位置	とげの幅	とげの高さ
とげなし	なし		
1	天端	0.5°	10mm
2	右側壁から30°	0.5°	10mm
3	天端	0.5°	30mm
4	天端	0.3°	10mm

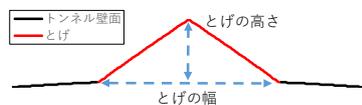


図-3 模擬トンネルデータの仕様

て 40° 及び 140° 部分にある特徴量の変化は, 設計断面の半径の変化に伴うものであり, トンネル形状の半径の変更点も特徴点として活用できることを確認した.

次に特徴量を同定するため, とげの中心から左右 1° の範囲で式 2 に示す 4 級までのフーリエ変換 (FT) を行った (図-6, 表-1). この際, 曲線 S は極座標  $r = s(\theta)$  から直角座標へ  $y = f(x)$  変換した.

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (\text{式 2})$$

とげの位置を変化させたケース 1 とケース 2 では, 特徴量及びフーリエ級数が一致した. これにより, 特徴量の変化パターンを用いると, 特徴量の追跡が可能であることを確認した. とげの高さを変化させたケース 1 (高さ 10mm) と 3 (高さ 30mm) を比較すると, 特徴量の変化に違いが見られなかったが, フーリエ級数から異なるとげであることを確認した. また, とげの幅を変えたケース 1 (幅 0.5°) とケース 4 (幅 0.3°) では, 特徴量の変化及びフーリエ級数が異なることから, 特徴点を判別が可能であることを確認した.

4. まとめ

3DLS の計測結果から, 特徴点を抽出及び特定する方法を開発し, 机上検討を通じてその適用性を確認した. 今後は実際の計測結果を用いた精度の検証を行い, 効率的な施工管理のシステム構築を行う予定である.

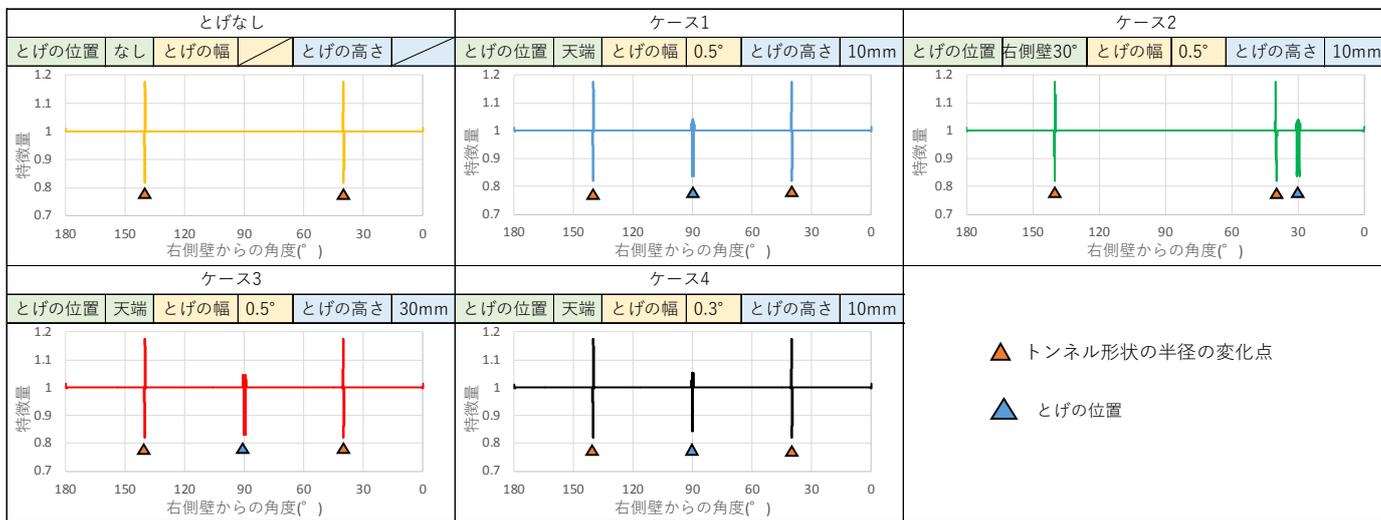


図-4 机上検討の結果

表-1 フーリエ級数一覧

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
$a_0$	2.01	2.01	2.01	2.01
$a_1$	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03
$a_2$	0.03	0.03	0.03	-0.01
$a_3$	-0.03	-0.03	-0.02	0.01
$a_4$	-0.05	-0.05	-0.05	0.02
$b_1$	0.00	0.00	0.00	0.00
$b_2$	0.00	0.00	0.00	0.00
$b_3$	0.00	0.00	0.00	0.00
$b_4$	0.00	0.00	0.00	0.00

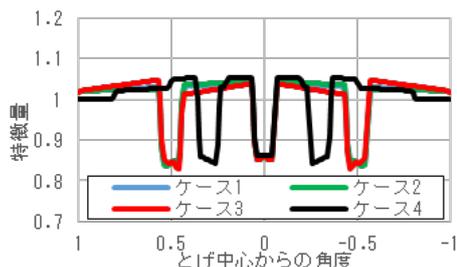


図-5 とげを中心とした特徴量の変化

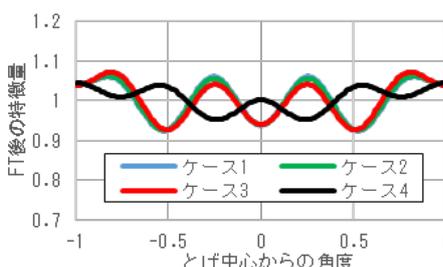


図-6 フーリエ変換の結果