

課題区分

施工管理

SfM 解析を用いた集水井内部の 3 次元点群の作成と誤差精度の検証

工事名 令和 5 年度滝坂地すべり観測及び
自動観測システム保守点検業務
工事場所 福島県耶麻郡西会津町新郷豊洲地先
会社名 株式会社 興和
発表者 高澤 忠司

1. 調査地概要と研究の背景

滝坂地すべりは、福島県西部の耶麻郡西会津町豊洲地先、阿賀野川水系阿賀川右岸部に位置している（図-1）。滝坂地すべりの大きさは、南北約 2.1km、東西約 1.3km、地すべり層厚最大約 140m で、推定地すべり移動土塊量は約 4,800 万 m³ であり日本最大級である。滝坂地すべりでは、地すべり活動に起因する地下水の低下・排除を目的とした、排水トンネル工や集水井工といった地下水排除工が、鋭意進められている。

現在施工中の大石西山排水トンネルの終点部直上には、集水井 OW-1（以下、OW-1）が位置しており、この OW-1 の底盤からは大石西山排水トンネルの避難と通気を目的とした立坑が施工されている。OW-1 の施工深度は 59.75m であるが、調査ボーリングや集水井施工時に行われた壁面調査により、OW-1 の施工位置の深度 50m 付近には、滝坂地すべりのすべり面が確認されている（図-2）。OW-1 は、すべり面を貫いている非常に稀な集水井工であるため、集・排水機能の維持管理を目的とした保守点検だけでなく、OW-1 を地すべり変動を確認するための観測体として、経年変形の有無や変形位置を立体的に把握していくことも、重要であると考えられる。



図-1 滝坂地すべり位置図 (1)

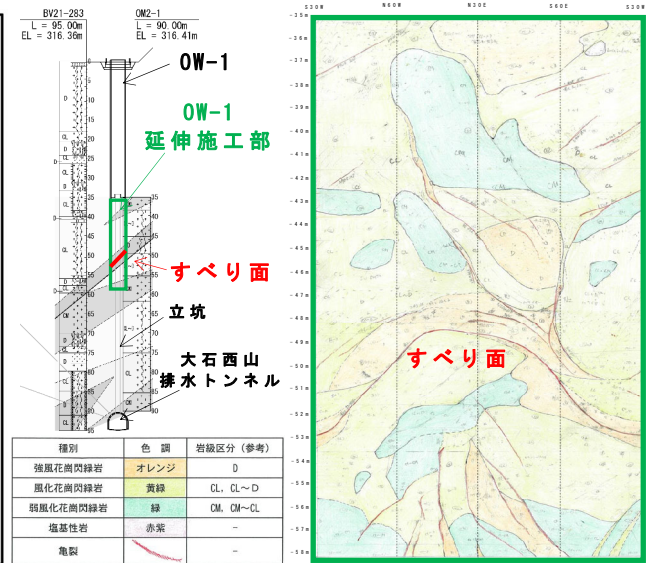


図-2 OW-1 地質調査結果及び集水井工延伸部壁面展開図 (2) 一部加筆

2. 研究課題と目的

集水井内部を立体的に把握する手法として、撮影した写真から3次元点群を作成するSfM解析(Structure from Motion)が、集水井の維持管理にも用いられており、その有効性が示されている(斎藤ら, 2021³⁾)。斎藤らの検証では、得られた3次元点群の誤差精度が最大で約50mmという高い精度が確保されている。集水井内部の3次元点群の活用方法は、立体的な変状個所の見える化だけでなく、誤差精度を管理することで定量的な評価が可能となる。このため、集水井内部の3次元化は効率的且つ効果的な維持管理を行う上で、有益なデータを構築できるものと考えられる。

ここで、SfM解析による精度の高い3次元点群の取得には、集水井内部における高精度な座標管理が重要となる。高精度な座標を取得するためには、トータルステーションによる測量が必要となるが、集水井の維持管理のために、内部の点検だけでなく、測量が必要となることで、時間や経費を要するだけでなく、機材を現地に運ぶ手間が生じる。また、集水井内部に座標を設置する手法は、巻尺を天蓋より降下させる必要があるが、巻尺は伸縮による誤差の影響を受けやすく、50mを超えるような深い集水井を対象とする場合、深部ほど誤差が大きくなる可能性が生じる。

そこで、前述した課題に対し、測量の簡略化に伴う維持管理の効率化と、深部に至るにつれて誤差が累積しないような精度管理手法の検証を目的に、深度約60mの0W-1を対象に、SfM解析による3次元点群の作成と、その誤差精度を検証した。本稿では、検証結果を報告する。

3. 検証方法

3.1 検証に使用した機材

集水井内部の3次元点群の作成には、集水井内部の静止画像が必要となる。集水井内部の撮影には、全天球カメラと弊社で開発した専用架台と照明装置を使用した。集水井内部に基準点を設ける方法は、1m間隔に塗装を施したステンレス製の金尺を、天蓋の隙間から降下させた。金尺の先端には1kgの下振りを吊るし、鉛直方向の引張を確保した。その他、集水井内部には、深度確認用のリボンロッドを併せて降下させた。座標の測位に用いるGNSS受信機は、スマートフォンにRTK(Real Time Kinematic)測位が可能となるローバーを装着したものを使用した。さらに、高精度測位補正情報icimillを併用することで、さらに高精度な測位を可能とした。使用した機材の一覧と、撮影カメラの仕様は表-1,2に示す。

表-1 使用機材一覧

機材名称	仕様など	数量
全天球カメラ	Kodak社製 SP3604K	1式
専用架台と照明装置	興和製 集水井点検カメラ	1式
金尺	L=100m ステンレス製	2本
リボンロッド	L=50m, L=20m 2本を接続	1式
GNSS受信機	Apple社製 i-phone, PIX4D社製 viDoc RTK rover	1式

表-2 撮影カメラの仕様

項目	仕様
有効画素数	2880×2880
センサーサイズ	1/2.3"型(CMOS) 6.2mm×4.7mm
焦点距離	8.2mm
フレームレート	30fps

3.1 3次元点群データの作成手順

最初に、集水井内部の座標を取得するためには、金尺を降下させた状態で、金尺と天蓋とが接する端点をGNSS受信機で測位し座標値を取得する（図-3）。吊るされた金尺が鉛直を確保していると想定し、金尺の塗装の淵を基準点とした。この基準点座標の内、XY座標は端点のXY座標値を据置き、Z座標は端点からの深度とした。

次に、集水井内部の撮影は、専用架台を集水井の昇降口に固定し、アームの先端が集水井の中心となるように、集水井内部へ挿入する（図-4）。アームの先端からワイヤーに固定した撮影カメラを降下させる。撮影カメラは、照明装置と一体になっているため、日光が届かない深部でも集水井内部を撮影することが可能となる（写真-1）。

SfM解析には、1回の上下運動で撮影した映像から切出した静止画像を用いた。解析に使用したソフトウェアは「PIX4d社製 PIX4Dmapper」である。ここで、SfM解析に必要な基準点は、3Dグラウンドコントロールポイント（以下、3DGCP）とし、精度検証用に必要となる基準点は、確認ポイントとして、それぞれが重複して用いられないように配慮した。誤差精度は、確認ポイントの既知座標とSfM解析で算出された座標とを比較することで検証した。

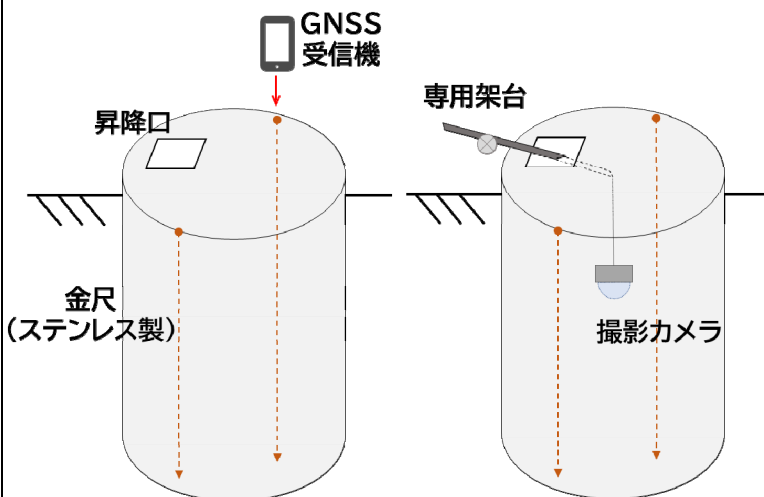


図-3 集水井内部の座標取得方法の模式図

図-4 集水井内部の撮影方法の模式図

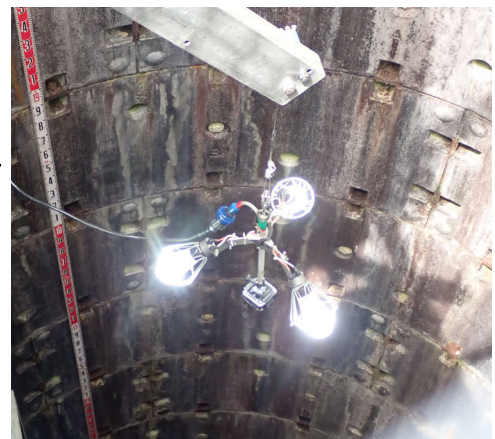


写真-1 撮影状況例

(専用架台【特許第 6089069 号】)
(照明装置【特許第 6596042 号】)

4. 検証結果

SfM解析により、集水井内部の3次元点群を作成した。この3次元点群の精度を約10m間隔で設けた確認ポイントで検証した結果、誤差精度は最大でも約50mm程度となった（表-3）。また、誤差精度は深度方向に累積するような傾向が認められなかった。3次元点群の出来栄は、集水井内部に施工された昇降用の階段や、集水井の底盤に施工された立坑まで再現されている（図-5）。3次元点群により再現された部材は、誤差分と思われる点群のムラがあるものの、現状と大きく異なるような部分は認められなかった。

一方で、およそ深度35m以深の3次元点群には、部分的に点群が検出されない箇所が認められた。3次元点群の誤差精度は、既往の事例と比較しても同程度の成果が得られたが、出来栄については課題を残す結果となった。

表-3 確認ポイントにおける既知座標値と SfM 解析により得られた座標値との誤差

天蓋からの深度(m)	既知座標値との誤差(mm)			
	X	Y	Z	合成
4	-42.5	0.3	-7.3	43.1
8	-43.9	1.8	9.1	44.9
17	-10.8	3.3	-5.9	12.7
27	0.9	0.1	4.7	4.8
39	-26.5	-3.5	-9.7	28.4
49	-14.5	-3.8	-2.5	15.2
57	46.3	6.7	11.3	48.1

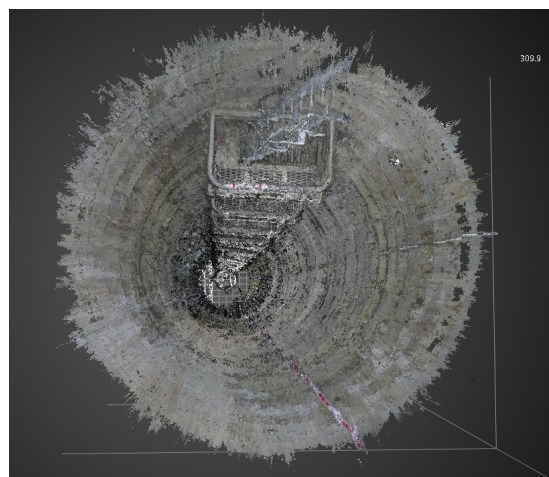


図-5 SfM 解析により作成した 3 次元点群

5. 考察

確認ポイントにおける誤差が、深度方向に対し累積する傾向が認められなかった点については、金尺と 1kg の下振りを用いることで、金尺の伸縮などによる誤差を最小限に留めることができたものと考えられる。また、GNSS 受信機を用いた測位方法は、トータルステーションを用いた測量と比較すると、容易に座標値が得られるだけでなく、調査地周辺に既知座標が無くとも対象地点を測位することが可能となる。さらに、GNSS 受信機で取得した座標値でも、SfM 解析の誤差精度が 50mm 程度を確保できたことから、3 次元点群の用途や精度の条件次第では、この度の検証で行った一連の精度管理方法が、50m を超過するような集水井に対しても適応可能であると考えられる。3 次元点群の用途は、数 mm 単位の定量的な評価や、面的な変位量の評価には不向きであるが、凡その断面形状や変状位置の把握には活用できるものと考えられる。

一方で、部分的に点群が検出されなかった原因については、対象とした集水井の 35m 以深が施工後 2 年と間もないため、壁面の変状や汚れが少なく、SfM 解析に要する特徴点が、撮影した映像からは満足に得られなかったものと考えられる。また、深度 40m 付近に施工された集水ボーリング以深は、壁面が湿っているため、照明の反射により特徴点が満足に得られなかったことも原因の一つであると考えられる。

6. 終わりに

集水井内部の 3 次元点群を容易に作成することができれば、施設の効率的且つ効果的な維持管理を行うことが可能となる。この度の検証では、3 次元点群の出来栄に課題が残る結果となったが、照明位置や撮影装置を工夫することで SfM の解析精度が向上するものと考えられる。今後も、3 次元点群の利活用を積極的に行っていくとともに、要求される精度を鑑み、装置や手法の改良を進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 国土交通省ホームページ, 令和 1 年度滝坂地区直轄地すべり対策事業事業評価カルテ, 位置図
- 2) 令和 3 年度滝坂地すべり観測及び自動観測システム保守点検業務 報告書
- 3) 斎藤ら (2021) : SfM 技術を活用した集水井の三次元維持管理手法, 日本地すべり学会誌, Vol. 58, No. 2, pp17-22