

# i-Constructionにおける UAV グリーンレーザ計測の適用性検証

安藤ハザマ ○ 澤城 光二郎  
安藤ハザマ 黒台 昌弘

## 1. はじめに

i-Construction の取り組みの一つである「ICT の全面的な活用」では、3次元計測技術を用いた施工管理に必要な事項が出来形管理要領に<sup>1)</sup>まとめられている。

レーザスキャナ(LS)による3次元計測では、地上型レーザスキャナ(TLS)や地上移動体搭載型LS、無人航空機搭載型LS(UAVレーザ)などが要領化されており、土工や舗装工、トンネル工など複数の工種で汎用的に活用されている。

一方で、これらのLSには近赤外の波長帯のレーザ光が使用されており、その特性上、水中や濡れた面などを計測できないという課題を抱えているため、河川や沿岸部に近接する工事での活用は限定的であった。

一方で、グリーンレーザスキャナ計測は図-1に示すように水中を通過する緑色の波長帯を持つレーザ光を使用することで、水域と陸域の地形データを連続的に計測することが可能な計測技術である<sup>2)</sup>。これまでの水域部での工事測量では、水際にはトータルステーション(TS)測量を、人が立ち入れない水深では深淺測量が多用されてきたが、UAVに搭載したグリーンレーザ(UAVグリーンレーザ)で広範囲を一度に計測することができれば、作業が効率化できると考えられる。

しかし、グリーンレーザ計測は調査測量分野における航空レーザ測深(ALB)で活用が進んでいるものの<sup>3)</sup>、建設分野における導入事例がほとんどなく、工事現場の起工測量や出来形測量に適用できる計測条件や精度の評価が十分に行われていない。

そこで、筆者らは、図-2に示すような陸域(護岸、護床ブロック、堰本体、干上がった河床、河川

敷など)と水域(河道、瀨部、水たまりなど)が混在する広範囲な工事現場での地形測量において、UAVグリーンレーザ計測が国土交通省の進めるi-Constructionにおける起工測量や出来形測量に適用できる精度を有するかについて検証した。

## 2. UAVグリーンレーザ計測に求められること

上記のような環境でUAVグリーンレーザを運用するためには、既にICT活用工事において要領化されているUAV近赤外レーザ計測を比較対象として、起工測量や出来形測量におけるUAVグリーンレーザの計測可能条件や実測精度などを明らかにしておく必要がある。

具体的には、①陸域部分において近赤外レーザ計測と同等の計測性能を保有していること、②水域部での計測が可能な水深や濁りの程度がわかっていること、③水域部においてi-Constructionの管理基準値<sup>1)</sup>である $\pm 0.1\text{m}$ (起工測量)や $\pm 0.05\text{m}$ (出来形測量)を満足することなどである。本稿ではこれらの検証項目について、UAVグリーンレーザの計測性能の検証結果を報告する。

## 3. 実験概要

本実験では図-3に示す堰堤から上流側に50m、下流側に100mのエリアを検証範囲とし、UAVレーザで取得した3次元点群を現場の座標と整合させるための調整用基準点を4点、取得データの座標精度を確認するための精度検証点を7点設置した。各点の配置はi-Constructionの管理基準<sup>1)</sup>に準拠し、調整用基準点と精度検証点はともにエリア面積に対しての必要数以上を設けた。

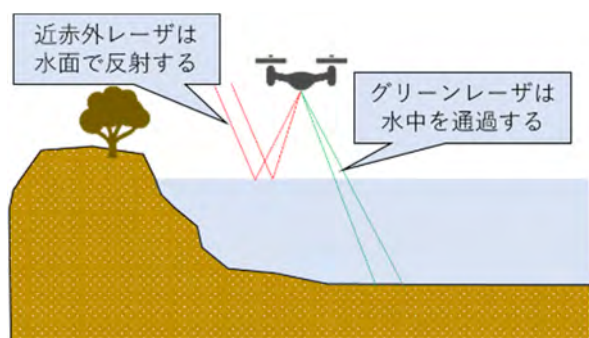


図-1 グリーンレーザ計測の特徴



図-2 実証した現場の UAV 写真

### 3.1 使用機械と飛行条件

本実験で使用した機材の一覧を表-1 に示し、UAV グリーンレーザの外観写真を図-4 に示す。条件を等しくするため一つの UAV の機体にグリーンレーザと近赤外レーザを乗せ換えて搭載し、グリーンレーザは計 3 回、近赤外レーザは 1 回のみ飛行計測を実施した。また、調整用基準点と検証点の測量は VRS-GNSS を用いて実施した。

それぞれの飛行諸元を表-2 に示す。近赤外レーザに比べてグリーンレーザは、フットプリントが大きく有効計測角が小さい性質があるため<sup>4)</sup>、同等の点密度のデータを取得するために飛行高度を低くし、計測ライン間隔を狭くした。

本実験での計測時間は近赤外レーザが 18 分でエリア全域を計測できたのに対してグリーンレーザでは 45 分と約 2.5 倍の時間を要した。この点はグリーンレーザを活用する際に留意する事項である。

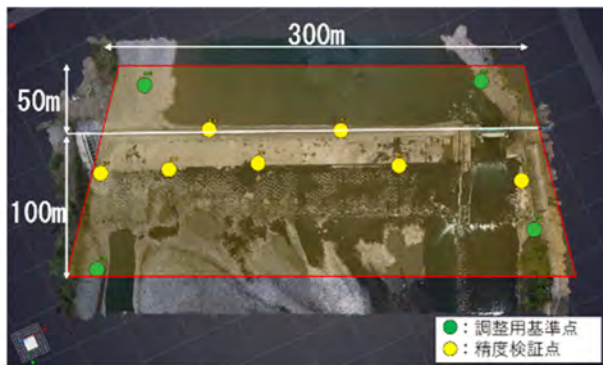


図-3 実験エリアと調整用基準点・検証点配

表-1 使用機器

使用機器			
機器	型式	メーカー	用途
UAV	MATRICE 600PRO	DJI	エリア飛行
近赤外線レーザスキャナ	Vx-20+	YellowScan	点群計測
グリーンレーザスキャナ	EDGE LiDAR	ASTRALite	点群計測
VRS-GNSS	HiperHR	トプコン	精度検証データ
	HX-CHX600A	Harxon	精度検証データ



図-4 UAV グリーンレーザ

### 3.2 対象河川の計測条件

グリーンレーザ計測を行うにあたり、事前に対象河川の透明度を評価した。図-5 のように濁度の単位の一つである NTU を用いた評価を行ったところ、計測値は 0.48NTU となり、ここから算出される理論上の最大計測可能水深は 10m という結果を得た<sup>5)</sup>。今回の対象範囲は最深部でも 1.0m 程度であることから、対象河川がグリーンレーザ計測を行う上で、十分な透明度であることを確認した。

また、計測当時の現場の空撮画像と同箇所の点群データを図-6 に示す。図中の四角枠で示した箇所は堰の取水口であり流れが急であるため、水面に白波が立っている。UAV グリーンレーザ計測では、図中の丸枠箇所のように点群データが欠落するため注意が必要である。

表-2 飛行諸元

飛行諸元	近赤外レーザ	グリーンレーザ
飛行対地高度(m)	60	30
飛行速度(km/h)	11	15
サイドラップ(%)	30	30
コース間隔(m)	119	11
有効計測角(度)	55×2=110	15×2=30
有効計測幅(m)	171	16
計測点密度(cm) (進行方向/横断方向)	10.2/7.2	6.0/35.3
計測時間(分)	18	45

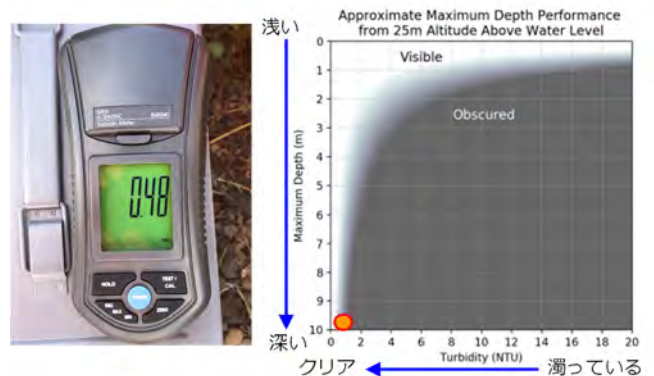


図-5 濁度計による透明度評価

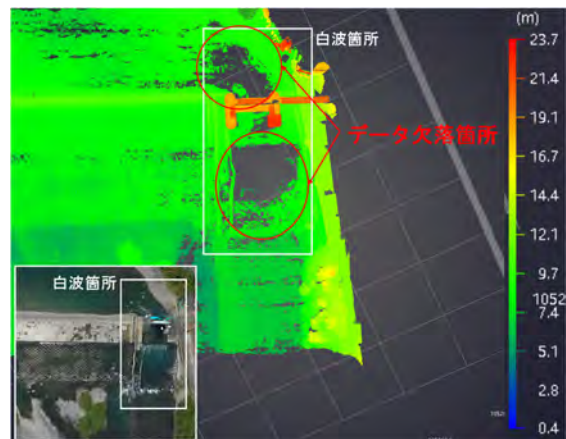


図-6 白波箇所の画像と点群データ

### 3.3 検証項目

#### 1) 陸域におけるグリーンレーザ計測精度

##### ①検証点の座標精度

GNSS 計測で取得した各検証点の座標値を基準データとし、近赤外レーザ計測、グリーンレーザ計測それぞれの3次元点群から算出した検証点座標との較差からXYZの座標精度を算出した。

##### ②任意面の標高精度

図-7、図-8に示すように、実験エリア内の堰堤、水の干上がった川岸に長方形の検証面を設定し、5cmメッシュごとに近赤外レーザに対するグリーンレーザの標高差分を算出した。

#### 2) 水域におけるグリーンレーザ計測精度

##### ①グリーンレーザ点群の標高精度

UAVグリーンレーザ計測は計3回実施し各データについて検証を行った。河床におけるグリーンレーザ点群の標高精度検証の基準用データとして、VRS-GNSSによる多点計測を実施した。既設堰堤上流部・下流部それぞれで図-9のように河床にポールを立てて図-10に示す計88点の座標値を基準データとして取得した。このGNSS計測点の中心から直径15cmの領域円内に存在するグリーンレーザ点群の標高の平均値とGNSS計測値との較差を算出し標高精度を評価した。

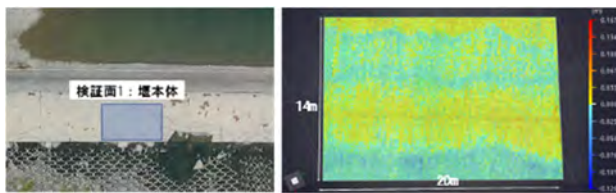


図-7 標高差分の検証面とヒートマップ(堰本体)

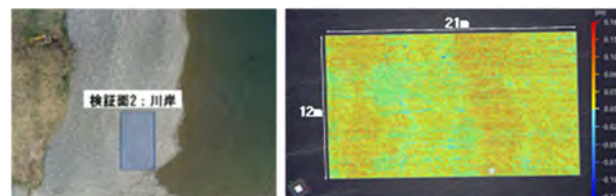


図-8 標高差分の検証面とヒートマップ(川岸)



図-9 VRS-GNSS 計測状況

##### ②標高精度と水深の相関関係

GNSS 計測時に同地点を棒スケールで計測した水深の実測値と、①の検証で算出した標高精度の関係をプロットし、水深によってグリーンレーザ点群の精度に影響があるか検証を行った。

## 4. 実験結果

### 4.1 陸域におけるグリーンレーザ計測精度

#### ①検証点の座標精度

検証点座標の精度検証結果を表-3に示す。グリーンレーザの座標精度は近赤外レーザと同様に i-Construction の出来形管理基準(±0.05m)を満足することを確認した。

#### ②任意面の標高精度

各メッシュの標高較差の平均値の結果は表-4に示す通りであり、堰本体のようなコンクリートで被覆された面と、川岸の砂利で不陸がある面のいずれも出来形管理基準(±0.05m)を満足することが確認できた。

### 4.2 水域におけるグリーンレーザ計測精度

#### ①グリーンレーザ点群の標高精度

計測回ごとの上流部、下流部それぞれの計測点におけるグリーンレーザ点群とGNSS計測の標高

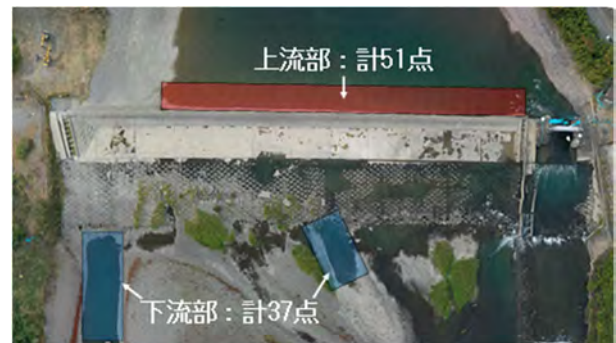


図-10 水域の標高精度検証位置

表-3 陸域の検証点精度の結果

(m)	グリーンレーザ1回目			グリーンレーザ2回目		
	X	Y	Z	X	Y	Z
平均	0.011	0.007	0.032	0.015	0.031	0.010
標準偏差	0.010	0.005	0.019	0.011	0.017	0.011
(m)	グリーンレーザ3回目			近赤外レーザ		
	X	Y	Z	X	Y	Z
平均	0.010	0.014	0.032	0.018	0.007	0.013
標準偏差	0.009	0.010	0.011	0.014	0.007	0.012

表-4 陸域任意面の標高精度の結果

(m)	堰本体1回目	堰本体2回目	堰本体3回目
平均	-0.001	0.023	0.047
標準偏差	0.024	0.012	0.015
最大	0.167	0.187	0.113
最小	-0.126	-0.040	-0.019
(m)	川岸1回目	川岸2回目	川岸3回目
平均	0.020	0.008	-0.021
標準偏差	0.014	0.022	0.017
最大	0.078	0.143	0.050
最小	-0.062	-0.088	-0.148

較差の平均値、標準偏差、最大値、最小値を整理したものを表-5に示す。

上流部、下流部ともに標高較差の平均値は、i-Constructionの起工測量の要求精度 $\pm 0.1\text{m}$ 以内を満足する一方で、出来形測量の管理基準 $\pm 0.05\text{m}$ は一部満足しない結果となった。これは、水域での計測ではレーザー光の屈折や散乱の影響があることや、水中の物質によるノイズの増加が要因として考えられる<sup>6)</sup>。

## ② 標高精度と水深の相関関係

計3回の計測で取得した標高較差の全計測点データとその水深の関係を図-11に示す。計測点の中で最大水深は1.1m、最小水深は0.03mであった。この範囲内において水深が増加することによる標高精度の変化については、図中の線形近似直線が示すように相関関係はみられない結果となった。

## 5. まとめ

本実験で実施した陸域および水域でのグリーンレーザの精度検証結果を以下にまとめる。

### 1) 陸域におけるグリーンレーザ計測精度

検証点の座標精度と任意面の標高精度の双方でi-Constructionの出来形測量に適用可能な精度を有することを確認した。また、砂利のような不陸のある場所であっても近赤外レーザと同様の精度で計測可能であったことから、土工事など地形データとして利用できることがわかった。

### 2) 水域におけるグリーンレーザ計測精度

今回のような水深1m程度の透明度の高い河川において、取得した河床点群データの標高精度が、i-Constructionの起工測量管理基準 $\pm 0.1\text{mm}$ に近い水準の精度を示したことから、UAVグリーンレーザ計測の河川工事への適用性を確認することができた。また、水深1mの範囲内であれば、標高精度に対する水深の影響を考慮する必要がないことも確認できた。

以上の結果から水深1m程度の条件において、UAVグリーンレーザ計測で取得した陸域と水域が一体となった地形データは、i-Constructionの起工測量に適用可能な精度を有することを確認した。また、白波などで荒れた状態の水面では、その直下の地形を計測できないことも確認した。

一方で今回の対象河川は水深が浅く透明度が高いという好条件な現場であったため、今後は異なる現場条件での更なる追加検証を行うとともに、河川工事やダム工事などの具体的な現場施工管理の導入へ繋げていきたい。

表-5 水域の標高精度の結果

(m)	グリーンレーザ1回目		グリーンレーザ2回目		グリーンレーザ3回目	
	上流部	下流部	上流部	下流部	上流部	下流部
平均値	-0.049	-0.038	-0.069	-0.068	-0.024	-0.054
標準偏差	0.038	0.043	0.053	0.072	0.030	0.097
最大値	0.031	0.057	0.043	0.113	0.054	0.129
最小値	-0.121	-0.174	-0.231	-0.312	-0.095	-0.387

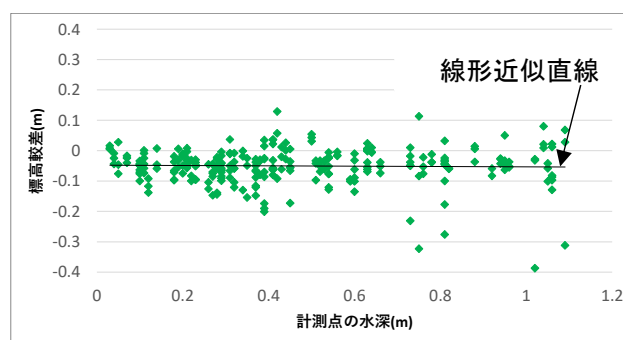


図-11 水域の標高精度と水深の関係

## 参考文献

- 1) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案) R3.3
- 2) 国土交通省：「陸上・水中レーザドローン」現場実装へ H 31.2 <https://www.mlit.go.jp/common/001271580.pdf> (Accessed 2022.3.28)
- 3) 中村圭吾, 福岡浩史, 小川善史, 山本一浩：グリーンレーザ (ALB) による河川測量とその活用, RIVER FRONT Vol.84, pp.16-19, 2017.3
- 4) 日本測量調査技術協会ALBサブワーキング：「ALBの安全対策とフットプリントの影響について」 H 30.2 [https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/lp\\_kentoukai/dai02kai/dai02kai\\_siryous3.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/lp_kentoukai/dai02kai/dai02kai_siryous3.pdf) (Accessed 2022.8.4)
- 5) (株) ビジュアル・システムズHP：  
<https://visualsystems.jp/sensing/astraliteedgelidar.html> (Accessed 2022.3.28)
- 6) 堺 浩一： UAV グリーンレーザ計測による河川管理の適用検討, 岡山大学大学院環境生命科学研究科博士論文, 2022.3
- 7) 黒台昌弘, 澤城光二郎, 荻山直将, 小松良光： UAV グリーンレーザの陸域部における計測精度検証, 土木学会第77回年次学術講演会 2022.9 発表予定
- 8) 澤城光二郎, 黒台昌弘, 荻山直将, 小松良光：河川工事の水域部におけるUAVグリーンレーザ計測の精度検証, 土木学会第77回年次学術講演会 2022.9発表予定