

「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」及び 「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）」について

国土地理院 企画部

1

はじめに

公共測量は、国や地方公共団体が公費を用いて行う測量であり、その結果は様々な測量や事業の位置の基準として用いられることから、一定の精度を確保して行うことが必要となります。測量作業を正しく行うために、測量法では、標準的な作業方法を「作業規程の準則（以下「準則」と呼びます。）」として示しています。一方、この準則に記載されていない作業方法であっても正しく測量できる場合がありますし、準則には日々生まれてくる新しい測量技術が直ちに反映されるとは限りません。このため、準則第17条では、精度の確保が確認できるのであれば他の方法に拠ることができる、と定めています。また、普及しつつある新しい測量技術については、国土地理院が作業マニュアルを用意し、準則に反映されるまでの間は準則第17条に従って公共測量に使用できるようにしているところです。

このたび、国土地理院では、公共測量における無人航空機（以下「UAV」と呼びます。）の需要の増加を受けて、UAVで撮影した空中写真を用いて測量を行う場合の精度確保のための基準や作業手順等を定めた「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」を作成し、平成28年3月30日に公

表しました。また、UAVを安全に運航して測量作業を円滑に実施するために、作業機関が遵守すべきルール等を定めた「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）」についても同時に公表しました。

これらのマニュアル（案）及び安全基準（案）は、公共測量だけでなく、国土交通省が推進するi-ConstructionのICT土工における測量作業に適用できることを前提としており、建設現場における生産性の向上に寄与するものです。

2

UAVを用いた 公共測量マニュアル（案）

UAVを用いた測量マニュアル（案）は、UAVに搭載された民生用デジタルカメラで撮影した空中写真を用いて測量を行う場合について、標準的な作業方法を規定することで、公共測量や工事測量におけるUAVの活用を資することを目的としています。

マニュアルでは、必要な精度の確保を図る観点から、各工程の作業方法について規格を統一するとともに、成果が工事などの後続工程で容易に利用できるような配慮をしています。

マニュアル本体は、(1)空中写真から大縮尺地図を作成する「UAVを用いた空中写真測量」と、(2)空中写真から三次元形状復元計算ソフト (SfM/

MVS) を使用して、三次元の点群データを作成する「UAVを用いた空中写真による三次元点群測量」から構成されています。

(1) UAVを用いた空中写真測量

従来から行われてきた有人航空機を用いた空中写真測量とはほぼ同じ考え方に沿って規定しています。

狭い範囲における数値地形図の整備や更新を、効率的、経済的に実施することが可能です。

① 作業工程

工程別作業区分及び順序は図—1のとおりです。

② 数値地形図データの地図情報レベル

数値地形図データの地図情報レベルは、250及び500(縮尺1/250及び1/500相当)を標準としています。また、位置精度は表—1のとおりです。

③ 撮影

空中写真の重複度は、同一コース内の隣接空中写真間で60%、隣接コースの空中写真間で30%を標準としています。これは、準則第3編第4章「空中写真測量」における空中写真の重複度と同じです。

④ 空中三角測量

有人航空機に装備されているGNSS/IMU装置と同等の仕組みが、UAVでは実用化されていないため、GNSS/IMU装置を用いない空中三角測量を規定しています。このため、標定点の設置において空中三角測量に必要な標定点の数や配置が決められています。

⑤ 数値図化以降の工程

数値図化以降の作業工程は、準則第3編第4章「空中写真測量」の工程を準用します。

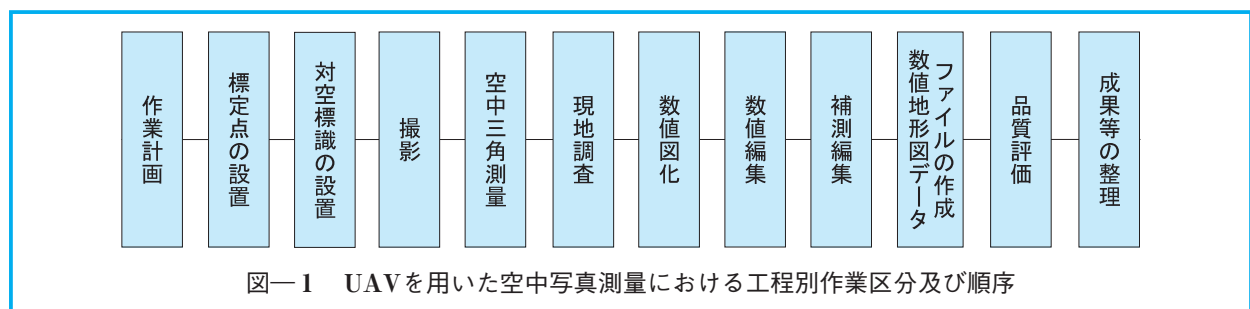
(2) UAVを用いた空中写真による三次元点群測量

UAVから撮影した空中写真を用いて、三次元点群データ(空中写真の色を属性とする三次元の座標データ)を作成するものです。土工現場の裸地等、標高を自動抽出しやすい地区に適用することを原則としています。

整備した三次元点群データを用いて、縦横断面図の作成や土工における土量計測等が可能です。

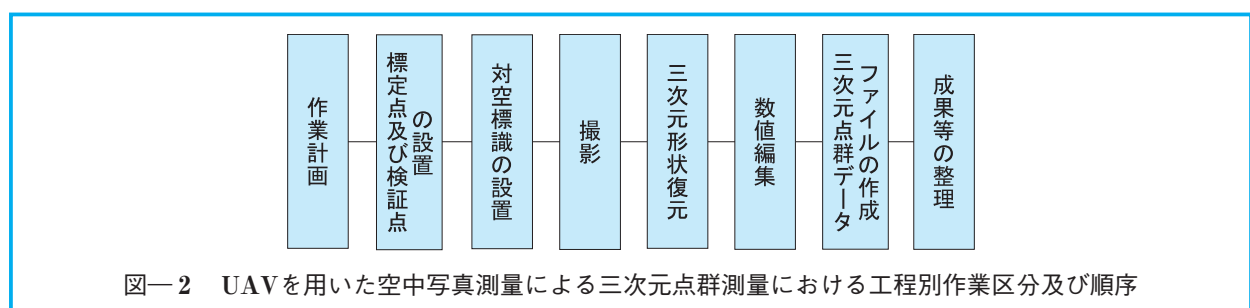
① 作業工程

工程別作業区分及び順序は図—2のとおりです。



図—1 UAVを用いた空中写真測量における工程別作業区分及び順序

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



図—2 UAVを用いた空中写真測量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

② 三次元点群データの要求精度

三次元点群データの要求精度は、データを利用する現場により異なります。本マニュアルでは、誤差が最大でも0.05mを超えない三次元点群データを必要とする場合の撮影画像の地上画素寸法や標定点・検証点などについて示しています。このため、必要とする精度が異なる三次元点群データを作成する場合は、その精度に応じて地上画素寸法や標定点間隔等を適宜読み替えるものとしています。

③ 標定点及び検証点の設置

三次元点群測量における標定点は、空中写真測量における標定点とは設置方法等が大きく異なります。三次元点群データの精度の低下を避けるために外部標定点と内部標定点からなり、要求精度の最大誤差が0.05m以内の場合では図一3の設置例に示すとおり、外部標定点は、計測対象範囲を囲むように概ね辺長100m以内で結べるように配置し、内部標定点は、外部標定点と構成する三角網の辺長が概ね200m以内となるように計測対象範囲内に配置します。また、計測したデータを点

検するための検証点を設置します。検証点は、外部検証点と内部検証点からなり、外部検証点は、外部標定点を結ぶ線分の中間付近に線分1つおきに1点を配置し、内部検証点は標定点から離れた場所に配置します。

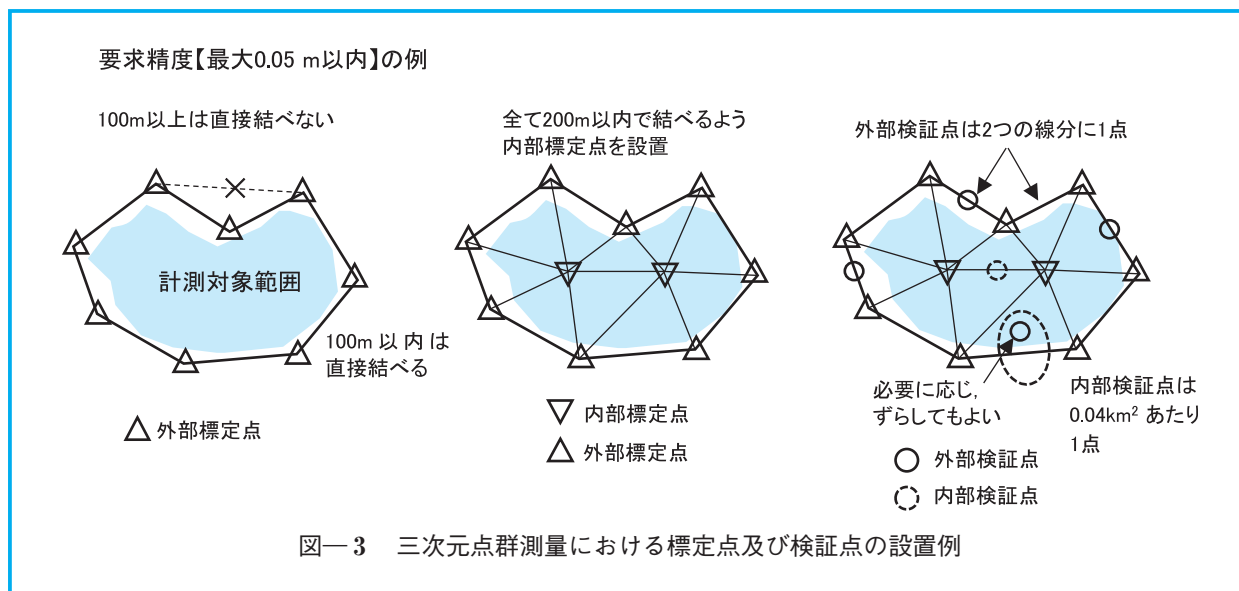
要求精度別の標定点間隔及び検証点数は表一2のとおりです。

④ 撮影

空中写真の重複度は、三次元点群データの要求精度にかかわらず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%以上としています。これは、重複度が大きい空中写真ほど地形・地物の写り込み方の違いが少なく、三次元形状復元計算において画素同士の不整合の発生度合いを抑えることができるためです。

⑤ 三次元形状復元

三次元形状復元計算ソフトにより空中写真から特徴点の抽出、標定点の観測、外部標定要素の算出、三次元点群の生成までの一連の工程を自動処理で行うものです。空中写真測量のように作業工程ごとに精度管理ができないことから、計算結果



表一2 要求精度別標定点間隔及び検証点数

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

表—3 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

の点検が重要となります。

三次元形状復元計算結果の点検は、三次元形状復元計算ソフトの機能に応じて行い、計算から省かれた空中写真の有無や特徴点の分布、標定点の残差等を確認します。

点検の結果、標定点の残差及び検証点の誤差が制限を超えていた場合は、不良写真の除去や三次元形状復元計算ソフトが使用する特徴点の修正を行った後、あるいは再撮影を行った後、三次元形状復元計算を再度行うものとします。

⑥ 三次元点群データファイルの作成

三次元形状復元データから三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するものです。三次元点群データを作成する場合の点密度は表—3を標準としています。

なお、高密度の範囲とは土木施工における法肩・法尻等のように地形形状が急激に変化する箇所、低密度の範囲とは植生が繁茂して標準の点密度の取得が困難な範囲をいいます。

3 公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）

i-Constructionにおける測量などにおいて、一定の精度を確保しながらUAVを用いた測量を行うことができるよう、国土地理院ではUAVを用いた測量マニュアル（案）を整備しましたが、安全第一で測量作業を行うためには、技術的な作業方法等を定めたマニュアルとは別に、安全確保のための一定のルールや手続きなどを示すことも必要となります。UAVについては新しい技術であり、現時点では世の中で一般的な安全確保のためのルールが定められていません。このため、測量におけるUAVの導入を推進することを目指し、測量での利用に特化した安全確保のための考え方

を別途整理し、マニュアルと同時に公表しました。

(1) 安全基準（案）の基本的な考え方

今回作成した公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）は、UAVを公共測量作業で安全に使用することを目的として、事故等の発生にいたる事象を未然に防ぐとともに、万が一事故等が発生した場合に被害の発生をできる限り軽減する観点から、守るべきルール等を規定したものです。UAVの技術開発は日々進んでおり、性能や安全性も今後向上することが想定されますが、現時点では必ずしも常に安全に利用できるとは限りません。誤った利用をすることで、事故等が発生する可能性は極めて高い道具であるといえます。安全に作業を実施することは、測量を行う作業者のみならず、実施する地域の住民等にも重要であることから、この安全基準（案）を参考として、適切なUAVの利用が行われることを目指しています。

この安全基準（案）は、現在の測量事業者のUAVの保有状況等を踏まえ、総重量が25kg未満の中・小型回転翼機（マルチコプター）を対象として整備したものです。これより大きな回転翼機や固定翼機のUAVについては、安全確保を行う上で異なる考え方が必要となってきますのでご注意ください。

なお、この安全基準（案）で示しているルール等は、安全を確保する上での1つの考え方を示したものであり、必ずしもこれに従わなければならないというものではありません。作業現場の状況等に応じて、測量作業者は発注者（国、地方公共団体等）と協議の上、適宜安全を確保できる作業方法等を選択することが必要です。また、安全基準（案）の内容を全て遵守したからといって、事故等が全く発生しないというものではありません

ん。作業には、利用現場の状況に応じて最善の策を講じることが求められます。さらに、この安全基準（案）に示された事項に加え、航空法をはじめとする関連法令を遵守した作業を行うことが必要なことは言うまでもありません。

UAVに関する技術開発は現在も進められており、今後も安全を取り巻く状況は変化することが予想されます。また、UAVを利用する上での一般的な安全確保のルールが、航空局等が中心となって今後整備される可能性もあります。国土地理院としては、こうした動向も踏まえながら、安全基準（案）についても随時見直しを行うこととされています。

(2) 安全基準（案）で定めている主な項目と内容

UAVを安全に測量で活用するためには、様々な事項について留意することが必要となります。例えばどのようなUAVであったら使用することができるのかといった、UAV本体の性能も重要な要件の1つです。また、UAVを使って測量作業を行う上での安全確保に必要な作業体制や、

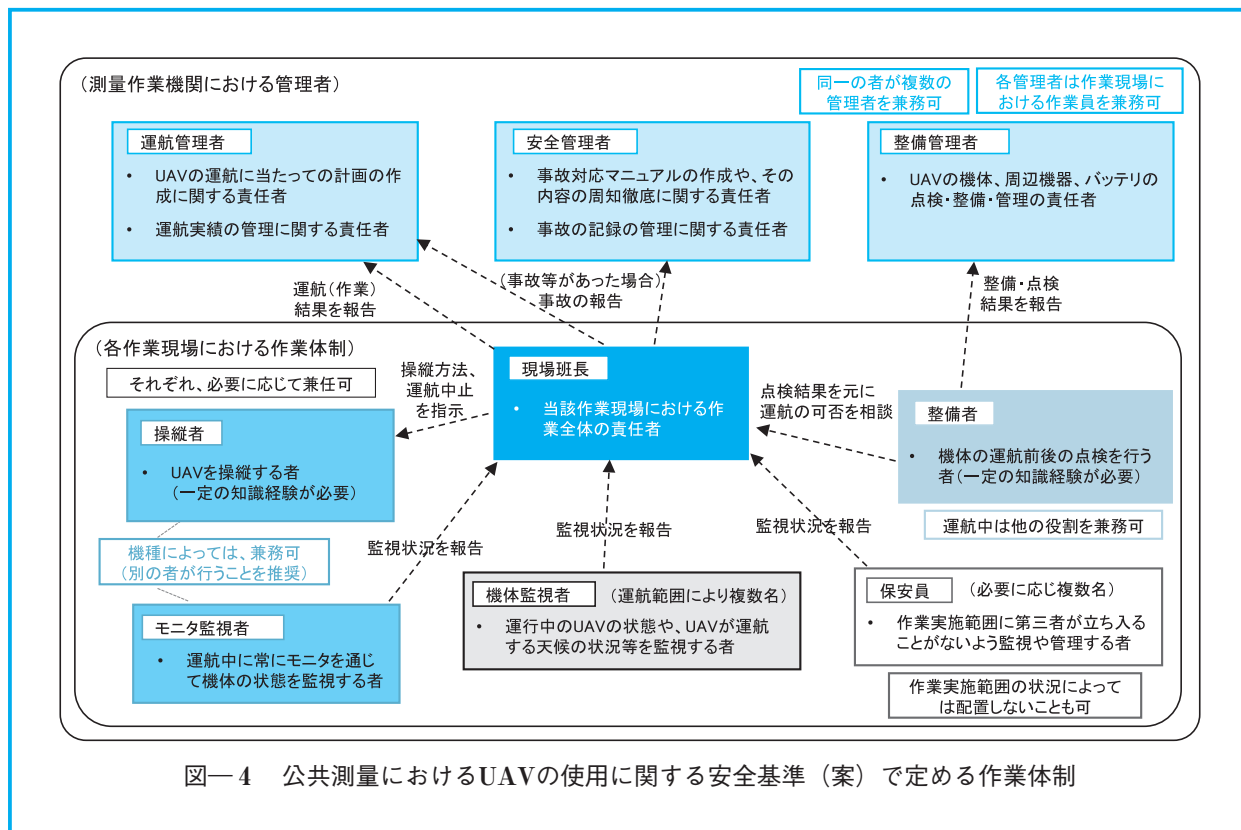
UAVの操縦者が持つべき知識や技能等についても要件となります。このように、安全にUAVを活用する上で必要となる留意事項、遵守すべき作業方法、必要な手続き等について安全基準（案）では整理しています。具体的には、以下のような項目について定めています。

① 使用するUAVに関する条件

例えばUAVの機体に鋭利な突起物が無い構造であることなど、機体の外観や形状についての条件を示しています。また、安全に運航を行うために、GNSSを利用した自律的な運航を行うことができる機能や、機体に異常が生じた際には直ちに運航を中止させる機能（フェイルセーフ機能）などを有することを求めています。さらに、UAVを適切に整備し運航させるために定期的な点検を行うことや、バッテリーの適切な管理方法など、管理運用方法についても定めています。

② UAVを使用した測量作業を行う場合に必要な体制

UAVを適切に管理するための平時の管理体制に加え、現場における具体的な作業体制について



図一 公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）で定める作業体制

も示しています。例えば、飛行中のUAVを適切に監視するための機体監視者や、作業範囲内に不特定の第三者が進入することがないように制限するための保安員を適切に配置することを求めています。また、UAVの操縦者について、求める技能や経験について規定しています。

③ 情報管理やその保管

UAVを使用した場合の実績について、適切に記録し管理することを求めています。これは、操縦者など作業に従事した者の実績等を客観的に示すために必要となります。また、事故等が発生した場合には、その原因を知る上でも重要な情報となります。同時に、機体の使用状況や整備状況についても記録することが必要ですし、万が一事故や事故につながる恐れが生じる事案（いわゆるヒヤリ・ハット事案）が発生した際には、その状況を適切に記録することが必要です。安全基準（案）では、どのような事項を記録、管理することが必要であるかを示しています。

④ あらかじめ準備等が必要な事項

UAVを用いた測量作業を安全に行うために、従事する作業員は一定の知識等を保有していることが必要です。例えば航空法をはじめとする関連法令の概要やUAVの基本的な仕組みなどについては、あらかじめ作業従事者等に対して教育することが求められます。このような測量作業機関があらかじめ準備として行うべき事項について規定しています。

⑤ 運航前に行うことが必要な事項

実際にUAVを用いた測量作業を行う前には、作業の全体計画やUAVの具体的な飛行ルート等を検討し整理することが必要です。またUAVの運航範囲内の居住者への説明や、保険への加入等

も求められます。UAVを使用する場所や状況によっては、航空法など関連法令に基づく届出等も行うことが必要です。こうした、UAVを使用した測量作業を行う前に必要となる手続き等について示しています。

⑥ 運航するに当たっての留意事項

UAVを用いた作業を行う際の、作業現場における留意事項を示しています。例えばUAVの機体の運行前点検や慣らし運転の方法、作業直前の体制等の確認事項などを規定しています。また、実際にUAVを飛行させている最中に天候が急変した場合や、有人航空機等の他の飛行体が接近してきた場合には、安全確保のため、直ちにUAVの運航を中止しなければなりません。こうした運航中止の条件についても示しています。

4

おわりに

「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）」及び「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準（案）」は、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を使用する際に適用できます。

今後、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検討し、最終的には準則に反映させる予定です。

マニュアル（案）、安全基準（案）は以下のURLから入手できます。

<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/index.html>