

UAV写真測量マニュアル

令和6年4月

林野庁森林整備部計画課

目次

1. 総則	1
2. UAV写真測量の工程	1
(1) 作業計画	2
(2) 補完測量	2
(3) 標定点及び検証点の設置	2
(4) 撮影飛行	2
(5) 3次元形状復元計算	3
(6) 成果品の整理	3
3. UAVの機体及びソフト	4
(1) 使用するUAVの性能	4
(2) 汎用UAVの一例	8
(3) 点群処理ソフト	10
(4) まとめ	11
4. 作業計画	12
(1) 飛行経路の検討	12
(2) 自動飛行ソフトでの検討内容	12
(3) 標定点及び検証点の設置計画	15
(4) 飛行計画の登録	18
5. 補完測量	20
(1) 測量方法の検討	20
(2) UAV写真測量と連結	22
6. 標定点及び検証点の設置	24
(1) 現地確認	24
(2) 対空標識の設置	24
(3) 標定点及び検証点の測量	25
7. 撮影飛行	26
(1) 予備飛行	26
(2) 撮影飛行の実施	27

8.	3次元形状復元計算	28
(1)	作業の流れ	28
(2)	画像の取り込みとソフトでの選択	29
(3)	座標系の設定	30
(4)	標定点及び検証点の設定	30
(5)	成果品の精度確認	31
9.	成果品の整理	34
(1)	点群データの加工	34
(2)	成果物の内容	35
10.	標定点及び検証点の省略について	37
(1)	UAV写真測量における作業量について	37
(2)	標定点及び検証点を省略したときの精度	37
(3)	標定点及び検証点が省略可能な測量例	39

1. 総則

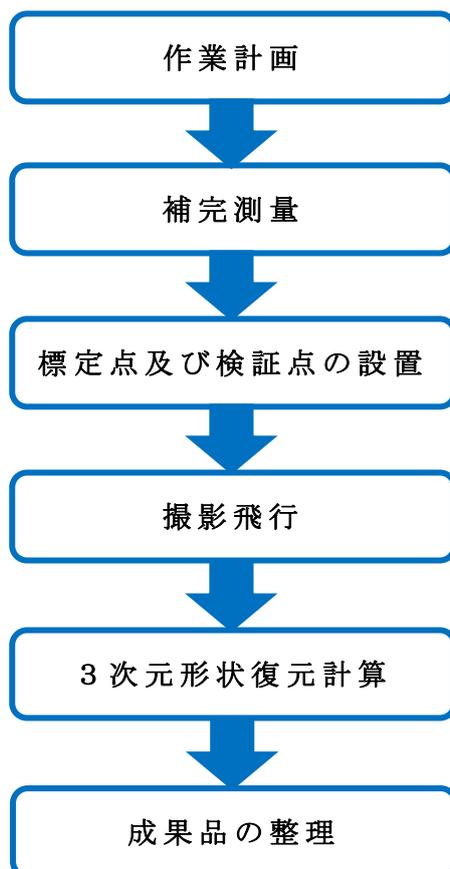
本マニュアルは、UAV写真測量の幅広い普及を目的としている。よって、可能な限り具体的な機種、ソフト、方法などを示している。しかし、UAV写真測量を含むICTは、現在でも急速な発展が見られる。特に航空法等の法規については、高い頻度での改正が想定される。

よって、本マニュアルに示した内容は、マニュアル作成時の内容であることに留意し、実際の活用にあたっては、**最新情報の確認を行うことを前提**としている。

また、使用機種や測量方法等については、原則として「ICTを活用した調査・測量実施要領_治山・林道編」（以下「ICT実施要領」という。）に準じて実施することとする。

2. UAV写真測量の工程

UAV写真測量の作業は、原則として以下の工程で行う。



(1) 作業計画

作業計画では以下の内容の決定及び飛行計画の登録を行う。

- ・測量の対象地の現状からUAV写真測量の適地であるか判断する
- ・測量の対象地全体を把握する飛行経路の検討
- ・現地の地形条件等から補完測量の必要性とその測量方法の決定
- ・計画した飛行経路に応じた標定点及び検証点の設置箇所の決定
- ・ドローン情報基盤システム（DIPS）にて飛行計画を登録

(2) 補完測量

山地で行うUAV写真測量では、樹木の樹冠などの遮蔽物により、目的とする地形データの取得が困難となる場合がある。遮蔽物である植生の量が少ない場合には、伐開等により写真測量を実施することを検討するが、植生量が多い又は大径木であり伐採することが困難な場合には、他の測量方法で地形データを補完することを検討する。

補完測量は、トータルステーションを用いた中心線測量、縦断測量、横断測量により地形データを把握する方法や、UAVレーザ測量、地上レーザ測量、LiDAR測量等の他のICTを用いた測量方法がある。これら他のICTを用いた測量を行う場合には、同一の標定点を把握しておくことで、2つの点群データを高精度に結合することが可能となる。

測量方法の選定に当たっては、現地の地形及び植生の生育状況等から効率的に地形データを把握可能な方法を選択する。

(3) 標定点及び検証点の設置

標定点とは、3次元形状復元計算に必要となる水平位置及び標高の基準となる点であり、検証点とは、3次元点群の検証を行う点である。

標定点及び検証点の配置は、計測対象範囲の形状、高低差、撮影コース、地表面の状態等を考慮して配置する。

なお、RTK・GNSS測量が可能なUAVを使用した場合は、この作業を省略することが可能となる

(4) 撮影飛行

飛行計画で報告した内容に準じた機体及び飛行方法で実施する。なお、使用するUAVの機体は以下の性能を有している必要がある。

- ・自律飛行機能及び異常時の自動帰還機能を装備している。
- ・航行能力は、利用が想定される飛行域の地表風に耐えることができる。
- ・撮影時の機体の振動や揺れを補正し、デジタルカメラの向きを安定させることができる。

なお、3次元計上復元計算の精度を一定に保つためには、撮影する写真の重複率を一定に保つ必要がある。この重複率が一定の写真撮影を行うためには、自動飛行で撮影することが望ましい。

(5) 3次元形状復元計算

3次元形状復元計算とは、撮影した空中写真及び標定点を用いて、空中写真の標定要素及び空中写真に撮像された地点の位置座標を求め、地形・地物の3次元形状を復元し、オリジナルデータを作成する作業をいう。一般的には専用のアプリケーションを用いて行う作業である。

(6) 成果品の整理

グラウンドデータ又は変換した構造化データから3次元点群データファイルを作成し、電磁的記録媒体に記録し、成果品とする。

3次元形状復元計算ソフトは、多様な形式の出力が可能であるが、3次元点群としてはLAS形式、CSV形式、TXT形式が、サーフェスモデルとしてはLandXML形式やTIN形式が一般的である。

3. UAVの機体及びソフト

(1) 使用するUAVの性能

UAV写真測量に使用する機体は、国土交通省国土地理院発行の「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準(案)」(令和5年6月)によると、以下の機能を有している必要があるとされており、ICT実施要領においても同様である。一般的に購入可能なUAVであれば、これらの機能は十分有している。

使用するUAVの機能及び性能

● 十分かつ安定した飛行性能を持つ機体であって、その性能が明らかであること

UAVを適切かつ安全に飛行させるためには、UAVが十分な飛行性能を有していることに加え、その性能があらかじめ明らかであることが不可欠です。飛行のための計画を作成する上でも、使用するUAVの性能を踏まえることが必要です。このため、例えばUAVの最大飛行重量(飛行可能重量)、連続航続可能時間、最高飛行速度、飛行可能最大風速、UAVの機体とコントローラやモニタ等との間の無線の到達範囲などが明らかなUAVを使用することが必要です。自作したUAVなどを使用する場合には、そうした飛行性能を客観的に証明できることが求められます。

● 機体に鋭利な突起物がない構造であること

UAVを使用した測量作業を行う者や、飛行中のUAVが誤って落下した場合に飛行ルート下にいる者に対して危害を加える恐れを減らすため、UAVの機体には鋭利な突起物がない構造であることが必要です。特に回転翼(ロータ)は、飛行中高速で回転しており、直接人が触れると大きな事故となる危険性が高いです。このため、必要に応じてプロペラガードを装着するなど、安全性を高めるための装備を行うことが必要です。

● 機体を空中で認識しやすい色や模様であること

● 灯火や表示など、空中で機体の位置及び向きを正確に視認できるための装備があること

UAVを使用する際は、地上から機体を目視しながら飛行させることが必要となります。このため、UAVの機体の色や模様は、空中で認識しやすいものであることが求められます。例えば白色、黒色等が考えられます。また、UAVの状態を適切に視認できるよう、灯火や表示を機体に装備することが必要です。

● 機体を識別できる情報が機体に記載されていること

UAVの飛行中に機体を見失い、第三者が機体を発見することも考え

られます。こうした事態が発生した際に、UAVの所有者等を明らかにするために、機体登録が必要です。また、機体登録で得られた登録記号については、機体に物理的に表示しなければなりません。

● 電波法に適合した無線装置を使用していること

UAVの機体を操縦したり、UAVの機体の状態を地上側で把握したりする際には、機体とコントローラ、モニタ等の間で無線通信が使用されます。こうした際に使用する無線装置は、電波法に適合した装置であることが必要です。また、こうした装置を使用する際には、電波法を遵守することが求められます。なお、特定の周波数帯、出力の機材を使用する場合は、無線資格や開局申請が必要となりますので、総務省の電波利用Webサイト(<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/>)においてよく確認してください。

● 自動操縦機能

UAVが機体に搭載されたGNSSを利用して位置情報等を把握し、あらかじめ計画されたルートに従って、自律的に飛行を行う機能をいいます。公共測量でUAVを使用する場合は、あらかじめ定められたコースに従ってUAVを飛行させ、適切な箇所で空中写真の撮影や地形データ等の取得を行うことが必要です。計画に基づいて適切にUAVを飛行させるために、この安全基準に基づいてUAVを公共測量で使用する際には、UAVは離着陸時等を除き、自動操縦させることを原則としています。また、自動操縦機能を使用することで、操縦者の関与を極力少なくすることができ、結果的に操縦者に対する負担を減少させることが可能となります。これにより、操縦者に対し非常に高度な技能を求めることを避けるようにしています。

なお、自動操縦機能には、飛行中に機体に不具合が発生した場合や、建築物等に異常に接近した場合など、自動操縦を緊急に中止等させる必要がある際に強制的に介入（解除）し、操縦者が手動で機体を操作（着陸等）することができる機能を持っていることも必要です。

● モニタ監視機能

UAVの機体の位置や搭載された機器等の状態、バッテリー残量など、地上にあるモニタを用いて、リアルタイムで監視できる機能をいいます。機体とモニタの間は無線通信等で情報をやりとりします。

この安全基準に基づいてUAVを飛行させる場合は、原則としてUAVは常に作業員に監視されていることが必要となっています。しかし、UAVの機体の状態について、視認することに加え、その状態を数値等、客観的な情報で常に把握を続けることが不可欠です。こうし

たことから、この安全基準では、モニタ監視機能を装備することを原則としています。

また、モニタ監視機能は、UAVの飛行中に、万が一視認できなくなる事態が発生した場合でも、その位置や状態を把握することが期待できます。安全性を高める上でモニタ監視機能は必要といえます。

● フェイルセーフ機能

機体に異常が生じた場合など、UAVの飛行を継続することが適切ではない事態が発生した場合に、直ちに飛行を中止させる機能です。中止した場合には、機体はあらかじめ指定された場所に戻るか、その場でゆっくりと降下することが必要です。この機能は、以下のような場合に動作するものとします。

- ✓ 地上にあるモニタ、コントローラ等からの指示があった場合。
- ✓ あらかじめ指定された空域を逸脱して飛行した場合（ジオフェンス機能）。
- ✓ GNSS信号を正常に受信できなくなった場合。
- ✓ 地上にあるモニタ、コントローラ等との無線通信等が遮断した場合。
- ✓ バッテリ残量が指定値を下回った場合。
- ✓ その他、機体に異常が生じ、安定した飛行を継続できなくなった場合。

機体の種類や、搭載しているプログラム、機能等により、フェイルセーフ機能の発動方法や、UAVの対応方法が異なります。フェイルセーフ機能は、安全性を高めるための機能であり、各機体の特性も踏まえ、適切な運用ができることが求められます。

● フライトログ記録機能

UAVの飛行位置や搭載された機器の状態等（フライトログ）を記録する機能です。フライトログは、UAVの機体で記録する場合と、モニタ、コントローラ等の地上にある機器で記録する場合があります。万が一事故等が発生した場合に、フライトログを使用することで、その原因等を把握することが容易になることが期待されます。フライトログの記録、保管期間等の詳細については、この安全基準では特別の定めはしていませんが、安全な飛行のために適切な運用ができることが求められます。

また、上記機能以外にも撮影した写真のプロパティに撮影した画像やカメラの諸元が添付されていることが望ましい。これらは、3次元形状復元計算で専用のソフトで使用されるもので、これがあることで3次元形状復元計算の作業量効率が上がる。

イメージ		カメラ	
イメージID		カメラの製造元	DJI
大きさ	4000 x 3000	カメラのモデル	FC2204
幅	4000 ピクセル	絞り値	f/2.8
高さ	3000 ピクセル	露出時間	1/200 秒
水平方向の解像度	72 dpi	ISO 速度	ISO-100
垂直方向の解像度	72 dpi	露出補正	+0.3 ステップ
ビットの深さ	24	焦点距離	4 mm
圧縮		最大絞り	2.971
解像度の単位	2	測光モード	中央重点測光
色の表現	sRGB	対象の距離	
圧縮ビット/ピクセル		フラッシュモード	フラッシュなし
		フラッシュエネルギー	
		35mm 焦点距離	24
GPS			
緯度	34; 51; 4.5144000000000517		
経度	138; 55; 15.140699999988114		
高度	564		

写真のイメージ、カメラ、GPSプロパティの事例

(2) 汎用UAVの一例

現在UAVは様々な機能を持った機種が多く販売されている。ここでは価格のほか、UAV写真測量を行う場合の性能や長所短所等をタイプ別に4つ取り上げ以下の様にまとめた。

・機体A：写真撮影に特化した小型機体

本機は、低価格と軽量コンパクトな機体が特徴で、山地での搬入が容易である。カメラセンサーも1インチ2000万画素で、最大飛行時間は約30分あり、3次元計上復元計算を行うのに十分な性能を有している。本体価格は約20万円である。



・機体B：RTK・GNSS測量を有する小型機体

本機は、RTK・GNSS測量に対応していることから、標定点の設置が不要であることに加え、対角寸法350mm、離陸重量1391gと小型で軽量であることから、人力での搬入が可能である。



・機体C：RTK・GNSS測量を有する中型機体

本機は、最大飛行時間55分と長時間飛行可能で、15m/secの風速に耐える性能を有している。また、RTK・GNSS測量にも対応しているため、標定点の設置を行うことなく高精度の3次元データを取得することが可能となる。



・機体D：大きな揚力を有する大型機体

大型の産業用モデルとして発売されている。大型であるため6kgの積載量を有し、大型のカメラに加え高性能三軸ジンバル等が搭載可能である。

ただし、本体サイズが1668×1518×727mmと大型のものもあり、輸送手段が限られる。また、離着陸場所としてある一定の空間が必要となることから、山地での運用は限定される。



揚力があることからUAVレーザ測量の機体として活用されている。

表 3-1 機体別の諸元一覧

機体	価格	飛行時間	規格・寸法
機体 A	約 20 万円	約 30 分	322×242×84mm
機体 B	約 66 万円	約 30 分	対角寸法 350mm
機体 C	約 95 万円	約 55 分	対角寸法 895mm
機体 D	約 60 万円	約 35 分	1668×1518×727mm

表 3-2 機体別の写真撮影に対する長所・短所

機体	長所	短所
機体 A	<u>小型軽量化により機材搬入が容易</u> である。また、 <u>安価</u> であるため初期費用を抑えることが可能となる。	RTK・GNSS測量が出来ないことから、 <u>高精度の成果を得る場合には標定点の設置が必要</u> となる。
機体 B	<u>人力で携行出来る</u> 大きさであり、RTK・GNSS測量により <u>標定点の設置を省略できる</u> 。	機体の金額が高価である。
機体 C	<u>飛行時間が長い</u> ことから大面積の測量に適している。また、RTK・GNSS測量により標定点の設置を省略できる。	機体 B と比較して <u>搬入や離着陸場所の確保が困難</u> 。また、機体の金額が高価である。
機体 D	高性能のカメラ等を搭載可能である。	大型であるため機体 C よりも <u>山間地への機材搬入や離着陸場所の確保が困難</u> 。UAV写真測量としてはオーバースペックである。

(3) 点群処理ソフト

点群処理ソフトは、重複率の高い写真データから、3次元計上復元計算を行うもので、現在多くのソフトが販売されている。ここでは、その中から4つのソフトを取り上げ、その価格や測量レベル、画像処理方法等をまとめる。

・ソフトA

UAV写真測量のために開発されたソフトで、UAV写真測量の作業が効率的に実施でき、360度カメラやサーモグラフィーなどにも対応している。月額、年額のサブスクリプション契約の他、買取ライセンスもある。測量精度は1cm未満と高精度である。

・ソフトB

デジタル画像の写真測量処理と3D空間データ生成ソフトである。UAV写真測量専用ではないことから、他のデジタルカメラで撮影した画像にも高精度に対応している特徴がある。購入にはスタンダードとプロフェッショナル等のグレードがあり、スタンダードであれば安価に導入することが可能である。

・ソフトC

UAV写真測量用に開発されたソフトである。14日間の無料トライアルが可能で、試しに使用するのに適している。

・ソフトD

日本製のソフトであり、月額制UAV写真測量データ作成サービスである。基本的にWebに画像をアップし、データ作成を実施してもらうものである。様々なクラスがあり、画像のファイル数やストレージ容量などに制限があるものから、無制限まであることから、使用頻度等に合わせてプランを選択できる。また、基本的に写真を送付するだけでオルソ画像や点群データ等の作成が出来るので、3次元形状復元計算の作業を省略できる。

表 3-3 点群処理ソフト一覧

ソフト名	ソフトA	ソフトB	ソフトC	ソフトD
費用例	45,000 円/月 買取：865,000 円	要問い合わせ	1ライセンス 450,000 円 +70,000 円/年 (2年目以降)	ビジネス1年プラン 60,000 円/月
測量レベル	1cm 未満	+/-5cm 以内	+/-10cm 以内	+/-10cm 未満
データ処理方法	データ処理作業 を手動で実施	データ処理作業 を手動で実施	データ処理作業を 手動で実施	画像をクラウド上 にアップするのみ で自動で作成

(4) まとめ

今後、UAV 写真測量をはじめて導入する場合には、機体については最も小型の安価なもの（機体A）が有利である。小型であり人力で持ち運ぶことが可能で、離着陸場所を選ばないことから、さまざまな現場での活用が期待できる。また、点群処理ソフトについては、月額プランがあるものから始めることで初期投資を抑えることが可能となる。

その後、継続的に使用している場合には、点群処理ソフトを月額プランから買取とした方がより効率的である。さらに、使用頻度が高い場合には、RTK・GNSS 測量が可能な機体（機体B）などを導入することで、現地での作業時間及びその精度向上を図ることが可能となる。さらに大面積が必要な場合には、機体Cの様な長時間飛行が可能な機体の購入を検討することが望ましい。

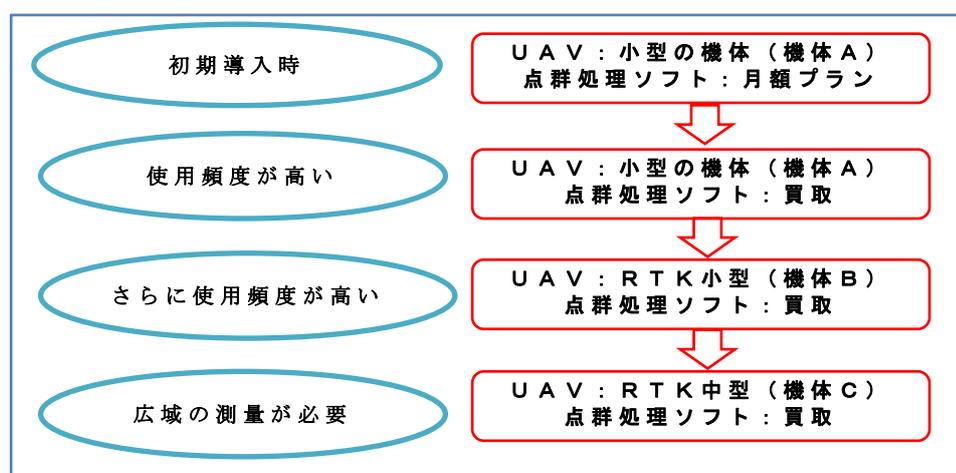


図 3-1 機体と点群処理ソフトの導入イメージ

4. 作業計画

(1) 飛行経路の検討

点群データの精度を均一に得るためには、一定の重複率で撮影された画像を使用することが望ましい。よって、UAV写真測量においては自動飛行ソフトを使用することが一般的である。自動飛行ソフトとは、ソフト側でUAVを制御し、予定した航路を飛行させるものである。現在有料、無料多くのソフトがあり、その性能も様々である。

無料のソフトも多いが、OSに制限があるものや、飛行高度が一定となる等の制限がある。一方、有料のソフトもあり、飛行高度を変更させることが可能なソフトもある。有料のものの一例として、3,900円(2023/12時点)程度の価格で販売されているものもある。

有料のソフトを使用する事例としては、高度変化が大きい範囲を測量する時に、計画範囲内でUAVの高度を変更したい場合などがある。

(2) 自動飛行ソフトでの検討内容

自動飛行ソフトでは、ソフト別に設定方法等に差異はあるが、設定する内容は概ね同様である。その内容は、**飛行範囲、使用カメラの設定、飛行高度、画像の重複率、飛行方向、撮影モード**などが一般的である。その他にもジンバル角度(カメラの垂直方向の角度)、マージ(余白)の設定、飛行速度、完了後の動作等の設定も可能である。

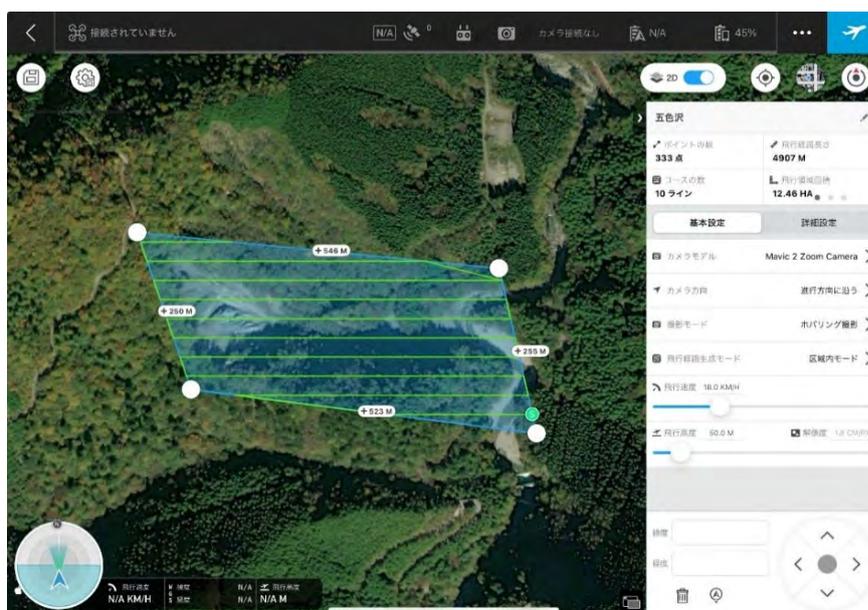


図 4-1 設定画面例

① 飛行範囲

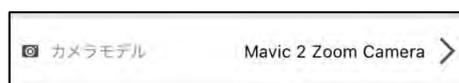
飛行範囲は、UAV写真測量の対象地を画面上において矩形で囲む。矩形は複雑な形状（多角形）でもよい。



図 4-2 飛行範囲設定例

② 使用カメラの設定

使用カメラは、カメラの諸元を設定するもので、飛行高度と共に画像の重複率を決定している重要な設定内容である。一般的に汎用 UAV の場合、事前にカメラの諸元が組み込まれており、**使用する UAV を選択する** ことでカメラの設定を行うことが出来るものもある。



③ 飛行高度

飛行高度は、前述の使用カメラの設定と同様に重複率を決定する重要な設定内容である。飛行高度は高いほど広範囲を一度に撮影する事が出来るが、地上の情報である解像度が低くなる。「ICT実施要領」では、地上画素寸法として定められており、地図情報レベルによって、0.02m または 0.03m となっている。なお、地上画素寸法の求め方については、「ICT実施要領 3-2-6 写真撮影」に示されている算出式と代表的な機種による撮影高度と画素寸法を参照のこと。

使用するソフトによっては、この地上画素寸法が「解像度 CM/PX」で示されている場合があります、標高設定の参考となる。



また、山間地で飛行高度を設定する場合には、離陸場所と撮影対象範囲の標高が異なっていることが多いことから、特に留意する必要がある。具体的な留意事項については、「ICT実施要領 3-2-7 山地での留意点」を参照のこと。

④ 画像の重複率

画像の重複率は、2つの設定で決定する。同一コース内（航路上）の重複と、隣接コース（航路）間の重複である。「ICT実施要領」では、「**同一コース内の写真で 80%、隣接コース間の写真で 60% 以上を標準とする。**」と定められている。

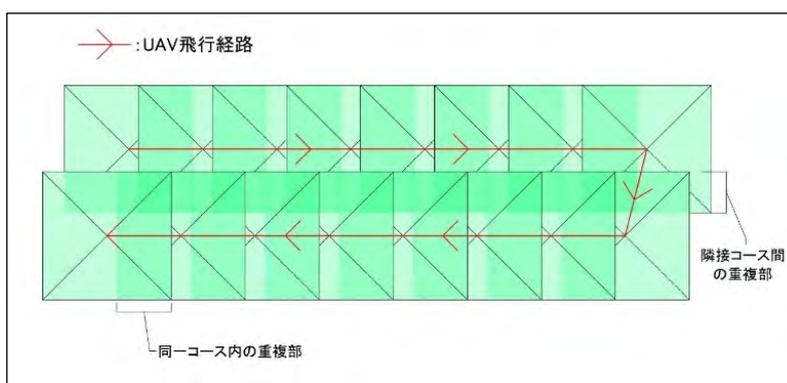


図 4-3 重複のイメージ図

ただし、山間地で設定する場合には、撮影箇所での対地表高度が変化することから、標準地より高くすることが望ましい。

使用するソフトによっては、航路上（同一コース内）のオーバーラップ率と航路間（隣接コース間）のオーバーラップ率として設定可能である。



⑤ 飛行方向

飛行方向は、範囲内での飛行方向を指す。範囲内の高低差がある場合には、等高線方向に飛行方向を合わせる方がよい。



⑥ 撮影モード

撮影モードは、「ホバリング撮影」、「等時間間隔で撮影」、「等距離間隔で撮影」等のモードから選択する。ホバリング撮影は機体が一且停止しホバリング中に撮影する。このことから、カメラが移動中に発生するローリングシャッター現象による歪みを抑えることが出来るが、撮影時に一旦停止することから撮影に時間がかかる。



等時間・等距離間隔で撮影する場合には、撮影時間を短縮することが可能であるが、画像の歪みが発生する危険性が高まる。このことから、特に曇天時などの光量の低いときには、露光時間などを調整し精度を確保する対策を取ることが望ましい。

参考として、令和3年度、令和4年度のICTを活用した施工の確立に向けた調査事業によると、UAV写真測量とトータルステーションとの比較では同程度の成果であったと報告されており、その時の設定が**等時間間隔（2sec）で速度は5m/sec**であった。よって速度が5m/sec程度であれば、歪みによる誤差は僅かであり、短時間で撮影が終了する等時間間隔での撮影が可能である。

⑦ 飛行時間の確認

作成した航路について、飛行時間の確認を行う。使用するソフトによっては、飛行距離以外にも飛行予測時間、撮影予定枚数、必要なバッテリー残量などが表示されることから、確認が容易である。

● 飛行予測時間 4分28秒	📷 撮影予定枚数 111
🔋 必要なバッテリー 約1セット	📏 撮影間隔距離 F: 14.9 M / S: 31.7 M

(3) 標定点及び検証点の設置計画

飛行経路が決定した後、標定点及び検証点の設置箇所の検討を行うこととなる。しかし、**RTK・GNSS測量の機能があるUAV機器を使用している場合には省略することが可能**である。また、公共的な位置の精度を必要とする測量でない場合においても省略することが出来る。

「ICT実施要領」によると、「4. 治山事業」、「5. 林道事業」において共に、災害時の概算数量把握や全体計画及び予備測量等においては標定点の設置を省略できるとされている。

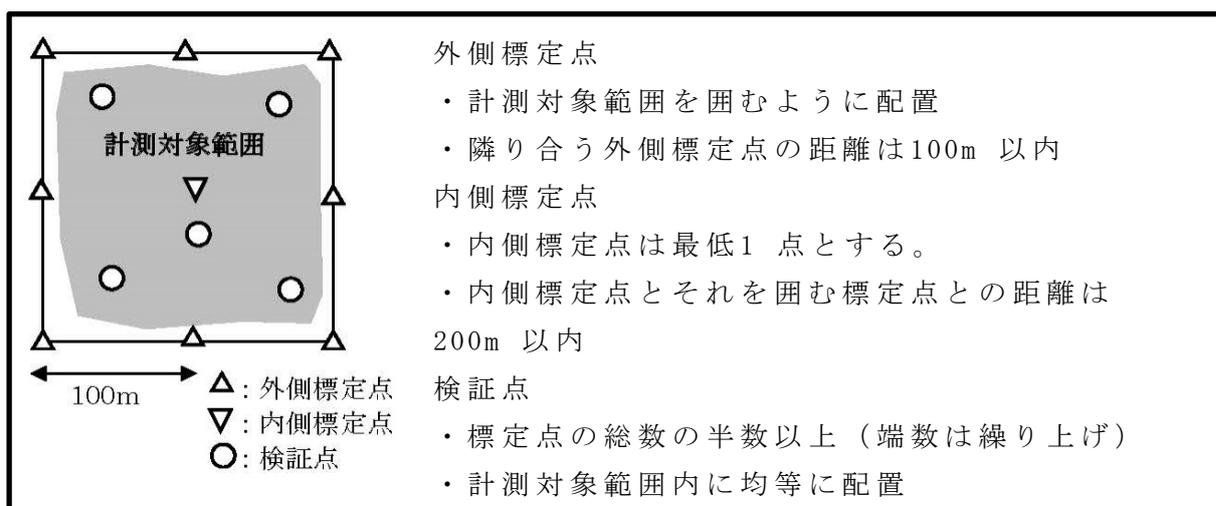
よって、ここではRTK・GNSS測量の機能を有していないUAVを用いた場合で、公共座標の位置を正確に把握したい場合に適用することとする。

標定点及び検証点の設置箇所検討の詳細については、「ICT実施要

領」に示されている以下の内容に準じて行う。

なお、外側標定点については、**対象地の外側が林縁部にあたり、上空から視認できない場合などは、外側に近い内側に設置しても良い**こととする。

- ・ 標定点は、計測対象範囲を囲むように配置する「外側標定点」と計測対象範囲内に配置する「内側標定点」で構成する。
- ・ 標定点の配置間隔は、外側標定点間が 100m 以内、内側標定点間が 200m となるように配置する（位置精度 0.10m 以内の場合）。
- ・ 計測対象範囲の高低差が大きい場合には、標高の高い点と低い点に標定点を配置することが望ましい。
- ・ 検証点は、標定点とは別に設置するもので、標定点から離れた場所で、計測対象範囲に均等に配置することを標準とする。また、検証点の設置数は、標定点の半数以上を標準とする。



（「UAVを用いた公共測量マニュアル平成29年3月改定版」より引用）

なお、標定点及び検証点の設置計画の立案に当たっては、現地において上空から視認出来るか、想定した上で決定する必要がある。現地において数メートルほどの移動であれば問題ないが、100m規模で移動が必要となってくると、配置計画から再検討する必要があるが出てくる。

事前に現地で確認できれば良いが、出来ない場合は近年に撮影された空中写真や Google Earth 等で確認して決定する事が望ましい。

なお、標定点及び検証点の現地での作業内容については P 24 以降の「6. 標定点及び検証点の設置」を参照のこと。

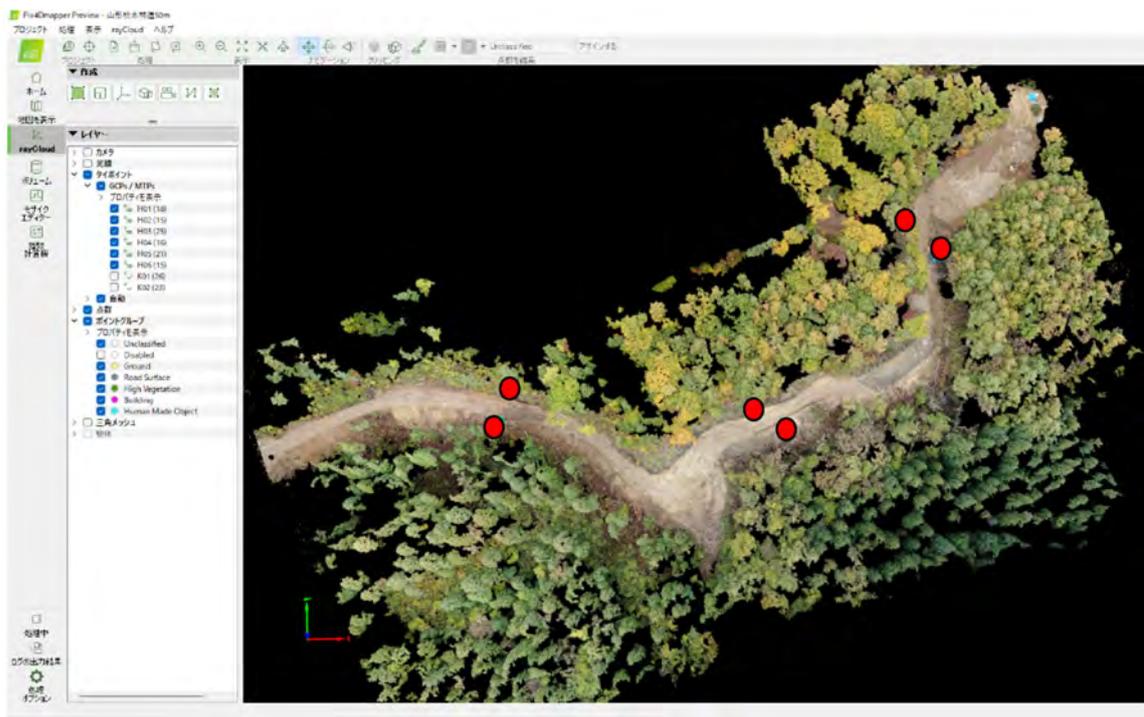


図 4-4 標定点の設置計画例（6点）

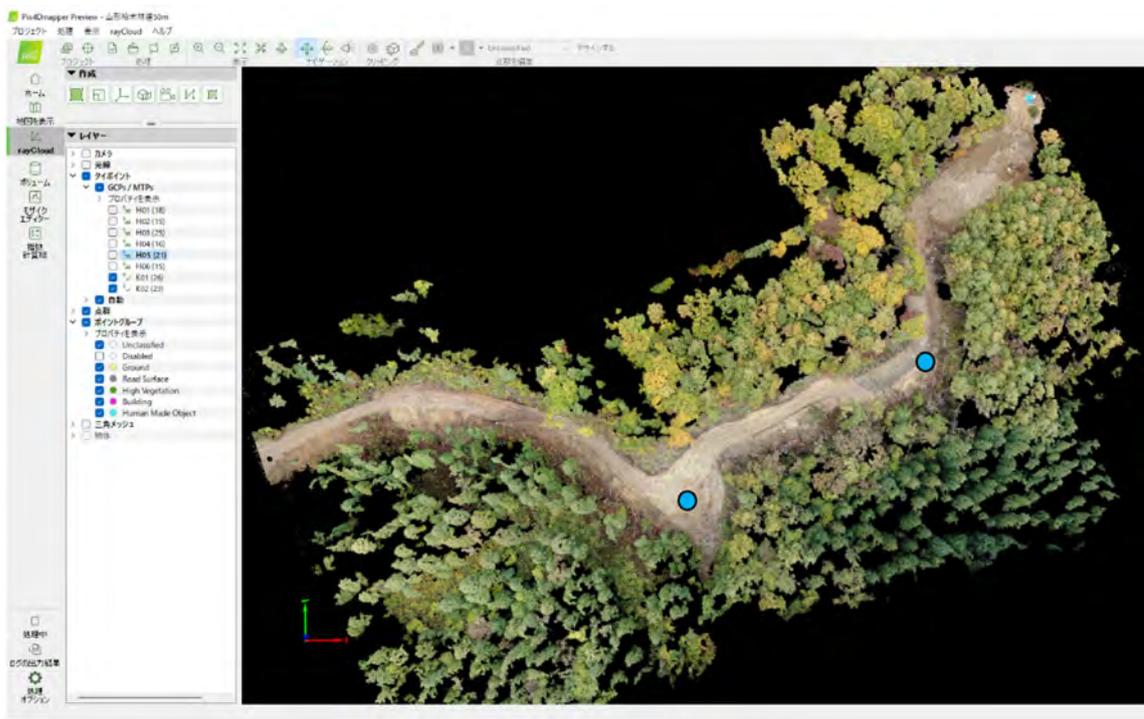


図 4-5 検証点の設置計画例（2点）

(4) 飛行計画の登録

日本でUAVを飛行させるためには、遵守しなければならないルールが様々あり、主として国土交通省で運営しているドローン情報基盤システム2.0(DIPS)において管理されている。飛行に関して許可申請が必要となる特定飛行(*内容については下記URLより確認)を行わない場合においても「飛行計画の通報」は必要となることから、UAVを飛行させる場合には必ず飛行計画を登録する必要がある。

詳細については、下記のURLにより確認すること。

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

DIPSでの流れ

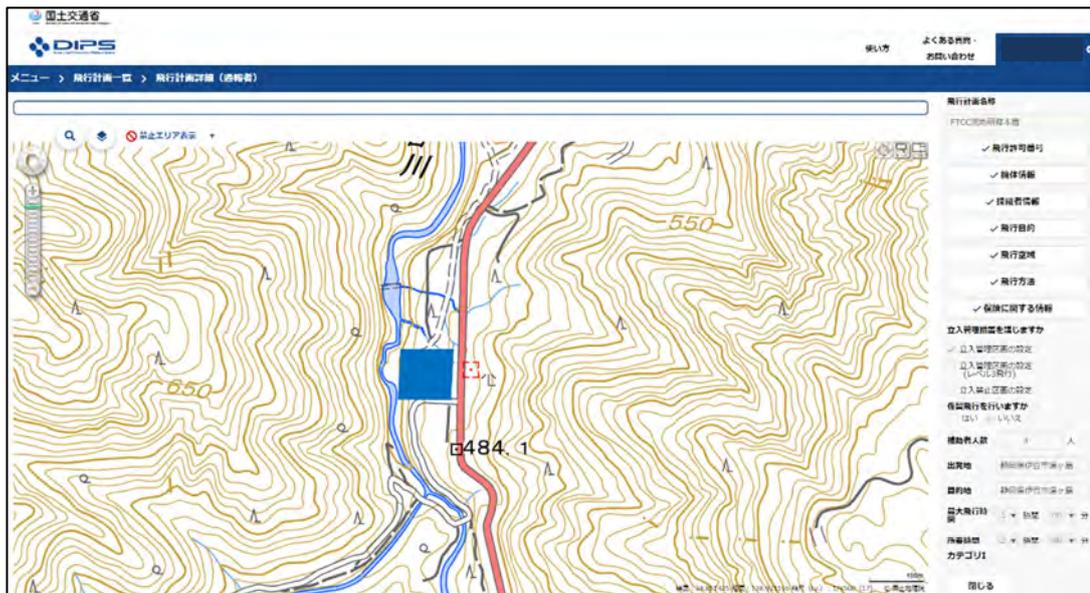
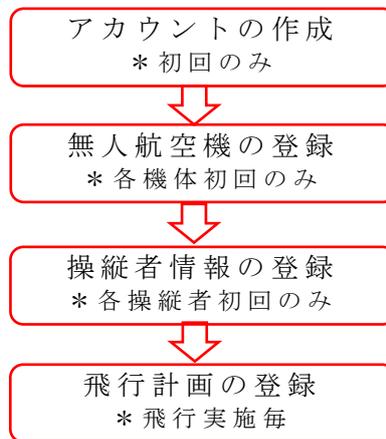


図 4-6 DIPSでの登録画面(新規登録初期画面)

飛行計画において登録する内容

- ① 飛行経路/飛行範囲（地図上で設定）
- ② 機体情報（登録した機体から選択）
- ③ 操縦者選択（登録した操縦者から選択）
- ④ 飛行目的（リストから選択）
- ⑤ 飛行空域（特定飛行区域もしくは飛行禁止区域でないか確認）
- ⑥ 飛行方法（特定飛行となるか確認）
- ⑦ 保険に関する情報（飛行する機体の保険情報）
- ⑧ 立入管理措置（立入管理措置を講じるレベルもしくは講じないか）
- ⑨ 補助人数、出発地、目的地
- ⑩ 最大飛行時間、所要時間
- ⑪ 開始日時
- ⑫ 飛行速度、飛行高度
- ⑬ 連絡先

上記を全て入力するとカテゴリーが決まり表示される。この中で、「カテゴリー I」となった場合は申請書類が不要とり、申請書類なしで登録することが可能となる。



The image shows a screenshot of a web-based flight registration form. On the left, there is a map area with a scale bar indicating 100m and a scale of 1/4500 (17). The right side of the form contains several input fields: 'メールアドレス' (Email Address) with the value 's.saho@sinrin-teku.co.jp', and 'その他情報' (Other Information) which is currently empty. Below these fields, the text 'カテゴリー I' (Category I) is displayed, circled in red. At the bottom of the form, there are two buttons: 'キャンセル' (Cancel) and '登録' (Register), with the '登録' button also circled in red.

図 4-7 カテゴリー表示の例

5. 補完測量

(1) 測量方法の検討

補完測量は、上空からの写真撮影では地形が写らない場所について実施するもので、対象地の地形及び植生の状況に応じて適した測量方法が異なる。地形測量に関しては、特に植生の状況の影響が大きいことから、ここでは植生に注視し、事例別に適した測量方法を示すこととする。

CASE 1

植生の状態：高木の樹冠及び下層植生が密な状態で成立

測量方法：測角測距法（トータルステーション等）

CASE 2

植生の状態：高木の樹冠は密な状態であるが下層植生は少ない

測量方法：LiDAR 測量又は地上レーザ測量

CASE 3

植生の状態：高木の樹冠が疎な状態であり下層植生も少ない

測量方法：UAVレーザ測量

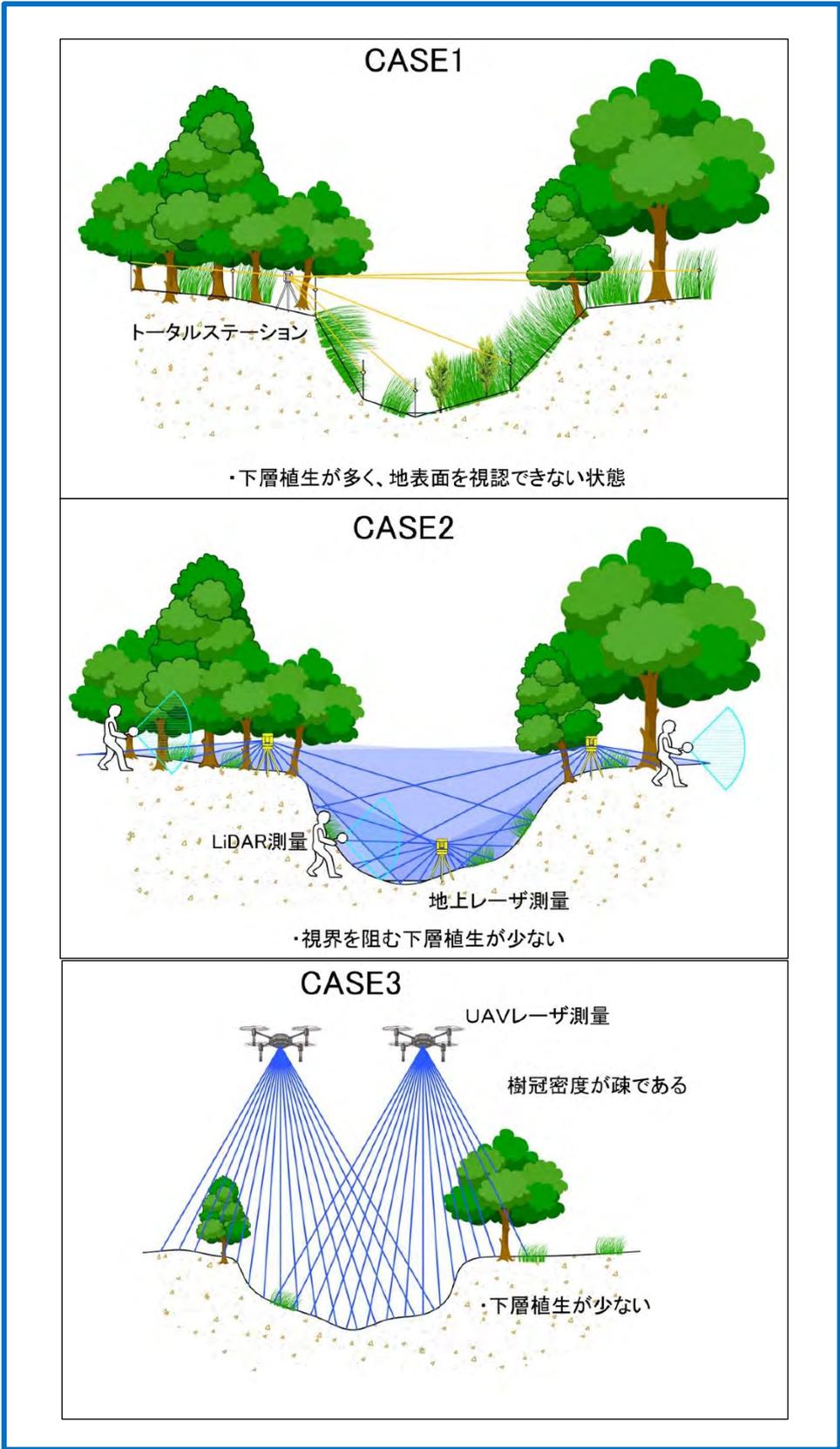


図 5-1 測量方法の選択イメージ図

(2) UAV 写真測量と連結

補完測量の成果を UAV 写真測量の成果と連結する場合には、標定点を共有して行う方法が効率的である。UAV レーザ測量、地上レーザ測量及び LiDAR 測量においても標定点は必要となることから、この **標定点を共有する** ことで測量成果の連結を容易に行うことができる。

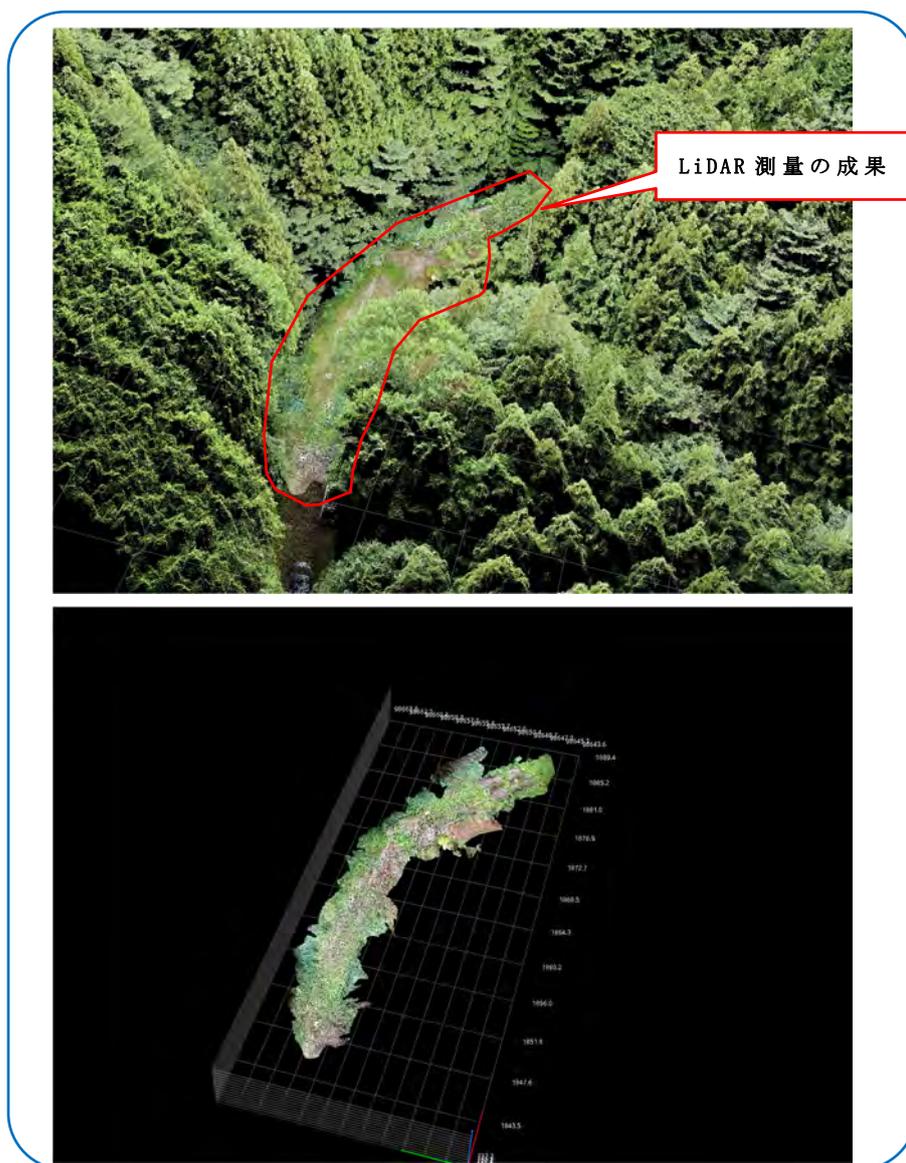


図 5-3 UAV 写真測量と LiDAR 測量の成果の結合例
(事例：国有林内の林道災害箇所)

図 5-3 の様に樹冠によって林道の路体が写真に写らない箇所などでは、全体の地形を UAV 写真測量で地形情報を得て、林道付近の地形情報を LiDAR 測量により得る方法等が考えられ、同じ標定点を用いること

で、2つの成果を重ねることが可能となる。

一方、トータルステーション等を用いた測角測距法では、一般的に標定点は設置しない。測角測距法の測量成果をUAV写真測量と合わせるには、同一の座標の成果となる必要がある。このことから、測角測距法での測量時にUAV写真測量で用いた標定点を2つ以上観測することで、その測量成果をUAV写真測量の座標と合わせることが可能となる。

よって、補完測量を測角測距法で実施する時には、UAV写真測量の作業計画において標定点の配置を検討するときには、2つ以上の標定点が測角測距法で観測可能な位置であることに留意して決定する必要がある。



図 5-3 UAV写真測量と測角測距法の成果の結合例
(事例：国有林内の林道災害箇所)

6. 標定点及び検証点の設置

(1) 現地確認

作業計画で、標定点及び検証点の設置が必要だと判断され、設置計画が作成された場合、現地確認を行う。現地確認では、標定点及び検証点計画箇所における上空からの視認状況を確認する。視認できない場合には視認可能な箇所を再設定する必要がある。

(2) 対空標識の設置

標定点及び検証点には、上空のUAVから確認可能な対空標識を設置する。この対空標識は、上空から認識しやすい形状、色等を選択することとし、寸法については、撮影した写真データに対空標識の辺長又は円形の直径が15画素以上写る大きさを標準とする。一般的なサイズとして45cm四方のものがある。この大きさであれば地上画素寸法0.03m以下で15画素以上写ることとなる。

(参考) 国土交通省国土地理院で標準としている模様

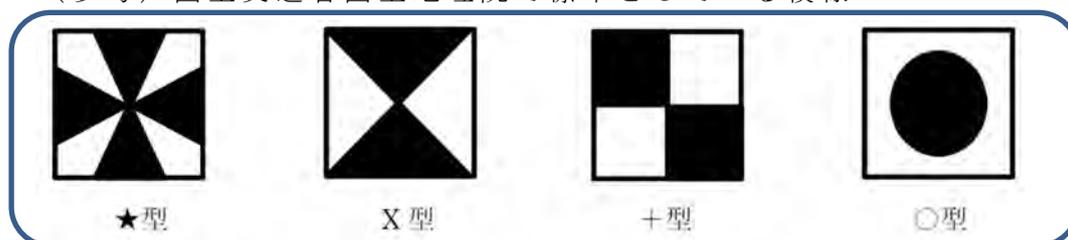


図 6-1 対空標識の模様

(「UAVを用いた公共測量マニュアル平成29年3月改定版」より引用)



写真 6-1 対空標識の設置状況

(3) 標定点及び検証点の測量

標定点及び検証点の測量は、公共座標であることが望ましい。しかし、山間地において近傍に公共座標が与えられた基準点があることは少ない。よって、任意座標系による測量でもよい。

ただし、RTK・GNSS測量機器がある場合には、これを活用することで公共座標を容易に取得することが可能となる。

「令和4年度ICTを活用した施工の確立に向けた調査事業」においては、RTK・GNSS測量とトータルステーションでの横断測量（200m区間4横断）の比較が以下の様にまとめられていた。この結果から、**標定点及び検証点の測量においてRTK・GNSS測量が効率的**である。また、トータルステーションでは任意座標系となるがRTK・GNSS測量では、容易に公共座標系での結果を得ることが可能である。

表 6-1 作業時間集計表

作業内容	数量	人工	作業時間
RTK・GNSS測量	4横断 (34点)	1人	0.5時間
トータルステーション	4横断	2人	2.0時間

一方でRTK・GNSS測量では、上空が開けている必要があり、山間地では場所が限定される。しかし、今回は標定点及び検証点として、上空から視認可能な点を選定している。このことから、**RTK・GNSS**

S測量に適した場所
ある可能性が高く、上

表のように非常に効率的に公共座標を取得する事が出来る。よって、RTK・GNSS測量機器がある場合には積極的に使用することが望ましい。



写真 6-2 RTK・GNSS測量機器での測量状況

7. 撮影飛行

(1) 予備飛行

作業計画で作成した、飛行経路について実際に自動飛行可能であるか **マニュアル操作で予備飛行を実施**する。特に離陸場所から比高差のある場所、特に離陸場所より高くなっている場所について、入念に確認する必要がある。

飛行計画では、おおよその地形から飛行高度を決定する。しかし、現地では、立木や鉄塔などの地物等により地形から判定した高度と異なる状況が発生する。よって、自動飛行を実施する前に、手動飛行により飛行予定区域が本当に飛行可能であるかを確認する必要がある。

また、離着陸場所についても、上昇下降時に障害となる枝葉等が無い場所を設定する必要がある。突然の強風により機体が揺れることを想定して、十分余裕のある離着陸場所の選定に努めることが望ましい。

一般的な自動飛行ソフトであれば、飛行経路を表示している画面上で UAV の現在の位置、離陸場所からの高低差等をリアルタイムで確認することが可能である。

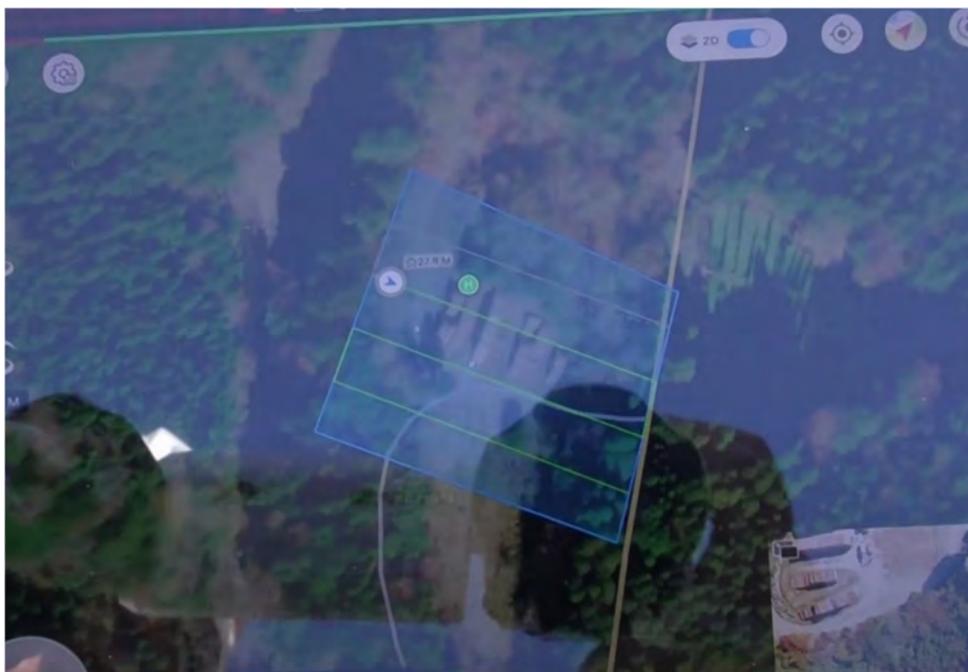


写真 7-1 手動による予備飛行時のコントローラ画面
白丸に青矢印が飛行中の UAV の位置、緑線が飛行経路
右下に UAV からの映像

(2) 撮影飛行の実施

予備飛行で、飛行経路の安全が確認できた後、自動飛行ソフトでUAVを制御し、自動で離陸、撮影、着陸を行う。



写真 7-2 離陸場所への設置



写真 7-3 機体との接続および自動飛行経路の送信



写真 7-4 UAVの離陸

8. 3次元形状復元計算

3次元形状復元計算は、一般的に汎用のソフトを用いて行う。また、各ソフトにより順序や作業内容に違いはあるが、ここでは代表的な作業内容及びその操作方法の概要を説明することとする。

(1) 作業の流れ

三次元形状復元計算では、概ね以下の流れで作業を行う。この中で手作業が必要な作業について赤枠で示した。

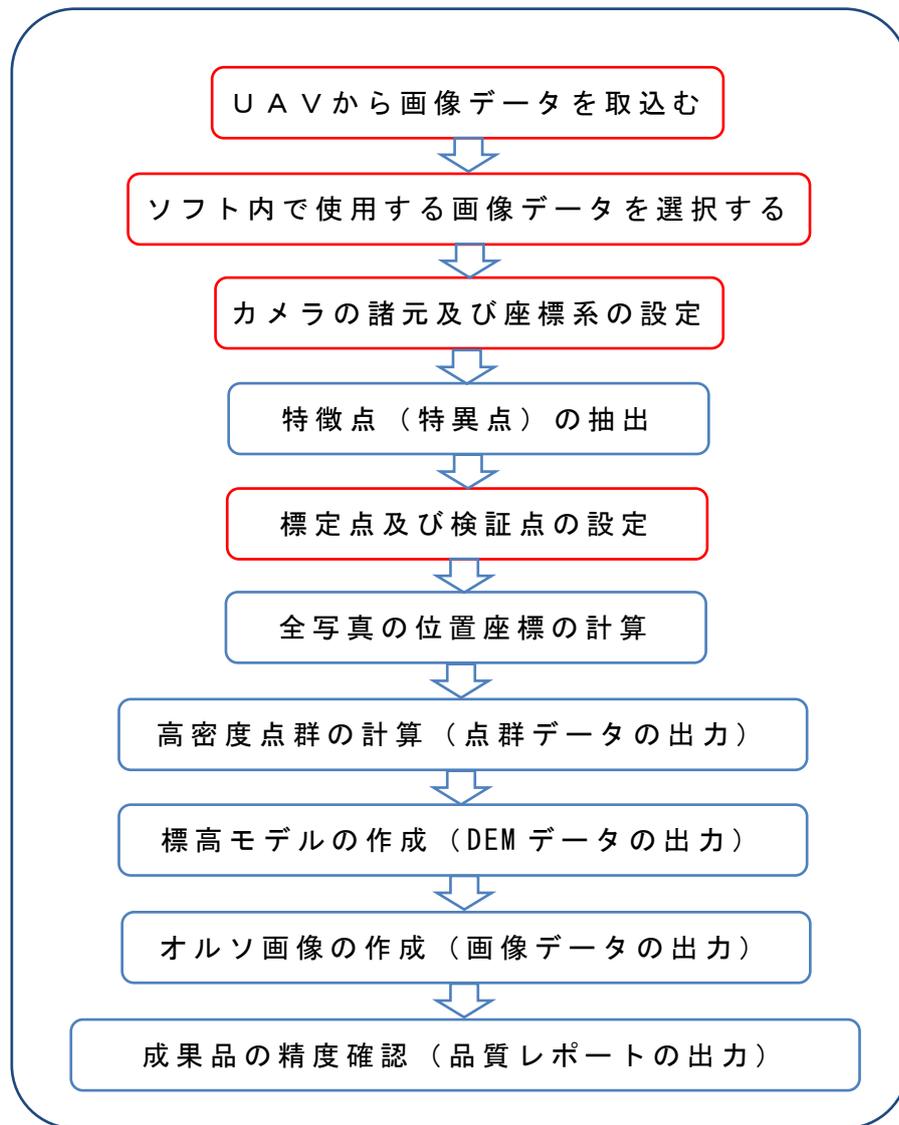


図 8-1 3次元形状復元計算の流れ

(2) 画像の取り込みとソフトでの選択

UAVで撮影した画像データは、一般的にUAV内の電磁的記録媒体に保存されている。画像の取り込みでは、このUAVで撮影した画像データをパソコン（3次元形状復元計算を行う機器）に取り込む作業を指す。

次にソフトで使用する画像の選択では、先ほど取り込んだ画像の中で3次元形状復元計算に使用する重複率の高い連続した画像をソフト内で選択する。この使用する画像の撮影に汎用UAVを用いた場合には、カメラの諸元や撮影位置の情報が画像ファイルのプロパティに添付されており、これらの情報をソフトが読み込むことで、カメラの諸元や撮影画像の座標系の設定を省略することが可能となり、効率的である。

The screenshot shows a software window titled '新規プロジェクト' (New Project) with a sub-window '画像プロパティ' (Image Properties). The '座標情報' (Coordinate Information) section includes '画像ジオロケーション' (Image Geolocation) with '座標系' (Coordinate System) set to '測地系 WGS 1984;座標系 WGS 84 (EGM 96 Geoid)' and 'ジオロケーションと方向' (Geolocation and Orientation) set to 'ジオロケート済み画像 54中 54'. The 'カメラ情報' (Camera Information) section shows '選択されたカメラモデル' (Selected Camera Model) as 'FC2204_4.4_4000x3000 (RGB)'. The '位置情報' (Position Information) section is a table with the following columns: 有効 (Valid), 画像 (Image), グループ (Group), 緯度 [deg] (Latitude [deg]), 経度 [deg] (Longitude [deg]), 高度 [m] (Altitude [m]), 傾度 水平 [m] (Pitch [m]), 傾度 鉛直 [m] (Roll [m]), オメガ [度] (Omega [deg]), ファイ [度] (Phi [deg]), and カッパ [度] (Kappa [deg]).

有効	画像	グループ	緯度 [deg]	経度 [deg]	高度 [m]	傾度 水平 [m]	傾度 鉛直 [m]	オメガ [度]	ファイ [度]	カッパ [度]
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0967.JPG	group1	35.73779869	137.39758867	1222.000	5.000	10.000	0.09951	-0.00993	-5.69907
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0968.JPG	group1	35.73782453	137.39746919	1222.000	5.000	10.000	0.09947	-0.01028	-5.89914
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0969.JPG	group1	35.73781419	137.39758472	1222.000	5.000	10.000	0.00000	0.00000	-5.99908
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0970.JPG	group1	35.73779672	137.39778250	1222.000	5.000	10.000	0.00000	0.00000	-6.09896
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0971.JPG	group1	35.73778775	137.39788867	1222.000	5.000	10.000	0.00000	0.00000	-6.19890
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0972.JPG	group1	35.73777936	137.39798628	1222.000	5.000	10.000	0.09942	-0.01080	-6.19884
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0973.JPG	group1	35.73774808	137.39798942	1222.000	5.000	10.000	0.09942	-0.01080	-6.19884
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0974.JPG	group1	35.73760297	137.39797694	1223.000	5.000	10.000	0.00000	0.00000	-6.19886
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0975.JPG	group1	35.73747214	137.39796422	1223.000	5.000	10.000	0.09942	-0.01080	-6.19886
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0976.JPG	group1	35.73738556	137.39795564	1223.000	5.000	10.000	0.00000	0.00000	-6.19888
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0977.JPG	group1	35.73730836	137.39794867	1223.000	5.000	10.000	0.00000	0.00000	-6.19888
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0978.JPG	group1	35.73729008	137.39782819	1223.000	5.000	10.000	0.09942	-0.01080	-6.19895
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0979.JPG	group1	35.73729692	137.39764058	1222.000	5.000	10.000	0.00000	0.00000	-6.29906
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0980.JPG	group1	35.73730228	137.39752769	1222.000	5.000	10.000	0.09940	-0.01097	-6.29912
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0981.JPG	group1	35.73730717	137.39742075	1222.000	5.000	10.000	0.00000	0.00000	-6.29919
<input checked="" type="checkbox"/>	DJI_0982.JPG	group1	35.73731806	137.39717919	1222.000	5.000	10.000	0.09940	-0.01097	-6.29932

図 8-2 画像取り込み時に表示されるプロパティの一例

(3) 座標系の設定

座標系の設定については、取り込んだ画像ファイルの座標系と、出力する点群ファイルやオルソ画像等の座標系の2つの設定がある。多くのソフトでは、取り込んだ画像ファイルの座標系は、画像ファイルの属性データを参照するものとして省略可能である。よって、本マニュアルでは、出力の座標系の設定のみを示すこととする。

出力する成果の座標系は、測量成果として適している **平面直角座標系を選択する**。これは座標がメートルで表記されており、他の方法で測量した結果との整合性が良いためである。



図 8-3 出力座標系の設定例
(赤枠部：JGD2011 の第 8 系を選択)

(4) 標定点及び検証点の設定

標定点及び検証点については、多くのソフトで手動入力が一般的である。ただし、標定点及び検証点の座標をCSVファイルなどのテキスト形式で保存することで、これらファイルを読み込む機能のあるソフトもある。

また、ソフトにより、標定点及び検証点の名称が異なる場合がある。標定点については英語表記でG C P (Ground Control Point)など、検証点については、確認ポイントや Check Point などがある。

標定点及び検証点を設定した後、これらが写っている画像を選択し、画像内での標定点及び検証点の位置を特定する作業を行う。

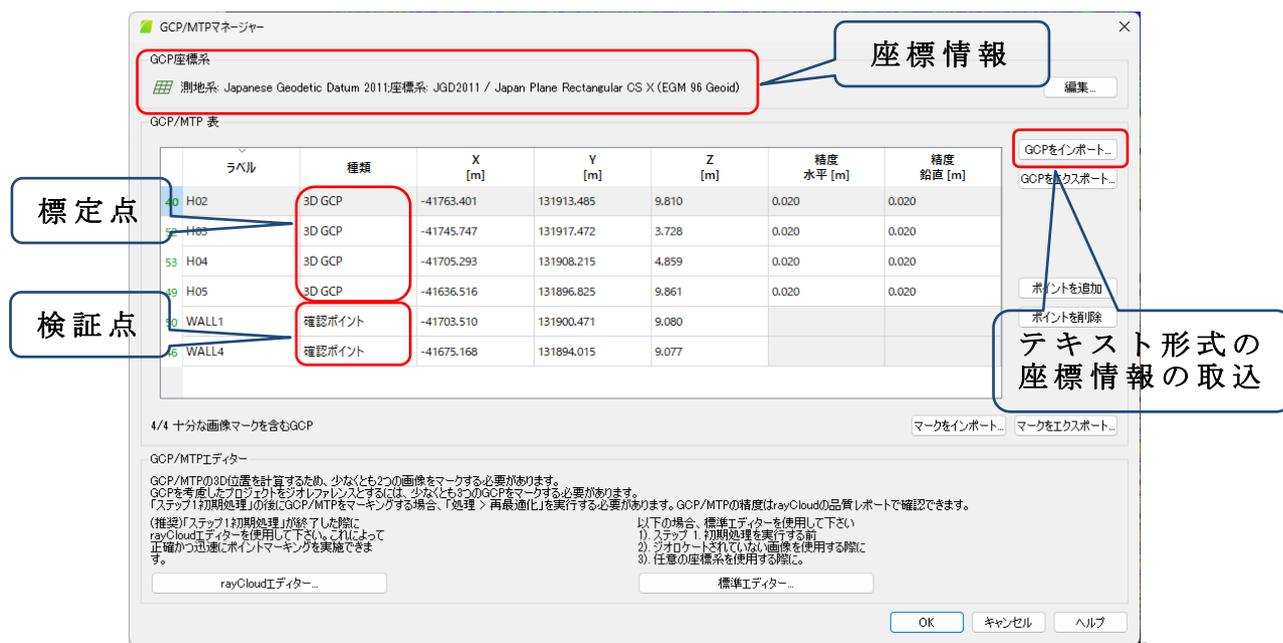


図 8-4 標定点及び検証点の設定例

(5) 成果品の精度確認

成果品の精度については、「ICT実施要領」において、地図情報レベル別に各項目の精度が定められている。「ICT実施要領」では、各種ある地図情報レベルの中で、地図情報レベル 250 及び地図情報レベル 500 の 2 種類を取り扱っており、地図情報レベル 250 は林道測量における路線測量や構造物の出来形管理等に適用されており、その他の測量については地図情報レベル 500 を適用することとなっている。

確認する精度については、「地上画素寸法」と「検証点における誤差」である。

撮影された画像の「地上画素寸法」については、「ICT実施要領」では、地図情報レベル 250 においては 20mm、地図情報レベル 500 においては、30mm 以下と定められており、これを確認する必要がある。

次に、検証点における誤差の値である。「ICT実施要領」では、表 7-1 の様に各地図情報レベル別に定められている。

表 7-1 地図情報レベル別の精度

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
1000	0.70m以内	0.33m以内	0.5m以内
2500	1.75m以内	0.66m以内	1.0m以内
5000	3.5m以内	1.66m以内	2.5m以内
10000	7.0m以内	3.33m以内	5.0m以内

この表によると、水平位置の標準偏差は、地図情報レベル 250 で 0.12 m 以内、地図情報レベル 500 では 0.25 m 以内となっている。よって、検証点の標準偏差を確認し、この値以内の精度とする必要がある。

The screenshot shows a 'Quality Report' interface. At the top, it says 'Generated with PIX4Dmapper version 4.8.4'. Below this is a section with icons and instructions: 'Important: Click on the different icons for: 1. Help to analyze the results in the Quality Report, 2. Additional information about the sections'. There is also a link: 'Click here for additional tips to analyze the Quality Report'. The main section is titled 'Summary' and contains a table with the following data:

Project	片刈石2
Processed	2024-02-12 15:17:32
Camera Model Name(s)	FC2204_4.4_4000x4000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.25 cm / 0.89 in
Area Covered	0.030 km ² / 2.9740 ha / 0.01 sq. mi. / 7.3528 acres

A callout box labeled '地上画素寸法' (Ground Pixel Size) points to the 'Average Ground Sampling Distance (GSD)' row in the table, which is also highlighted with a red border.

図 8-5 品質レポートにおける地上画素寸法の表示例

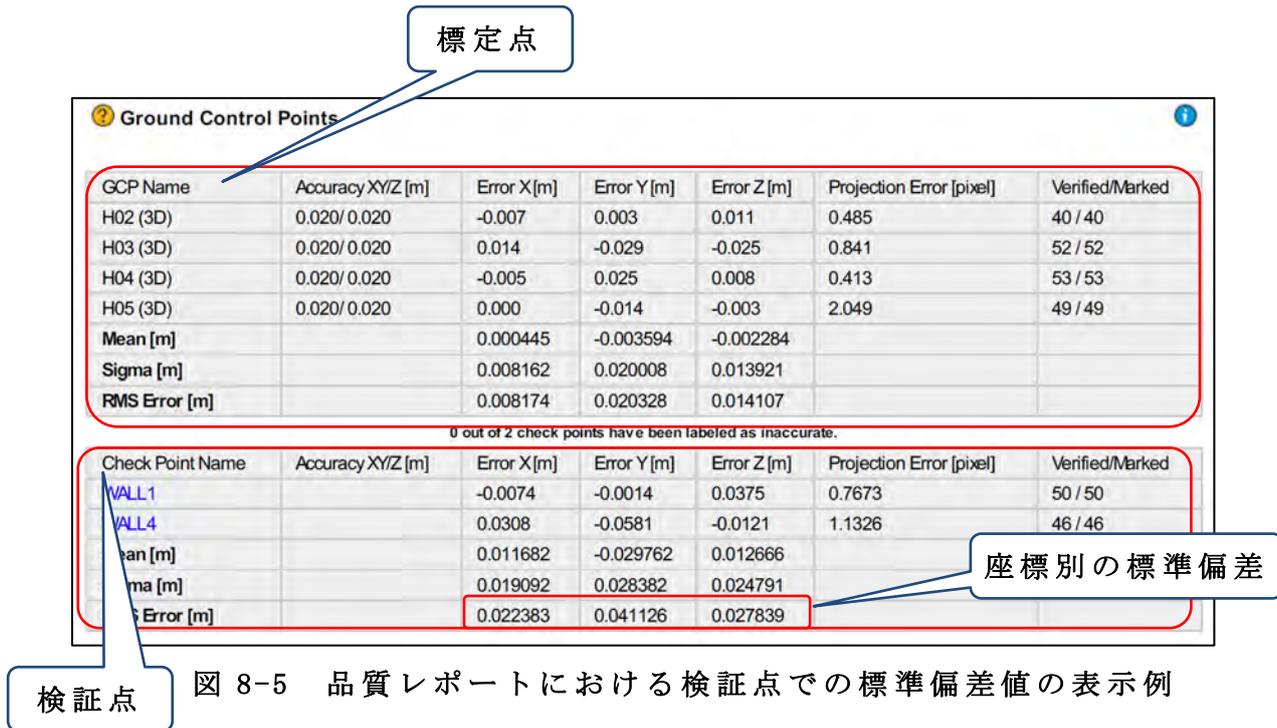


図 8-5 品質レポートにおける検証点での標準偏差値の表示例

9. 成果品の整理

(1) 点群データの加工

点群データの加工では、地表面以外の点群を除去するフィルタリングや、点群データをサーフィスマデルに変換した不整三角形網 (TIN) データとする作業を指す。

UAV 写真測量では、写真に写っている情報から点群を作成する事から、樹冠の上部の位置のみとなり、レーザ測量の様に樹冠を通り抜けるデータが無い。このことから、レーザ測量の様に樹冠下の地表面のデータを得ることが出来ないが、樹冠部の情報を取り除くことで、データ容量を抑える効果や視覚的に分かりやすくなることから、不要な樹上のデータを取り除くことがある。

また、不整三角形網 (TIN) データとすることで、他の設計ソフトなどでの活用が容易になること、データ量を抑えることが可能であることなどから、作成されるものである。

いずれも、フィルタリングや不整三角形網作成については、3次元形状復元を行うソフトで行うことが可能のものもあるが、別途点群データを取り扱うソフトにより実施する必要がある場合がある。

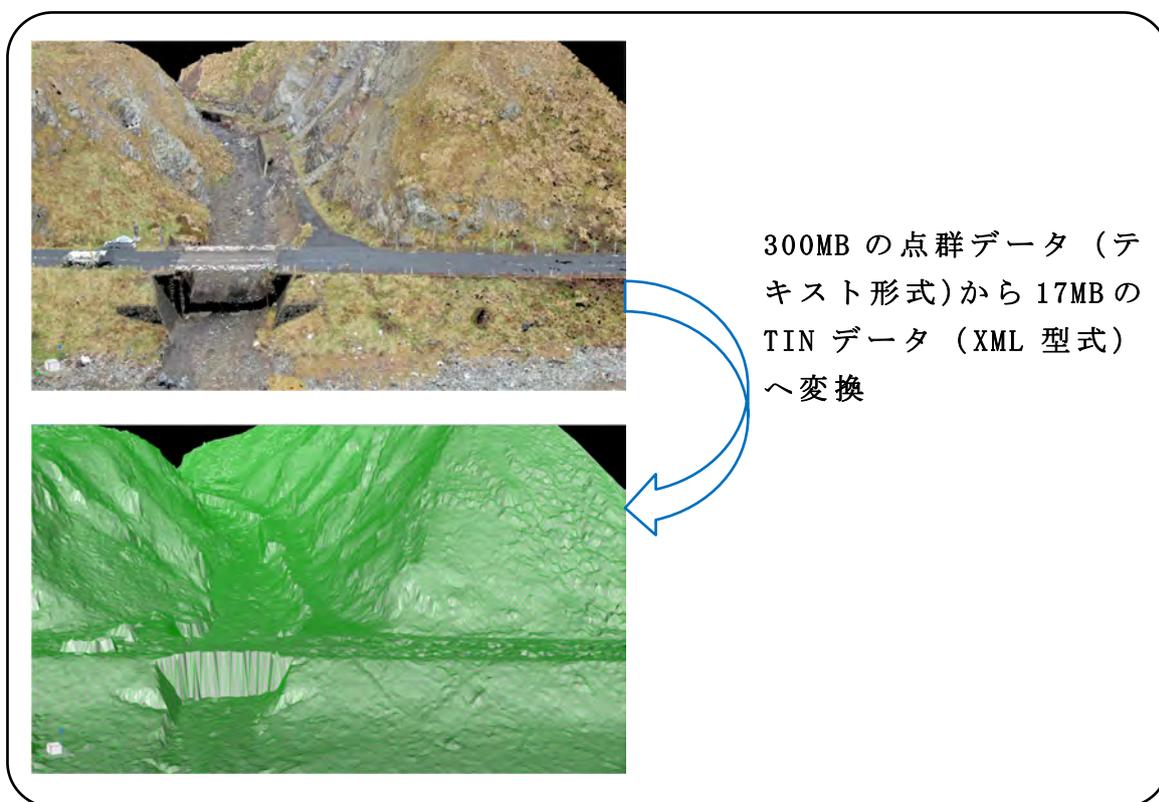


図 9-1 点群データから TIN データへの変換例

UAV撮影コース別精度管理表は、コース毎に撮影画像の採否を確認するもので、航跡のズレやノイズの有無等により画像を破棄するか採用するか判断した結果をまとめる。一般的に3次元形状復元計算用のソフトでは、このほか、特徴量やマッチング量などを考慮して画像の採否を決定しており、品質レポートに示されている。

また、3次元形状復元精度管理表は、標定点及び検証点での標準偏差を確認して、指定された精度以内であるか確認するものである。これについても前述のUAV撮影コース別精度管理表と同様に一般的な3次元形状復元計算用のソフトでは品質レポートに示されているものである。

10. 標定点及び検証点の省略について

(1) UAV写真測量における作業量について

UAV写真測量の各工程において、標定点及び検証点の設置が最も人工を要する。現在林野庁で示されている「森林整備保全事業の調査、測量。設計及び計画業務に係る積算要領」の「9-4-1 UAV写真点群測量」では、以下の様に歩掛が示されている。

表 10-1 UAV写真点群測量の標準歩掛

標準作業量	作業工程	延人日数					計
		測量主任技師	測量技師	測量技師補	測量助手	測量補助員	
1業務当たり	作業計画	0.5	0.3	0.2	0.3		1.3
0.1km ² 当たり	標定点及び検証点の設置・観測		4.7	1.1	3.3	1.1	10.2
	UAVによる空中撮影		3.2		2.0	0.9	6.1
	3次元形状復元 (オリジナルデータの作成)			3.7			3.7
	グラウンドデータの作成及び構造化	1.2	1.7	2.4	0.8		6.1
	成果データファイルの作成	1.4	1.8	1.3	0.7		5.2
内訳	外業計		7.9	1.1	5.3	2.0	16.3
	内業計	3.1	3.8	7.6	1.8		16.3
	合計	3.1	11.7	8.7	7.1	2.0	32.6

この標準歩掛からも分かるように、標定点及び検証点の設置・観測の延人日数が10.2と全体の32.6の3分の1を占めており、さらに外業のみで考えると6割を超える割合となる。

このことから、標定点及び検証点の省略することで、その作業効率上がることとなる。**特に外業作業では、倍以上の効率化となる。**

(2) 標定点及び検証点を省略したときの精度

標定点及び検証点を省略したときの精度検証については、令和3年度に実施された「治山技術等推進調査（治山事業における情報通信技術の活用促進に向けた検討調査）」において以下の様にまとめられている。

3-3-3 標定点の有無

標定点の数又は有無によって標高値が大きく変化することを把握したが、いずれの場合も地形形状は概ね正しく見られることから、標定点の有無がどの程度位置及び形状に影響を与えるか検証する。

検証方法は、標定点を取り上げ、標定点として位置付けした場合と、標定点として取り扱わなかった場合のそれぞれの座標を比較することで、位置の差分を確認する。また任意の標定点間の距離についても、標定点として取り扱った場合と取り扱わなかった場合での差分をとり、標定点の有無が点間距離に与える影響を確認する。なお、点間距離については点間距離の誤差に加え、点間距離の誤差を点間距離（標定点有）で除した値を「誤差の割合」としてパーセントで示した。

表 3-10 各項目の平均値

項目	平均値
平面誤差の平均値	4.031 m
標高誤差の平均値	9.174 m
点間距離誤差の平均値	-0.298 m
誤差の割合の平均値	-0.30 %

以上の結果、標高の値が最も誤差が大きく平面座標の数倍の誤差となっているが、任意の点間距離については誤差／距離が平均で1%以下となった。よって、平面座標や標高では誤差が生じるが、距離（面積）の誤差は僅かであることから、工事実施を行わない概算の規模を把握する場合には、標定点を省略しても良いと判断される。

令和3年度治山技術等推進調査（治山事業における情報通信技術の活用促進に向けた検討調査）より抜粋

上記の報告では、平面位置及び標高については公共座標と比較して誤差がメートル単位で見られる。しかし、点間距離誤差の割合については、0.3%程の差ということで、**100mで0.3mの誤差**となっている。

このことは、公共座標と比較すると位置は異なるが、その面積や延長については、概ね正しい値として良いといえる。

(3) 標定点及び検証点が省略可能な測量例

標定点及び検証点の省略の影響を考慮すると、小規模（延長 100m 程度）及び公共座標との乖離を許容できる測量については、標定点及び検証点を省略して良いといえる。

一般的に森林土木事業においては、任意座標系で行われていることから、中心線測量の様にある程度の精度が求められる測量以外（一車線林道横断測量等）については、実施することが可能だといえる。特に、**災害時の概算数量把握**のための測量や、**治山事業**などはこの対象となり得る。

ただし、今後 BIM / CIM の普及により、掘削機に MG（マシンガイダンス）や MC（マシンコントロール）を搭載した重機の使用頻度が高まった場合には、その成果が公共座標だと誤解しないよう留意する必要がある。

- ・ 任意座標系の測量
- ・ 一車線林道横断測量
- ・ 概算数量把握のための測量
- ・ 治山事業の測量