



汎用型UAVを用いた港湾構造物の出来形計測

2025年 3月

一般社団法人 海洋調査協会

説明にあたっての注意事項

※ 以降の説明は、現時点での「汎用型UAVを用いた港湾構造物の出来形計測」の利用についての一例を示したものであり、**使用する機器やソフトウェアの作成方法等を規定するものではありません。**

目次

- 1. 汎用型UAVを用いたUAV写真測量の概要**
- 2. UAV写真測量の作業手順**

目次

1. 汎用型UAVを用いたUAV写真測量の概要

2. UAV写真測量の作業手順

港湾における汎用型UAVの利用に係る施策

- 現在、国土交通省港湾局の「中小企業向けICT活用施工管理モデル工事」においては、**ICT機器を活用した出来高計測や起工測量等で使用する機器の1つとして汎用型UAVの活用**があげられている。
- また、ブロック据付工においては、R5年度からUAV測量による出来形管理・維持管理・災害対応の効率化について検討され「**ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)**」が公開され活用が推進されている。

(2) ICTブロック据付工(消波ブロック) UAVによる出来形管理の検討

国土交通省

- 令和5年度から、UAV測量を用いて消波工の出来形管理・維持管理・災害対応の効率化について検討するための現地試験を実施し、適用性の検証および格子代表値を利用した評価手法を検討。
- 本年度は、UAV測量の計測値より作成した3次元面データ(TIN)を利用した評価手法を検討し、現地試験の検証結果をふまえ、要領案作成の検討を行う。

■ 要領案の導入による生産性向上のイメージ

The diagram illustrates the process flow:

- Measurement: Shows a flowchart from '測量' (Measurement) to '設計・施工計画' (Design and Construction Plan), then to '施工・出来形計測' (Construction and Outcomes Measurement), followed by '検査' (Inspection) and '維持管理' (Maintenance Management).
- Design and Construction Plan: Shows the use of 'ICTを活用した施工' (Utilizing ICT for construction) to achieve '施工所の可視化' (Visualize construction site).
- Construction and Outcomes Measurement: Shows the use of '3次元データによる完成形状の把握' (Obtaining completed shape using 3D data) to achieve '施工所の可視化'.
- Inspection and Maintenance Management: Shows the use of '3次元データを活用した検査' (Using 3D data for inspection) to achieve '災害対応の効率化' (Efficient disaster response).

スケジュール(想定) ~R3年度 R4年度 R5年度 R6年度 R7年度 R8年度以降

スケジュール(想定)	~R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度	R8年度以降
ICTブロック据付工	試行工事 (完成形状把握のための3次元測量)		出来形管理 要領の作成	試行工事 3次元出来形測量 3次元データを活用した検査		

(⑧ 中小企業向けICT活用施工管理モデル工事の実施 (2/2)

国土交通省

- ICT機器を活用した出来形計測や起工測量、配筋検査、材料検収等を実施するとともに、施工管理ソフトを用いた工事帳票の作成を行う。
- 使用するICT機器は、「汎用型UAV、LiDARスキャナ付モバイル端末、地上レーザスキャナ、配筋検査機器」を想定。
- 本モデル工事の試行にかかる費用については、積み上げ計上する。

■ モデル工事の実施内容

同一工事にて両方でも可
いざれかを選択

① A. 出来形計測でのICT機器の活用

(目的) 要領策定のための計測精度検証と、生産性向上効果の確認
⇒従来方法との計測結果の比較、生産性向上効果(時間短縮など)、ICT機器を用いた計測の課題抽出等のための調査を実施。【海上工事における各種要領・基準の適用可能性などを検証】

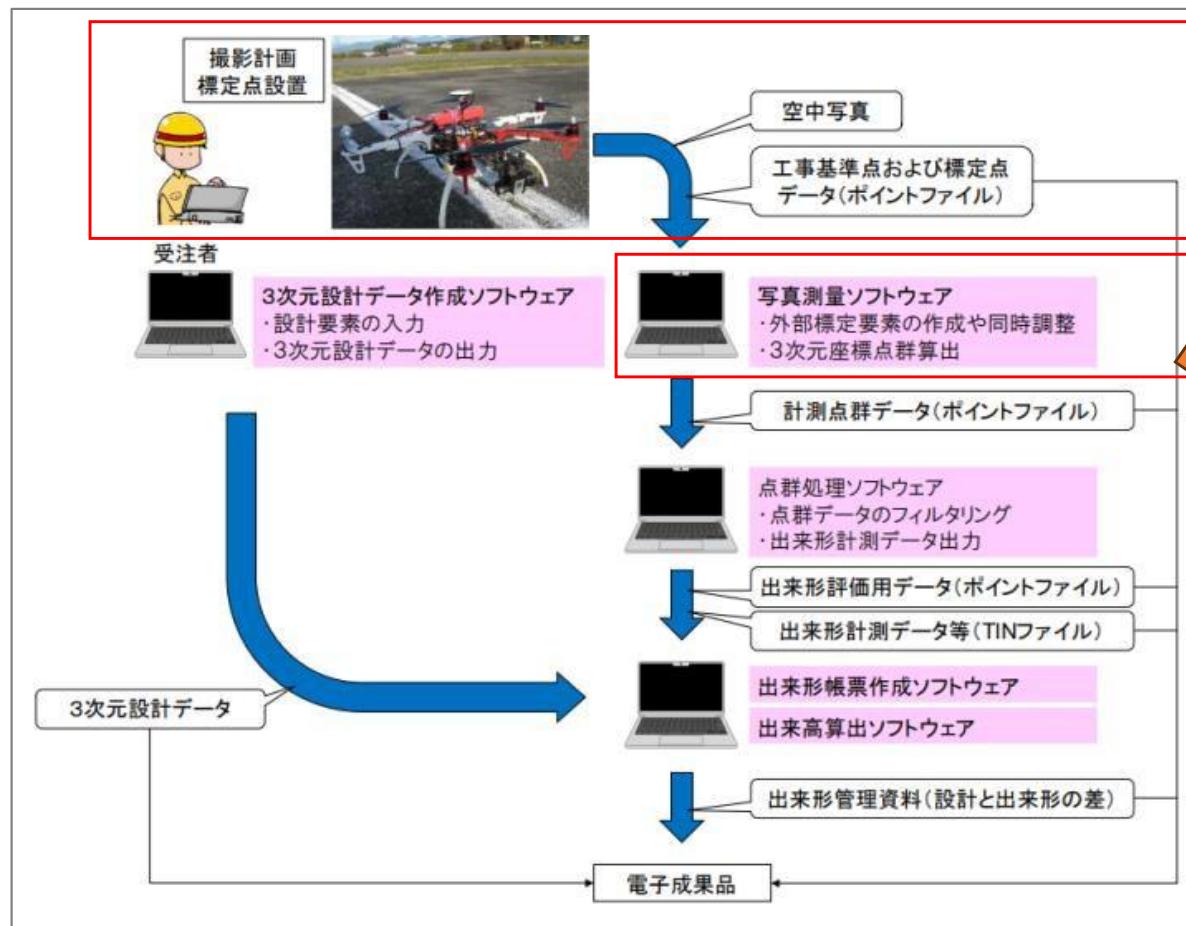
必須

② 施工管理システムによる帳票作成

(目的) 将來のデータ連携を見据えた施工管理システムの導入促進
(電子小黒板とのデータ連携が可能であり、他システムとの連携も検討中)
⇒施工管理システムを用いた工事帳票作成を行い、工事帳票作成時間の短縮効果を把握するための調査を実施。【導入を前提とした課題抽出】

UAV写真測量

- UAVによる写真測量は、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」に手順が示されている。
- ここでは、汎用型UAVによる3次元計測として、デジタルカメラ一体型の小型UAVを用いてデータ収集し、写真測量ソフトウェアを用いて、3次元点群を算出するパートを説明する。



引用 DJI社HPより



引用 PIX4D社HPより

引用 「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)R6.3.31改定」

汎用型UAV



マルチコプター	回転翼	固定翼
垂直離着陸 ホバリング可	垂直離着陸 ホバリング可	水平離着陸 広いエリアが必要 ホバリング不可
飛行速度 中速度	飛行速度 中速度	飛行速度 高速度 長距離飛行

小型機	産業機
カメラ一体型	多種センサ搭載
重量 1.4kg	重量 9.2kg 最大離陸重量
最大飛行時間 約30分	最大飛行時間 約30分 最大2.7kg搭載
サイズ 350mm(対角寸法)	サイズ 810x670x430mm

【注意】

- 無人航空機の情報通信機器としての性格を踏まえ、飛行・撮影情報の外部への漏洩といった、サイバーセキュリティ上の懸念について、十分な対応策を講じることが必要である。
- ✓ 業務委託した民間企業等が使用する無人航空機についても、取り扱う情報の機密性や業務の性質に応じて、以下に掲げるような情報流出防止策を講じる。
 - ア) インターネットへの接続については、ソフトウェアアップデート等に必要な最小限度とし、飛行中は接続しない。
 - イ) インターネットに接続する場合も、データが流出しないよう、撮影動画等のクラウドへの保存機能を停止する、機体内部や外部電磁的記録媒体に保存されている飛行記録データや撮影動画等を飛行終了後確實に消去するなどの措置を講じる。

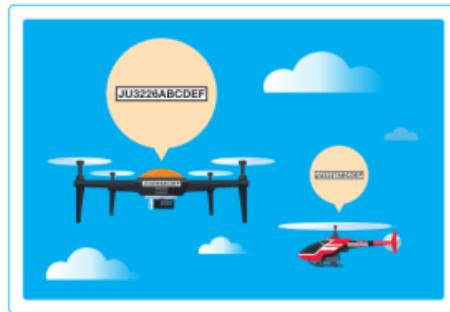


国産小型ドローン 蒼天

UAV運用に関する関係法令

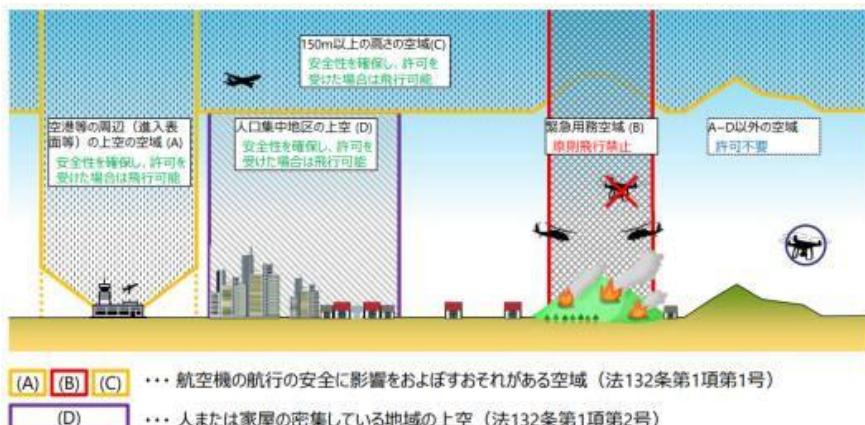
【無人航空機の登録を義務化】

- 100g以上の無人航空機は登録が必要
- 登録記号は無人航空機に鮮明に表示が必要
- リモートID機能を機体に備える必要



【飛行空域の確認】

- 特定飛行の空域は「空港等の周辺の上空の空域」「緊急用務空域」「150m以上の高さの空域」「人口集中地区の上空」である
- 加えて、小型無人機等飛行禁止法において、重要施設及びその周囲おおむね300mの周辺地域の上空の飛行が禁止されている



【飛行レベルの確認】

- レベル1は目視内での操縦飛行、レベル2は目視内での自立飛行、レベル3は無人地帯での目視外飛行、レベル4は有人地帯での目視外飛行を指す



【飛行方法の確認】

- 特定飛行の飛行方法は「夜間での飛行」「目視外での飛行」「人又は物件と距離を確保できない飛行」「催し場所上空での飛行」「危険物の輸送」「物件の投下」である



「無人航空機登録ポータルサイト」より引用

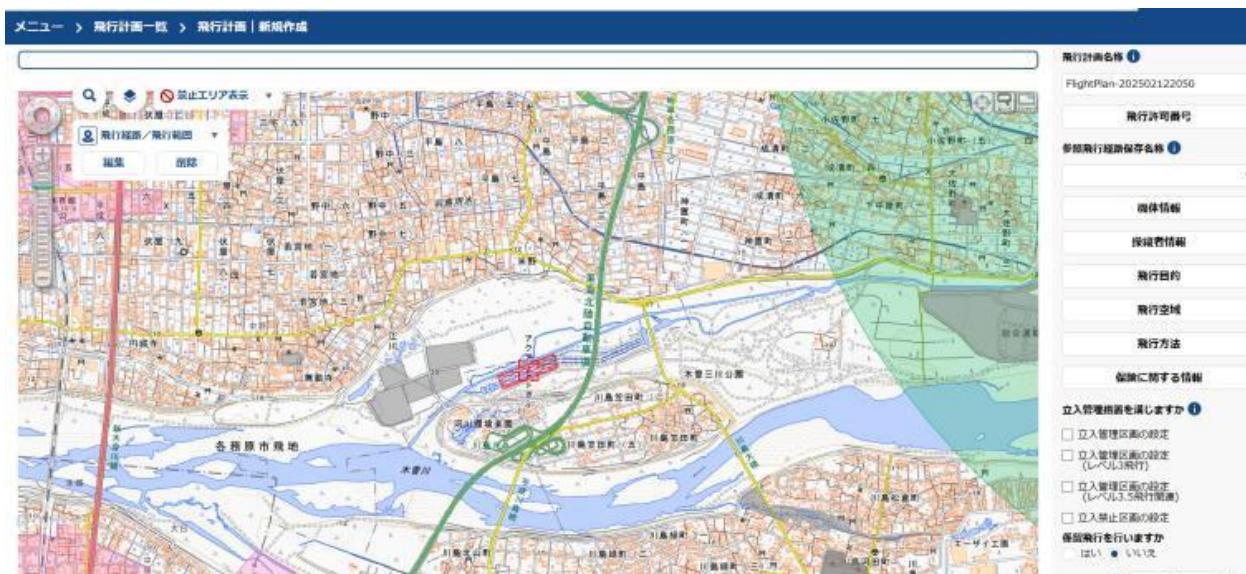
UAV運用に関する関係法令

ドローン情報基盤システム(DIPS2.0)

<https://www.ossportal.dips.mlit.go.jp/portal/top/>

国土交通省が提供するオンラインプラットフォームで、UAV(ドローン)の飛行に関する各種手続きを行うことができる

- 機体登録: 100g以上のドローンの登録手続きを行い、登録記号を発行する
- 飛行許可・承認申請: 特定飛行に関する許可や承認をオンラインで申請
- 飛行計画の通報・確認: 他の無人航空機の飛行計画や飛行禁止空域を確認し、自らの飛行計画を通報することができる
- その他、機体認証、技能証明の取得手続き、事故発生時の手続きができる



「ドローン情報基盤システム2.0」より引用

特定飛行を実施する場合の申請例

- 特定飛行を実施する場合は**飛行許可・承認申請**が必要
 - 申請は、航空局のドローン情報基盤システム2.0(DIPS2.0)より行う
 - 包括申請が認められている特定飛行では、1年間など、一定期間の申請をまとめて行うことができる
 - 申請には飛行マニュアルの作成が必要だが、航空局による標準マニュアルを使用することもできる

東空運航第41920号

無人航空機の飛行に係る承認書

株式会社バスコ

高橋 誠光 様

令和7年1月30日付をもって申請のあった無人航空機を飛行の方法によらず飛行させることについて、航空法第132条の86第3項及び第5項第2号の規定により、下記の無人航空機を飛行させる者が下記のとおり飛行させることについて、申請書のとおり承認する。

記

承認事項： 航空法第132条の86第2項第2号
承認の期間： 令和7年3月10日から令和7年3月31日
飛行の経路： 中語書（P250106751）のとおり
登録記号等： JU3232B6E0E1
無人航空機： 白作機（中語書のとおり）
無人航空機を飛行させる者： 松風 真、正木 弘、加山 齊、堀 浩一、池谷 大樹
条件：

- 申請書に記載のあった飛行の方法、条件等及び申請書に添付された飛行マニュアルを遵守して飛行させること、また、飛行の際の周囲の状況、天候等に応じて、必要な安全対策を講じ、飛行の安全を万全を期すこと。なお、飛行に当たり、他の法令等の制約がある場合にはこれを遵守すること。
- 航空機の航行の安全並びに地上及び水上の人及び物件の安全に影響を及ぼすような重要な事情の変化があった場合、又はそのような飛行が確認された場合は、許可を取り消し、又は新たに条件を付すことがある。
- 飛行許可・承認期間中に、申請に關わる「登録記号」並びに「機体認証」及び「技能認証」の有効期間が切れる場合は、遅滞なく更新を行うこと。

令和7年2月4日

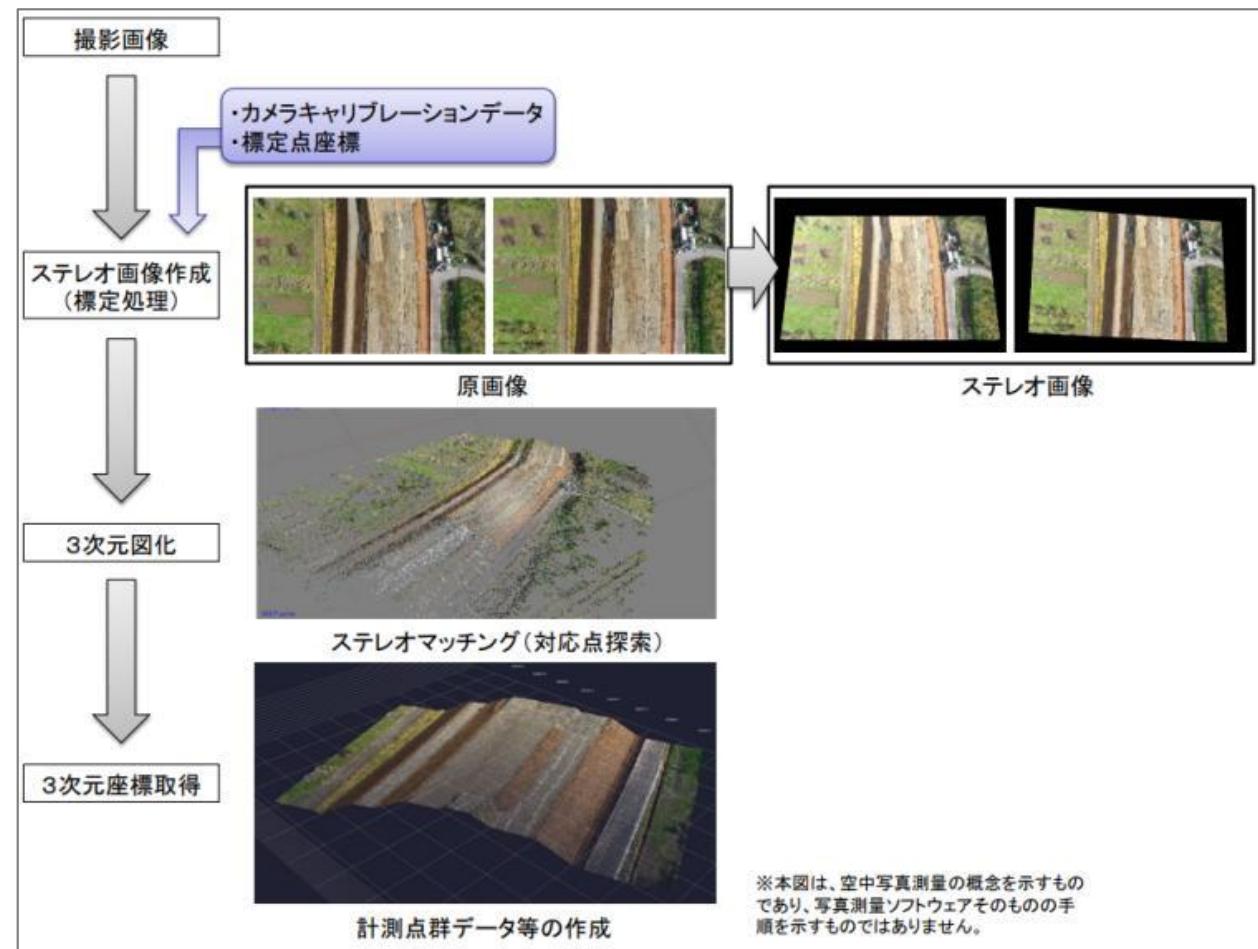
東京航空局長 今井 和哉

承諾書

写真測量ソフトウェア

□ 写真測量ソフトウェアは、撮影した空中写真及び標定点の座標やカメラキャリブレーションデータを用いて、空中写真測量の原理及び同時調整作業の内部処理によりステレオモデルを構築し、地形、地物等の座標値を算出する。

□ 計測点群データは、ソフトウェアがほとんど自動で生成できる。このため、作業計画や手順をしっかりと実施していくことが重要となる。

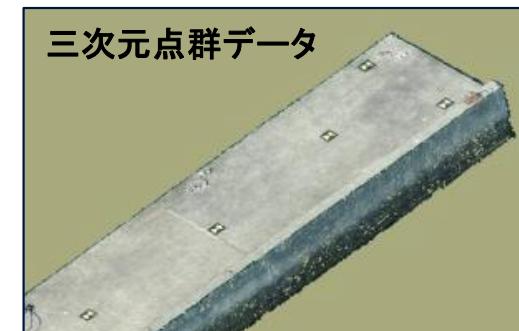
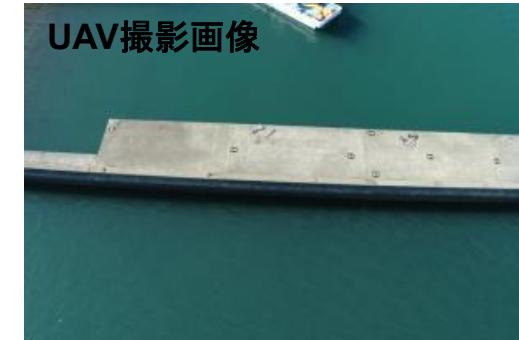
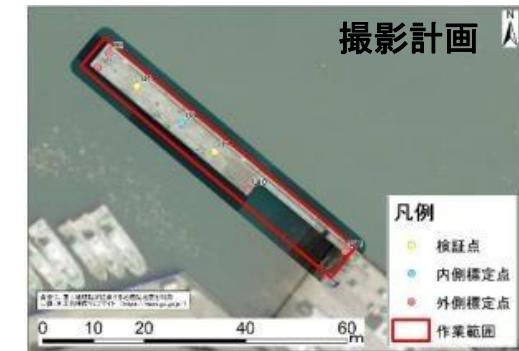
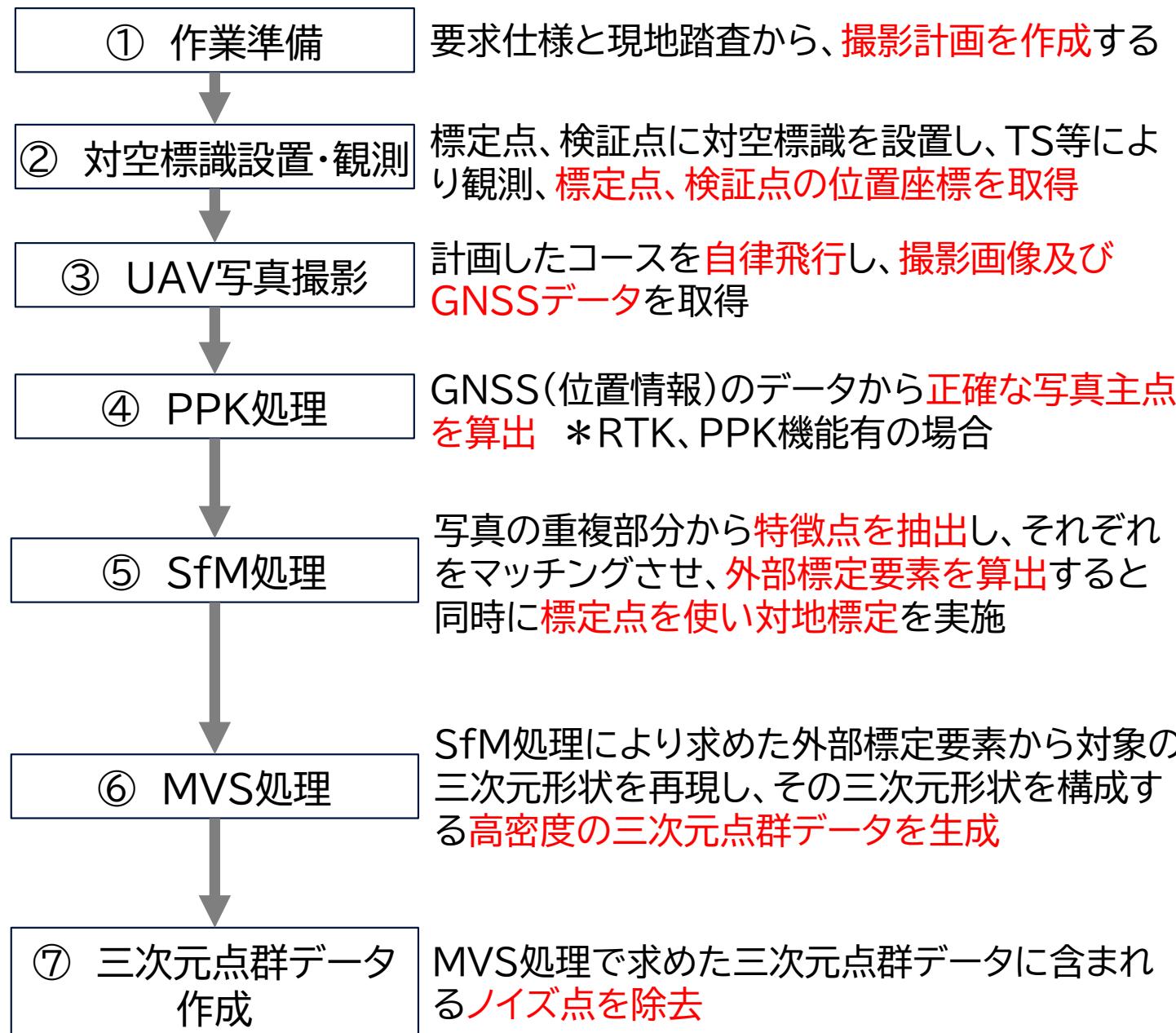


引用 「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)R6.3.31改定」

目次

- 1. 汎用型UAVを用いたUAV写真測量の概要**
- 2. UAV写真測量の作業手順**

UAV写真測量の作業手順



使用機材とソフトウェア例

【使用機材】

- DJI製Phantom4RTK
- 様々な用途に広く使われている小型機Phantom4シリーズの1つ
- RTK(リアルタイムキネマティック)機能や後処理キネマティック機能を有しており、正確な軌跡を算出



Phantom4RTK機器仕様

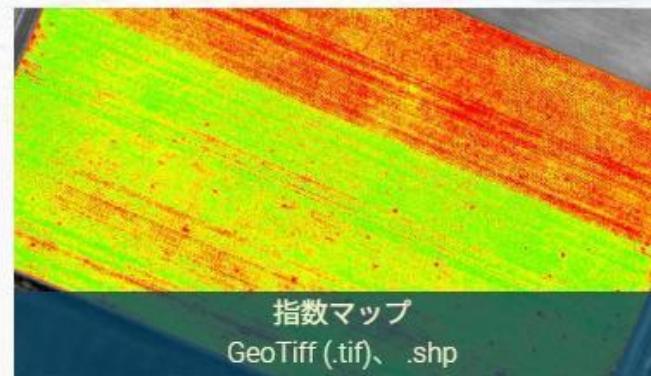
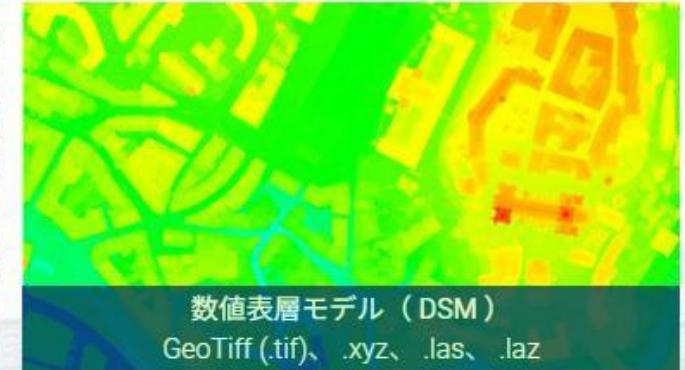
機体重量	1,391g
対角寸法	350mm
ビジョンシステム	有り
センサ	1インチCMOS 有効画素数:20 M メカニカルシャッター
レンズ	視野角:84° 焦点距離:8.8 mm/24 mm判換算
静止画サイズ	5,472 × 3,648pixel(3:2)
写真フォーマット	JPEG
RTK位置精度	垂直 :1.5 cm + 1 ppm(RMS) 水平: 1 cm + 1 ppm(RMS)

DJI 製品HPより引用

使用機材とソフトウェア例

【使用ソフトウェア】

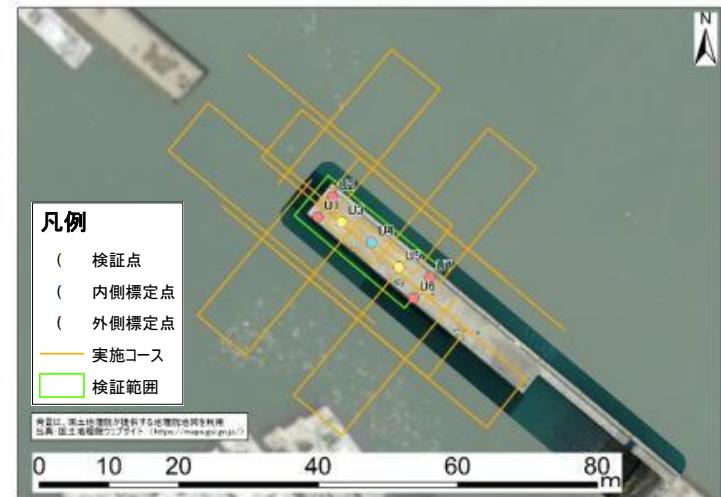
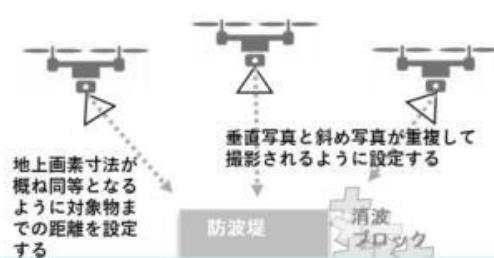
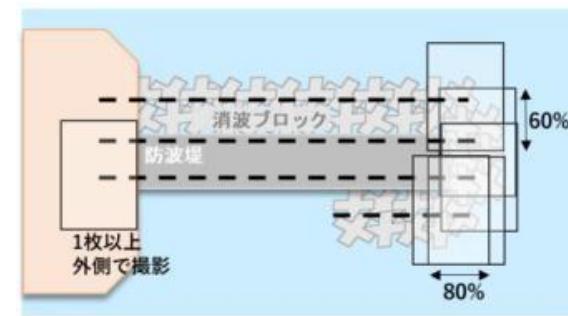
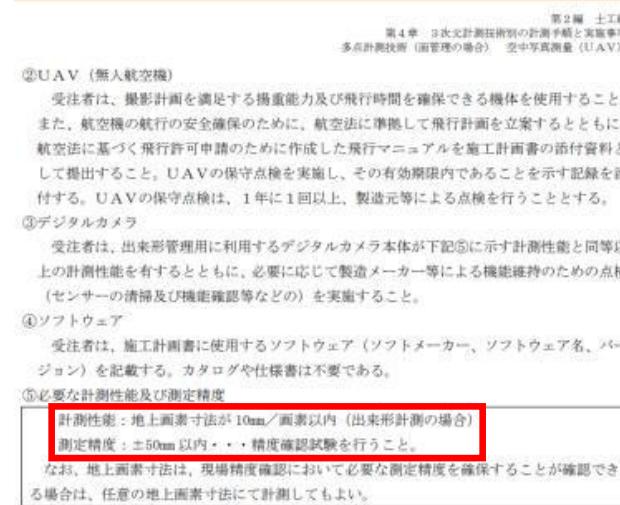
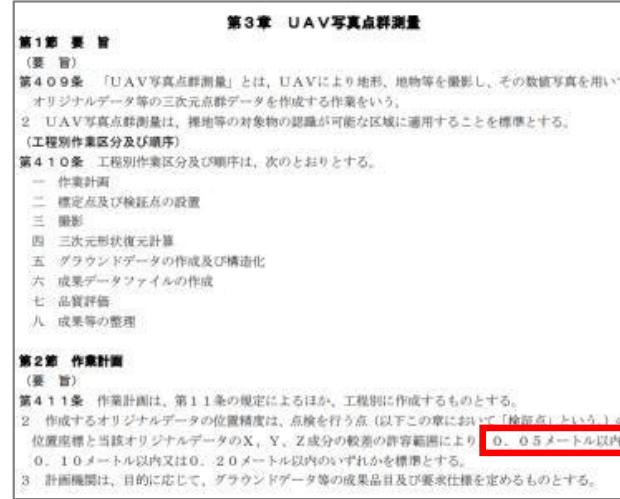
- PIX4D製 PIX4DMapper
- UAVマッピングで広く利用されるフォトグラメトリー(写真測量)ソフトウェア
オルソモザイク(正射投影画像)、DSM(数値表層モデル)、点群データ、3Dメッシュなど、さまざまなデータを生成する。測量、建設、農業、防災など多岐にわたる分野で活用されており、高精度なデータ処理と分析が可能



PIX4D 製品HPより引用

① 作業準備

□ 要求仕様と現地踏査から、撮影計画を作成する



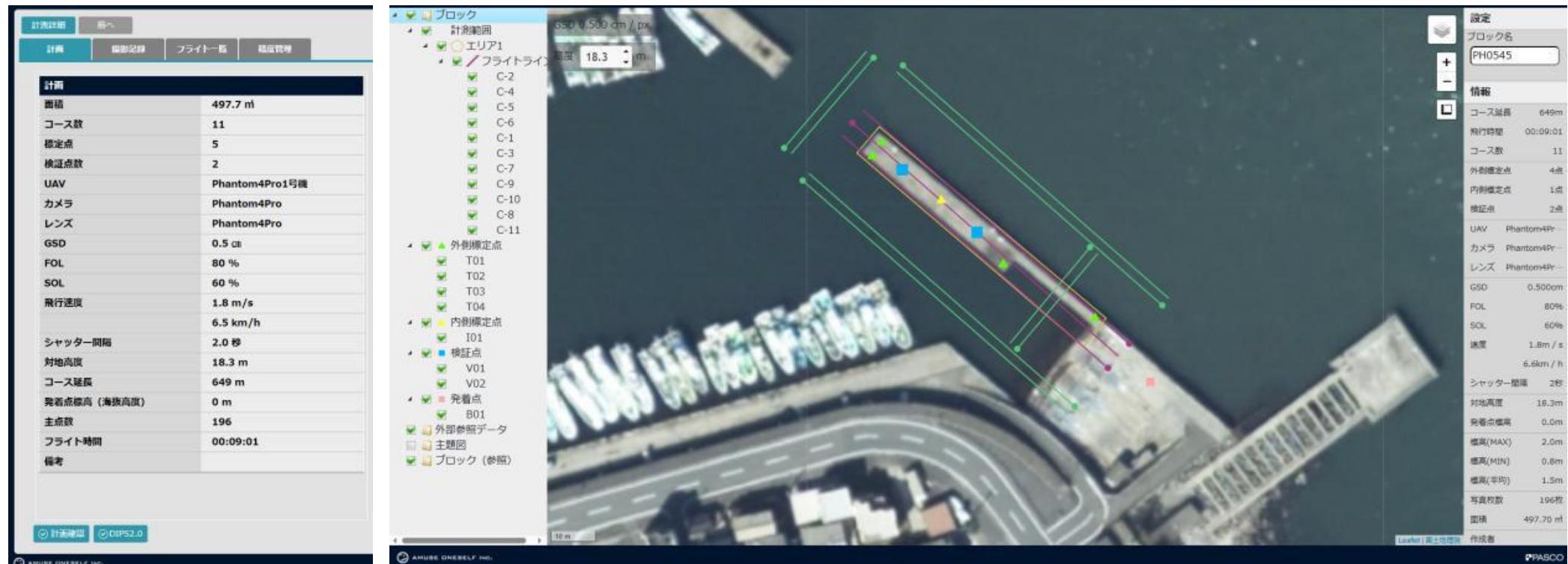
撮影計画

設定解像度	8mm
対地高度	30m
オーバーラップ(OL)	90%
サイドラップ(SL)	80%
計測時間	8分
撮影枚数	204枚

引用「作用規程の準則」、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」、「ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)」

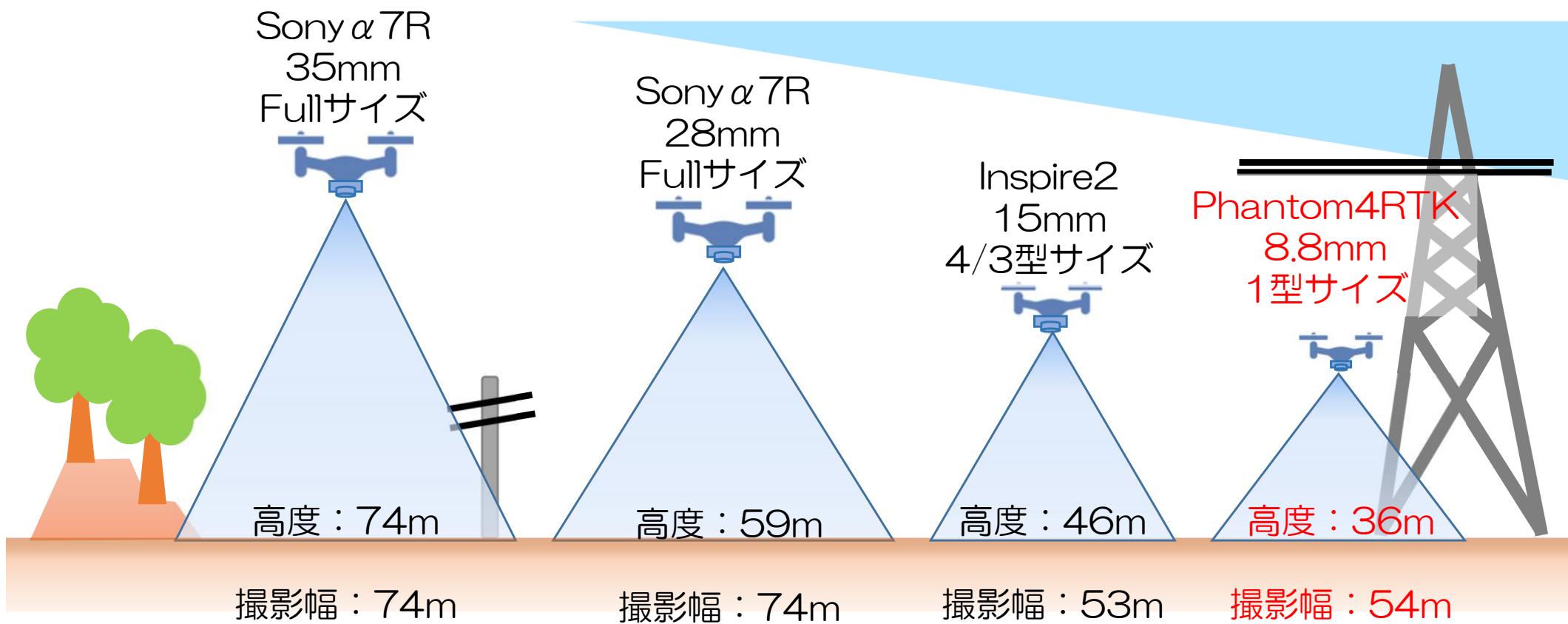
撮影計画ツール

- カメラの機器仕様をあらかじめ設定しておく
- 要求仕様等で規定されている地上画素寸法、ラップ率を入力する
- 地図上で計測範囲を設定する
- 計測範囲と仕様から自動で飛行コースを作成する
- コース位置や対地高度等の修正が必要な場合は修正を行う
- 計画データをフライトソフトへ転送し、自動飛行を行う



撮影高度、カメラスペック、地上画素寸法の関係

- 地上画素寸法1cmと設定した時の焦点距離の違いによる対地高度の違い



② 対空標識設置・観測

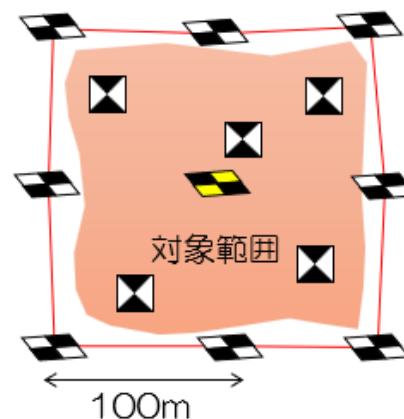
- 標定点、検証点に対空標識を設置し、TS等により観測、標定点、検証点の位置座標を取得

➤ 観測方法

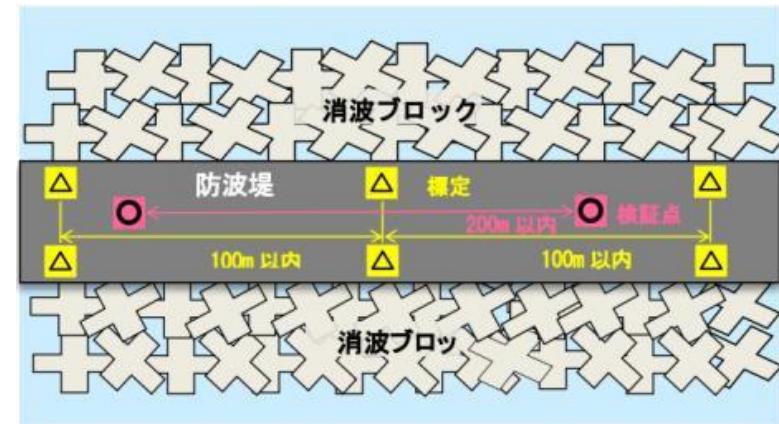
- TSによる放射法
- GNSSによるキネマティック法
- RTK（リアルタイムキネマティック）法
- ネットワーク型RTK法

➤ 位置精度における計測手法

位置精度	主な適用作業	標定点及び検証点の観測方法
0.05m	出来形管理(出来形計測)	TSを用いた測量のみ
0.10m	工事測量(起工測量/岩線計測)	TSを用いた測量またはGNSS測量が可能
0.20m	工事測量(部分払い用出来高計測)	GNSS測量が可能



- 外側標定点
- 内側標定点
- 検証点



引用「作用規程の準則」、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」、「ICT機器を用いた測量マニュアル(ブロック据付工編)」

対空標識の規格

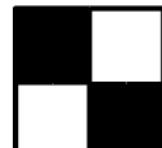
□ 対空標識の規格(模様)



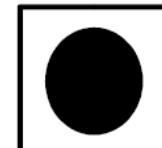
★型



X型



+型



○型

□ 対空標識の規格(色調)



出典：作業規程の準則

□ 対空標識の規格(寸法)

地上画素寸法	1cm	2cm	3cm
30cm四方			
15cm四方			

写真上に15画素以上写ること

③ UAV写真撮影

- 計画したコースを自律飛行し、撮影画像及びGNSSデータを取得

➤ デジタルカメラの性能

- 単焦点レンズで露出時間、絞り、ISO感度など各種設定ができる
- 撮像素子サイズや記録画素数などカメラの諸元がわかる
- 画像のExifから焦点距離やシャッター速度などの情報が読み取れる
- 計画した写真枚数が保存できるように、十分に記憶容量がある
- 書き込み速度を事前に確認



➤ 撮影飛行

- 計画対地高度に対する実際の飛行の対地高度のズレの許容範囲は10%以内
- 自立飛行で撮影を行う
- 撮影飛行中にUAV機器に異常が見られた場合は、ただちに撮影飛行を中止する

➤ 撮影結果の点検

- 撮影範囲の網羅性隠蔽部の有無
- 標定点が明瞭に写っているか
- 画像重複度などの撮影全体を点検
- 写真のボケ、ブレ、ノイズといった写真の品質を点検

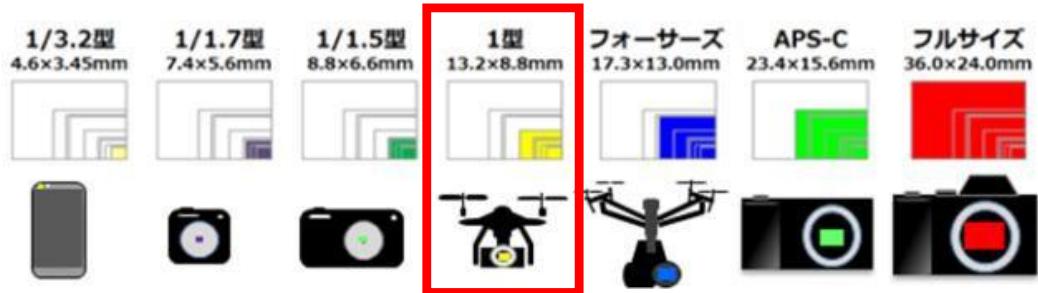
カメラの設定

- 静止画はマニュアルで撮影するため、「ISO」「絞り」「シャッター速度」を設定する
- 垂直写真撮影は一定間隔でシャッターを切るため、タイマー設定し、インターバル撮影を行う
- フォーカスは画面上で焦点をあてたい部分をタップする
- 撮影開始、停止は右側の○アイコンをタップする



カメラのいろいろ

- UAV写真点群測量で利用されるデジタルカメラ



- シャッター方式

… CMOSとCCD形式があり、消費電力が少ないCMOSが主に使用されているが、CMOSセンサの場合、同時露光に難があり、順次露光のローリングシャッターとなる。

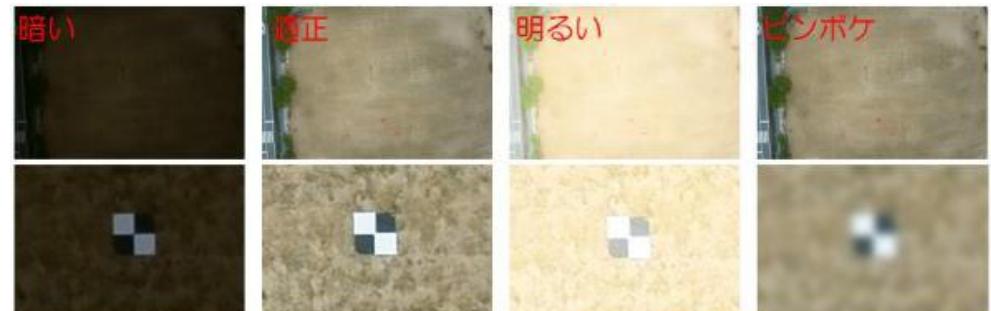
グローバルシャッター（同時露光）



ローリングシャッター（順次露光）



- 適切な写真を撮影するために
 - シャッター速度 →ブレを少なくするため速いほうがよい
 - 絞り →遠近のある対象は、被写界深度に注意が必要
絞り値を大きくし被写界深度を幅広くとる
 - ISO感度 →感度を上げればノイズが増えるため注意
 - 画像記録 →白とび、黒潰れのおそれ
圧縮する場合、圧縮率や地物に注意する
 - 補正機能をオフ →手ぶれ補正や歪み補正の
自動補正機能は使用しない
 - 最大サイズ、元画像を使用
→リサイズ、トリミング、回転はNG



【参考】④ PPK処理

- GNSS(位置情報)のデータから正確な写真主点を算出
*RTK、PPK機能有の場合



Phantom4Pro
GNSSは単独測位

☞多くの標定点（対空標識）
が必要



Phantom4RTK
GNSSは干渉測位でリアルタイム
キネマティック
しかし、IMUがない

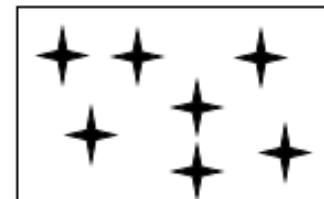
☞標定点（対空標識）が必要
標定点をゼロにはできない

⑤ SFM処理

- 写真の重複部分から特徴点を抽出し、それぞれをマッチングさせ、外部標定要素を算出すると同時に標定点を使い対地標定を実施

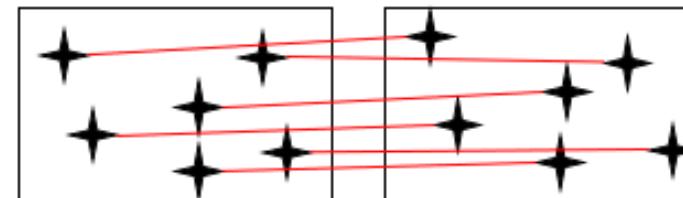
1. 特徴点の抽出

- 写真画像から特徴点を抽出



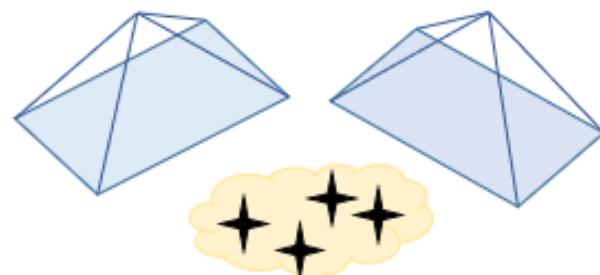
2. ステレオモデルの作成

- 画像ペアで対応点のマッチング



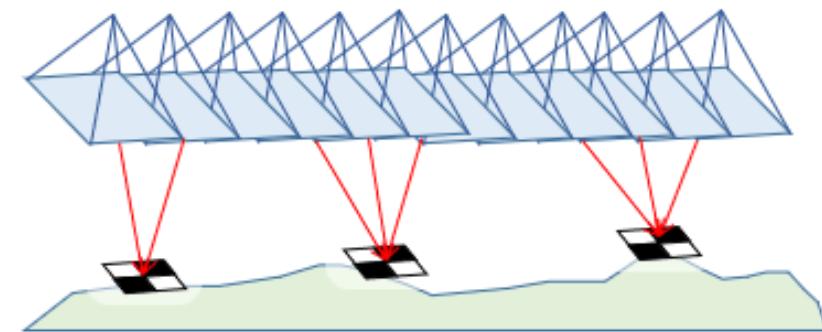
3. モデル間の接続

- マッチングした点から撮影したカメラの位置、傾きを推定



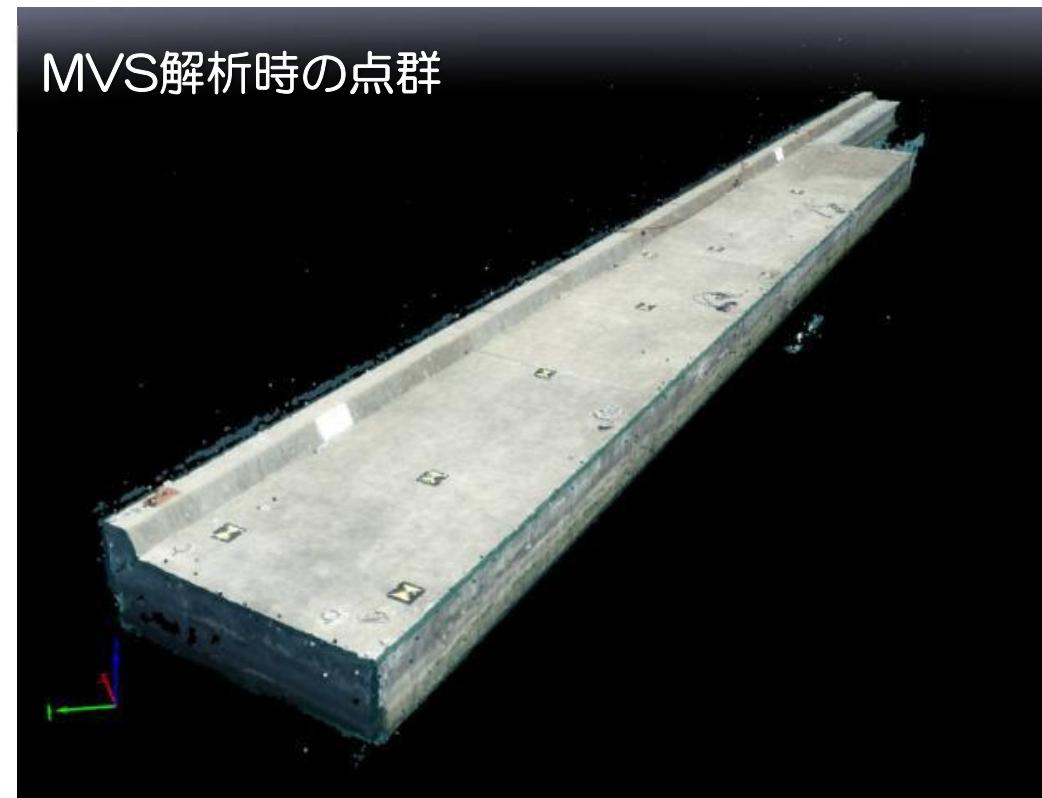
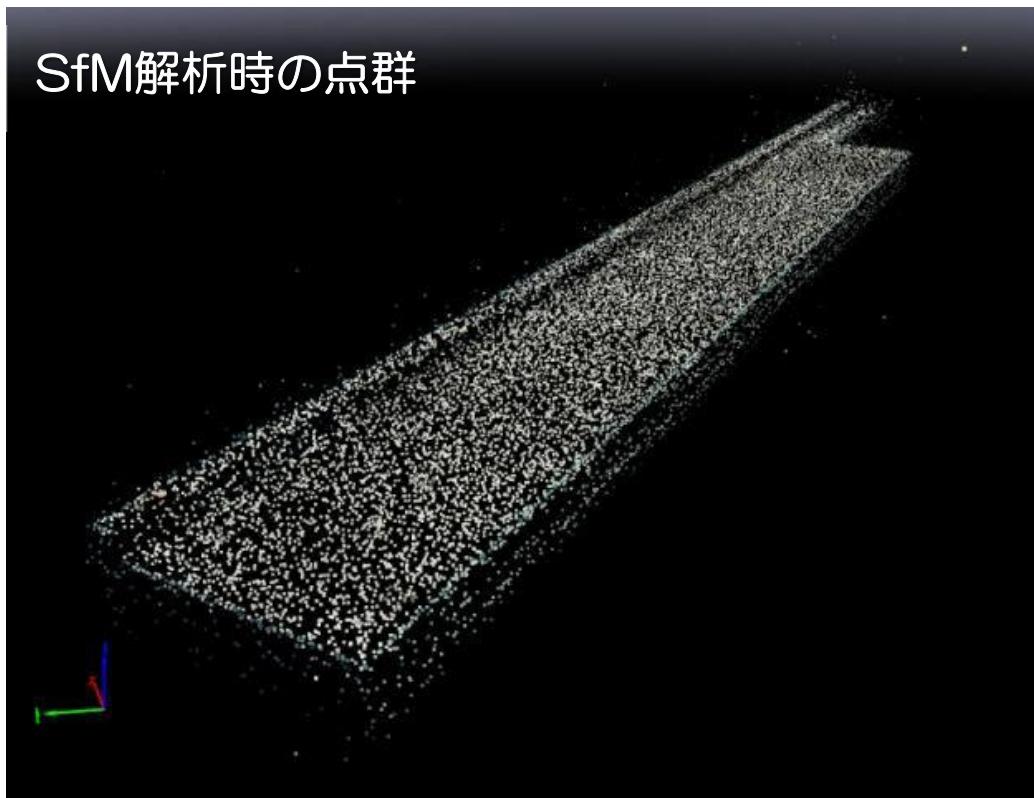
4. 地上座標への変換

- 標定点により撮影位置の高精度化



⑥ MVS処理

- SfM処理により求めた外部標定要素から対象の三次元形状を再現し、その三次元形状を構成する高密度の三次元点群データを生成



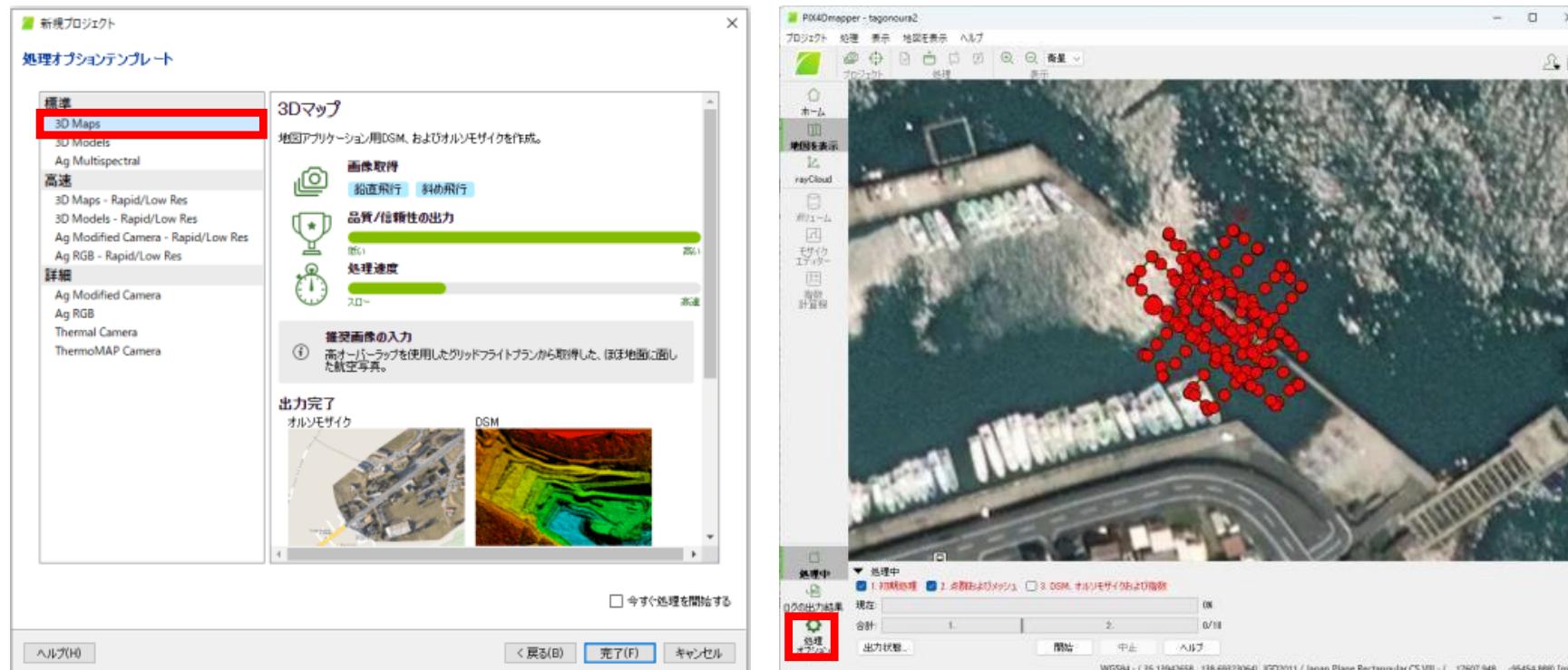
Pix4DmapperによるSfM/MVS処理

- 新規プロジェクトを作成し、撮影した画像データをインポートする
- ExifやGeotagからカメラ、撮影位置等の情報が自動で読み込まれる
- 出力データの座標系を選択する、公共測量の場合、平面直角座標系（JGD2011）を指定する
- 標高はジオイドモデルを指定する



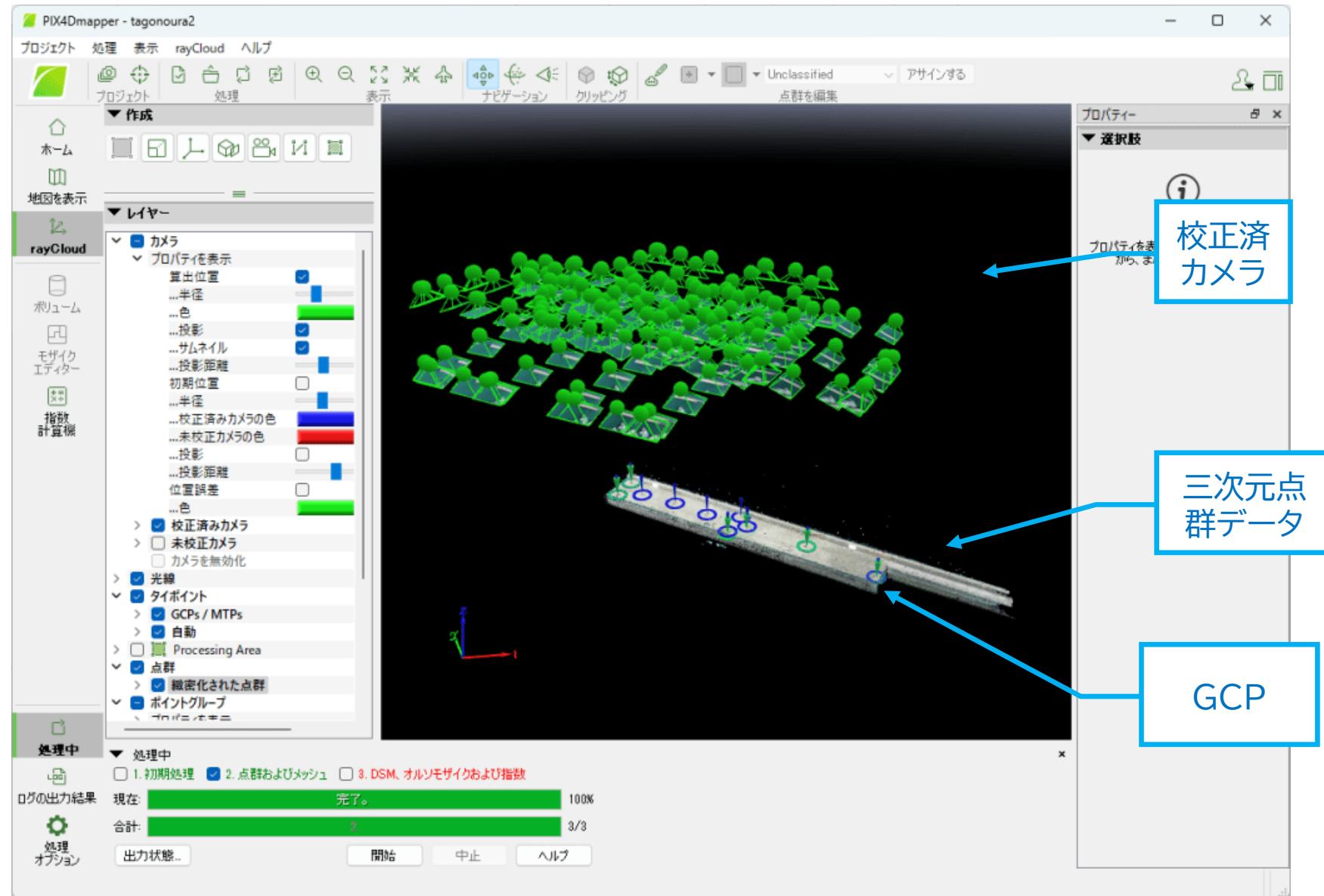
処理オプションの設定

- 処理オプションのテンプレートは「3D Maps」を選択する
- 画面左下の処理オプションアイコンを選択する



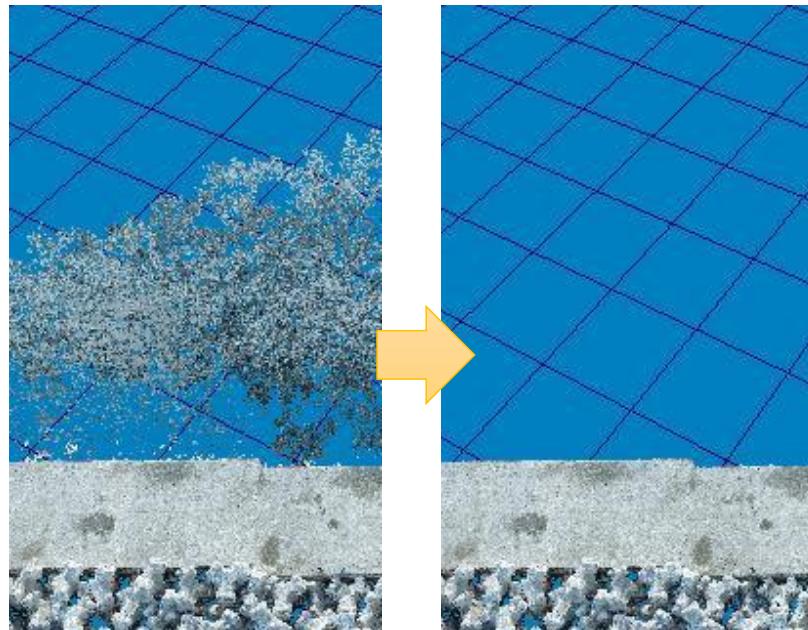
処理結果

- 三次元点群データの生成状況はメイン画面で確認することができる

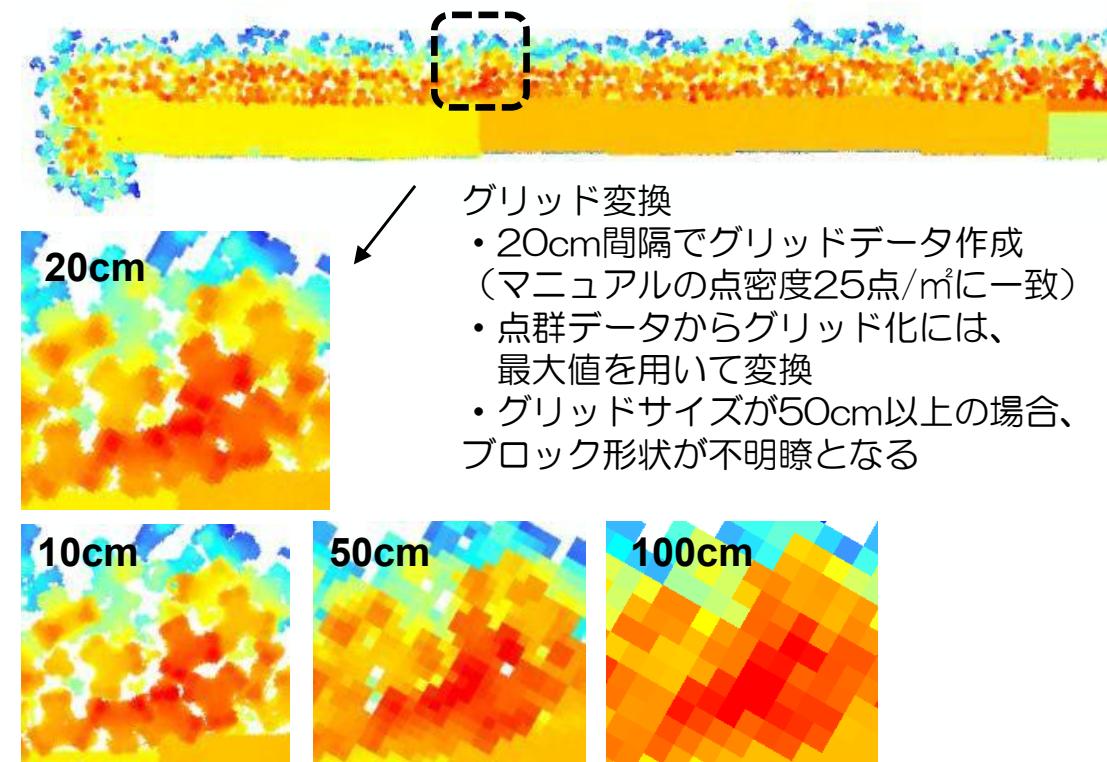


⑦ 三次元点群データ作成

- MVS処理で求めた三次元点群データに含まれるノイズ点を除去
- 使用目的に応じて、編集した点群データをグリッドデータに変換。



ノイズ除去
(水面等で取得された点群データを削除)



品質検査

- SfM処理結果は品質レポートとして出力することが可能である
- 標定点を設置した場合は、実測値との較差の確認も行うことができる

The figure consists of three side-by-side screenshots of the PIX4Dmapper software interface.

Screenshot 1: Project Overview and Quality Report Generation

This screenshot shows the main project interface on the left and a "Quality Report" window on the right. The "Quality Report" window has a red border and displays the following information:

- Important:** Click on the different icons for:
 - Help to analyze the results in the Quality Report
 - Additional information about the sections
 - Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report
- Summary** section:

Project	kasan_demo
Processed	2025-02-14 15:54:58
Camera Model Name(s)	ZenmuseP1_35_0_8192x5460 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.77 cm / 0.70 in
- Quality Check** section (with various status indicators):

Images	median of 1809 keypoints per image
Dataset	158 out of 369 images calibrated (42%), all images enabled
Camera Optimization	7.62% relative difference between initial and optimized internal camera parameters
Matching	median of 387,263 matches per calibrated image
Georeferencing	yes, no 3D GCP
- Calibration Details** section:

Number of Calibrated Images	158 out of 369
Number of Geolocated Images	369 out of 369
- Initial Image Positions** section (with a progress bar).

Screenshot 2: Quality Report Content

This screenshot shows the "Quality Report" window with a red border. It includes a summary table and several sections with detailed data tables and plots.

- Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.**
- Absolute camera position and orientation uncertainties** table:

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.081	0.080	0.074	0.045	0.046	0.016
Sigma	0.019	0.017	0.012	0.007	0.007	0.004
- Bundle Block Adjustment Details** section:

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	62800
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	28212
Mean Reprojection Error (pixels)	0.057
- Internal Camera Parameters** section:

EXIF ID: ZenmuseP1_35_0_8192x5460 (RGB). Sensor Dimensions: 35.000 [mm] x 23.328 [mm]								
Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2	
Initial Values	8194.340 [pixel]	4096.001 [pixel]	2729.996 [pixel]	-0.048	0.021	-0.097	0.002	-0.001
Optimized Values	8818.835 [pixel]	4110.108 [pixel]	2761.840 [pixel]	-0.057	0.040	-0.170	0.001	-0.001
Uncertainties (Sigma)	52.064 [pixel]	1.899 [pixel]	2.023 [pixel]	0.002	0.010	0.022	0.000	0.000
	0.222 [mm]	0.008 [mm]	0.009 [mm]					

計測事例

【ICT活用事例】むつ小川原港被災状況調査

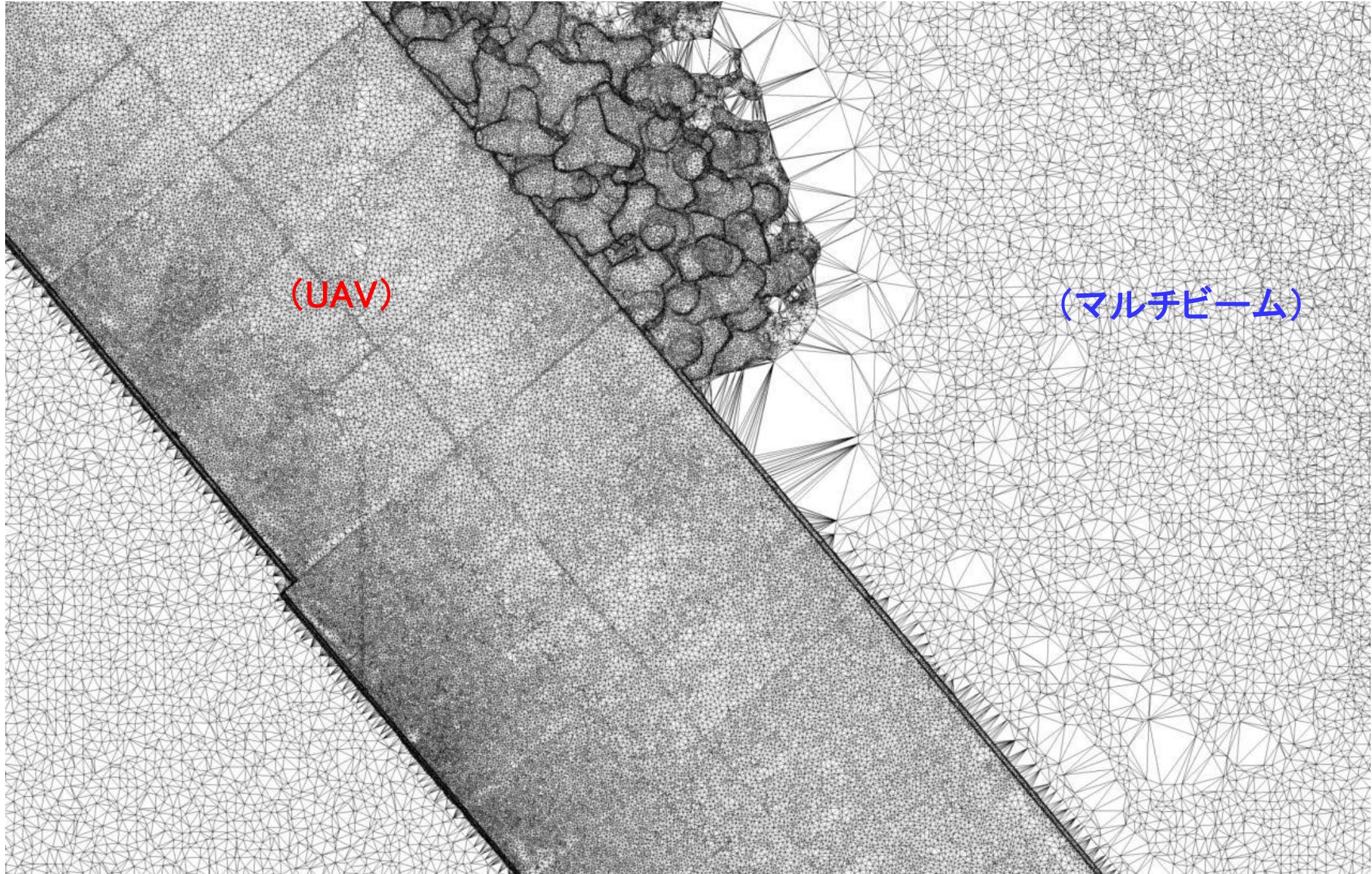
32

陸上部…UAVによる3次元データ取得



港湾におけるUAVによる3次元データ取得

33

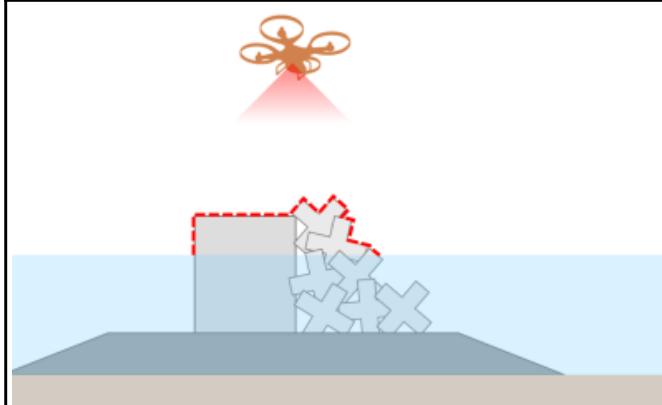
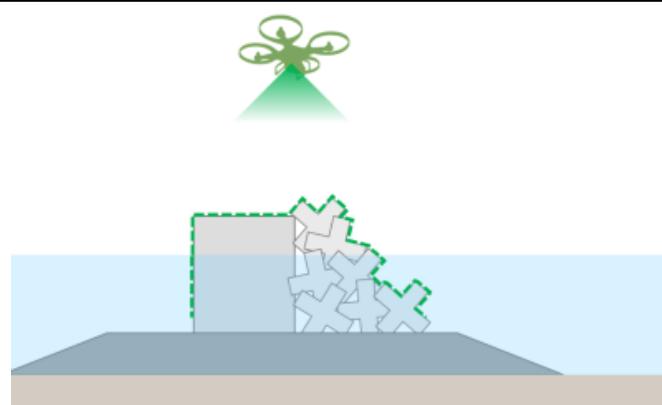
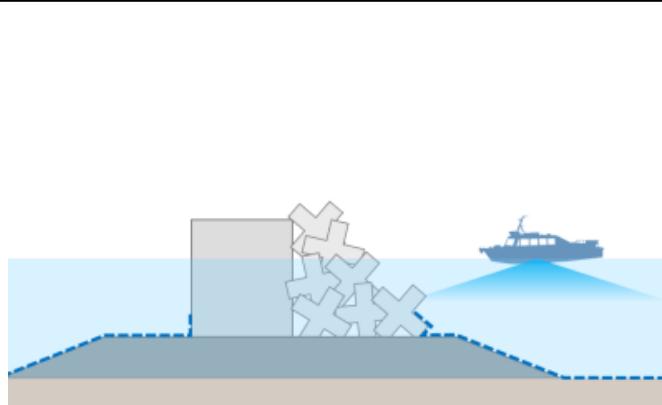


◆ UAV(ドローン)とNMB(マルチビーム)のTINモデル事例



一般社団法人 海洋調査協会
Japan Marine Surveys Association

その他計測手法との組合せ

		
<p>UAV写真測量 及びUAV近赤外線レーザ測量</p> <p>デジタルカメラをUAVに搭載して空中写真を撮影し、写真測量ソフトウェアにより三次元点群を生成する。または近赤外線レーザをUAVに搭載して、三次元点群を取得する。 計測範囲は陸部のみとなる。</p>	<p>UAVグリーンレーザ測量</p> <p>グリーンレーザをUAVに搭載して、三次元点群を取得する。計測範囲は陸部と水部の一部を計測する。水質により測深範囲が異なるが、陸部と水部のシームレスなデータが同時に取得できる。</p>	<p>マルチビーム測深</p> <p>音波送受波器を船舶に装着して、三次元点群を取得する。計測範囲は水部の一部を計測する。水位により測深範囲が異なるが、水深の深い箇所のデータが取得できる。</p>

