

三次元点群データの 作成・利用方法の紹介

株式会社 富士和 青島孝幸

目次

- ◇ 三次元点群データとは、触るようになったきっかけ など
- ◇ 事例紹介
- ◇ 点群作成方法の種類、原理、特徴など
- ◇ 弊社での具体的な点群データ作成・利用の手順

三次元点群データとは？

◇ 三次元点群データ

- ・ 物体の形状や地形を、(三次元座標を持つ)多数の点の集合として表したもの
- ・ 本稿では、地形の三次元点群データを扱う

◇ 点群データの利用

- ・ 地形の確認 (点が密であれば微地形も確認可能)
- ・ 地形変化の確認 (崩壊・地すべり・人工地形改変など)
崩壊の範囲・深さ、崩壊土量の算出なども可能
- ・ 平面図(等高線)、断面図の作成
- ・ 関係者への説明 (視覚で捉えられるので、理解を得やすい)

点群を触るようになったきっかけ

- ◇ 業務で偶々、UAV写真点群測量を実施することになった
 - 「点群」というものの存在は知っていたが、触ってみて実感したことが多い
- ◇ 静岡県が、全県分の点群データを公開している
 - ・ VIRTUAL SHIZUOKA 静岡県点群データを CC BY/ObDLデュアルライセンスとして公開
([https://www.geospatial.jp/ckan/organization/shizuokapref/...](https://www.geospatial.jp/ckan/organization/shizuokapref/))
 - ・ 中・西部、富士山および静岡東部、富士山南東部・伊豆東部、富士山南東部・伊豆全域、伊豆西部、北部(南アルプス) に分かれている

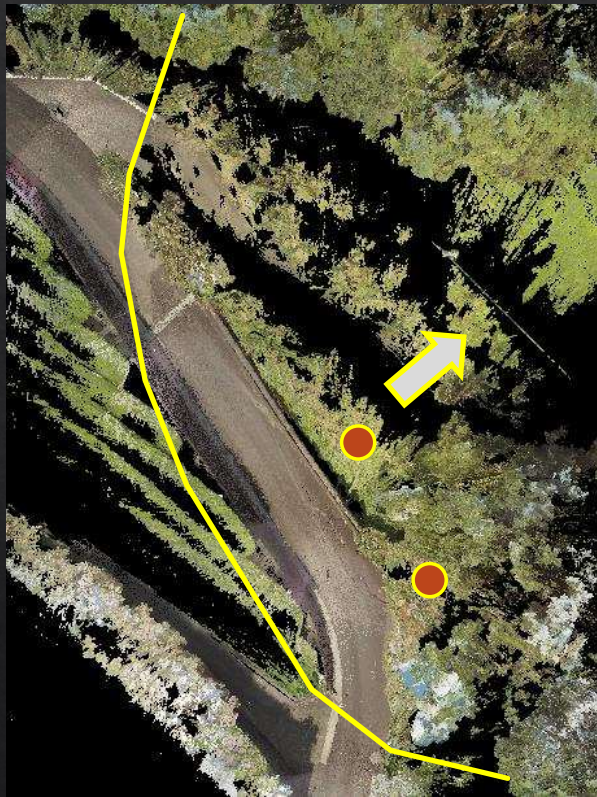
⇒自分たちでも扱えるかも？

事例紹介

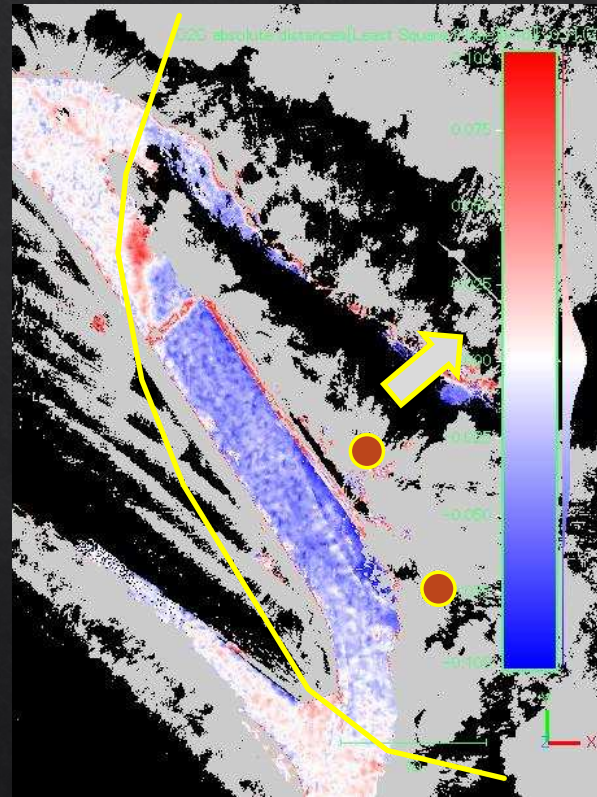
- ◇ 静岡県志太榛原農林事務所所管の農地地すべり「松島地区」
- ◇ ブロック頭部を道路が横断しており、道路の沈下が目に見えて分かる。
- ◇ 比較的大きな移動量(20~40mm/年)を示していた → 地すべり対策により移動量は減少。
- ◇ いくつかの時期に取得した点群の差分解析により、道路面の沈下程度を平面的に確認した。



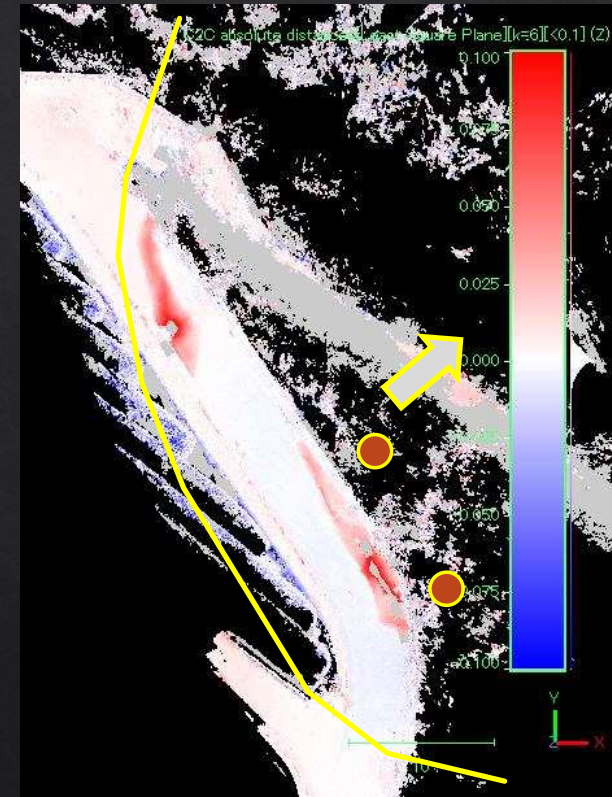
事例紹介



点群のRGB表示
(R7.5データ)



R3.11~R6.10
高さ変化量

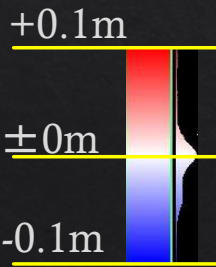


R6.10~R7.5
高さ変化量

● 観測孔



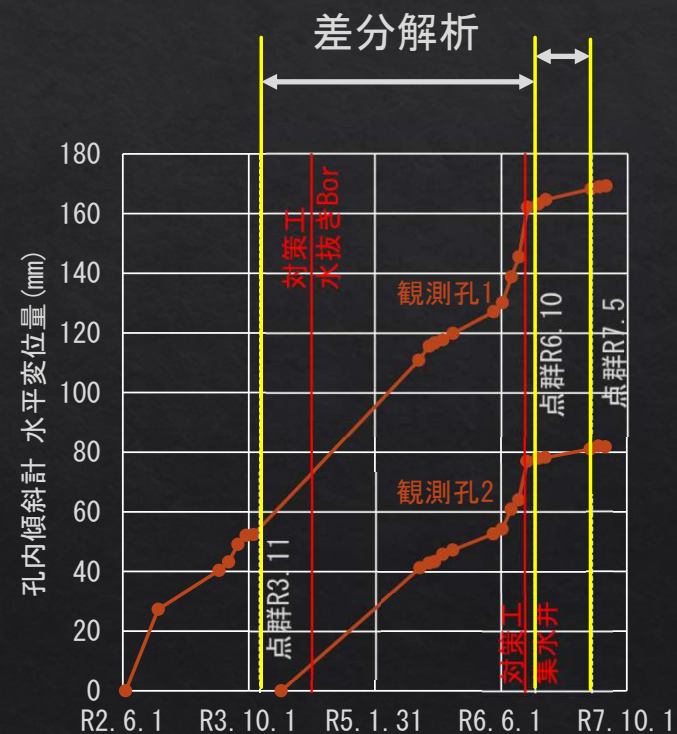
ブロック
境界と
移動方向



高さ変化量の
スケールと
ヒストグラム

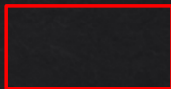
事例紹介

- ◇ 右図は、観測孔における孔内傾斜計水平変位量。
- ◇ 複数時期に取得した点群の差分解析による沈下と孔内傾斜計変位量は傾向として一致している。
- ◇ 点群を用いることで、平面的な移動状況を確認できる。



点群作成方法の種類

機器運搬手段 計測手段	地上で		空中から	
	固定式	車or人	UAV	航空機
レーザ測量	地上レーザ測量	(LidarSLAM)	UAVレーザ測量	航空レーザ測量
両者併用	—	車載写真 レーザ測量	—	—
写真点群測量 (フォトグラメトリ)	—	(地上写真測量)	UAV 写真点群測量	—

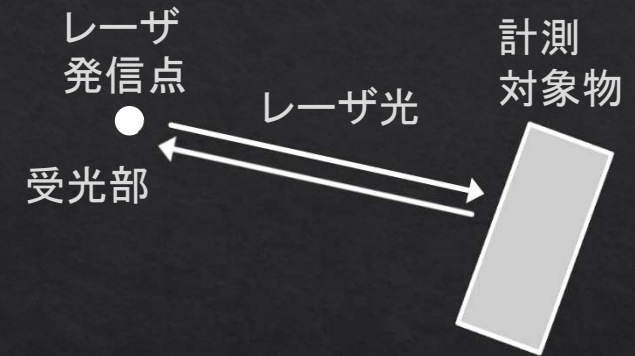


……弊社で利用したことがある方法

※名称は作業規定の準則によるが、()内は準則規定以外のもの

レーザ測量の計測原理

- ◇ 以下の情報により計測対象物の位置を特定
 - ・ レーザ発信点座標
 - ・ レーザ発射方向
 - ・ 発信～受光時間による測距
- ◇ レーザ発射方向を随時回転させながら、全周の点を計測していく
- ◇ 発振点及び発射方向は、各々の計測方法で、異なる方法により確定(推定)する



レーザ測量の計測原理

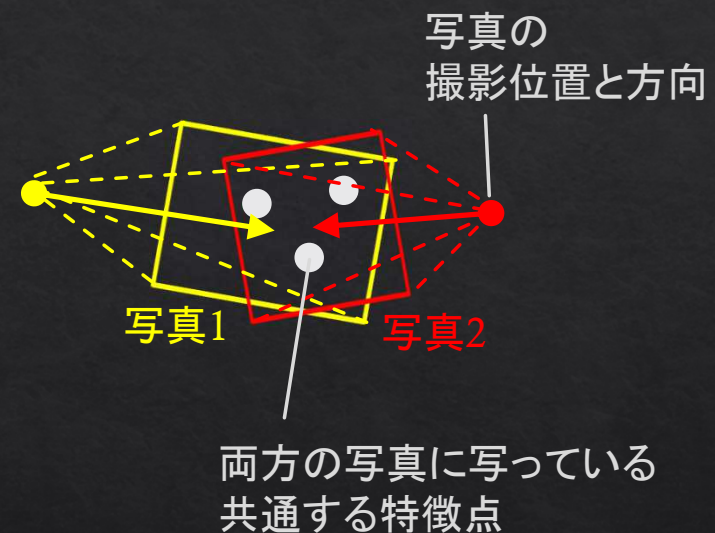
レーザ 発信器	・レーザ発信器＋ミラー等のレーザ偏光器を組み合わせ、発射方向を随時変化させながら、測距記録及び自身を基準とした相対発射方向の記録を採る装置
地上レーザ 測量	・機器を設置した固定1点からの相対位置(発射方向+距離)を、全周に対して記録、 という作業を複数の地点で実施 ・複数地点から得た各点群を、同じ点が重なるように合成 (ここまでは相対位置) ・全体の座標は、座標既知点(標定点)に置いたターゲットにより設定
UAVレーザ/ 航空レーザ 測量	・GNSS測量でリアルタイムに航空機の位置座標を計測 ・IMU(慣性航法装置)により航空機の姿勢を計測 ・GNSS/IMUを組み合わせ、レーザ発信器の位置座標と姿勢を特定 ・レーザ発信器の発射方向と測距を合わせて、計測地点座標を特定 (絶対座標)
LidarSLAM	・機器を人などが持ち移動しながら、随時全周の点の相対位置を記録 ・IMUにより機器の姿勢を記録 ・取得した点群の特徴点を検出し、IMUデータを加えて、機器の相対位置を特定 ・全体の座標は、座標既知点(標定点)に置いたターゲット等により設定

※特徴点: 点群の角などの、周囲の点と容易に区別できる点

写真点群測量(フォトグラメトリ)の原理

- ◇ 撮影した各写真について、特徴点を抽出する
- ◇ 写真間で共通する特徴点を複数見出し、その位置関係より当該写真の相対的な撮影位置及び方向を特定する(SfM)
 - ・ レンズの歪み等のパラメータを同時に推定する
 - ・ この時点で特徴点のみの粗な点群が生成される
- ◇ 各写真の全ピクセルについて、撮影位置からの距離を算出し、この情報を基に高密度の点群データを作成する (MVS、同じ点を撮影した複数写真のデータから点の推定精度が計算できる)

※スケールは算出できない(写真位置等が相似であれば同様に成立する)ため、基準点等によるスケールあわせが必要



※特徴点:ピクセルの色の境界など、周囲の点と容易に区別できる点

レーザ測量の特徴

- ◇ レーザが届けば(反射波が得られれば)計測可能、死角になるような場所は計測不可
- ◇ 計測時点でスケージングはできている
UAV/航空レーザ測量では計測データで座標まで設定される
- ◇ 写真点群測量よりは、草地等の植生であっても適用できる可能性がある
- ◇ レーザでは色情報を取得できないので、別途カメラが内蔵されていて色情報を補完するシステムが多い（写真点群測量と比べて色情報が弱い）
- ◇ レーザ測量機、UAV・航空機+GNSS/IMU、それらの機器とセットになった解析ソフトウェアといったものが必要であり、初期費用が高額になりやすい
- ◇ 地上レーザは、地表面へのレーザ入射角が小さくなりやすく、カタログスペックより計測できる範囲は小さくなる（建物などの垂直面は捉えやすい）
- ◇ 地上レーザでは、地点毎の点群を重ねるためには、別途マーカなどがあった方が良い
- ◇ 計測距離が大きくなるほど、計測できる点密度が低くなる

写真点群測量の特徴

- ◇ 点群の色を写真から取得できる
写真からテクスチャデータを作成可能
- ◇ 最低限、カメラと解析ソフトウェアがあれば実施可能であり、初期費用が安価
(UAVの場合も、レーザ用と比べて装備が少ないため、より安価な製品でも可)
解析ソフトウェアは無料のOSS(オープンソースソフトウェア)も利用可能
- ◇ 解析を行うコンピュータは、規模に応じて一定の能力が要求される
(フォトグラメトリは計算量が多い、計算能力と計算にかかる時間とのトレードオフ)
- ◇ 精度を求める場合、写真の撮影方法には工夫が必要 (特に地上点群測量では)
- ◇ レーザ測量と比べて草地等での適用性は低い
(同じ点を複数の画角で捉える必要があるため)
- ◇ 写真点群にはスケールがないため、別途のスケーリングが必要

計測位置（地上で・空中から）の違い

地上で

- ◇ 立木があっても地表データが得られやすい（幹・枝の間をレーザや視線が通るのなら）
- ◇ 局所的に詳細なデータを得ることも可能
- ◇ 測量面積に応じて計測時間がかかる
- ◇ UAVや航空機が必要ない分、機器が安価

空中から

- ◇ より広範囲の測量を素早く行える
- ◇ 上空視界がない部分は適用困難
- ◇ UAVや航空機が必要

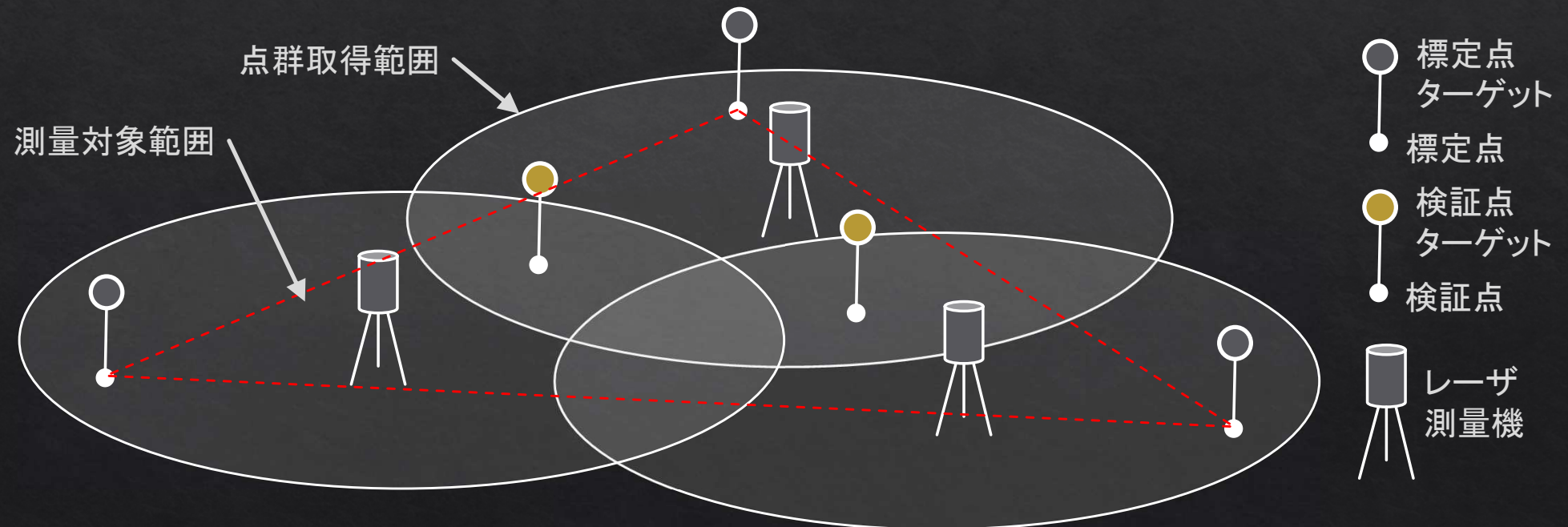
各方法の実施手順概要

方法	地上レーザー測量	UAV写真点群測量	手持ちカメラ写真点群測量
準拠する規定	地上レーザ測量システムを用いた三次元点群合成マニュアル(国土地理院)	作業規定の準則 第4編第4章	公的規定なし (写真点群測量の方法等を参照)
事前準備	計測計画を策定(計測範囲、基準点配置、計測地点・計測ルート選定等) 基準点(標定点及び検証点)を設置(座標を設定)		
現地計測準備	基準点にターゲットを設置	基準点に対空標識を設置	基準点周りに特徴点となるものを追加
	計測点毎の点群を合成するためのターゲットを設置	必要に応じて全体に特徴点となるものを追加	
計測実施	各計測地点でレーザー測量を実施	UAVを計画ルートで飛行させながら空中写真を撮影	計測範囲を歩いて様々な角度から写真撮影を実施
点群データ作成	専用ソフトウェアでPCに計測データを吸い出し	撮影した写真をPCへ吸い出し	
	ソフト上で各計測地点の点群データの相対位置合わせ実施	フォトグラメトリソフトウェアで写真から点群データを作成	
点群の座標合わせ	ソフト上で標定点座標を点群全体に適用	点群表示編集ソフトウェアに作成した点群データを読み込む	
		ソフトで標定点座標を点群に適用	
グランドデータ作成	点群表示編集ソフトウェアへ点群データ読み込み ソフトの機能でグランドデータを作成		
点群利用	微地形把握、地形断面作成、複数点群の比較による変動解析(差分解析)、等を利用		

地上レーザ測量の実施方法

◇ 地上レーザ測量システムを用いた三次元点群合成マニュアル

- ・座標不定地点からレーザ測量機で点群を計測し、各地点の点群が整合的に重なるように合成、合成点群に標定点で座標を与え、検証点にて合成精度を確認する、という方法。



※作業規定の準則 第4編第2章にも規定があるが、こちらは座標確定地点からレーザ測量機で点群を計測し、各計測で点群座標を確定させ、それを単純に足し合わせて作成する方法。

地上レーザ測量の実施方法

◇ 弊社使用機材

レーザ測量機
操作用タブレット



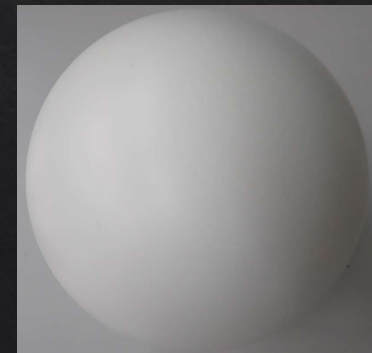
レーザ測量機スペック

機器	Leica BLK360 G1
レーザ	
スキャン範囲	水平360° / 鉛直300°
測定範囲	0.6～60m
測距精度	4mm@10m / 7mm@20m
点密度	最大5mm@10m
カメラ	
撮影範囲	水平360° / 鉛直300°
画素数	15M

レーザターゲット



白黒
ターゲット



球形
ターゲット

地上レーザー測量の実施方法

◇ 計測計画

- ・計測範囲はどこまでか
 - ・標定点の設置位置はどこがいいか
 - ・検証点の設置位置はどこがいいか
 - ・レーザー測量機の計測地点はどこがいいか
- 
- ・計測地点から標定点・検証点の 見通しがあるか
 - ・レーザーが届くか
 - ・計測点群の重なりは十分か

◇ 基準点(標定点・検証点)設置

- ・杭や金属標を設置
 - ・GNSS/TS等で座標/標高を与える (この作業は点群計測と前後しても良い)
 - ※グローバルな座標値を与えた方が、後の利用にとって良い
- 微地形を確認するといった目的では、座標がなくて良い、ということもある

地上レーザ測量の実施方法

◇ 現地計測準備

- ・標定点/検証点にターゲットを設置(ターゲット設置高を記録)
- ・補助ターゲットを設置

補助ターゲット:

各計測地点の点群を合成する段階において、ソフトウェア上での合成作業を容易にするために、補助的に設置するターゲット。補助ターゲットに座標は設定しない。

地形を対象とした計測の場合、合成の際にソフトウェアが識別できる目標物が少ないことが多く、自動的な位置合わせに失敗することが多かった。このため、隣接する計測地点から共通して見通せるターゲットを3点確保することにより、ターゲットを利用した相対位置合わせが確実にできるようにして、後段の作業を楽にしたもの。

※正規のターゲット製品はかなり高額なため、安価な代用品を使用している。

地上レーザ測量の実施方法

◇ 現地計測

- ・計測地点にレーザ測量機をセットし、計測を実施する。
- ・順次、地点を移動しながら計測を繰り返す。
- ・必要に応じて、補助ターゲットを移動させる。
- ・白黒ターゲットを利用する場合は、レーザ測量機に正対させて計測する。
- ・レーザ測量機の計測は、全周のカメラ写真撮影→レーザ測距の順で進む。
- ・点の色は写真から与えられるが、写真撮影とレーザ測距のタイミングが違うので、移動物があると点の色がおかしくなる。計測者等はできるだけ映り込まないようにする。
- ・タブレットで計測をした範囲等を確認できるので、適宜計画と齟齬がないか確認する。
- ・夏期作業では、制御に使用しているタブレットが容易に発熱して停止してしまうので、日射を避ける、クーラーBOXを用意する、などが必要。

地上レーザ測量の実施方法

◇ 点群データ作成

- ・専用ソフトウェアで実施する。(弊社利用: Leica Cyclone Register 360)
- ・計測データを機器固有のデータ形式で保持していると思われ、機種・メーカを問わず汎用的に利用できるようなソフトウェアはおそらく存在しないのではないかと推測する。
- ・計測データをソフトウェアで取り込む。
- ・各ターゲットの識別/ラベリングを行う。
(自動識別機能もあるが、精度はあまり高くない。人による確認・修正が必要。)
- ・ソフトウェアアルゴリズムによって、各計測地点の点群を合成する(位置合わせを行う)。

※白黒ターゲット・球形ターゲットの特性

- ・一般的には、白黒ターゲットの方が精度が高いとされる。
- ・白黒ターゲットは、計測時に正対させる必要があり、一手間ある。
また、ターゲットの大きさに対して距離が離れると、ターゲット中心が識別しにくくなる。
- ・球形ターゲットは、全周から同様に計測できるため、計測時の手間が少ない。
一方で、識別したターゲット位置が合っているのか否かを判断しにくい。

地上レーザ測量の実施方法

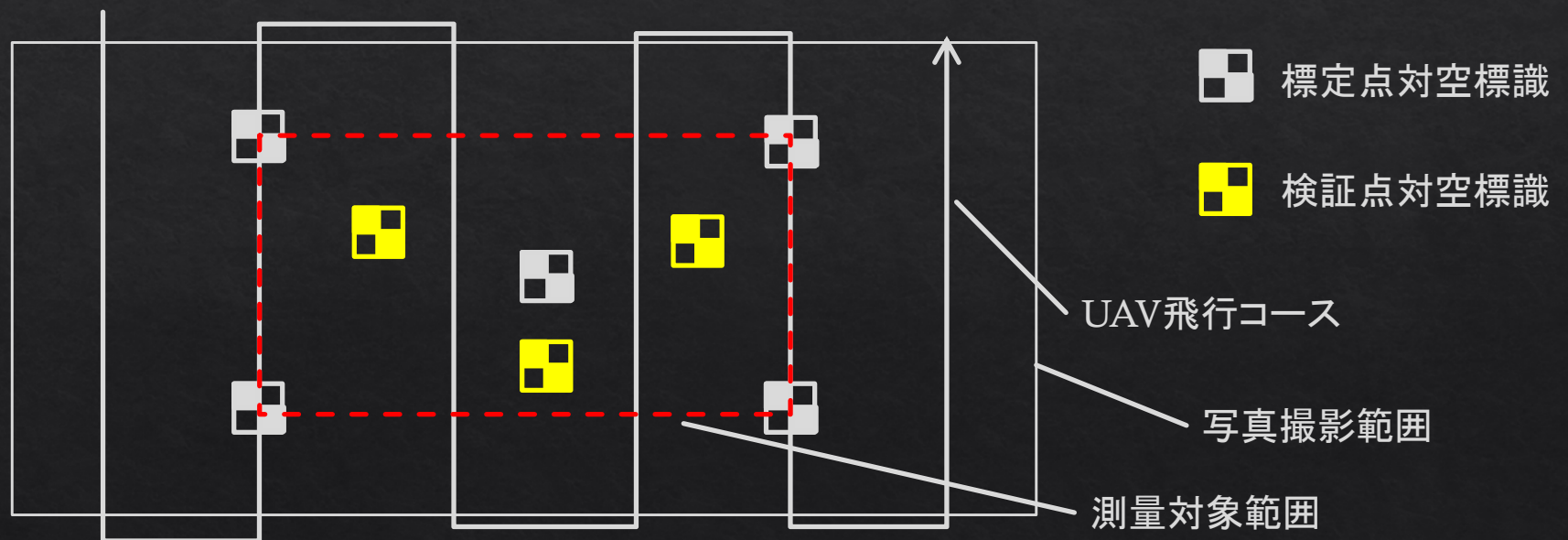
◇ 点群の座標合わせ

- ・ソフトウェアに標定点座標(標高はターゲット高さを加算)を取り込み、標定点ターゲットにその座標を適用し、点群全体に座標を設定する。
※この作業前は、ソフトウェア内部的に相対的な座標が与えられている。
- ・計測誤差や合成誤差により、計測したターゲット位置と標定点座標は完全には一致しないので、最小二乗的な適用がなされる。
この誤差が適当な範囲内に収まっているのか確認する。
- ・合わせて、検証点ターゲット座標と検証点の座標との誤差が、適当な範囲内に収まっているのか確認する。
- ・これらの確認により、計測～合成の作業が正しく行われたことが証明される。

UAV写真点群測量の実施方法

◇ 作業規定の準則 第4編第4章

- ・空中から一定の密度で地上を見下ろす写真を撮り、それらを基に点群を構成する方法。



UAV写真点群測量の実施方法

◇ 弊社使用機材

UAV, 着陸パッド,
コントローラ, 対空標識

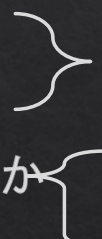


機器スペック

機器	DJI Mavic 3 Pro
重量	958g
最大飛行時間	約40分
カメラ	
視野角	84°
画素数	20M
焦点距離 (35mmカメラ換算)	24mm
開放F値	2.8

UAV写真点群測量の実施方法

◇ 計測計画

- ・計測範囲はどこまでか
 - ・標定点の設置位置はどこがいいか
 - ・検証点の設置位置はどこがいいか
 - ・UAVの飛行コース/高度はどうするか
- 
- ・標定点/検証点は上空視界が確保できるか
 - ・対空標識を設置できる箇所か
 - ・搭載カメラの1画素当たりの実寸法は適切か
 - ・写真の重なりは十分か

※場合によっては、事前にテスト飛行を行って確認する

◇ 基準点(標定点・検証点)設置

- ・杭や金属標を設置
- ・GNSS/TS等で座標/標高を与える

UAV写真点群測量の実施方法

◇ 現地計測準備

- ・UAVの飛行計画の届出等必要な手続きを行う
- ・標定点/検証点に対空標識を設置

◇ 現地計測

- ・UAVの飛行ルートを設定
- ・飛行ルートに沿って写真を撮影しながら飛行させる
- ・日向/日陰のコントラストが大きいと写真の白飛びが発生するので、曇りの方が好ましい
- ・風が強いと飛行姿勢が安定しないので、機体の能力を把握しておく
- ・地盤に正対した写真だけではなく、斜め方向の写真を混ぜると点群の精度を確保しやすい
- ・写真はJPEGではなく、RAWでの保存を推奨

UAV写真点群測量の実施方法

◇ 点群データ作成

- ・フォトグラメトリソフトで実施する。(弊社利用: Agisoft Metashape Standard版)
- ※色々なソフトウェアがある。無料で利用できるものもある。(Colmap, Meshroomなど)
- ・PCに写真を取り込む。RAW(.dng)又はロスレスTIFFが良い。
JPEGは点群作成においてノイズを生じる可能性がある。
- ・ボケた写真は精度を低下させるので、チェックして必要に応じて取り除く。
(Metashapeには写真品質を数値で評価する仕組みがある。)
- ・SfMによるカメラパラメータ/写真撮影位置・方向の推定、及び粗な点群を作成する。
- ・粗な点群の精度を点検し、精度の低い点は取り除く処理を行う。
- ・MVSにより密な点群を作成する。
- ・必要に応じてモデル(メッシュ)やテクスチャを生成する。

UAV写真点群測量の実施方法

◇ 点群の座標合わせ

- ・作成した点群データを、点群表示編集ソフトに読み込む。(弊社利用:CloudCompare)
- ※CloudCompare:GNU General Public License (GPL) 2.0のもとで配布されており、商用利用や教育目的を含むあらゆる目的で自由に使用できるオープンソースソフトウェア。
- ・CloudCompare上で標定点対空標識の座標を読み取る。
- ・CloudCompareに標定点座標を読み込む。
- ・両者の位置合わせ処理により、点群に座標を設定する。
- ・位置合わせ後の対空標識座標と検証点座標との誤差が、適当な範囲内に収まっているのか確認する。
- ・合わせて、検証点对空標識の座標を読み取り、それらと検証点座標との誤差が、適当な範囲内に収まっているのか確認する。
- ・これらの確認により、計測～合成の作業が正しく行われたことが証明される。

手持ちカメラ写真点群測量の実施方法

- ◇ 原理的にはUAV写真点群測量と同じ、写真の撮影方法が異なる
- ◇ 使用機材：ほとんどデジタルカメラのみ

	OLYMPUS TG-6	RICOH GR IIIx
外観		
センサー	1/2.33インチ	APS-C
画素数	12M	24M
焦点距離 (35mmカメラ換算)	25～100mm (ズーム1～4倍)	40mm (単焦点レンズ)
開放F値	W2.0～T4.9	2.8

手持ちカメラ写真点群測量の実施方法

◇ 実施方法

- ・基本的にはUAV写真点群測量と同じ
- ・人が移動できる範囲からの写真しか撮影できない。写真1枚でカバーできる範囲がUAVと比べてかなり狭いので、広い範囲には向かない。
- ・全体を均一な密度で撮影するのは困難で、測量の精度管理という点では難がある。
- ・標定点/検証点に特別なターゲットを置かなくても、直接写真に撮って識別することも可能。
- ・(右写真のように)白飛びの有無を確認しながら撮影できるので、コントラストがある場面でも、写真品質を制御しながら撮影することも可能。



白飛び範囲が赤く表示されている

CloudCompareで出来ること

CloudCompare: GNU General Public License (GPL) 2.0のもとで配布されている点群表示・編集用のオープンソースソフトウェアで、商用利用や教育目的を含むあらゆる目的で自由可以使用

- ◇ 標定点への位置合わせ(座標設定)
 - ◇ グラウンドデータの作成
(CSF Filter、ノイズフィルター、SORフィルター、グリッド内最低点抽出、目視による手動除去)
 - ◇ メッシュデータ作成
 - ◇ 地形確認
 - ◇ 等高線データ作成
 - ◇ 断面データ作成
 - ◇ 異なる時期の点群同士の差分解析
- などなど、様々なことが可能

ソフトウェア操作の実演

- ◇ Metashapeによるフォトグラメトリ
- ◇ CloudCompareによる
 - ・ 地形確認
 - ・ 差分解析

点群処理に使用するコンピュータ等の環境

- ◇ 点群ファイルはサイズが大きくなりがち(GB単位)。
 - ・ 大きなファイルをメモリ上に読み込む必要があるため、メモリ容量が絶対的に必要。
 - ・ 実際の点群処理においては、点数を減らしたファイルで扱うことも多いが、作成後の生データを一度は開く必要がある。
 - ・ メモリ64GBでも不足するケースがあった。
- ◇ CloudCompareで点群の表示だけではなく、編集処理を行う場合は、多コアCPU＋一定の能力を持つGPU(Graphics Processing Unit)が必要。
- ◇ 写真点群を作成する場合は、CPUパワーに加えて、特定の処理を加速するため、追加のグラフィックカード(dGPU)を搭載することがほぼ必須。
 - ・ CPUのみの処理では、処理時間が大幅に長くなる。
 - ・ プログレードGPUである必要はないが、VRAM(Video Memory)はある程度必要。
- ◇ 写真・点群データの保存のため、大容量ストレージが必要。
 - ・ 一般的なPCのストレージ(～2TB SSD)は、簡単に埋まる。

以上で発表を終わります。
ご清聴ありがとうございました。