

砂防分野における航空レーザ測深（ALB）の適用について

四国山地砂防事務所	調査課	島内	尚之
四国山地砂防事務所	調査課長	高原	晃宙
四国山地砂防事務所	調査課専門官	青木	謙治

吉野川上流域において、四国地方整備局初の砂防分野における航空レーザ測深（ALB: Airborne Laser Bathymetry）を実施し、その適応性の検証を行った。本稿では、砂防分野でのALBによる地形測量について報告するとともにALBの特徴と今後の展望について考察する。

キーワード 吉野川上流域、航空レーザ測深、ALB、土砂移動

1. はじめに

平成30年7月豪雨では、四国管内にて多くの土砂災害が発生した。土砂災害発生後、生産された土砂量並びに流域内に堆積している土砂量を精度良く把握することは、災害復旧時や今後の砂防計画に活用するために重要である。土砂量を算出するにあたり、航空レーザ測量（LP: Laser Profiler 以下、LPとする）成果を用いることが多いが、LPは、山地河川内の水域部を含む地形を計測することができない。そのため、河川縦横断測量もあわせて実施し、土砂量の算出を行うこととなるが、砂防分野で対象とする領域は急峻な箇所が多いため、迅速に土砂量を把握することは困難である。

なお、近年の河川分野では、航空レーザ測深（以下、ALBとする）を用いた測量の実績がある¹⁾。ALBは、LPの際に照射する近赤外レーザに加え、水面下まで到達可能なグリーンレーザを同時に照射できるという特徴があり、水域部の測量も可能である。よって、砂防分野でも活用すれば、山地河川内の地形情報を把握できる可能性があるが検討した事例はない。

そこで本稿では、これまでに四国地方整備局の砂防分野での測量実績がないALBを平成30年7月豪雨後の吉野川流域を対象に実施した。次に、グリーンレーザを搭載したドローンでの測量等もあわせて実施し、土砂災害発生箇所での崩壊土砂量、堆積土砂量を算出した。最後にこれら結果を踏まえて砂防分野における地形状況把握のための測量手法の今後の展望について検討することとした。

2. 計測対象範囲

図-1に示す通り、吉野川上流（高知県）の立川川流域周辺を対象にALBを実施した。本計測の対象範囲の面

積は約120km²で、高知県の大豊ICの北側に位置し、吉野川の支川である立川川、行川、栗ノ木川が存在する。

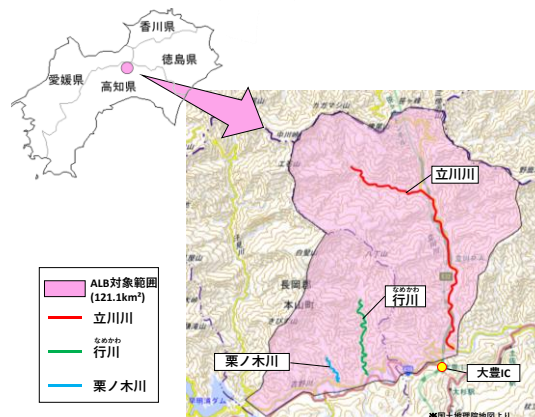


図-1 計測対象範囲

3. 立川川流域について

立川川流域周辺（高知県長岡郡大豊町）では、最大24時間雨量602mm、最大時間雨量76mm（7月6日、高知地方気象台本山観測所より）を記録した平成30年7月豪雨により、高知自動車道立川橋の橋桁が流される大規模な崩壊や土石流が発生した（写真-1）。



写真-1 大規模な崩壊による高知自動車道の被災状況

特に立川川流域では、多数の崩壊が発生し、流域の至る所で崩壊地や下流域での堆積が確認された（写真-2）。四国山地砂防事務所では平成30年度に7月豪雨の土砂災害の実態把握を目的として、LPを実施し、災害前の過年度LPデータを用いた土砂移動範囲の判読および土砂移動範囲内の標高差解析を実施し、土砂災害箇所の崩壊量・堆積量を算出した。



写真-2 平成30年7月豪雨後の立川川流域周辺の状況

4. ALBの特徴

(1)従来の測定の課題

1.で述べたとおり、LPと河川縦横断測量を合わせた計測では迅速性に欠ける。砂防分野での河川縦横断測量は、急峻な地形が多いため、危険性もあった（写真-3）。また、河川縦横断測量では、測量地点毎のデータ取得のみで、水域部の三次元的な情報を得ることができない。



写真-3 河川縦横断測量の様子

(2)ALBの特徴

ALBは、従来のLPとは違い、水面下の地形も計測することができる。その原理は、計測の際に照射する近赤外レーザに加え、水面下まで照射が可能なグリーンレーザを照射し、その往復時間から三次元データを算出する。ALBは2種類のレーザを同時に照射しながら、計測を行うことができるため、1回の測量で水域部と陸域部の両方の三次元データを取得することが可能である（図-2）。また、航空機に搭載して測量することから広範囲を素早く計測でき、従来の測定の課題は解消できる。つまり、ALBによる効率化によって、現場の作業員の安全性と作業の迅速性が向上する。また、河道内の三次元の地形データが取得できるため、図-3のように、任意

の位置で三次元データから断面図を作成することができる。

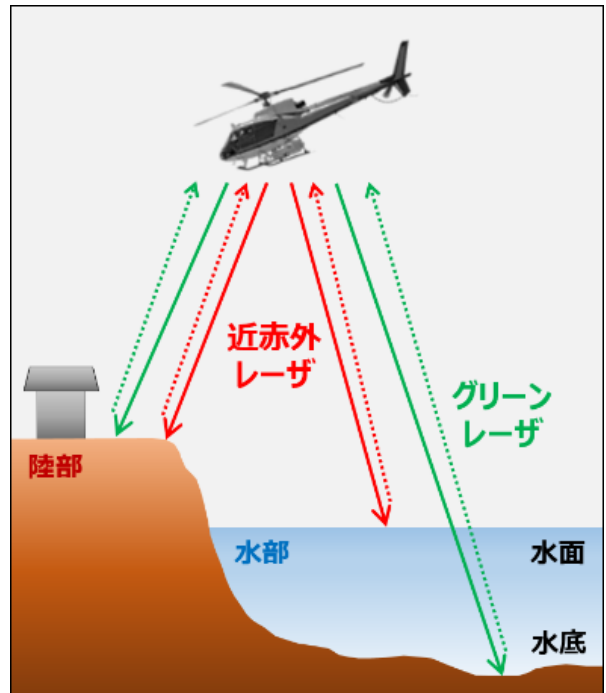


図-2 航空レーザ測深システムの概念図

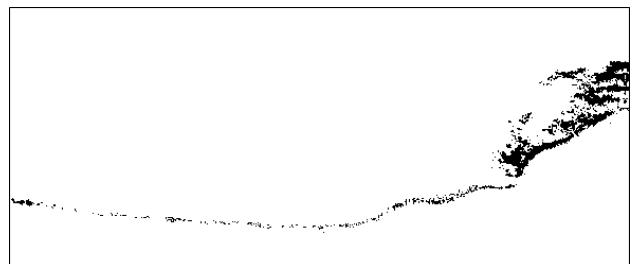


図-3 断面表示をした三次元データ

5. ALBの実施

(1)水域部データ取得

ALBによる地形データ計測結果の検証は、水域部を含む実測による河川縦横断測量との比較検証により確認を行った。河川縦横断測量は立川川3断面、行川2断面、栗ノ木川1断面の計6箇所を実施した。

(2)水質調査

ALBの測深性能は水質などの水環境に大きく依存しており、ALB実施後のデータ欠測は、樹木や地形、構造物による遮蔽の影響か、水環境の影響のどちらかが考えられる。それらの原因を明確にするため、「航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアル（案）²⁾」に従い、下記の方法で水質調査を実施した（表-1）。なお、水質調査は、吉野川本川を含め、立川川、行川、栗ノ木川においてALB開始の直前と直後の2回実施した。

表-1 水質調査手法

調査項目	調査手法	特徴
①透視度(単位:cm) 	100cmまで計測できる透明度計を利用し、採取した水をいれ、その十字が見えるメモリを計測する。	計測した目盛りが大きいほど透視がよい結果となる。
②濁度(単位:NTU) 	濁度計を使用し、水中の濁度を計測する。	濁度が多きほど測深が悪くなる傾向がある。
③浮遊物質(SS) (単位:mg/L) 	採取した水を持ち帰り、水中の懸濁物質を濾紙で濾過したものを乾燥させてそのその重量を測定する。	乾燥重量が多いほど測深が悪くなる傾向がある。
④透明度(単位:m) 	直径30cmの白色盤を調査箇所の水部に沈め、目視できるまでの水深を計測する。	水底に着底した際に目視可能であれば良い結果となる。水深が深く目視での確認ができなくなった場合は、測深機能がその水深までとなる事がある。

(4) データ整理

計測したオリジナルデータから、樹木や構造物を取り除くフィルタリング処理を行い、グラウンドデータを作成した。グラウンドデータから、視覚的に地形状況を把握するため、起伏の強調具合を任意で調整することが可能な、微地形解析図を作成した(図-4)。



図-4 現地写真と微地形解析図の比較
左：現地写真 右：微地形解析図

(5) 土砂移動解析

平成30年度業務の成果を踏まえ、平成30年7月豪雨後の1年間における土砂移動について標高差分解析を用いた土砂移動解析を実施し、土砂災害箇所の崩壊土砂量・堆積土砂量を算出した。

6. グリーンレーザドローン

土砂災害発生時の情報収集の手段として ALB を用いる場合、計測の準備が必要となり、災害時の情報収集の即応性に欠ける。そこで、代替手法となり得るグリーンレーザドローンについて検証を行った。グリーンレーザドローンとは、図-5 のようにグリーンレーザを照射できるスキャナをドローンに搭載したもので、ALB と同様に水域部と陸域部を同時に計測することができる。これらを用いて取得した水域部における地形データ取得状況と精度について確認した。計測精度の検証には、計測によって得られた三次元データから作成した断面図と河川縦横断測量によって作成した断面図の比較検証を行っ

た。



図-5 グリーンレーザドローン
左：ドローン機体とレーザスキャナ
右：グリーンレーザスキャナ

7. 結果と考察

(1) 水質調査の結果

調査を実施した箇所のいずれも、目視で判断できるほど透明度が高く、調査結果では良好な値を示した。透視度、透明度調査から計測に影響がないことを確認した。また、調査結果から立川川流域周辺は水質が良く、水深も浅い河川であることから、水域部のデータを十分取得できると判断した。

なお、今回の調査では、水質も良く、浅い河川だったためALB実施に問題はないと判断したが、降雨直後や土砂流出による水質悪化の影響がある場合はこの限りではない。

(2) ALB実施結果

前述した水質調査の結果より、水質も良く水深の浅い河川というALBを実施するには良い環境であったことから、立川川、行川、栗ノ木川の計測結果では欠測は見られず、良好なものであった。吉野川本川では、水深の深い箇所や白波等の水面下の状況、構造物の影響により欠測が見られた。また、レーザを斜めに照射しているため、ある程度高さのある高架橋等の構造物下の地形データは取得できるが、高さが低く幅が広い構造物下のデータについては、取得できなかった。このような箇所ではALBを実施する際には、トータルステーション等を用いた補備測量を実施する必要がある。

(3) 土砂移動解析の結果

表-2 に、平成30年7月豪雨後から令和元年11月の土砂移動解析結果を示す。立川川、行川、栗ノ木川の3流域における災害後1年間の総崩壊土砂量は約28万m³に対して、流域内の総堆積土砂量は約18万m³、災害後1年間で約10万m³の土砂が吉野川本川に流入したという結果が得られた。

表-2 H30～R1年 総崩壊土砂量・総堆積土砂量

流域名	総崩壊土砂量 (m³) ※崩壊地内の浸食量	総堆積土砂量 (m³) ※流域内の堆積量
立川川	229,297	127,427
行川	42,033	38,676
栗ノ木川	12,981	16,891
計	284,311	182,994

しかし、比較する際に使用した平成30年度業務のデータは、LPによって取得したもので、陸域部のみの比較となっており、河道内等の水域部の土砂量については比較を行えていない。今後、より詳細な土砂移動解析を行うためには、差分解析を実施する2時期のデータが、水域部と陸域部を両方計測できるALBによって取得されたデータを使用する必要がある。

(4) ALBとグリーンレーザドローンの比較

ALB は、グリーンレーザドローンに比べ、一度に計測できる範囲が広く、広範囲でのモニタリングや解析等を行うことができる。1 流域単位の計測も可能であるため、水質や植生の繁茂状況等に依存するが、取得した三次元データを活用することで、河川縦横断測量の手間を大幅に軽減することが可能であり、急峻な河道でボート等を利用した深浅測量を実施する必要もなく、作業員の安全性を確保できる。

グリーンレーザドローンは ALB に比べて機動力に優れ、人の立ち入りが可能な場所であれば計測が可能である。ただし、グリーンレーザドローンは目視飛行が前提となり、1 フライトが約 15 分程度と短いため、ALB の様な広範囲での計測は不向きであり、局所的な計測に限られてくる。ALB と比較すると、対地高度が低いため、より精密な地形計測が可能になるが、グリーンレーザドローンに搭載されているスキャナは、バッテリーの容量上、レーザの照射強度が抑えられている。そのため、グリーンレーザドローンは ALB に比べ、測深性能が劣ることを踏まえた上で採用の検討が必要になる。

8. 今後の展望

(1) 砂防分野でのALBの活用

洪水等により、斜面や河道内の土砂量は変動し、それらを把握することは砂防分野で重要となる。

ALBで取得した三次元データを活用することにより、標高差分解析を用いて、土砂移動の把握や河道内の土砂の堆積状況や、砂防堰堤の土砂の捕捉状況を把握することができ、管理型堰堤の土砂掘削や、砂防堰堤の効率的な配置計画等の検討資料となる。さらに、地形状況を把握することで、河道閉塞等の災害が発生した際の氾濫シミュレーション等の実施や、災害後に計測を行うことで、未発見の災害箇所を発見することができるなど、災害発生時の対応に大きく貢献できると考えられる。

(2) グリーンレーザドローンの活用

今回は、立川川流域周辺の各箇所グリーンレーザドローンの検証を行った結果、フライト時間や測深性能などの課題は残るが、局所的な計測に優れていることがわかった。

現在、四国地方整備局では職員が災害時等にドローン

を活用し、情報収集が行えるように操作訓練が積極的に行われている。今回活用したグリーンレーザスキャナを導入することができれば、水域部を含む局所的な災害でも、職員のみで情報収集を行うことができる。また、データの解析手法も学ぶことで、簡易的な断面図の作成や、土砂量算出等を行うことも可能だと考える。

9. まとめ

本稿では、砂防分野における地形状況把握手法の検討を目的に ALB とグリーンレーザドローンでの測量を実施し、今後の展望について考察した結果を以下に示す。

1 流域全体等の広範囲で地形状況把握やモニタリングを行う場合は、ALB を活用することで、広範囲の陸域部と水域部のデータを計測することができる。これにより、河川縦横断測量を行わずとも、山地河川内の地形状況を取得が可能である。また、定期的に ALB を実施することで、標高差分解析を用いた土砂移動状況の把握も可能だと考えられ、今後の砂防堰堤配置計画等の基礎資料にもなる。

なお、砂防設備周辺や降雨後の局所的な地形状況把握を行う場合は、グリーンレーザドローンを活用することで、迅速的に精密な三次元データを取得することが可能である。

ALB やグリーンレーザドローンを活用し、水域部と陸域部が連続した三次元データを取得することで、土砂移動現象の把握や災害シミュレーション等を詳細に行うことができる。また、土砂災害発生時の対応として、復旧工事等を危険箇所で行う必要があった場合、施工に危険性を伴う。その際に、あらかじめ ALB 等で三次元データを取得しておけば、三次元設計（BIM/CIM）に活用し、そこから i-Construction による無人化施工技術へ適用することで、施工技術者の安全性を確保するとともに、生産性向上にも貢献できると考えられる。

謝辞：本論文を執筆するに当たり多くのご助言を頂いた方々に深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高橋亮丞, 吉岡優平: 肱川における航空レーザ (ALB) による地形測量について, 令和元年度 四国地方整備局管内 技術・業務研究発表会 論文集, 2019, p. I 37-I 40.
- 2) 国土地理院: 航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアル (案), https://psgs2.gsi.go.jp/public/alb/alb_manual.pdf
- 3) 国土地理院: 航空レーザ測量による数値標高モデル(DEM)作成マニュアル(案), <https://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/download/reza/310kouku.pdf>