

砂防施設点検の高度化に向けた3次元計測手法の検討事例

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 岩田清徳, 栗原章成, 上原玲音, 斎藤学斗
八千代エンジニアリング株式会社 横尾公博, ○宮原海, 本屋敷涼, 西ヶ谷友美, 山田創太, 花田隆元

1. はじめに

樽前山直轄火山砂防事業では、事業区域内の砂防施設について、平成27年度より目視調査による定期点検が実施されており、変状レベルや健全度の評価結果に基づく維持管理により防災機能を確保している。令和4年度からは、点検の省力化や高度化に資するUAV (Unmanned Aerial Vehicle) 点検調査の試行が進められており、令和7年度よりUAVと目視を併用した定期点検を実施している。本稿では、定期点検において沈下や法面変状等の進行が確認されている苫小牧川遊砂地 (土堰堤) を対象とし、変状の面的かつ定量的な把握による高度化及び効率化の検討を行った事例について報告する。

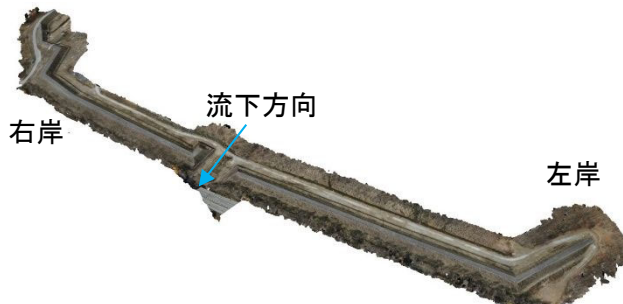


図-1 苫小牧川遊砂地 (3次元モデル)

2. 検計手法の概要

変状把握の高度化及び効率化の検討にあたり、基準となる計測データを設定の上で、計測方法や位置情報の補正方法が異なる手法の精度比較等を行う必要がある。本稿では、UAV点検における最適な手法を選定するため、基準となる手法に「令和7年度に取得したUAV搭載型レーザスキャナ (UAV-LP)」を採用した。また、比較対象のSfM (Structure from Motion) 解析については、次に示す位置情報の補正方法が異なる手法を試行した。

①SfM解析 (GNSS単独測位) UAVに搭載されたGNSS受信機の単独測位情報のみを用いて写真に位置情報を付与し、SfM解析を行う手法である。基地局の設置や標定点の測量が不要であり、現場作業の迅速性に最も優れるが、UAVが移動しながら計測を行う特性上、数m単位の位置誤差が生じる可能性がある。

②SfM解析 (GCP補正) 計測範囲内に地上標定点 (GCP : Ground Control Point) を設置し、モデルの位置情報を補正する写真測量の標準的な手法である。作業規程の準則¹⁾を参考とし、点検作業の効率化を考慮して施設全体を囲むように5箇所のGCPを設置した。

③SfM解析 (BM補正) 計測範囲内に存在する既設構造物等を不動点 (BM : Bench Mark) とし、その座標を用いて補正する手法である。現地確認により沈下等の変状がなく不動点として活用可能と判断した4点 (車両用防護柵、電柱、水通し部の鋼管杭、天端舗装端部) をBMとして利用した。

④SfM解析 (QZSS補正) 準天頂衛星システムみちびき (QZSS) に対応した基地局を現場に設置し、撮影写真の位置情報の高精度化を図る手法である。日本上空での衛星捕捉の安定性が高い特徴を有することから、GCPを設置せずとも精度の向上が期待できる。

3. 異なる計測手法による点群データの精度検証

異なる計測手法による点群データの位置精度を定量

的に評価するため計測範囲内に存在する不動点を用いた精度検証を行った。検証対象には水通し部の鋼管杭 (直径500mm) を選定した。鋼管杭は上載荷重がなく自重のみの単一構造物であり、定期点検で変状が認められないため、比較基準として適切であると判断した。検証方法は、各モデルから抽出した鋼管天端の座標と砂防工事台帳の座標値を比較し乖離量を確認した。

検証の結果 (図-2)、第一にGNSS単独測位によるSfMモデルについては、鉛直方向 (標高) での較差は平均で-1.54m、最大で-1.71mに達し、水平方向においても大きな位置ズレが確認された。この結果から、単独測位によるSfMモデルは、絶対的な位置精度が低く、経年変化の定量的な比較や設計図面との厳密な照合には適用できないことが定量的に示された。

第二に、UAV-LPについては、設計値との較差が平均-0.02m、最大でも0.22mの範囲に収まっており、極めて高い精度を有していることが確認された。一般的な航空レーザ測量の精度許容値である0.3m以内¹⁾を十分に満たしており、変状把握の基準データとして高い信頼性を持つことが示された。

第三に、SfM解析を用いた補正手法については、各手法で精度向上の効果が確認された。GCP補正を用いたSfMモデルでは、設計値との較差が平均-0.01m、最大でも0.10mと非常に小さく、補正点近傍においてはUAV-LPと同等の極めて高い精度が確保されることが判明した。BM補正を用いたSfMモデルについても、設計値との較差は平均0.02m、最大0.16mであり、GCP補正と同様に高い精度を示した。BM補正であっても、適切なBMを選定し座標を付与すれば、十分な精度が得られることが示唆された。QZSS補正を用いたSfMモデルにおいては、設計値との較差は平均-0.06mであり、単独測位と比較して大幅な精度向上が認められたが、GCP補正等と比較すると鉛直方向のばらつきが若干大きい傾向が見られた。

以上の結果より、GNSS単独測位を除く全ての手法において、局所的には点検に必要な精度を確保できる可能性が示された。特に、SfM解析であっても適切な位置補正を行うことで、UAV-LPに迫る精度を実現できることが確認された。

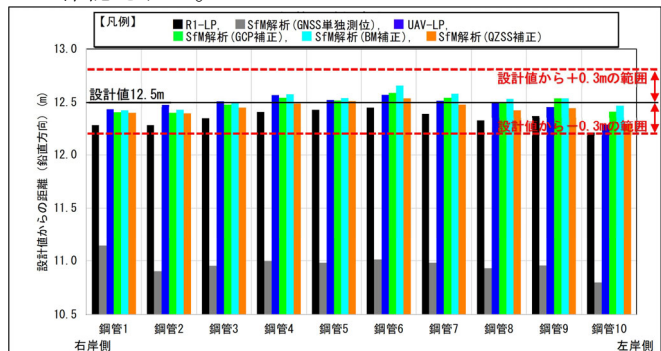


図-2 精度検証結果 (各モデルにおける鋼管天端標高)

4. 変状把握の適用性評価

4.1 縦横断面図の重ね合わせによる検証

点群データから作成した3次元モデルを用いて縦横断面図 (図-3) を作成し、既往データ (R1-LP) との重ね合わせを行った。UAV-LPは、R1-LPと比較して右岸側 (SP180付近) で約15cmの沈下が確認された。また、左岸側ではR1-LPとの差が最大10cm程度と小さく、変状がないという目視点検結果とも整合した。

一方、SfM解析（GCP補正等）については、補正点近傍ではUAV-LPと整合するものの、SP180やSP940といった平面線形の変化点（袖折れ部）付近において、UAV-LPよりも30cm～40cm程度低い標高値を示すなど乖離が大きくなる傾向が見られた。また、横断面図の重ね合わせにおいては、天端付近では縦断面図と同様の傾向を示すが、法面部ではデータのばらつきが顕著であった。これは、SfM解析が写真に写った事象のみをモデル化する特性上、植生の表面を地盤としてモデル化してしまい、実際の地盤高との間に誤差が生じたものと推察される。このことから、SfM解析を用いる場合は、植生の影響を受けやすい法面部での精度低下に留意が必要である。

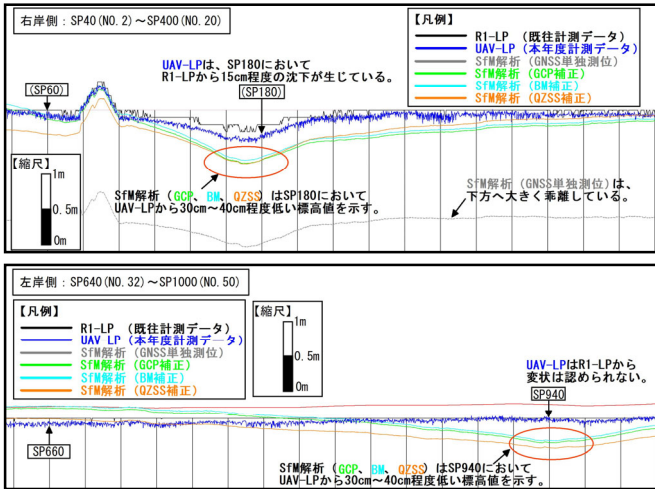


図-3 縦断面図（上図SP40～SP400、下図SP640～SP1000）

4.2 差分解析による面的な変状把握の検証

本年度取得した地形データ（UAV-LP及びSfM解析による点群データ）とR1-LPとの標高差分解析を行い、面的な変状把握能力を検証した。UAV-LPを用いた差分解析では、SP60付近の上流面で発生している縦断的な侵食やSP180付近の天端から上流面にかけての様な沈下（約10cm）が明瞭に検出された（図-4）。一方で、目視点検で確認されたSP870付近の堤体天端上流側の小規模な陥没（0.4m×0.2m程度）については、UAV-LPの差分解析結果からは明確には確認できなかった（図-5）。これは、陥没の規模が小さく、陥没内部の点群密度が相対的に小さかったため、周辺地盤高と平均化されたことが要因と考えられる。

SfM解析（GCP補正等）を用いた差分解析では、SP60付近の大規模な縦断侵食などの傾向は概ね把握可能であった。しかし、SP180付近では約50cmの変状が表示され、UAV-LPの結果や現況と比較して過大な値を示した。また、SP870付近の小規模な陥没については、UAV-LPと同様に検出が困難であった。

また、同時期に計測したUAV-LPとSfM解析（GCP補正）との差分解析（図-6）では、0.5m程度の変状検出が点在する結果が確認された。特に平面線形の変化点付近や補正点から離れた箇所では現地状況と異なる変状を示す傾向が見られた。左岸側のSP860付近では、終点側へ向かうにつれて変状量が大きくなる傾向が示されておりモデル全体に歪みが生じていることが推察された。QZSS補正を用いたケースでは、堤体全体に広範囲で変状が認められる結果となり、UAV-LPによる差分結果との乖離が最も顕著であった。

4.3 変状把握への適用性に関する評価結果

検証結果から、UAV-LPは植生の影響を受けにくく、モデルの歪みも生じないため、高精度かつ信頼性の高いデータを取得可能である。SfM解析（GCP補正・BM補正）は、補正点近傍ではUAV-LPと同等の精度を確保できるが、長大な施設ではモデルに歪みが生じるリスクがある。また、植生の影響を受

けやすいため、法面の地盤高を正確に把握することは困難である。しかし、大規模な変状の概略的な傾向把握や二次泥流対応の小規模施設などの計測においては、コストを抑制できる有効な手段となり得る。

SfM解析（QZSS補正）は、GCP設置が不要で即時性に優れるが、精度や歪みの面で課題が残る。火山噴火時等の立ち入りが困難な箇所でも緊急的かつ迅速に状況把握を行うための手段としての運用が適している。

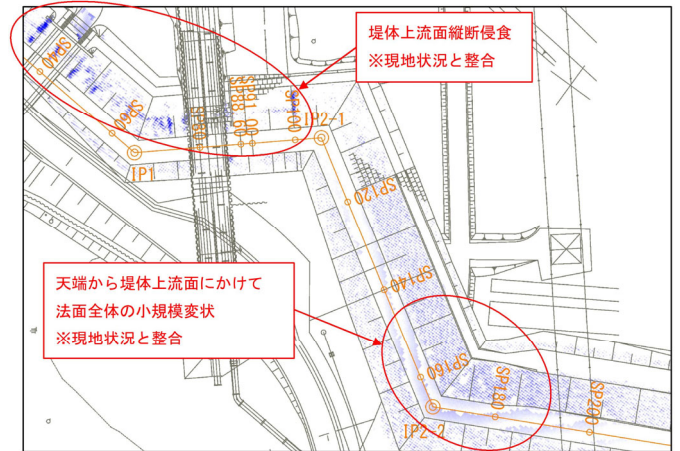


図-4 UAV-LPとR1-LPの差分（SP20～SP220）

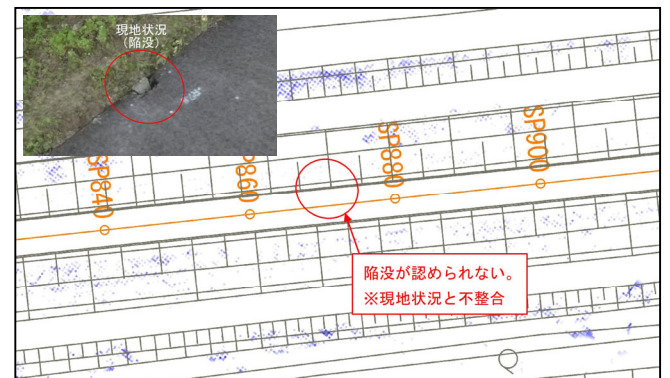


図-5 UAV-LPとR1-LPの差分（SP870付近）

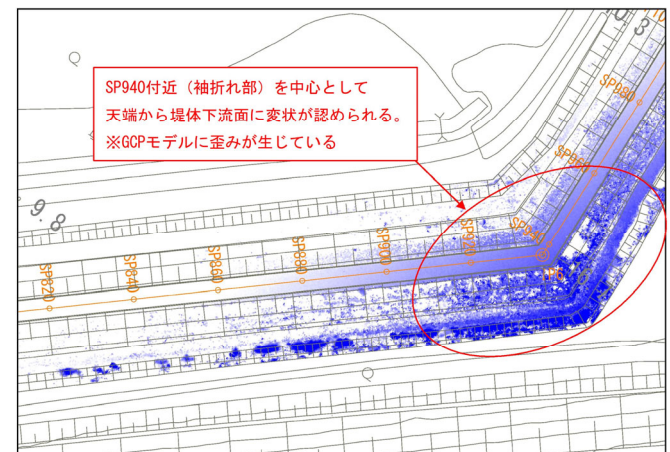


図-6 UAV-LPとSfM解析（GCP補正）の差分（SP940付近）

5. おわりに

本稿では、砂防施設の変状把握において、UAV-LP及び複数の補正手法を用いたSfM解析の点群データの精度検証と差分解析により、各計測手法の特性と変状把握の適用性を明らかにした。特にSfM解析では、モデルの歪み等に留意が必要であるが、GCP等を活用した適切な補正により、コストを抑制しつつ施設の変状範囲や経年変化の把握に活用できる可能性が示された。

参考文献

- 1) 作業規程の準則 国土交通省告示 第240号, 2025. 3