

④ – 1 UAVを用いた公共測量マニュアル（案）



小さくて軽い民生用カメラ (一眼レフ等)

現時点では、搭載可能なGNSS/IMU装置もない

中・小型回転翼型UAVには
測量用カメラは搭載できない

有人機を使う場合とUAVを使う場合の違い

- 撮影する高度の違い
- カメラの違い
- 位置姿勢センサ (GNSS/IMU) の有無

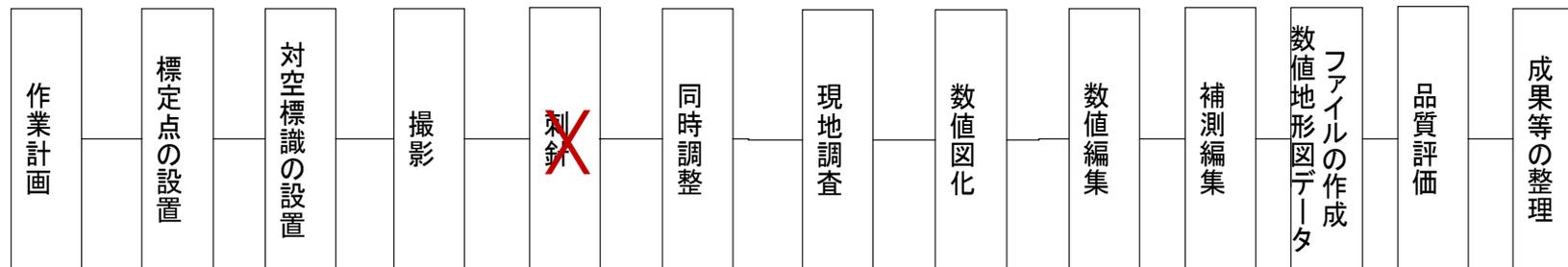


UAVを用いた公共測量マニュアル（案）の構成

（共通事項）

- ✓ UAVに搭載された民生用デジタルカメラを使用した空中写真を用いて測量を実施
 - ✓ 標準的な作業方法を定め、規格の統一、精度の確保を図ることが目的
 - ✓ 作業規程の準則第17条のマニュアルとして整備
- UAVを用いた空中写真測量
 - ✓ 従来から行なわれてきた有人航空機を用いた空中写真測量とほぼ同じ内容
 - ✓ 狭い範囲における数値地形図の整備や更新を、効率的、経済的に実施可能
 - UAVを用いた空中写真による三次元点群測量
 - ✓ UAVから撮影した空中写真を用いて、三次元点群データを作成
 - ✓ SfM/MVSソフトウェアを用いた、三次元点群データの整備（自動処理）
 - ✓ 整備した三次元点群データを用いて、縦横断面図（応用測量）を作成可能
 - ✓ 土工における土量計測等（i-construction）

● UAVを用いた空中写真測量→基本的にはこれまでの空中写真測量



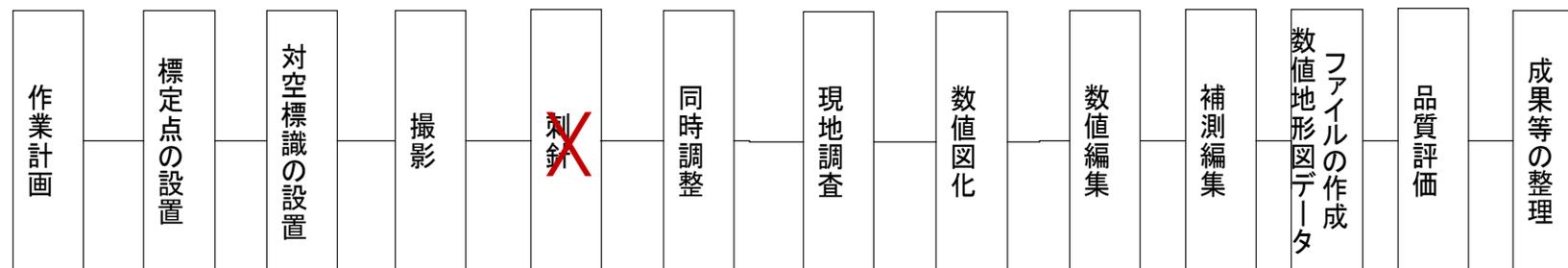
準則第3編第4章空中写真測量における工程別作業区分及び順序

- ・対象とする地図情報レベル→250、500
- ・位置精度(数値地形図データの精度)→ 準則80条に準じる

地図情報レベル	水平位置の標準偏差	標高点の標準偏差	等高線の標準偏差
250	0.12m以内	0.25m以内	0.5m以内
500	0.25m以内	0.25m以内	0.5m以内

作業工程	主な規定内容
作業計画	準則を準用
標定点の設置	空中三角測量に必要な標定点の設置数及び配置について
対空標識の設置	対空標識の形状、寸法、色等
撮影	撮影高度、対地高度、写真の重複度等撮影時に注意すべき点及び使用するUAV、デジタルカメラの性能、具備すべき条件等
空中三角測量	パスポイント、タイポイントの配置及び調整計算について
現地調査	現地調査の方法及び留意点
数値図化	準則を準用
数値編集	準則を準用
補測編集	準則を準用
数値地形図データファイルの作成	準則を準用
品質評価	準則を準用
成果等の整理	準則を準用

● UAVを用いた空中写真測量→基本的にはこれまでの空中写真測量



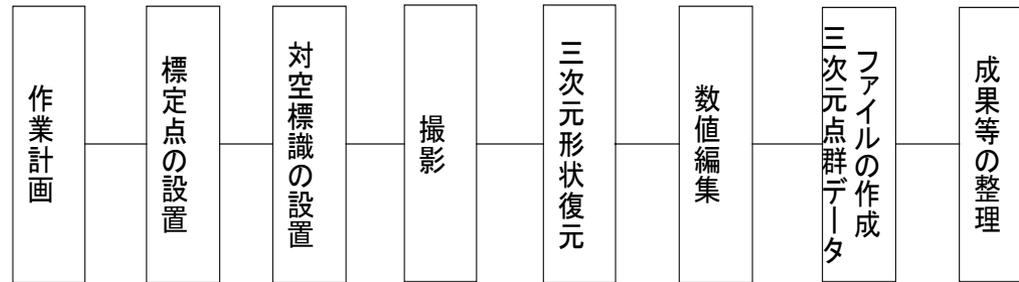
準則第3編第4章空中写真測量における工程別作業区分及び順序

- 使用するカメラは、カメラキャリブレーションを行ったものでなければならない。
- 同一コース内の隣接空中写真との重複度は60%程度、隣接コースの空中写真との重複度は30%以上
- 対地高度は、 $\left[\frac{\text{要求精度}}{\text{撮像素子上で基線長}} \right] / \text{読み取り精度}$ 以下

有人機による場合との違い

- GNSS/IMU搭載不能 → GNSS/IMUが装備される前の撮影を規定
- 刺針→直前に対空標識を確認可能なため規定しない
- 同時調整→GNSS/IMU装置を用いない空中三角測量
- 現地調査→調査範囲が限定的（内容を簡略化）

● UAVを用いた空中写真による三次元点群測量→新たに規定



UAVを用いた空中写真による三次元点群測量における工程別作業区分及び順序

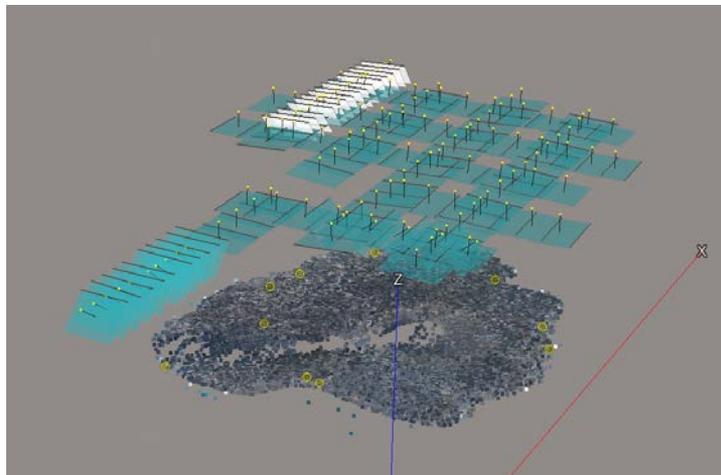
- 対象とする業務→ 土木工事現場での土量管理
- 位置精度→ 平面位置・高さともに0.05m以内として作成
- SfM/MVSという三次元形状復元ソフトを使うことを前提

【三次元形状復元（S f M / M V S）】

S f M = Structure from Motion

カメラの位置・向きと撮影対象の3次元形状を同時に復元する技術

M V S = Multi View Stereo



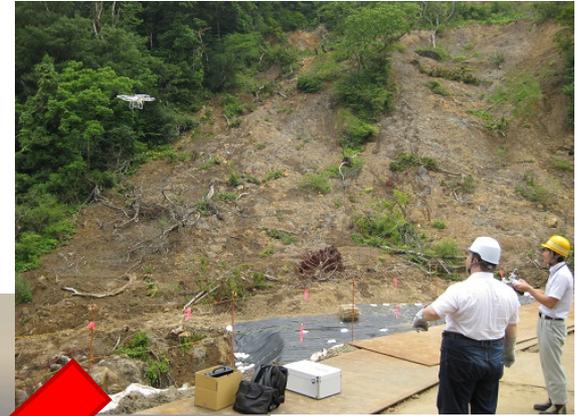
カメラ同士の相対的な位置関係を推定するコンピュータビジョン（C V）の技術



重複させながら撮影した写真群から → 三次元形状を復元

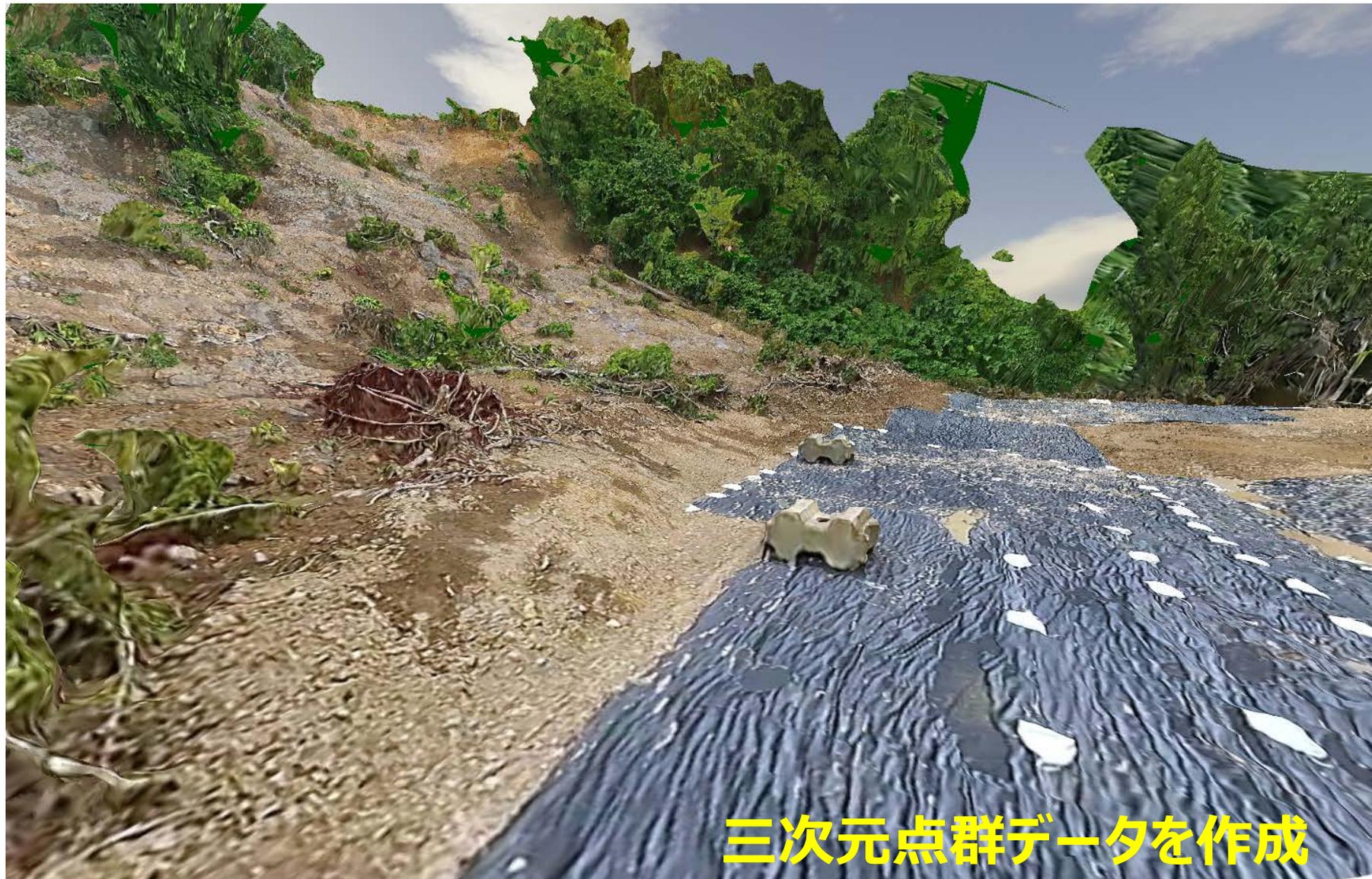


撮影
→



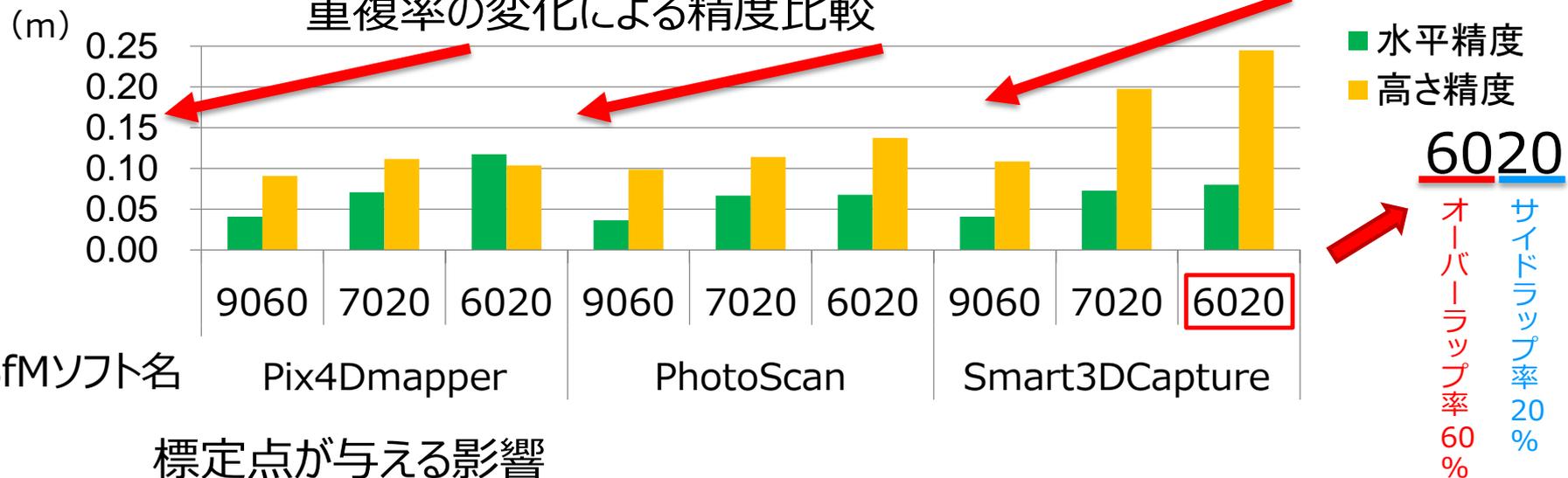
「S f M / M V S」を使う手法で三次元化

山形県で国土地理院が行なった実証実験より

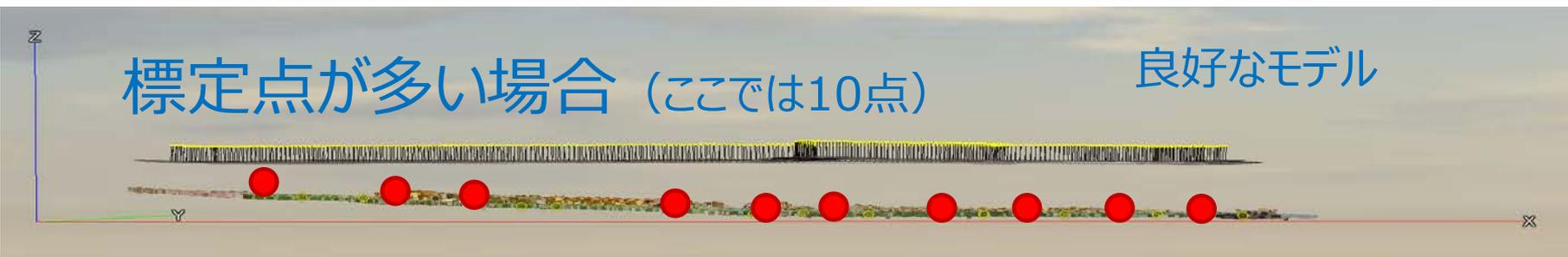


三次元点群測量の精度検証結果

重複率の変化による精度比較

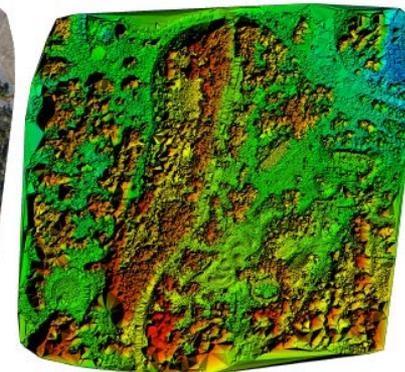
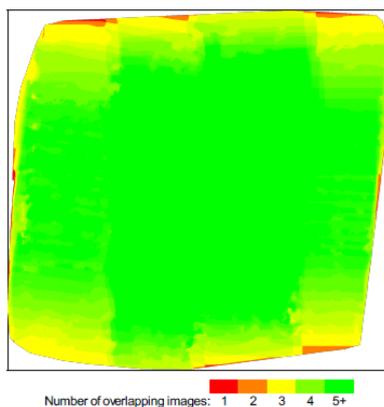


標定点が与える影響

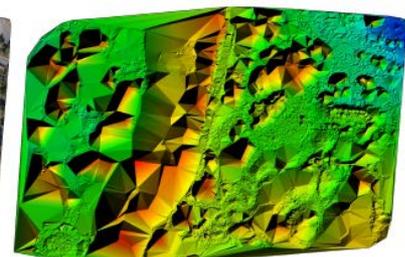
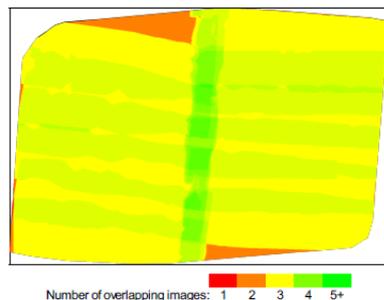


SfM/MVSを用いた三次元点群データ整備で精度を確保するには、
1つの点が4枚以上の写真に写るように撮影することが必要。

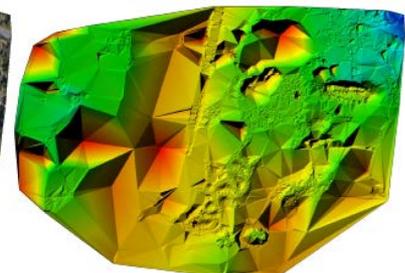
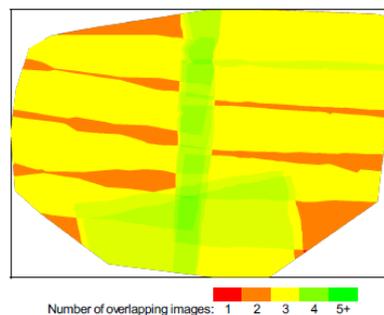
オーバーラップ 90%
サイドラップ 60%



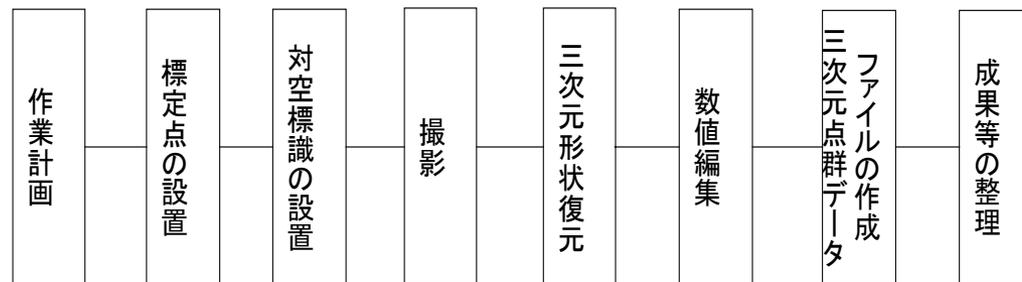
オーバーラップ 70%
サイドラップ 20%



オーバーラップ 60%
サイドラップ 20%

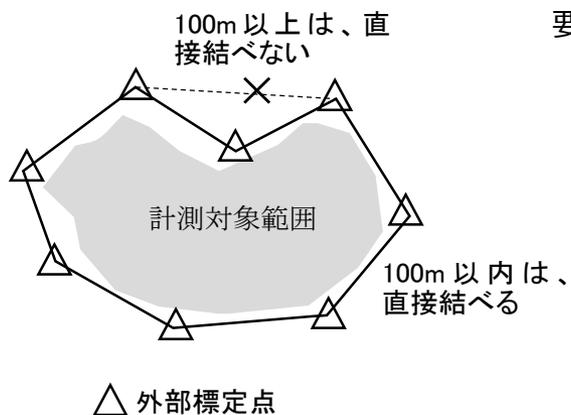


● UAVを用いた空中写真による三次元点群測量→新たに規定

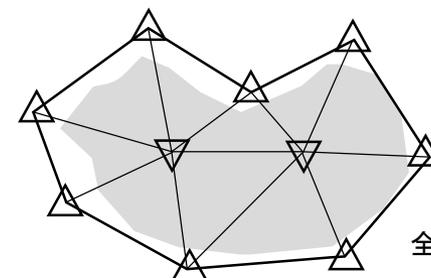
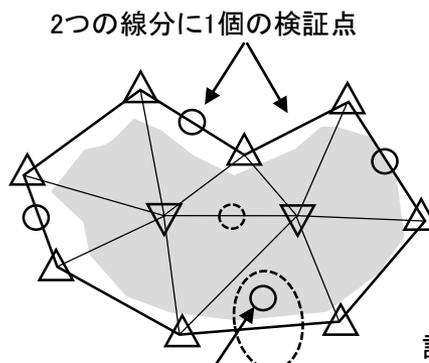


UAVを用いた空中写真による三次元点群測量における工程別作業区分及び順序

【標定点及び検証点の設置】



要求精度【最大0.05 m以内】の例



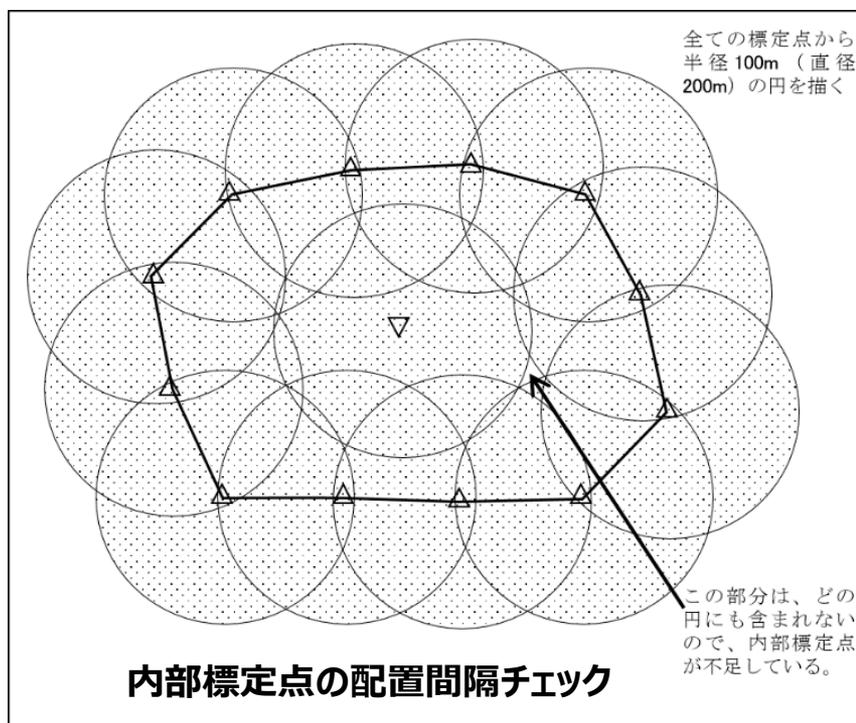
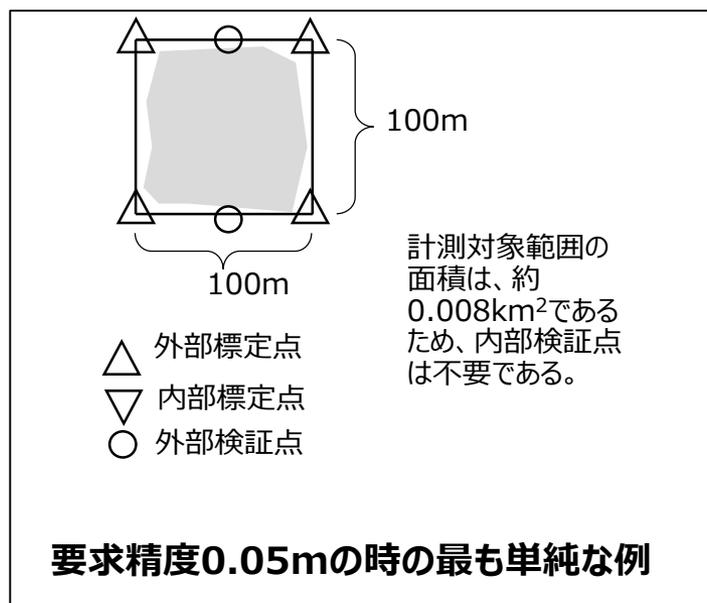
▽ 内部標定点
△ 外部標定点

○ 外部検証点
○ 内部検証点

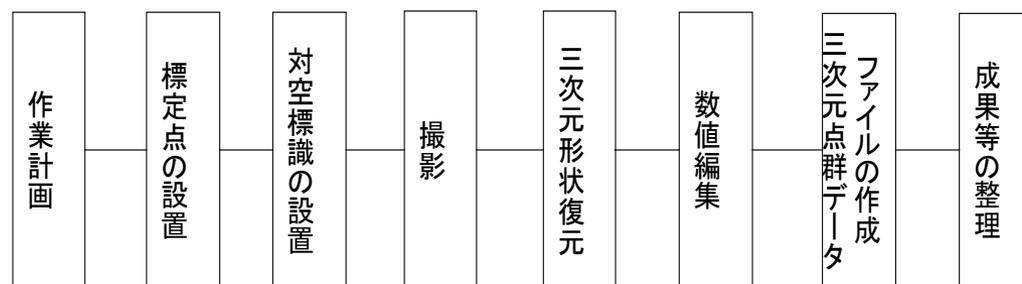
計測対象範囲の面積は、約0.024km²であるため、内部検証点は1点必要である。

要求精度別標定点間隔及び検証点数

要求精度	最大誤差0.05 m以内	最大誤差0.1 m以内	最大誤差0.2m以内
外部標定点	概ね辺長100 m以内	概ね辺長100 m以内	概ね辺長200 m以内
内部標定点	概ね辺長200 m以内	概ね辺長400 m以内	概ね辺長600 m以内
内部検証点	0.04 km ² あたり1点	0.16 km ² あたり1点	0.36 km ² あたり1点



● UAVを用いた空中写真による三次元点群測量→新たに規定



UAVを用いた空中写真による三次元点群測量における工程別作業区分及び順序

【撮影】

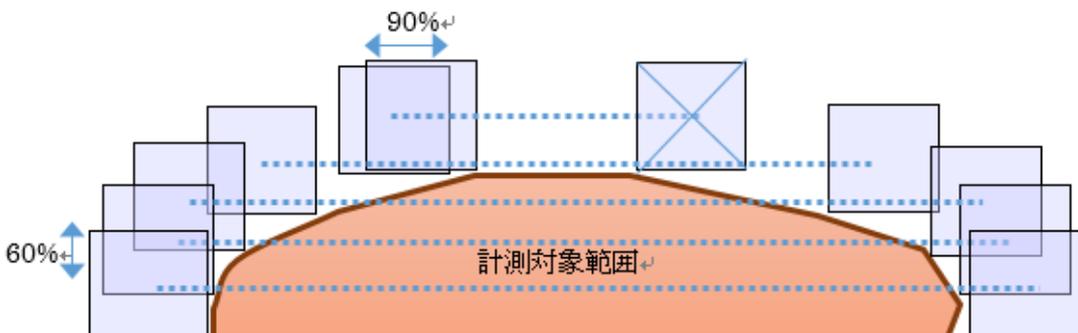
- 撮影高度は、三次元点群データの高さの精度を最大0.05 mとするととき、地上画素寸法が0.01mとなるように使用するカメラの画素サイズと焦点距離から決定

$$\text{「撮影高度} = (\text{地上画素寸法} / \text{使用カメラの1画素あたりのサイズ}) \times \text{焦点距離} \text{」}$$

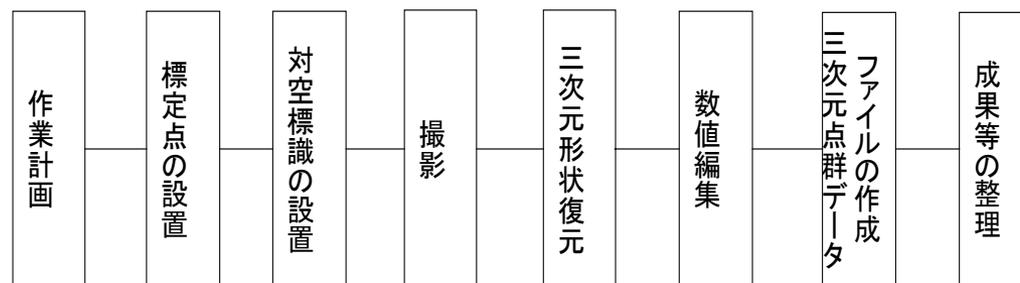
【要求精度別地上画素寸法】

要求精度	最大0.05 m以内	最大0.1 m以内	最大0.2 m以内
地上画素寸法	0.01 m	0.02 m	0.03 m

- 空中写真の重複度は、同一コース内の隣接空中写真間で90%以上、隣接コースの空中写真間で60%以上
- 計測対象範囲外に、少なくとも1枚以上撮影



● UAVを用いた空中写真による三次元点群測量→新たに規定



UAVを用いた空中写真による三次元点群測量における工程別作業区分及び順序

（標定点の残差及び検証点の誤差の点検）

- 標定点の残差及び検証点の誤差は、平面位置、高さとも全て0.05 m以内
- 平面位置の誤差は、作成したオルソ画像上で確認できる各検証点の平面座標を観測得られた各検証点の成果と比較することで、各検証点の誤差を求める。
- 高さの誤差は、得られた三次元点群を用いて、平面座標に対して半径15cm以内に含まれる点群を抽出し、距離の重み付内挿法によって高さ座標を求め、得られた各検証点の成果と比較することで、各検証点の誤差を求める

【点密度の標準】

地図情報レベル	点密度の標準	低密度の範囲の許容点密度	高密度の範囲の許容点密度
250	0.5m メッシュに1点以上	10mメッシュに1点以上	0.1mメッシュに1点以上

④－２ 公共測量におけるUAVの使用に関する 安全基準（案）

UAVは、現時点では、まだまだ安全な道具とはいえない

→ 使い方を誤ると、重大な事故を発生させる可能性が高い

一方で、世の中で一般的かつ統一的な安全確保のためのルールなどは、まだ整備されていない

→ 測量分野に最適化した、安全確保の考え方や必要な手続き等を示すことが必要

公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）

- 使用する**UAVに関する条件**
 - UAVの種類、性能、機能、管理運用条件 など
- UAVを使用した測量作業を行う場合に**必要な体制**
 - 平時の管理体制、現場における作業体制 操縦者の技能 など
- **情報管理**やその保管
 - 運航実績、事故発生状況、整備状況 など
- あらかじめ**準備**等が必要な事項
 - 事故対応マニュアルの整備、従事する職員への教育 など
- **運航前**に行うことが必要な事項
 - 計画の策定、住民への説明、保険への加入 など
- **運航**するに当たっての留意事項
 - 運航直前の確認事項、運航休止の条件 など

様々な事項（ルール）を安全基準(案)の中で示している

安全基準（案）が対象としているUAVの使用方法、目的、機材等

- 空中写真の撮影や、地形データの取得（レーザ測量等）など、測量に必要なデータの取得作業
 - これらの作業では、測量精度を確保するため、UAVを一定の高度、ルート間隔で運航し、撮影やデータ取得等を行うことが必要
 - あらかじめ指定したルートを、GNSS等を利用して、**UAVが自律的に飛行**する方法（いわゆる自動運航）が原則

災害現場の調査、公共施設の調査等における使用方法とは異なる部分

- 総重量が**25kg未満の回転翼のUAV**を使用

- 固定翼型のUAVや、より大型のUAVについては、求める安全基準が異なるため、今回は対象外
- 産業用のUAVに加え、いわゆるホビー機も対象に含まれる



- 安全を確保するため、使用するUAVについては一定の性能や機能を有することや、適切な管理を行うこと、使用する際の体制の整備、必要な手続き等の履行を行うことを求めている

本安全基準（案）で定める、安全確保のために具体的に求める機能、管理方法等

- UAVの外観、形状

- 認識しやすい色や模様、灯火や表示の装備
- 機体を識別できる情報（所有者、識別番号等）の表示
- 鋭利な突起物がない構造（プロペラガードの装着等） など



- 実装が求められる機能

- GNSS等を利用した**自動運航機能**
- 機体やバッテリーの状態を地上の**モニタ等で監視**するとともに、**記録**する機能
- 異常が生じた場合に運航を中止する機能（**フェイルセーフ機能**） など

- 必要な管理等

- 日常の整備と、製造元や第三者機関等における**定期的な点検**の実施
- **運航記録、事故等の記録、整備記録**等の適切な管理
- 適切なバッテリーの使用 など



本安全基準（案）で定める作業体制

実施者（測量作業機関、測量会社）は、以下のような作業体制の整備が必要

（測量作業機関における管理者）

運航管理者

- UAVの運航に当たっての計画の作成に関する責任者
- 運航実績の管理に関する責任者

安全管理者

- 事故対応マニュアルの作成や、その内容の周知徹底に関する責任者
- 事故の記録の管理に関する責任者

同一の者が複数の管理者を兼務可

各管理者は作業現場における作業員を兼務可

整備管理者

- UAVの機体、周辺機器、バッテリーの点検・整備・管理の責任者

運航（作業）結果を報告

（事故等があった場合）
事故の報告

整備・点検結果を報告

（各作業現場における作業体制）

それぞれ、必要に応じて兼任可

操縦方法、
運航中止を
指示

操縦者

- UAVを操縦する者（一定の知識経験が必要）

現場班長

- 当該作業現場における作業全体の責任者

点検結果を元に
運航の可否を相談

整備者

- 機体の運航前後の点検を行う者（一定の知識経験が必要）

運航中は他の役割を兼務可

機種によっては、兼務可
（別の者が行うことを推奨）

監視状況を報告

監視状況を報告

監視状況を報告

モニタ監視者

- 運航中に常にモニタを通じて機体の状態を監視する者

機体監視者（運航範囲により複数名）

- 運行中のUAVの状態や、UAVが運航する天候の状況等を監視する者

保安員（必要に応じ複数名）

- 作業実施範囲に第三者が立ち入ることがないように監視や管理する者

作業実施範囲の状況によっては配置しないことも可

本安全基準（案）で定める操縦者等の要件

● 操縦者

- 操縦に関する一定の知識と技能、経験を有することを、民間資格や第三者機関による証明等で客観的に示すことができること
- 使用する機体と同一モデルの機体を用いた自動運航の経験を有すること
- 使用する機体と同一モデルの機体について、3時間以上の操縦経験及び使用前90日以内における、1時間以上の操縦経験を有すること



- 操縦経験時間は、手動（マニュアル）操縦の時間のみ
- 測量作業以外の訓練、他業務の時間も含める
- 航空局に事前の届出が必要な場合（DIDでの運航等）10時間以上の経験が必要（航空局のルール）

● 整備者

- 機体整備に関する一定の知識と技能、経験を有することを、民間資格や第三者機関による証明等で客観的に示すことができること

本安全基準（案）で定めるUAVの運航条件

- 基本的には、航空法に基づく国土交通大臣の許可や承認を得る必要がない空域、運航方法での使用

- 空港周辺の空域以外での運航、高度150m未満の空域での運航
- 日中（日出～日没）の時間帯における運航
- 地上の構造物等から30m以上の距離を確保した運航



- 作業員の目視下での運航

- 操縦者が肉眼で目視できる範囲に加え、現場の作業員（機体監視者等）が監視する場合を含む

ただしこの場合、あらかじめ国土交通大臣の承認を得ることが必要

- 運航範囲の直下及び周辺に、不特定の第三者が存在しない

- 運航範囲の直下及び周辺とは、UAVの運航高度に応じた範囲
- 不特定の第三者とは、あらかじめUAVが上空を運航することを周知できる者以外の者（例えば一般的な通行人、通行車両等）
- DIDにおける運航も対象

ただしこの場合、より高い安全性の確保が必要。また、あらかじめ国土交通大臣の許可を得ることが必要

本安全基準（案）で定める作業前に必要な手続き等

- 現地調査に基づく計画の作成
 - 全体計画（運航日時、作業方法、使用機材、作業体制等）については、あらかじめ**測量計画機関（発注元）の承認**を得る
 - 運航計画（運航高度、ルート等）の作成には、精度確保のため**測量士が関与**する
- 住民等への説明
 - 測量法第15条の規定に基づき、運航予定範囲の土地の占有者には**あらかじめ通知**
 - 運航予定範囲内の居住者に対しては説明を行い、**運航の許可を得る**ことが原則
 - プライバシー保護のための必要な取組
- その他の準備等
 - 保険への加入
 - 現地調査の実施
 - 必要な装備、備品等の準備
 - 航空法、電波法等に基づく必要な手続き

本安全基準（案）で定める現場での運航に当たっての留意事項

- 運航前点検、ならし運転の実施
- 計画の最終確認と、運航の可否の決定
 - 気象条件、現場周辺の状況等を踏まえた、運航の可否の決定
 - 作業体制の確認、準備
 - 自動運航に必要な情報の入力、確認
- 運航中止の条件
 - 天候や気象条件が急変した場合（雷など）
 - 他の飛行体が接近したり、構造物に接近した場合
 - 機体に異常が生じた場合（異常音、異常動作、部品の破損や落下 など）
 - 機体の運航を正しく行うことができない状況が生じた場合（通信遮断など）
 - その他、あらかじめ定めた判断基準（降雨、降雪、風、バッテリー残量）を超えた場合
- 運航後の対応（機体点検、記録、報告）
- 事故発生時の対応



使用する機体の性能や操縦者の技能等を踏まえ、あらかじめ計画の中で判断基準を設定

本安全基準（案）で定める作業者（測量作業機関）が実施すべき事項

- **事故対応マニュアルの作成**
 - 事故等が発生した際の一般的な対応手順、方法
 - 緊急連絡体制、緊急連絡先
 - 作成するマニュアルの内容は、全ての作業者に対し周知が必要
- UAVを使用する作業に関する**関係者への教育**
 - 管理者や測量作業に従事する全ての作業員に対し、UAVを使用する作業の特徴や留意事項を教育
 - UAVの仕組みや性能、各種法令の概要、安全確保の方法など
- **専門技術者の確保、育成**
 - 操縦者、整備者等の知識や技能の維持向上のため、必要な研修、訓練等を実施



安全基準（案）の基本的な考え方

- 本安全基準（案）は、安全確保の考え方を具現化したものの1つであり、必ずしもこれに従わなければならないというものではない

本安全基準（案）を適用する際には、最終的には測量計画機関の了解が必要
- 本安全基準（案）で定める機能やルール等については、いずれも原則を示したものであり、必要に応じて条件等の変更は可能

この場合、測量計画機関と協議が必要
- 本安全基準（案）は、事故等の発生にいたる事象の軽減や、万が一事故等が発生した場合に生じる被害の軽減が目的

事故等が一切発生しないという趣旨のものではない
- 技術も日々進歩しており、社会情勢も変化する中で、作業者には柔軟な対応が求められる

本安全基準（案）には、一定の不確実性が含まれており、作業者の技量等を踏まえ、最善の策を講じることが必要

- これらのマニュアル（案）及び安全基準（案）は、2016年3月30日に公表
<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/index.html>
- 2016年度からの一般的な測量作業(i-Constructionに係る測量作業を含む) においてUAVを使用する際には、適用可能
- 実際の運用を踏まえてさらに改善すべき点や、最新の技術動向等も踏まえた改正、対象範囲の拡充等についても、引き続き実施予定
- 良好な利用事例を積み重ね、世の中の理解を得ることが重要

問い合わせ先

国土地理院 企画部 測量指導課
Tel: 029-864-1111 (内線3241, 3243)

国土地理院 九州地方測量部
Tel: 092-411-7881