

航空レーザ測量による土砂動態把握及び 砂防施設管理への活用検討について

宮島 邦康¹・坂井 等²・山根 恭子²・成田 心晴²

¹飯豊山系砂防事務所 （〒999-1363 山形県西置賜郡小国町大字小国小坂町3丁目48 ）

²飯豊山系砂防事務所 調査課 （〒999-1363 山形県西置賜郡小国町大字小国小坂町3丁目48 ）.

令和4年8月3日からの大雨前後の航空レーザ測量による土砂動態把握や、堆砂や洗掘の把握実績を踏まえた砂防堰堤の施設管理情報への活用について検討したので報告する.

キーワード 航空レーザ測深, 砂防堰堤, 除石管理, 施設管理

1. はじめに

飯豊山系砂防事務所管内では、令和4年8月3日からの大雨により、荒川流域で顕著な土砂移動や流木の流出が発生した.

当該流域は、出水前に広域的に航空レーザ計測（以下、「航空LP」という.）を実施しており、さらに、2021年（令和3年）には一部の砂防堰堤周辺において航空レーザ測深（以下、「ALB計測」という.）を実施し、水面下の地形データを取得している.

本報告では、令和4年8月3日からの大雨による出水前後に、砂防堰堤周辺の地形の変化を目的として実施した航空LP及びALB計測データを元に、航空レーザ測量による山地河川地域における土砂動態把握や砂防施設の堆砂や洗掘の把握について、有効性を踏まえた砂防施設管理への活用検討について報告する.

2. ALB計測の実施について

(1) ALB計測の実施について

出水前後に実施した計測は、陸域の点密度10点/m²、水域の点密度1～4点/m²としている. なお、業務仕様上の点密度については、広範囲を対象に地形変化等を効率よく把握し、砂防施設配置計画や施設予備設計にも使用することを念頭としていたため、レベル1000（1点/m²）以上の精度確保を測量条件とした.

また、今回の計測は、水域での堆砂や洗掘等が土砂動態把握上重要な情報となるため、水域が広く分布する範囲の一部については、通常のLP計測とは別にALB計測を併行して実施することとした.（表-1）

表-1 計測条件一覧

条件	大雨前	大雨後
計測時期	令和3年11月	令和5年11月
計測機材	Chiroptera II ※LPも同時計測	Chiroptera 4x ※LPも同時計測
点密度	陸域: 10点/m ² 水域: 1点/m ²	陸域: 10点/m ² 水域: 4点/m ²

(2) ALB計測について

ALB計測は、荒川流域の支川である沼川、荒沢川、湯蔵川、吹ノ沢川、小川の計5溪流で実施した.

土砂動態把握を目的とした計測は、以下の条件で実施している.

- ・崩壊地等の土砂生産源を含むように河道幅を設定.
 - ・差分解析等で河床状況、堆砂状況の変化を分析できるよう、2021年（令和3年）ALB計測範囲を網羅した河道幅を設定.
 - ・最新の2022年（令和4年）8月出水直後に実施していたLP計測成果の簡易オルソフォトや水部ポリゴンを用いて水部範囲を確認し設定.
- また、ALB計測における測深性能は、水質に大きく影響するため、ALB計測と同時期に計測箇所の水質調査（透視度、濁度、SS）を実施した.（表-2、写真-1）

表-2 水質調査結果一覧

流域	調査日/ 計測日	透視度	濁度 (度)	SS (mg/L)	流域状況	備考
沼川	11月15日/ 11月16日	1m以上	0.5	1未満	・流域全体で濁り等は確認されない ・荒川合流点付近は水深が相対的に大きい	
荒沢川	11月22日/ 11月22日・23日	1m以上	0.2	2	・流域全体で濁り等は確認されない	
	11月23日 (流域状況確認)	—	—	—	・荒川本川合流点付近で やや濁りが発生	目視確認実施
湯蔵川	11月15日/ 11月16日	1m以上	0.4	1	・流域全体で濁り等は確認されない	
吹ノ沢川	11月15日/ 11月16日	1m以上	0.3	1	・流域全体で濁り等は確認されない	
	11月22日/ 11月23日	1m以上	0.4	1未満	・流域全体で濁り等は確認されない	
	11月23日 (流域状況確認)	1m以上	—	—	・流域全体で濁り等は確認されない	
小川	11月22日/ 11月22日	1m以上	0.6	1	・流域全体で濁り等は確認されない	

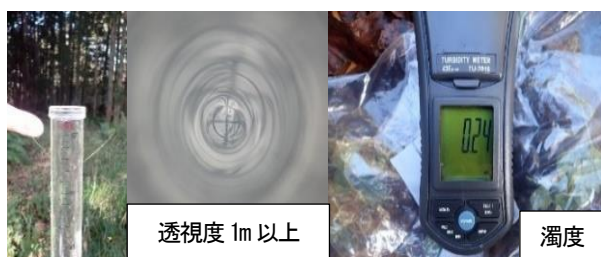


写真-1 沼川流域の水質調査結果

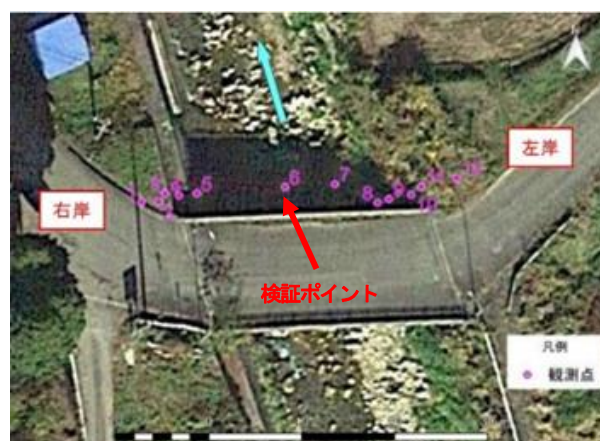


図-2 実測実施状況②

(3) 計測結果

a) 水域の実測断面との検証

水域の計測データの精度を検証するため、ALB計測実施箇所、実測が可能な区間を抽出し、河川横断測量を実施した。実測は、ネットワーク型RTK方式により、ALB計測実施時期と同時期に実施することとし、計測後の出水による土砂移動の影響を排除した。（図-1、図-2、図-3）

図-3のとおり、一定の条件を満足すればALB計測により水域を含めて大きな誤差なく把握可能であることが示唆された。



図-1 実測実施状況①



図-3 ALB計測データと実測データの比較断面図

b) 計測条件と測量成果の信頼性

ALB計測では、透視度が低い水質や点密度が低いことが要因で、測量精度が大きく低下してしまうことが懸念される。

2023年（令和5年）11月のALB計測時には、計測範囲

の一部にやや濁りが確認されたが、現地条件の制約により実測による精度検証が実施できていない。どの程度の濁りに対して地形把握精度が大きく低下してしまう可能性等については、今後の検討課題とした。

(4) ALB計測による河床変動把握の有効性

a) 航空LPとALB計測データの差分解析結果の比較からみた河床変動量把握の傾向について

砂防事業が実施されている山地河川では、一般的に水深が浅く大規模な土砂移動（河床変動）が発生した場合、水域以外の地形変化として捉えることで土砂動態を把握するのに十分な情報が得られる可能性もある。

本検討では、航空LPでは取得困難な水域の地形データの有無が河床変動量把握精度にどの程度影響が生じるのか比較を行った。

ALB計測結果が水域を含め精度よく地形を把握していることを前提に、2022年（令和4年）8月出水前後の航空LP及びALB計測成果から河床変動量の違いを比較検証した。

計測範囲の水域が占める割合（以下、「水部割合」という。）と計測範囲の水域の平均水深の関係を整理した。（図-4、図-5）

さらに、図-4、図-5で得られたデータを基に、水部割合の条件と平均水深の条件の違いが計測精度に影響する可能性があるのか傾向について整理を行った。

（図-6）

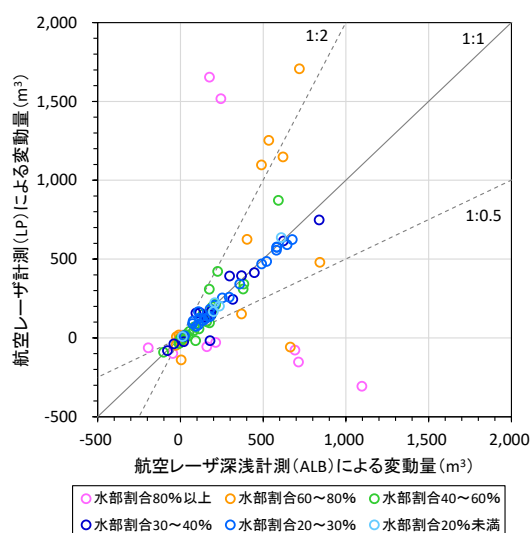


図-4 航空LP及びALB計測の河床変動量と水部割合の関係

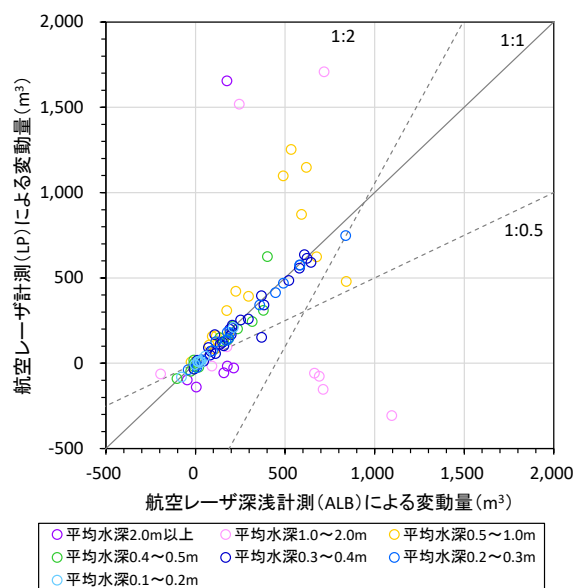


図-5 航空LP及びALB計測の河床変動量と平均水深の関係

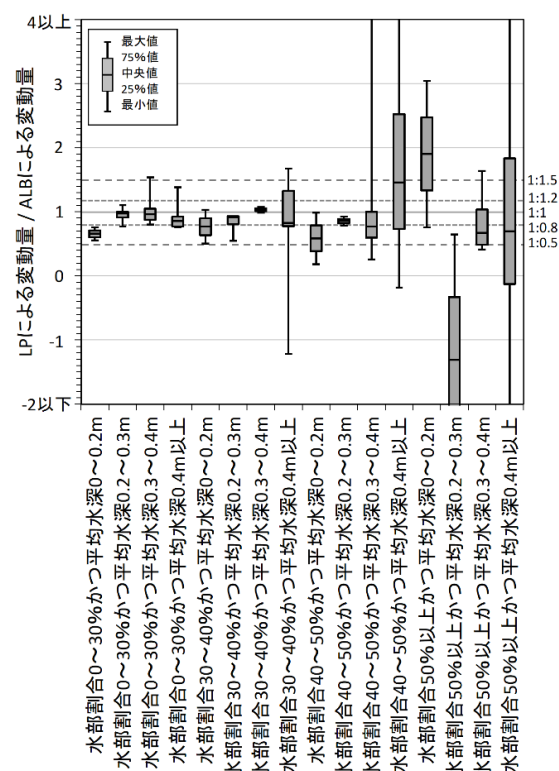


図-6 水部割合の条件及び平均水深の条件と計測精度の関係

概要は、次のとおり。

- ・水部割合0～40%かつ平均水深0～0.4mの条件であればALB計測と航空LPでは、極端な計測精度低下は生じない傾向にある。
- ・水部割合は40%を超えるとALB計測に対して航空LP

では計測精度にばらつきが出る傾向にある。

- ・平均水深は0.4mを超えるとALB計測に対して航空LPでは計測精度にばらつきが出る傾向にある。

b)ALB計測適用区間（範囲）の設定方針（案）の整理

a)の結果から、河床変動量等の把握を目的に水部が確認される山地河川の航空測量を実施する場合、水域の条件によっては、ALB計測で実施することが精度向上につながり、有効である可能性が確認された。

本検討結果より、河床変動量把握を目的としたALB計測を実施する適用区間についての考え方を以下のとおり整理した。

- ・水部割合が40%未満かつ平均水深が0.4m以上
- ・水部割合が40%以上

3. 航空レーザ測量計測データの施設管理への活用について

(1) 砂防施設管理（点検）の現状と課題

通常実施される砂防施設の健全度評価は、地上点検による目視やUAVによる可視範囲の状態把握により実施されている。

広域的な災害発生時には、広範囲に点在する砂防施設の健全度を災害発生後速やかに概括的に把握する必要があるものの、地上目視等の従来手法では作業効率に課題がある。

本検討では、出水前（令和3年）と出水後（令和5年）の航空LP及びALB計測のデータから、計測点密度の違い等により視覚的な情報に対して、どのように影響するのか整理し、砂防施設の健全度を概括的に把握し、災害時等の施設管理情報としてどのように利活用可能か検討した。

(2)災害時等の航空LPを活用した施設健全度把握

航空LPによる取得情報の性格上、砂防堰堤における施設損傷を把握しやすい部位としにくい部位については、図-7のとおりとなる。また、広域的な降雨災害時等の施設点検は、通常点検における経年変化の把握が可能な情報精度は必要とせず、施設機能が明らかに低下（可能性含む）している状況か否かを判断できれば概括的な把握を目的とした場合、十分であると考えられる。

本検討では、簡易オルソ画像や航空LPによる点群データから取得できる微地形判読情報（赤色立体図）等を比較した上で、砂防施設の概括的な把握を目的とした場合の計測仕様について整理した。

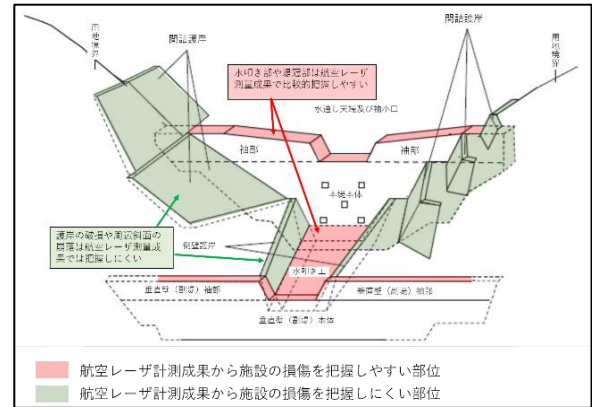


図-7 砂防堰堤において航空LPにより損傷の把握がしやすい部位、また把握しづらい部位

(3)計測点密度の違いによる視覚的な情報差違

図-8～10は、異なる時期に飯豊山系砂防事務所で実施した航空LPデータから2022年（令和4年）8月の出水により施設損傷が生じた砂防堰堤を対象に赤色立体図を作成し比較した事例である。

いずれもオリジナル点群データをTIN補完し、0.25mメッシュデータから作成したものであるが、点密度2点/㎡（図-7）と点密度10点/㎡（図-9）及び点密度8点/㎡（図-10）を比較すると施設の端（エッジ）の表現の仕方に違いが生じており、施設の損傷を把握する目的では明らかに点密度が高い情報が有効であることが確認できた。

点群データと簡易オルソ画像（図-10、写真-2）を比較しても視覚情報が写真に対して遜色なく、損傷を把握できている。このため、簡易オルソ等からは把握困難な植生下などの施設状況変化についても航空LPにより三次元点群データを高密度で取得することで施設の概括的な状況把握に十分な情報が取得可能であることが示唆された。

飯豊山系砂防事務所の既往航空LP成果を比較した結果、航空LPを活用した砂防施設の概括的な把握にも活用する場合、点密度は8点/㎡を確保することが必要であることが示唆された。崩壊地等の土砂動態を把握する場合、レベル1,000程度の航空LPによる測量精度で実施している事例が多いが、広範囲に点在する砂防施設の異常把握を迅速かつ効率的に実施する場合は、点密度を一定以上に確保した計測とすることで施設管理情報としても利活用が可能であると考えられる。

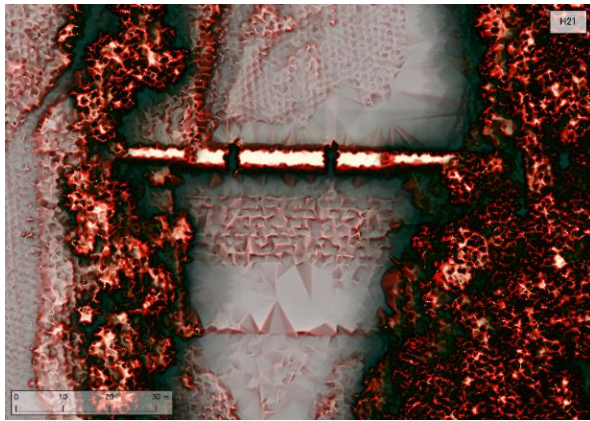


図-8 2009年（平成21年）航空LPオリジナルデータ
[点密度：陸域2点/m²]



写真-2 2021年（令和4年）簡易オルソ画像

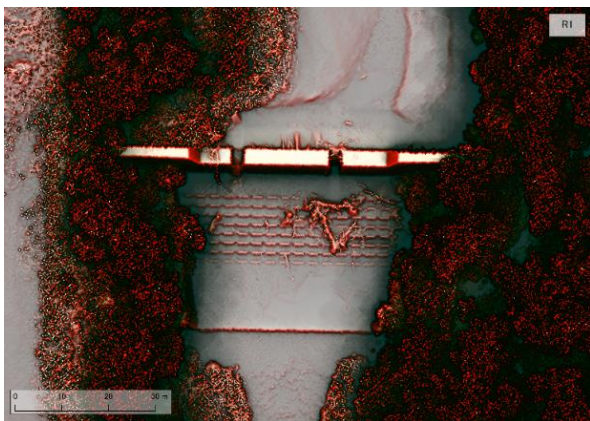


図-9 2019年（令和元年） 航空LPオリジナルデータ
[点密度：陸域10/m²]

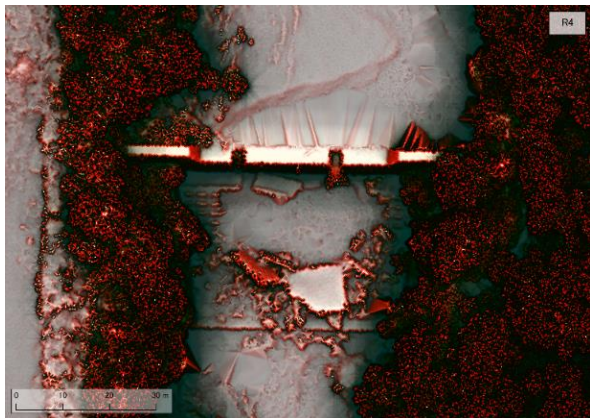


図-10 2022年（令和4年） 航空LPオリジナルデータ
[点密度：陸域8/m²]

4. おわりに

本調査では、飯豊山系砂防事務所管内での航空レーザ測量成果から、計測実施状況や測量成果の整理を行い、測量成果から得られた傾向の整理（案）を実施することができた。また、今回の調査では、陸域及び水域の計測を目的とした測量を行い、航空LP及びALB計測双方の有効性をつかむことができた。

今後の課題として、計測データと計測実施箇所の水質との関係性をさらに整理する必要がある。

今回検討を実施した整理（案）を基に過年度の測量成果との比較を経年的に行うことで、航空レーザ測量成果における今後の中長期的な土砂動態把握や経年的な施設状態の変化を把握するための検討材料の一部となることへの期待ができる。なお、今後の航空レーザ測量成果との比較を行っていくことで、計測手法の有効性や測量成果の活用手法、計測条件がさらに整理されることが期待できる。

謝辞：本論文の作成にあたり、アジア航測株式会社様には多大なるご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。