

UAV 搭載型グリーンレーザ機器を用いた河床形状の取得とその活用事例

Acquisition of riverbed shape using UAV-equipped green laser equipment and examples of its use

水工事業本部 水工第1部 後藤 悠和
水工事業本部 水工第1部 清家 拓哉

従来、河床形状の把握には定期縦横断測量（深淺測量）が実施されているが、近年ではICT技術を活用した生産性向上の取組み（i-Construction）の推進により、効率的かつ面的な河床形状の取得技術としてグリーンレーザを用いた航空レーザ測深（ALB：Airborne Laser Bathymetry）が注目されている。また、従来の航空レーザ測量（LP 測量）は有人航空機による大掛かりな作業であったが、無人航空機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）技術の発展により UAV 搭載型レーザ測距装置による測量が実施されている。本稿は河床低下および局所洗堀が顕著である豊平川 KP20.8～21.6 区間を対象とした UAV を用いた ALB 測量の実施と、測量結果の活用事例について紹介するものである。

1 はじめに

豊平川 8 号床止から上流区間（KP17.4～KP21.6）は中州と滞筋の比高差の拡大により河道内の二極化が進行している。滞筋の固定化による樹林化や河床低下による護岸工の損傷等が発生しているため、河床安定維持に向けた河床低下対策工の検討が急務である（図 1.1、図 1.2）。

特に KP20.8～21.6（藻岩上の橋～五輪大橋）は、露岩を伴う河床低下や局所的な河床の侵食が複雑に分布する区間であり、河床形状を詳細に把握し対策工の検討を行う必要があることから、UAV 搭載型グリーンレーザ機器を用いた航空レーザ測深（以下、ALB 測量）を行った。

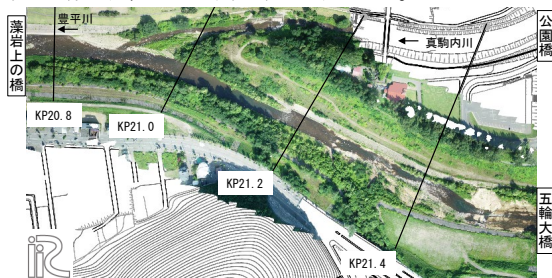


図 1.1 豊平川 KP20.8～21.6（R2.7 撮影）

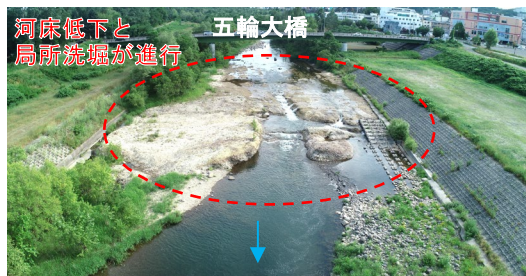


図 1.2 豊平川 KP21.4 付近の状況

2 ALB 測量の概要

ALB 測量は従来の航空レーザ測量で用いられる近赤外波長域レーザ測距装置とは異なり、緑域波長域のレーザ測距装置を用いて陸域と水面下の地形を計測する技術である。近赤外レーザ光は水に吸収されやすく、河床や海底といった水面下地形の取得が困難であるが、緑色波長（グリーン）レーザ光は水への吸収が少なく、水面下地形の計測が可能となる（図 2.1）。計測データは三次元点群データ（オリジナルデータ）として生成される。

一方で、水面下地形の計測は流速、水深、濁度等の影響により反射波が得られない場合があるため、ALB 測量の実施は計測前日までの降雨状況や、河道特性の確認が肝要である。

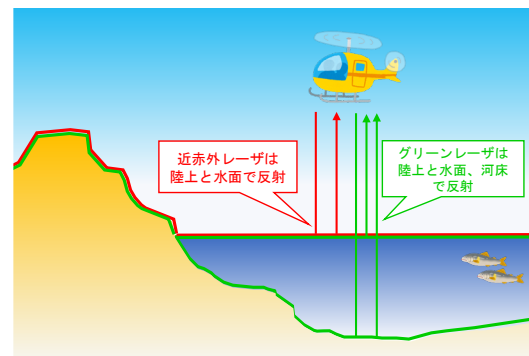


図 2.1 ALB 測量概念図

3 使用機材及び計測手順

本計測で使用した機材及び計測の手順について以下に示す。

3.1 レーザ測距装置・GNSS/IMU

レーザ測距装置・GNSS/IMU は以下に示す機材を使用する。



重量	5.0kg
最大レンジ	40.0m
視野角	±15deg(30deg)
測定数	3000pts/m2

図 3.1 レーザ測距装置・GNSS/IMU

3.2 UAV 機体

レーザ測距装置を搭載する UAV 機体は DJI 社の Matrice600Pro を使用する。



図 3.2 DJI Matrice600Pro

3.3 計測手順

計測手順を以下に示すとともに、レーザ計測諸元について表 3.1 に示す。

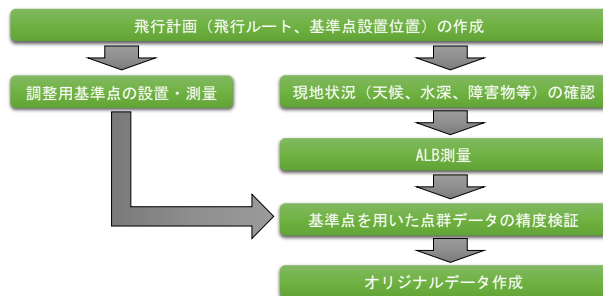


図 3.3 計測手順

表 3.1 計測諸元

対地高度	20m
飛行速度	3.0m/s
レーザ拡散角	3.0mrad
スキャン回転数	20-40kHz
レーザ発光回数	150-600kHz
有効計測角	30deg
有効計測幅	約 14m
コース間重複度	50%

ALB 測量を行う際には、基準点となる対空標識を上空から樹木等の遮る物のない計測範囲内に設置し、トータルステーション(TS)もしくは仮想基準点(VRS)方式で座標を求める。得られた基準点座標は計測データの精度検証(水平座標値、標高値)に用いる。「UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)²⁾」(以下、公共測量マニュアル)では、要求仕様に基づき水平座標及び標高値の両方について精度検証を行う場合は基準点を 4 点以上設置することとされているため、本業務でも同数設置をした。



図 3.4 計測基準点

4 計測結果

ALB 測量によって取得した GPS データ、IMU データ、レーザ測距データを解析し三次元点群データ(オリジナルデータ)を作成する。オリジナルデータより構造物(住宅、橋梁等)、樹木等のデータを取り除いた三次元点群データ(グラウンドデータ)を作成し、数値計算等の検討に反映する。点群データについては基準点座標による精度検証と併せて、H27 年定期横断測量との比較を行った。

基準点座標による点群データの精度検証を行ったところ、いずれの検証点においても水平座標、標高値ともに誤差は±0.05m 以内となった(表 4.1)。公共測量マニュアルでは、グラウンドデータ作成に当たり要求されるオリジナルデータの要求精度は 0.1m(標準偏差)となっており、本計測で取得した点群は要求精度を満足していた。

また、定期測量横断面図との比較でも、護岸工や高水敷上など横断測量実施当時と変状が少ないと考えられる箇所についての水平座標および標高値は合致していた(図 4.1)。

定期横断測量から作成した地形(200 m 測線間を補完した地形)と ALB 測量のグラウンドデータより作成した地形について、平面的な河床形状および最深河床縦断面図により比較を行った。ALB 測量データでは河道の微地形を再現できており、特に最深河床高がステップ&プール状の縦断面形状となっていること等、定期横断測量では取得できない詳細なデータを取得することができた。(図 4.2、図 4.3)。

表 4.1 精度検証表

点検箇所名	基準点座標及び標高 (m)			オリジナルデータ座標及び標高 (m)			較差 ΔX ④-①	較差 ΔY ⑤-②	較差 ΔH ⑥-③
	X ①	Y ②	Z ③	X ④	Y ⑤	Z ⑥			
1	-110664.247	-74113.720	61.460	-110664.292	-74113.697	61.450	-0.045	0.023	-0.010
2	-110606.477	-74138.629	64.831	-110606.439	-74138.658	64.847	0.038	-0.029	0.016
4	-110149.012	-73760.260	56.376	-110148.987	-73760.300	56.372	0.025	-0.040	-0.004
6	-110196.128	-73746.600	62.071	-110196.165	-73746.641	62.058	-0.037	-0.041	-0.013
較差平均							-0.005	-0.022	-0.003
較差の標準偏差							0.037	0.026	0.011

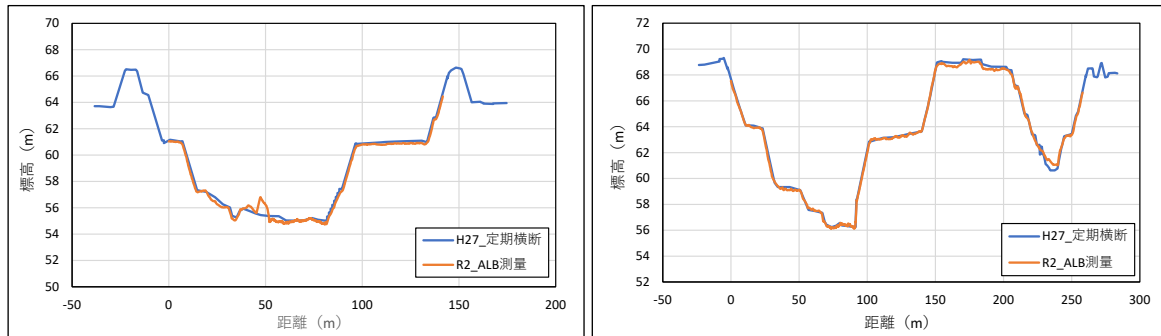


図 4.1 H27 定期横断測量との比較 (左 : KP20.8、右 : KP21.2)

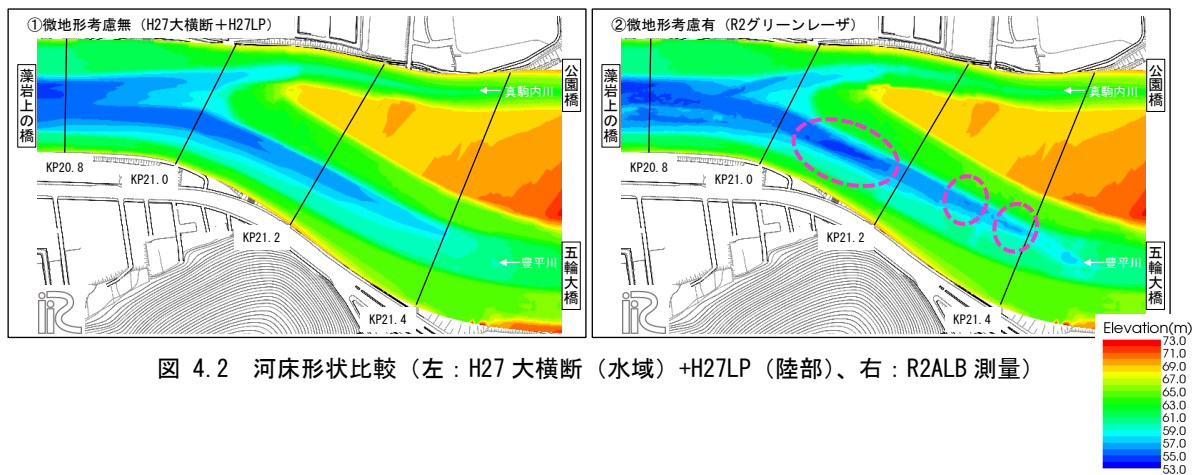
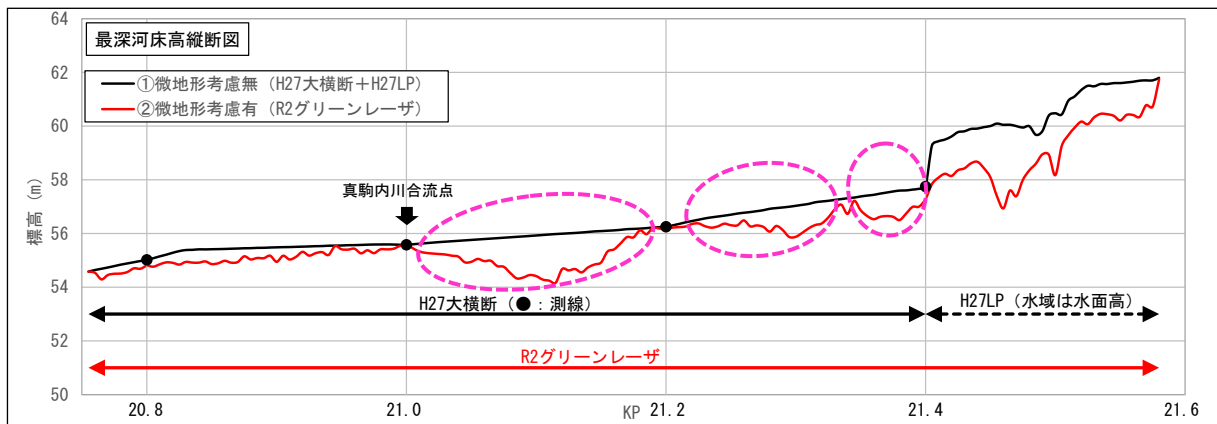


図 4.2 河床形状比較 (左 : H27 大横断 (水域)+H27LP (陸部)、右 : R2ALB 測量)



KP21.0~21.6の最深河床高はステップ&プール状の縦断形状となっている

図 4.3 最深河床縦断面図

5 活用事例

豊平川での活用事例をはじめとする、ALB 測量成果の三次元点群データ活用事例について紹介する。

5.1 豊平川での活用事例

(1) 河道内地形の把握

図 4.3 で示した最深河床縦断面図と地質縦断面図から読み取った推定岩盤線を比較した。岩盤線を下回っている箇所については、すでに岩盤が露出している可能性が考えられる(図 5.1)。以上のように、ALB 測量では従来の定期横断測量や空撮では得ることが出来なかった河道内状況の計測が出来ることから、河床形状や護岸状況の推定に活用が期待される。

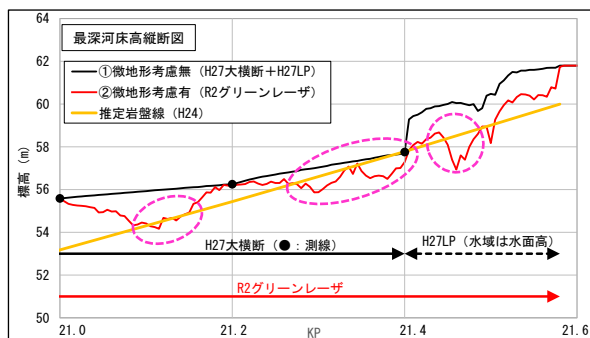


図 5.1 最深河床高縦断面図と推定岩盤線

(2) 数値計算への適用

現況河道を対象とした平面二次元流況計算 (iRIC Nays2DH) を実施し、ALB 測量で得られた微地形の考慮有無が数値計算へ与える影響について把握した。ALB 測量で取得した河床形状を反映することにより、各プール上流端付近で流速が上昇する傾向となった(図 5.2)。以上のように、微地形を反映した流速、摩擦速度等を把握することで、これまで考慮することができなかった微地形区間への環境影響評価や河道設計が可能となる。

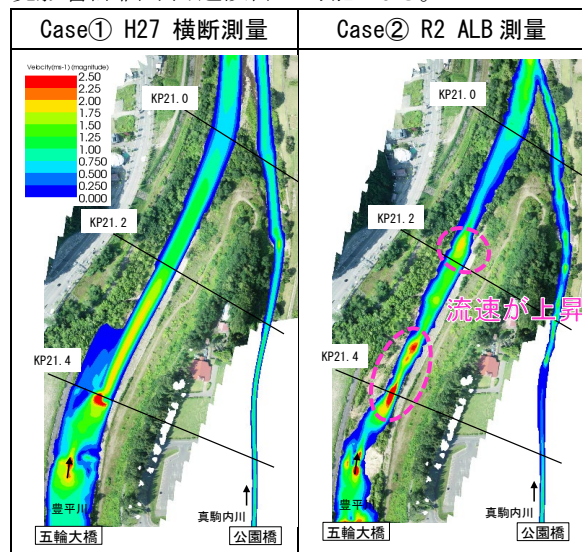


図 5.2 流況計算結果の比較 (平水流量流下時)

5.2 構造物の三次元設計への活用事例

近年、河川分野でも CIM による構造物の建設生産サイクルの高度化が推進されている。ALB 測量で取得した点群データを活用することにより、河道内の詳細地形に基づく水門や床止め工、護岸工等の河川構造物の三次元での設計が可能である。



図 5.3 点群データを用いた水門の設計イメージ

6 まとめ

ALB 測量はまだ道内河川での実用実績は少なく、日進月歩で技術開発が進んでいる状況である。本計測においても計測できた最深河床は水深約 2.5m であり、それ以上の水深や白波が発生している箇所等、計測が困難となるコンディションも確認された。

上記のような課題がある一方で、ALB 測量は i-Construction の推進にあたっての河道の三次元データ取得技術として注目されており、河川管理の高度化に向けた取り組みである「革新的河川管理プロジェクト³⁾」にも位置付けられ、定期縦横断測量として活用され始めたところである。また、中小河川についても直轄管理区間と同様の測量を行うことが可能となるため、ALB 測量の活用は今後の河川管理や危機管理の効率化、高度化に寄与することが期待される。

[謝辞]

本稿で実施した ALB 測量は「令和 2 年度施工豊平川河床低下対策検討業務」で実施され、本検討を進めるにあたり、北海道開発局札幌開発建設部、北海道空知総合振興局札幌建設管理部にご協力頂いた。ここに記して謝意を表する。

[参考文献]

- 1) 舘野奈々, 大島省吾, 大石兼史: 豊平川の河道特性に応じた河川改修について—大型模型実験による河床低下対策工の検討—, 第 64 回北海道開発技術研究発表会論文
- 2) 国土交通省国土地理院: UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測マニユアル (案)
<https://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/public/uavls/index.html>
- 3) 国土交通省水管理国土保全局: 革新的河川技術プロジェクト,
https://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/inovative_project/index.html