

鋼製砂防施設点検における UAV(可視光・レーザ)計測結果の活用方法

八千代エンジニアリング株式会社 ○石丸元気, 長谷川怜思, 横尾公博, 篠原雄人, 大塚智久, 河又久雄
国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 苫小牧砂防海岸事務所 竹原隆博, 本間雄介, 中田拓実

1. 研究背景

UAV を活用した点検調査については, ガイドライン(案)¹⁾や, 各地整で UAV 点検調査の手引き及び要領案²⁾³⁾⁴⁾が整備され, 主として定期点検における UAV と目視点検の長短や UAV を利用する上で必要な環境整備(施設周辺状況の把握や法関係等)などの UAV 利用における様々な情報がまとめられている。ただし, 3次元モデル作成手法や精度検証及び詳細点検における UAV 活用方法については具体的に明記されていない。

本研究では, 樽前山直轄火山砂防事業区域の鋼製セル型砂防堰堤を対象に, 合理的な UAV 定期点検に寄与する 3次元モデル作成手法の確立を目的とし, 様々な条件(撮影方法・天候等)の UAV 可視光写真による 3次元モデルから抽出した画像と目視点検時の写真との比較検証を行った。また, UAV を活用した詳細点検手法として, UAV レーザ測量による 3次元点群を活用して, セルのたわみや天端コンクリートの傾斜の可視化を試みた。上記結果を踏まえて, 点検調査における 3次元モデル作成手法の提案及び点検調査の効率化・高度化に寄与する UAV(可視光・レーザ)の活用事例について報告する。

2. カメラ性能比較

袖部天端コンクリートにおける変状レベル b 以下の変状抽出を目的として, 袖部天端コンクリートを対象に各機種(表 1)で 1cm 程度の変状を確認できる撮影高度の検証を行った。比較に際し, 図 1 に示す標識を袖部天端に設置し, 対地高度を 5m~140m に変えて撮影し, 各画像の解像度を評価した。結果として, 1cm の変状を確認するためには Matrice300RTK で対地高度 50m, 他機種では対地高度 20m で撮影する必要があることを確認した。本研究では, 点検調査における効率性を鑑みて, Matrice300RTK を用いた高度 50m (基準点: 袖部天端)を採用した。

表 1 使用した機体の性能

機体	センサー	有効画素数
Matrice 300 RTK	フルサイズ	4500 万
Inspire 2	フォーサス	2080 万
Mavic 3	フォーサス	2000 万
Phantom 4 Pro V2. 0	1 型	2000 万

使用した標識	【対象】	【基準】
	標識 25.0mm 15.0mm 10.0mm 5.0mm 4.5mm 3.0mm 2.5mm 1.5mm 罫線	A: はっきりと見える 輪郭が明確でにじみゆがみが ない B: ぼやけて見える 輪郭に不鮮明な箇所が存在 するものの大きさの差 異が認められる C: 存在は確認できる 画像で認識はできるもの の大きさの差異は認めら れない D: 見えない 画像で判別できない

図 1 解像度確認に用いた標識と評価基準

3. 3次元モデルを用いた点検調査の試行

3次元モデルを用いた定期点検の合理化を目的として, 様々な撮影条件の UAV 可視光写真から作成した 3次元モデル及び UAV レーザ測量成果と目視点検写真との精度比較を行った。ここで一般的に, UAV 可視光写真と比べて UAV レーザ測量は, ①日照や植生に影響されにくい, ②構造物の角の点群取得精度が悪い, ③色情報を得ることができない, ④比較的高価であるなどの長短がある。

3.1 UAV 可視光写真撮影方法

UAV 可視光写真による合理的な点検調査手法確立を目的として, UAV による撮影は砂防堰堤の上下流方向のみ(図 2)で重複 80%を確保することを前提に, 天候・撮影角度・飛行高度・飛行速度の 4 項目を変更して撮影を行った。また, SfM 解析による 3次元モデル作成は, Agi ソフト社の metashape を用いた。



図 2 撮影方法(左:撮影ルート, 右:条件を変えた各撮影)

3.2 UAV 可視光写真と目視点検との比較結果

目視点検との比較検討の一例を表 2 に示す。比較検討に際し, 各種条件を変更して作成した 3次元モデルから目視点検写真に近い画角の画像を抽出した。

結果として, UAV 可視光写真では, 日照・植生の影響を強く受け, モデル化できない箇所があるものの, 目視点検による変状箇所の再現精度及び撮影時の効率性を鑑みて, 撮影角度 60°, 飛行高度 50m, 飛行速度 5.0m/s, 曇り(日照時間: 0.0h)の条件下が, UAV 可視光写真を用いた定期点検には最適であると評価された。

表 2 目視点検との比較検討例

R4年度砂防施設点検票	速度=2.5m/s	速度=5.0m/s	速度=15.0m/s
R4.7.29 天候: 曇	R4.9.14 天候: 晴	R4.9.14 天候: 晴	R4.9.14 天候: 晴



図 3 選定した条件下で作成した 3次元モデル

3.3 UAV（可視光・レーザ）3次元モデル比較

目視点検結果と UAV 可視光写真及び UAV レーザ測量 3次元モデルとの比較検討（図 4）により、前述した一般的な UAV 可視光写真と UAV レーザ測量の長短が明瞭に示された。目視による定期点検で確認するような局所の変状を把握する手段として、必ずしも UAV レーザ測量は優位ではないとの結果を得た。

写真No.	4	タイトル	変状レベル	a	レーザスキャナによる
R4年度砂防施設点検票		Matrice300RTK レベル3			DSM
					
R4.7.29		R4.11.3 評価: ○			R4.6.22 評価: ×

図 4 レーザ成果とその他画像との比較例

4. 3次元モデルを活用した全域的な変状の定量化

UAV を用いた詳細点検手法の一つとして、UAV レーザ測量を用いた堰堤全域の変状把握手法について検討した。ここで対象とした鋼製セル型砂防堰堤は、直線鋼矢板を千鳥状に配置した外殻に中詰土を充填し、天端保護のコンクリートを敷き詰めた構造である。中詰土は締固めを行っているが、中詰土もしくは基礎地盤の不等沈下に伴うセルのたわみや天端コンクリートの傾斜等の変状が認められている。

目視点検では、局所的な変状レベルをとらえているが、ここでは UAV を用いた全域的な変状の定量化を試みた結果を述べる。

4.1 鋼製セルのたわみ

セルのたわみは、3次元モデル上で直接計測ができなため、等高線を用いて可視化した（図 5）。結果として、鋼製セル全域についてたわみを定量化し、確認することができた。

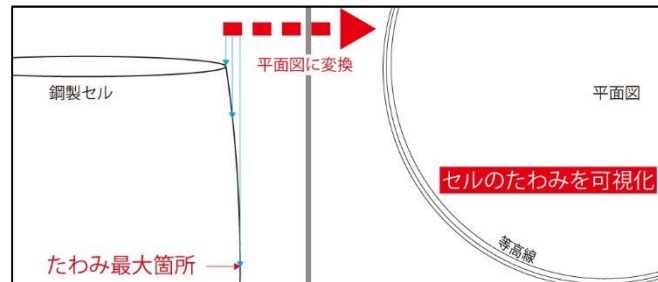


図 5 等高線を用いたセルのたわみの可視化

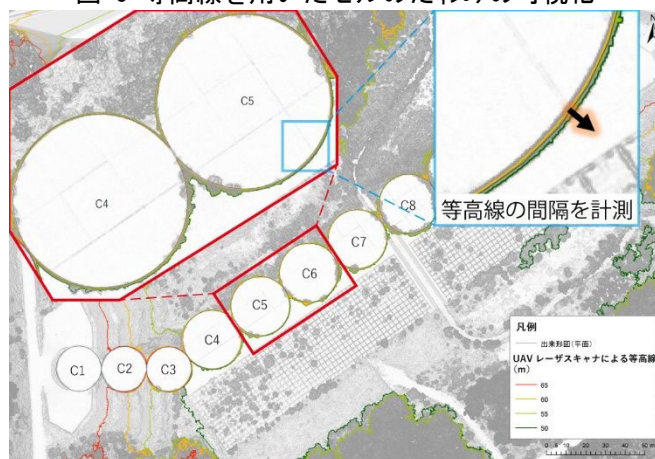


図 6 鋼製セルのたわみ計測事例

4.2 天端コンクリートの傾き

鋼製セルの天端コンクリートは、中詰土の沈下に伴って継ぎ目の開きや段差等の変状が発現する。袖部のセルであれば、直接計測することが可能であるが、水通し部へのアクセスは容易ではない箇所が存在する。このため、UAV により全域的な変状を把握することは有意である。図 7 の通り、等高線の間隔を適宜操作することで、天端コンクリートがどのように傾斜しているか、可視化することができた。

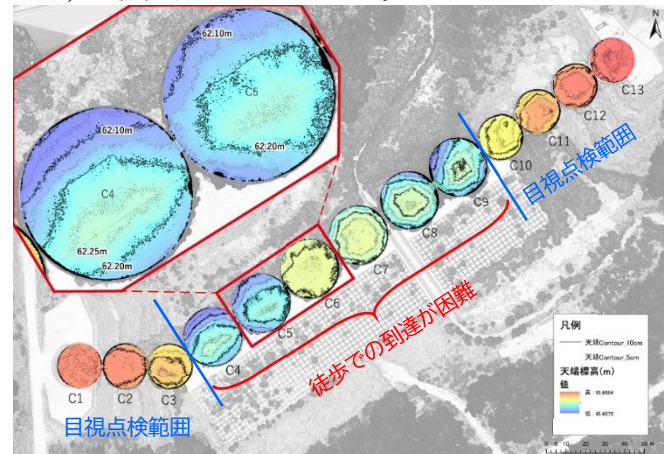


図 7 天端コンクリートの傾き計測事例

5. まとめと今後の課題

本研究では、UAV 可視光写真を用いた 3次元モデルでの点検調査に際し、効率的かつ精度の良い 3次元モデル作成に適した撮影条件を示した。ただし、UAV 可視光写真は植生及び日照条件の影響を強く受け、3次元モデル化に支障が出る可能性があり、撮影時は天候や砂防施設周辺の状況に注意を要する。また、UAV レーザ測量による 3次元モデルを可視光・目視点検と同様に評価した結果、局所的な変状把握の場合、必ずしもレーザ測量が優位ではないことを示した。

UAV レーザ測量による 3次元モデルを解析することで、鋼製セルのたわみ及び天端コンクリートの傾斜の可視化を行い、鋼製セルの全域的な変状を定量的に把握した。

本研究では、UAV 可視光写真や UAV レーザ測量を用いた砂防堰堤の変状把握手法を示し、目視点検との比較を行うことで、各手法の長短を明らかにした。これらを踏まえ、点検調査の効率化及び高度化に寄与するためには、目視・UAV 可視光写真・UAV レーザ測量を複合した点検計画や手法を検討し、巨視的・微視的な観点から砂防堰堤の変状を網羅的に把握することが求められる。

参考文献

- 1) 水管理・国土保全局砂防部保全課（2022. 3 月），砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）
- 2) 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター（2022. 7 月），UAV の自律飛行による砂防関係施設の自動巡視・点検に関する手引き
- 3) 国土交通省北陸地方整備局河川部（2020. 3 月），砂防設備点検における UAV 活用の手引き（案）
- 4) 国土交通省北陸地方整備局河川部（2020. 3 月），UAV による砂防関係施設点検要領（案）