

【課題番号】 2025#01

【採 択 者】 柴野一真（新潟大学大学院自然科学研究科）

【研究テーマ】

UAV-LiDAR による集水井の変形検出と機能診断

【要旨】

新潟県十日町市の集水井 6 基を対象に，UAV-LiDAR で取得した点群から部材寸法を推定し，実測値との誤差（MAE）を評価した．パーチカルスティフナーの奥行き・厚さ方向の MAE はそれぞれ最大 $0.048\text{ m} \cdot 0.031\text{ m}$ であり，既往研究の変形検出閾値（ -0.300 m ）に対して十分小さく，測距誤差と変形を区別できることが示された．

【研究成果・まとめ】

1. はじめに

集水井は地すべり防止を目的とした地下水排除施設であり，全国各地に設置されているが，多くの施設が竣工から数十年を経て老朽化が進んでいる．従来の点検手法は，井内への立入りを伴う安全上のリスク，目視に頼る定性的評価の限界，そして広域に分散する施設を 1 基ずつ点検する非効率性という三つの課題を抱えている．近年，360 度カメラによる非接触点検が導入されたものの，画像から得られるのは定性的情報に限られ，定量的な変形量の把握には依然として課題がある．こうした状況に対し，Shibano and Suzuki (2025) は令和 6 年能登半島地震で被災した集水井へ UAV-LiDAR を適用し，点群と検出円柱との距離によってパーチカルスティフナーおよび井筒の変形を非接触で検出できることを実証した²⁾．パーチカルスティフナーのような内側に向かう変形では閾値を 30 cm，井筒の曲がりのような変形では 20 cm に設定すると誤検出および未検出が少なくなり，経験的な閾値を得た．しかし同研究では，変形検出に用いる閾値を部材長に基づいて設定したため，測距誤差や円柱検出誤差を考慮した閾値の妥当性について検証できていなかった（Fig. 1）．妥当な閾値設定のためには，LiDAR の測距誤差および円柱検出誤差を定量的に把握する必要があることが課題として指摘されている．そこで，本研究では新潟県十日町市の集水井 6 基を対象に，UAV-LiDAR で取得した点群から部材寸法を推定し，実測値との絶対平均誤差（MAE）を評価した．

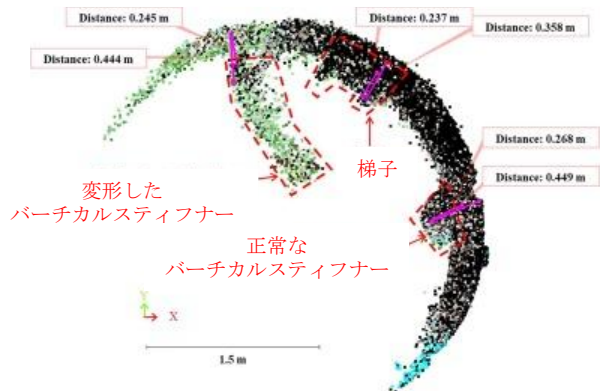


Fig. 1 部材寸法に基づいた閾値設定

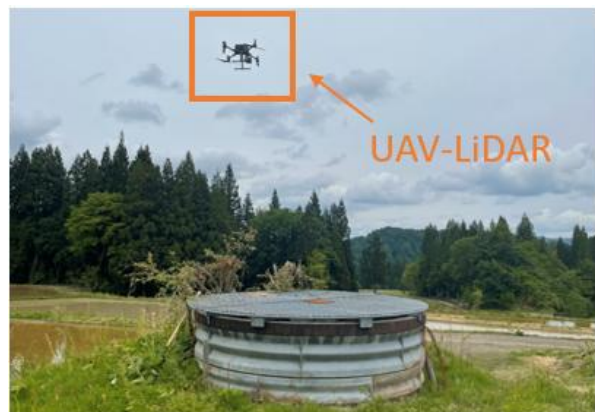


Fig. 2 UAV-LiDAR による空撮の様子

2. 方法

本研究では、新潟県十日町市松之山地区の集水井 13 基（井深 11.5~25.0 m）を対象に、DJI Matrice 350 RTK+Zenmuse L1 を用いた UAV-LiDAR 計測を実施した (Fig. 2). そのうち、点群の再構成が可能であった 6 基について評価を行った。得られた点群は CloudCompare 上で前処理および手動セグメンテーションを行い、ライナープレート、補強リング、バーチカルスティフナー、天蓋、植生、水、集水管、梯子の計 7 クラスに分類した (Fig. 3). 点群上で部材長を測定し、メジャーおよびレーザ距離計による実測値との絶対平均誤差を算出した。バーチカルスティフナーにおける寸法評価の位置は、補強リングの高さで分かれており、地上に近い高さから No.1~No.12 とした（点群密度が小さい箇所は欠測とした）。

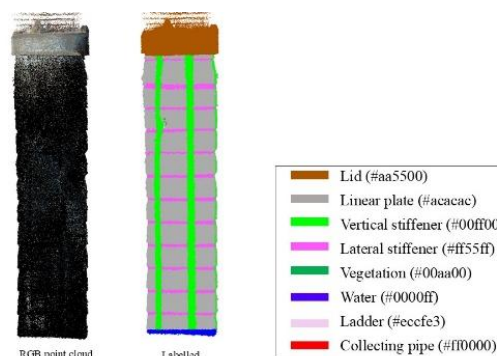


Fig. 3 UAV-LiDAR 点群の手動セグメンテーション例

Table. 1 井筒の寸法評価

(a) 天蓋-水面間深さ

集水井 番号	天蓋-水面間深さ (m)	
	実測	点群上の値
3	12.30	13.20
4	17.50	17.72
5	13.10	13.13
6	18.10	18.10
10	6.90	5.48
12	13.50	13.34

(b) 直径

集水井 番号	直径 (m)	
	実測	点群上の値
3	3.00	3.15
4	3.00	2.92
5	3.00	2.94
6	3.00	3.01
10	3.50	3.37
12	3.00	2.81

Table. 2 バーティカルスティフナーの寸法評価

集水井番号	奥行き (m)	厚さ (m)
3	0.022	0.023
4	0.019	0.021
5	0.048	0.024
6	0.031	0.031
10	0.045	0.016
12	0.025	0.019

3. 結果および考察

3.1 井筒における現地実測値と点群測定値の比較³⁾

天蓋 - 水面間深さと直径の実測値、点群上の値を Table. 1 に示す。天蓋 - 水面間深さと直径の MAE はそれぞれ 0.45 m, 0.10 m となった。天蓋 - 水面間深さの MAE は 0.45 m と大きな誤差を示したが、集水井 3 では 0.90 m, 集水井 10 では -1.42 m と顕著な差がみられた。天蓋-水面間深さにおける誤差要因としては、エキスパンドメタルのフレームよりもレーザのスポットサイズが大きいため天蓋付近で点群がばらつくことおよび水面での反射が不安定であることが考えられる。

既往研究では、井筒の外向き変形に対して 0.200 m の閾値を設けていたが、直径の MAE は 0.10 m であり閾値の約半分に対応する誤差が生じる。したがって、外向き変形の閾値妥当性については、測距誤差に加えて円柱検出精度の影響を定量的に評価することが今後の課題である。

3.2 バーティカルスティフナーにおける現地実測値と点群測定値の比較

集水井全体の MAE を Table. 2 に示す。Table. 2 より、部材単位の奥行き方向と厚さ方向の MAE はそれぞれ、0.019 m~0.048 m と 0.016 m~0.031 m の範囲となった。奥行き方向の MAE に注目すると、集水井 05 と集水井 10 の値が 0.040 m を超えた。集水井 5 の部材番号 3 は奥行き方向の MAE が 0.069 となっていた。部材番号 3 は点群が欠損している部分が多く、測定箇所の半分が計測不可で

あった。点群密度の低さが影響していると考えられる。集水井 10 では、奥行き MAE が一様に大きく、部材番号 3, 4 においては、点検梯子が密着する箇所では計測不可となっていた。別の部材と接触している箇所は、点群にばらつきが出たり、反対に密度が小さくなったりすることで誤差が大きくなる傾向があると考えられる。集水井 6 では、奥行きだけでなく厚さの MAE が大きくなっている。補強リングが二重に存在し、バーチカルスティフナーの内側にも接触している構造をとっている (Fig. 4)。集水井 6 と 3 の深さ別の絶対誤差分布をそれぞれ Fig. 5, Fig. 7 に示した。最大の MAE は、内側の補強リングとの接触による影響であると考えられる。井筒の浅い部分の測定箇所は奥行きが長くなる傾向にあるが、これは天蓋が接触していることが影響していると考えられる (Fig. 6)。奥行き・厚さどちらにおいても、No.1 では大きな誤差範囲を示している。これは MAE の結果でも言及したが、上部の点群は天蓋に近い位置であるために、部材以外の点群を抽出してしまう傾向にあることが考えられる。そこで地上部から 5 本目の補強リングを確認したところ、厚みのある苔等の植生が補強リングやバーチカルスティフナーに接触して存在しているのが確認された (Fig. 8)。

3.3 補強リングにおける現地実測値と点群測定値の比較

画像から推定した補強リングの縦幅の寸法と点群データ上で計測した縦幅推定値の誤差評価を行った。各集水井の部材毎の MAE を算出し、Table. 3 に示す。補強リングの MAE の範囲は 0.016 m ~ 0.075 m であった。

部材レベルの変形閾値について、バーチカルスティフナーの MAE は奥行き方向で 0.019 ~ 0.048 m、厚さ方向で 0.016 ~ 0.031 m の範囲であった。補強リングの MAE は 0.016 ~ 0.075 m であった。これらの MAE の最大値 (0.075 m) は、既往研究における内向き変形 (バーチカルスティフナーの変形) の検出閾値 (0.300 m) の約 1/4 であり、閾値が測距誤差に対して



Fig. 8 補強リングに付着する植物 (集水井 3)

Table. 3 補強リングの MAE (m)

集水井番号	MAE (m)
3	0.016
4	0.058
5	0.072
6	0.057
10	0.042
12	0.075

Fig. 5 点群データと高さごとの絶対平均誤差 (集水井 6)



Fig. 6 井浅部のバーチカルスティフナー (集水井 3)

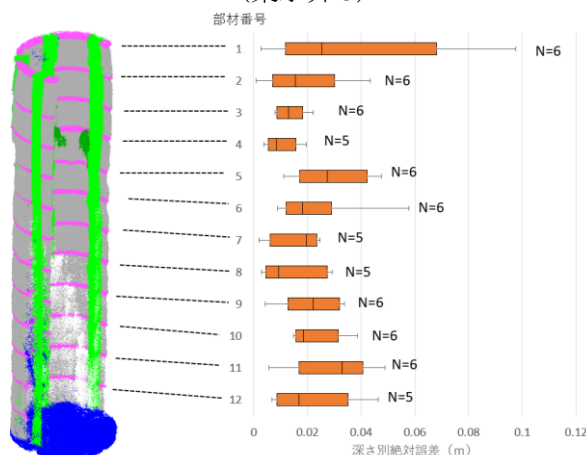


Fig. 7 点群データと高さごとの絶対平均誤差 (集水井 3)

十分な余裕を持つことが示唆された。今後は、部材セグメンテーションアルゴリズムの構築や部材を仮定した CAD 形状の推定について検討を行い、より高精度な変形検出フレームワークを構築したいと考えている。

4. おわりに

本研究では、新潟県十日町市松之山地区の集水井 6 基を対象に UAV-LiDAR 計測を実施し、点群から推定した部材寸法と実測値と MAE を評価することで、既往研究の変形検出閾値の妥当性を検討した。バーチカルスティフナーおよび補強リングの測距 MAE の最大値 (0.075 m) は、内向き変形の閾値 (0.300 m) の約 1/4 に留まり、測距誤差と変形を区別できる余裕が定量的に示された。一方、外向き変形の閾値 (0.200 m) については、直径の MAE (0.10 m) が相対的に大きく、円柱検出精度の影響を含めた詳細な検討が残された課題である。今後は、部材セグメンテーションの自動化および円柱モデルを用いた差分・距離解析を実装し、より精密な閾値に基づく変形検出フレームワークを構築することで、UAV-LiDAR による集水井の安全かつ定量的・効率的な維持管理の実現に貢献したいと考えている。

【参考資料 (論文・学会発表など)】

- 1) 農林水産省農村振興局農村環境課：地すべり防止施設の機能保全の手引き～統合版～，ppiv-2-iv-51，2017 年。
- 2) Shibano, K. and Suzuki, T. (2025) : Non-Contact damage detection of drainage wells during the Mj7.6 Noto Peninsula earthquake by UAV-LiDAR technique, Measurement, 253.
- 3) 柴野一真, 若林英範, 鈴木哲也, 田中熙, 稲葉一成, 池田弘毅 (2025) : 非接触点検に向けた UAV-LiDAR による集水井群の形状検出, 2025 年度 (公社) 日本地すべり学会 第 64 回研究発表会及び現地見学会, 2025 年 9 月 17 日