

UAV を用いた公共測量マニュアル（案）

平成 28 年 3 月

（平成 29 年 3 月改正）

国土交通省国土地理院

目次

【序】概説	1
第1編 総則	3
第2編 UAVによる空中写真を用いた数値地形図作成	5
第1章 概説	5
第2章 作業計画	6
第3章 標定点の設置	6
第4章 撮影	9
第5章 空中三角測量	15
第6章 現地調査	17
第7章 数値図化	18
第8章 数値編集	18
第9章 補測編集	18
第10章 数値地形図データファイルの作成	18
第11章 品質評価	18
第12章 成果等の整理	19
第3編 UAVによる空中写真を用いた三次元点群作成	20
第1章 概説	20
第2章 作業計画	21
第3章 標定点及び検証点の設置	21
第4章 撮影	25
第5章 三次元形状復元計算	30
第6章 点群編集	32
第7章 三次元点群データファイルの作成	33
第8章 品質評価	33
第9章 成果等の整理	34
第4編 資料	35
標準様式等	35
参考資料	35

【序】概説

1. これまでの経緯

我が国における無人航空機 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle)を用いた公共測量は平成 25 年度に始まった。国土地理院が平成 28 年 3 月に「UAV を用いた公共測量マニュアル (案)」(以下、本マニュアルという)を制定するまでの間、UAV を用いて公共測量を実施するためには、作業規程の準則 (平成 28 年 3 月 31 日一部改正。以下「準則」という。)第 17 条を適用して作業を行っていた。つまり、実施する測量作業機関は、独自に精度検証を行った上でマニュアルをとりまとめ、あらかじめ国土地理院の意見を求めることが必要であった。

本マニュアルの制定以降は、本マニュアルに従った作業を行う際には、精度検証結果の国土地理院への提出等は不要となった。制定から約一年が経過し、実際の利用も進んだ結果、様々な質問や意見が国土地理院に寄せられたことから、内容の明確化、精度の向上、条件の緩和を目指して、平成 29 年 3 月に本マニュアルを改正した。

本マニュアルに沿って公共測量を実施する場合、機器の調整や精度検証が重要であることは変わらないが、これまで同様、精度検証結果を国土地理院に提出する必要はない。

2. 作業の流れ

改正されたマニュアルにおいても、基本的な作業の流れは改正前と変わっていない。本マニュアルの内容は、改正前と同じく、数値地形図の作成 (第 2 編)と三次元点群の作成 (第 3 編)に分かれている。いずれも UAV で撮影した空中写真を用いての作業となるが、作成するデータや途中の作業工程は異なる。

UAV による空中写真を用いた数値地形図作成 (第 2 編)の工程別作業区分及び順序は、図 1 の通りであり、準則の空中写真測量の一種である。最終成果は、数値地形図データ (例えば、道路のベクターデータなど)である。

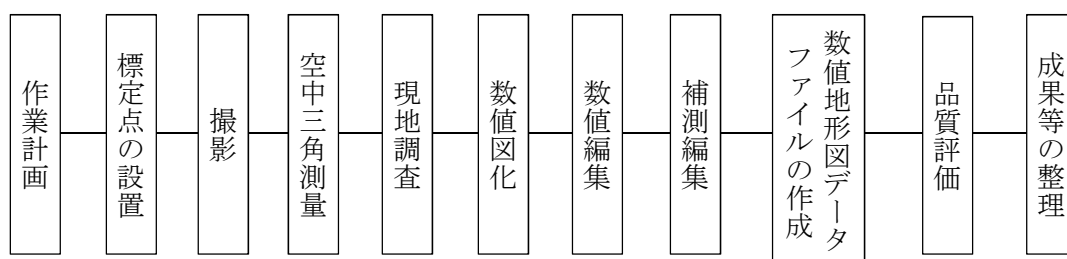


図 1 UAV による空中写真を用いた数値地形図作成 (第 2 編)における工程別作業区分及び順序

UAV による空中写真を用いた三次元点群作成 (第 3 編)の工程別作業区分及び順序は、図 2 のとおりである。準則で扱っていない、新しい作業であり、最終成果は、三次元点群データ (平面位置座標を有する標高の集合)である。

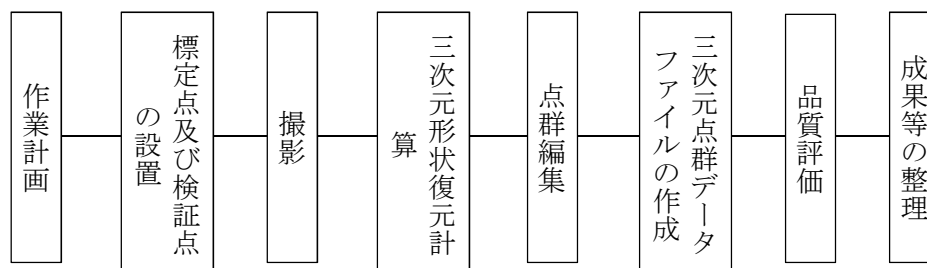


図 2 UAV による空中写真を用いた三次元点群作成（第 3 編）における工程別作業区分及び順序

3. マニュアル改正の主な変更点

平成 29 年 3 月の改正において、作業に関わる主な変更内容は以下の通りである。

【第 2 編】（数値地形図の作成）

撮影する空中写真の地上画素寸法（第 22 条運用基準）

- 作成する数値地形図の地図情報レベルに応じて、地上画素寸法を明確化。

【第 3 編】（三次元点群の作成）

標定点及び検証点の配置（第 53 条）

- 外側標定点については、計測対象範囲の外側に配置することを標準とする。検証点のうち、外部検証点は廃止し、検証点の総数を標定点の半数以上を標準とする。

標定点及び検証点の観測方法（第 54 条）

- 作業方法を明確化。また、位置精度 0.05m の三次元点群作成の際は TS を用いる作業を標準とする。

空中写真の重複度（第 57 条運用基準）

- 撮影後に実際の重複度を確認できる場合は、隣接空中写真との重複度を 80%以上とした撮影計画が可能。

カメラキャリブレーション（第 65 条運用基準）

- セルフキャリブレーションを標準とし、独立したカメラキャリブレーションは必ずしも求めない。

4. 本マニュアルの適用範囲

準則に記載されている GNSS/IMU を UAV に装備することは、現在は一般的でない。いずれ、GNSS/IMU を装備した UAV を用いた測量が標準化するとしても、本マニュアルでは規定していないことから、そのような作業を実施する場合は、準則第 17 条扱いとなる。同じく、UAV にレーザスキャナを搭載して行う測量も、準則第 17 条扱いとなる。この場合、あらかじめ、精度検証を行い、必要な精度が確保できることを確認した上で、それらの内容をまとめた報告書と、作業方法をまとめたマニュアルを国土地理院に提出する必要がある。

第 1 編 総則

(目的)

第 1 条 本マニュアルは、公共測量における UAV による空中写真を用いた数値地形図作成及び三次元点群作成について、その標準的な作業方法等を定めることにより、その規格の統一、標準化及び必要な精度の確保に資することを目的とする。

【解説】

本マニュアルは、作業規程の準則（平成 20 年国土交通省告示第 4 1 3 号、最終改正平成 28 年 3 月 3 1 日）に基づかない特例的な作業方法を公共測量で行う際に使用することを想定したものである。本マニュアルに基づいて公共測量を行う際には、測量作業機関（以下「作業機関」という。）は使用するカメラ等の機材が、本マニュアルが求める一定の性能を有していることを測量計画機関（以下「計画機関」という。）に対して示し、計画機関は本マニュアルに示された作業方法等を用いて公共測量を行って良いかどうかを判断することが必要となる。

なお、本マニュアルで規定されている作業方法等については、標準的なものを示したものであり、最終的な成果が一定の精度を確保できることが確認できるのであれば、作業機関は、計画機関の同意を得た上で本マニュアルの規定に従わない方法で作業を行うことが可能である。ただし、本マニュアルで規定されている作業方法、作業手順とは大きく異なる場合には、作業規程の準則第 17 条のとおり、検証結果を付して、あらかじめ国土地理院の長の意見を求めることが必要である。

(安全の確保)

第 2 条 安全の確保については、作業規程の準則（平成 20 年国土交通省告示第 4 1 3 号、最終改正平成 28 年 3 月 3 1 日）（以下「準則」という。）第 10 条の規定を準用する。

2 作業機関は、UAV を飛行させるに当たり、航空法に基づく必要な許可又は承認を得るとともに、国土交通省航空局が定めるガイドラインに従って作業を行うものとする。

【解説】

UAV を用いた公共測量作業を安全に行うために、国土地理院では本マニュアルとは別に、「公共測量における UAV の使用に関する安全基準（案）」を平成 28 年 3 月に示している。作業機関はこうしたものも参考に、安全確保にむけた取組を行うことが必要である。

(作業計画)

第 3 条 作業計画は、準則第 11 条の規定を準用する。

(工程管理)

第 4 条 工程管理は、準則第 1 2 条の規定を準用する。

(精度管理)

第 5 条 精度管理は、準則第 1 3 条の規定を準用する。

<第 5 条 運用基準>

- 1 本マニュアルに基づく測量成果に対する点検測量率は 5% を標準とする。
- 2 第 3 編に基づく三次元点群作成を行う場合においては、通常の検証点の他に検証点を追加し、それらの較差の点検を行うことにより、点検測量に代えることができるものとする。

(測量成果の検定)

第 6 条 測量成果の検定は、準則第 1 5 条の規定を準用する。

(成果及び資料等の様式)

第 7 条 UAV を用いた公共測量における成果、資料等は、本マニュアルに規定する標準的な様式で作成するものとする。ただし、成果等の使用、保存等に支障がないと認めて計画機関が指示し、又は承認した場合に限り、異なる様式により作成することができる。

(運用基準)

第 8 条 本マニュアルの運用に関し必要な事項については、本マニュアルの中に運用基準として定める。

(適用地区)

第 9 条 UAV を用いた公共測量は、土工現場における裸地のような、対象物の認識が可能な地区に適用することを標準とする。

【解説】

本マニュアルで定める測量は、UAV による空中写真を用いて行うものであることから、当該空中写真では識別できない箇所を対象とした測量を行うことはできない。例えば、地表が完全に植生に覆われ、空中写真に植生の下の地面が全く写らないような地区での測量は不可能である。

第 2 編 UAV による空中写真を用いた数値地形図作成

第 1 章 概説

(要旨)

- 第 10 条 本編は UAV による空中写真を用いて数値地形図を作成する測量作業の方法等を定める。
- 2 「数値地形図」とは、地形、地物等に係る地図情報を位置、形状を表す座標データ、内容を表す属性データ等として、計算処理が可能な状態で表現したものをいう。

【解説】

本編の最終成果は、数値地形図データファイルとなる。三次元点群データファイルを目的とする場合の作業方法は、第 3 編に定めるものとする。

(工程別作業区分及び順序)

- 第 11 条 UAV による空中写真を用いた数値地形図作成における工程別作業区分及び順序は、次の各号を標準とする。
- 一 作業計画
 - 二 標定点の設置
 - 三 撮影
 - 四 空中三角測量
 - 五 現地調査
 - 六 数値図化
 - 七 数値編集
 - 八 補測編集
 - 九 数値地形図データファイルの作成
 - 十 品質評価
 - 十一 成果等の整理

(数値地形図の地図情報レベル及び精度)

第 12 条 作成する数値地形図の地図情報レベルは、250 及び 500 を標準とし、その位置精度は、準則第 80 条に準じ次表を標準とする。

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

<第 12 条 運用基準>

- 1 地図情報レベル 1000 よりも大きい数値地形図を作成する場合は、第 11 条第四号までの工程は地図情報レベル 500 の規定に基づいて行い、同条第五号以降の工程は作成する数値地形図の地図情報レベルに応じた規定に基づいて行うものとする。

(数値地形図の図式)

- 第 13 条 数値地形図の図式は、目的及び地図情報レベルに応じて適切に定めるものとする。
- 2 地図情報レベル 250 の図式は、準則付録 7 に準拠するものとする。
 - 3 地図情報レベル 500 の図式は、準則付録 7 を標準とする。
 - 4 地図情報レベルごとの地図項目の取得分類基準、数値地形図データファイルの仕様、数値地形図データファイル説明書、分類コード等は、準則付録 7 を適用することができる。

第 2 章 作業計画

(要旨)

- 第 14 条 作業計画は、第 3 条の規定によるほか、工程別に作成するものとする。

第 3 章 標定点の設置

(要旨)

- 第 15 条 標定点の設置とは、空中三角測量に必要となる水平位置及び標高の基準となる点(以下第 2 編において「標定点」という。)を設置する作業をいう。
- 2 標定点には対空標識を設置する。

(対空標識の規格及び設置等)

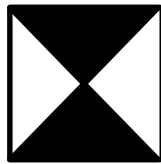
- 第 16 条 対空標識は、拡大された空中写真上で確認できるように形状、寸法、色等を選定するものとする。

<第 16 条 運用基準>

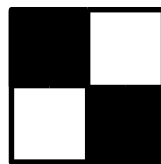
- 1 対空標識の様子は、次を標準とする。



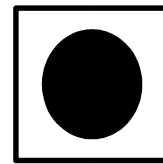
★型



X型



+型



○型

- 2 対空標識の辺長又は円形の直径は、撮影する空中写真に 15 画素以上で写る大きさを標準と

する。

- 3 対空標識の色は白黒を標準とし、状況により黄色や黒色とする。
- 4 対空標識の設置に当たっては、次に定める事項に留意する。
 - (1) あらかじめ土地の所有者又は管理者の許可を得る。
 - (2) UAV から明瞭に撮影できるよう上空視界を確保する。
 - (3) 設置する地点の状態が良好な地点を選ぶものとする。
- 5 設置した対空標識は、撮影作業完了後、速やかに回収し原状を回復するものとする。
- 6 空中写真上で周辺地物との色調差が明瞭な構造物が測定できる場合は、その構造物を標定点及び対空標識に代えることができる。

(標定点の配置)

第 17 条 標定点は、作業範囲の形状、撮影コースの設定、作業範囲及びその周辺の土地被覆を考慮して配置するものとする。

<第 17 条 運用基準>

- 1 撮影が単コースの場合には、標定点は次の条件を満たすように配置することを標準とする。
 - (1) 標定点の配置は、コースの両端のステレオモデルに上下各 1 点及び両端のステレオモデル以外では、コース内に均等に配置することを標準とする。
 - (2) 水平位置 (NH) 及び標高 (NV) の標定点数は、次の式を標準とする。
$$NH = NV = \lceil n / 2 \rceil + 2$$
ここで、n はステレオモデル数とし、 $\lceil \quad \rceil$ 中の計算終了時の小数部は切り上げるものとする。
- 2 撮影が複数コースの場合には、標定点は次の条件を満たすように配置することを標準とする。なお、撮影範囲の形状は矩形を標準とする。また、水平位置の標定点と標高の標定点は兼ねることができる。
 - (1) 水平位置の標定点の配置は、ブロックの四隅に必ず配置するとともに、両端のコースについては 6 ステレオモデルに 1 点、その他のコースについては 3 コースごとの両端のステレオモデルに 1 点、ブロック内の位置精度を考慮して 30 ステレオモデルに 1 点を均等の割合で配置することを標準とする。
 - (2) 水平位置の標定点数 (NH) は、次の式を標準とする。
$$NH = 4 + 2 \lceil (n - 6) / 6 \rceil + 2 \lceil (c - 3) / 3 \rceil + \lceil (n - 6)(c - 3) / 30 \rceil$$
ここで、n は 1 コース当たりの平均ステレオモデル数、c はコース数、 $\lceil \quad \rceil$ 中の計算終了時の小数部は切り上げ、負になる場合は 0 とする。
 - (3) 標高の標定点の配置は、2 コースごとの両端ステレオモデルに 1 点ずつ配置するほか、12 ステレオモデルに 1 点の割合で各コースに均一に配置することを標準とする。
 - (4) 標高の標定点数は、次の式を標準とする。
$$NV = \lceil n / 12 \rceil c + 2 \lceil c / 2 \rceil$$

ここで、 n は 1 コース当たりの平均ステレオモデル数、 c はコース数、[] 中の計算終了時の小数部は切り上げ、計算された NV が(2)で計算された NH より小さい場合は、 NV は NH と同数とする。

3 標定点の配置計画は、撮影計画図の上に作成するものとする。

【解説】

この規定は、GNSS/IMU が搭載されていないもとで撮影した空中写真を用いた空中三角測量を行う際の規定として、昭和 60 年 10 月 5 日付けで建設省国地発 292 号をもって建設大臣の承認を得て、各地方建設局長及び土木研究所長宛てに通知された建設省の公共測量作業規程から引用しているものである。

なお、バンドル調整による空中三角測量での基準点の配置については、次のような知見が得られている。

秋山 (2001) より抜粋

- ・平面位置の精度は平面位置の基準点のみに依存し、標高精度は標高標定点のみに依存する。
- ・平面位置基準点は、ブロック周辺部に配置するのが効果的である。
- ・標高基準点はコース方向に直交して列状に配置するのが効果的である。この列は、コースの終始端の列およびコース内 5~6 モデル間隔に配置するのが効果的である。

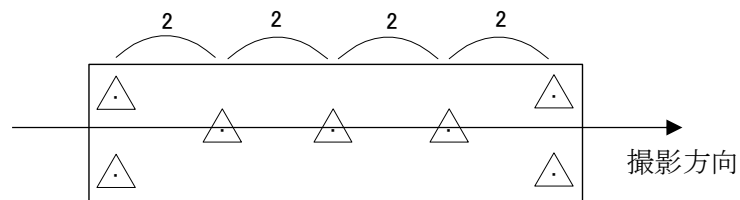


図 2_1 標定点の配置 (単コースの例)

標定点 (△) 7 点、空中写真 11 枚、10 ステレオモデルの例

(標定点の精度)

第 18 条 標定点の精度は、作成する数値地形図の地図情報レベルに応じて、次表を標準とする。

地図情報レベル \ 精度	水平位置 (標準偏差)	標高 (標準偏差)
250	0.1m 以内	0.1m 以内
500	0.1m 以内	0.1m 以内

(標定点の観測方法)

第 19 条 標定点の位置及び高さは、次の各号のとおり求めるものとする。

- 一 水平位置は、準則第 2 編第 2 章の基準点測量に準じた観測、又は準則第 3 編第 2 章第 4 節第 1 款の TS 点の設置に準じた観測
- 二 標高は、準則第 2 編第 3 章で規定する簡易水準測量に準じた観測、又は準則第 3 編第 2 章第 4 節第 1 款の TS 点の設置に準じた観測

(成果等)

第 20 条 標定点の設置の成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 標定点成果表
- 二 標定点配置図
- 三 標定点測量簿及び同明細簿
- 四 精度管理表
- 五 その他の資料

第 4 章 撮影

(要旨)

第 21 条 撮影とは、UAV を用いて空中三角測量用の空中写真を撮影する作業をいう。

(撮影計画)

第 22 条 撮影計画は、撮影地域ごとに、作成する数値地形図の地図情報レベル、地上画素寸法、対地高度、使用機器、地形形状、土地被覆、気象条件等を考慮して立案し、撮影計画図としてまとめるものとする。

<第 22 条 運用基準>

- 1 撮影する空中写真の地上画素寸法は、作成する数値地形図の地図情報レベルに応じて、次表を標準とする。

地図情報レベル	地上画素寸法
250	0.02m 以内
500	0.03m 以内

- 2 対地高度は、 $[(\text{地上画素寸法}) \div (\text{使用するデジタルカメラの 1 画素のサイズ}) \times (\text{焦点距離})]$ 以下とし、地形や土地被覆、使用するデジタルカメラ等を考慮して決定するものとする。
- 3 撮影基準面は、撮影地域に対して一つを定めることを標準とするが、比高の大きい地域にあ

っては、数コース単位に設定することができる。

- 4 焦点距離は、レンズの特性や地形等の状況によって決定するものとする。決定した焦点距離は、撮影終了まで固定するものとする。
- 5 UAV の飛行速度は、空中写真が記録できる時間以上に撮影間隔がとれる速度とする。
- 6 同一コースは、直線かつ等高度で撮影することを標準とする。
- 7 同一コース内の隣接空中写真との重複度は 60%、隣接コースの空中写真との重複度は 30% を標準とする。
- 8 コースの位置及び隣接空中写真との重複度は、次の各号に配慮するものとする。
 - (1) 実体空白部を生じさせない
 - (2) 隠蔽部ができる限り少なくなるようにする
 - (3) パスポイント及びタイポイントが選点しがたい土地被覆がない
- 9 コースの始めと終わりの地域外に 1 ステレオモデル以上設定する。
- 10 撮影計画は、撮影時の明るさや風速、風向、地形・地物の経年変化等により、現場での見直しが生じることを考慮しておく。

【解説】

民生用デジタルカメラでは、任意の画素の情報を、周囲の画素の情報も加味して色補間処理を行い求める場合も多い。上述の地上画素寸法は、様々な民生用デジタルカメラを使用することを前提として、精度を満たす結果を得られるよう設定したものである。このため、必要な精度を確保することが確認できる場合には、運用基準第 1 項とは異なる地上画素寸法で撮影を行うことができる。

撮影は、気象条件が良好な時期及び時間に行うように計画することが必要である。安定した飛行のため、風は強くないことは望ましい。画像のブレをできるだけ少なくするため、露光時間が短くなるよう、明るい時間帯に行うことが必要である。また、太陽高度が低い場合には、陰の影響も生じるため注意が必要である。この他、撮影が好ましくない条件としては、突風の恐れがある場合や降雨、降雪等がある。

(使用する UAV の性能等)

第 23 条 撮影に使用する UAV は、次の各号の性能及び機能を有することを標準とする。

- 一 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。
- 二 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。
- 三 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。

(使用するデジタルカメラの性能等)

第 2 4 条 撮影に使用するデジタルカメラの本体は、次の各号の性能及び機能を有することを標準とする。

- 一 焦点距離、露光時間、絞り、ISO 感度が手動で設定できる。
- 二 レンズの焦点の距離を調整したり、レンズのブレ等を補正したりする自動処理機能を解除できる。
- 三 焦点距離や露光時間等の情報が確認できる。
- 四 十分な記録容量を確保できる。
- 五 撮像素子サイズ及び記録画素数の情報が確認できる。

2 撮影に使用するデジタルカメラのレンズは、単焦点のものを標準とする。

<第 2 4 条 運用基準>

- 1 撮影した画像は、非圧縮形式で記録することを標準とする。

【解説】

デジタルカメラの良否は空中写真測量に大きな影響を与えるため、どのようなデジタルカメラを採用するかは実際の測量に従って検証するなど、慎重に行う必要がある。本マニュアルでは、共線条件が成り立たないレンズを装備したデジタルカメラや歪みが系統的でないデジタルカメラは対象としていない。

(独立したカメラキャリブレーション)

第 2 5 条 撮影に使用するデジタルカメラは、独立した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。

- 2 独立したカメラキャリブレーションは、三次元のターゲットを用いて行うことを標準とする。
- 3 撮影に使用するデジタルカメラは、独立したカメラキャリブレーションを行った状態を維持するものとする。
- 4 独立したカメラキャリブレーションで作成する誤差モデルは、これを使用するソフトに適合していなければならない。

<第 2 5 条 運用基準>

- 1 独立したカメラキャリブレーションにより求める値は、焦点距離、画像中心からの主点位置のブレ、放射方向の歪み量、接線方向の歪み量を標準とする。
- 2 独立したカメラキャリブレーションを行ったデジタルカメラで撮影した画像の画像座標の残差は、0.1 画素以内とする。
- 3 作成する誤差モデルは、バンドル調整プログラムに適したものでなければならない。
- 4 独立したカメラキャリブレーションは、撮影前に実施することを標準とするが、撮影後に実

施することもできるものとする。

- 5 二次元ターゲットを用いて独立したカメラキャリブレーションを行う場合は、三次元ターゲットと同様に異なる方向からターゲットを撮影し、焦点距離を正しく補正しなければならない。

【解説】

民生用デジタルカメラを測量に利用するには、焦点距離や画像中心からの主点位置のズレ、レンズの歪みといった内部定位を固定し、これらの値を把握し、後処理で使用されるソフトで利用できるようにしなければならない。これらの値を求めることを独立したカメラキャリブレーションという。

二次元ターゲットを用いて独立したカメラキャリブレーションを行う場合は、二次元ターゲットに歪みを生じさせないなど、二次元ターゲット自体の取扱いにも注意が必要である。

独立したカメラキャリブレーションを行った状態を維持するには、オートフォーカスや手ぶれ補正等、内部の機構を動かす機能を解除するとともに、フォーカスリングといったレンズを動かす機構をテープ止めしたりしなければならない。

独立したカメラキャリブレーションの結果は、デジタルカメラがテープ止め等により独立したカメラキャリブレーションを行った状態が維持されていれば繰り返し撮影に利用できるが、撮影時の振動などの影響も受けたり、誤って内部の機構を動かす操作を行ったりすることも考えられる。従って、カメラキャリブレーション結果の有効期間は規定していない。細心の注意を払って利用する必要がある。

なお、独立したカメラキャリブレーションは、作業機関が独自に行うことも可能であるが、専門機関へ依頼して行うこともできる。

(機器の点検と撮影計画の確認)

第 26 条 UAV を飛行させるに当たっては、撮影計画の実際への適合性を確認する飛行を行い、機器の点検と撮影計画の確認を行うものとする。

<第 26 条 運用基準>

- 1 機器の点検は、次の各号について行う。
 - (1) UAV の外観
 - (2) UAV のネジの締付状態
 - (3) バッテリの状態
 - (4) 送信機の状態
 - (5) デジタルカメラの装着状態
 - (6) デジタルカメラの設定
- 2 撮影計画の確認は次の各号について行う。
 - (1) 露光時間、感度等の撮影条件
 - (2) 撮影範囲の地形、地物の状況等を踏まえた撮影コース、対地高度の見直し

【解説】

撮影に当たっては、いきなり飛行させるのではなく、機器の調子や設定の状況、計画と実際の違い等を確認する簡単な飛行を行うことが望ましい。機器の点検については、「公共測量における UAV の使用に関する安全基準（案）」も参考とする。

露光時間や感度等は、撮影を行う際の明るさによって決定する必要がある。また、露光時間の設定によっては、画像へのブレの混入を防ぐために、飛行速度を調整する必要もある。感度（ISO 感度の数値）を上げることは、撮像素子から読み出される信号を増幅させることに相当し、増幅させすぎると信号に含まれるノイズも顕著となり、画像にざらつきが生じることとなる。なお、発生するノイズの量はデジタルカメラごとに異なるため、事前に実際の撮影条件と同じ条件でテストを行い、ノイズの発生量を確認して感度を決めておくことが望ましい。

撮影高度は、標高に対地高度を加えて決定される。標高は、撮影計画に使われる Web 配信の地図では、精度が低いこともあり、また、建物等の地物の影響は計画の段階では明らかにはできないことから、適切な撮影高度での飛行とならない場合がある。UAV による撮影は 150m 以下の低高度からの撮影であることが多いため、わずかな高度の違いが重複度に大きく影響を与えることから留意が必要である。

（撮影飛行）

第 27 条 UAV による撮影飛行は、次の各号に従って行うものとする。

- 一 計画対地高度及び計画撮影コースを保持するものとする。計画対地高度に対する実際の飛行の対地高度のずれは、10%以内とする。
- 二 離着陸以外は、自律飛行で行うことを標準とする。
- 三 機体に異常が見られた場合は、ただちに撮影飛行を中止する。
- 四 他の UAV 等の接近が確認された場合には、ただちに撮影飛行を中止する。

（撮影結果の点検）

第 28 条 撮影の直後に、現地において撮影結果の点検を行うものとする。

2 撮影結果の点検は、次の各号について行い精度管理表にまとめるものとする。

- 一 撮影範囲
- 二 空中写真の画質
- 三 隣接空中写真間の重複度
- 四 隣接空中写真間の地上画素寸法較差
- 五 隠蔽部の範囲
- 六 全ての標定点が適切に撮影できているか

<第 28 条 運用基準>

- 1 撮影結果の点検は、全ての空中写真を対象に行うものとする。
- 2 空中写真の画質は、ボケ、ブレ、ノイズ等について点検するものとする。
- 3 空中写真間の重複度は、空中写真を撮影された関係で並べて点検するものとする。
- 4 隠蔽部の有無は、立体図化に障害がないかを点検するものとする。

【解説】

重複度については、同一コース上で隣接する空中写真の重複度と、隣接するコース同士で隣り合う空中写真の重複度を点検する。点検方法としては、自動計算による確認、目視による確認などが考えられる。目視による確認の場合は、1) 撮影標定図において隣接する写真の主点間距離を点検する方法、2) 撮影計画図と撮影標定図を比較する方法などが挙げられる。

写真の点検は全数点検であり、UAV 撮影コース別精度管理表への記載は、一枚毎の記載が標準となるが、枚数が多すぎる場合には、精度管理表の全項目について問題の無い写真はまとめて記載するという対応も考えられる。

(再撮影)

第 29 条 実体空白部や現地調査で補えない隠蔽部等が存在する場合や、適切な画像が得られない場合、計画対地高度を 10% 以上外れて撮影した場合には、それらの箇所を再撮影するものとする。

2 再撮影は、次の各号によるものとする。

- 一 撮影コースは、隠蔽等が生じない位置とし、再撮影の撮影方向は、隠蔽部等が最も緩和される方向に設定するものとする。
- 二 撮影範囲は、当該箇所の前後に 1 ステレオモデル以上を加えたものとする。

(成果等)

第 30 条 撮影の成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 撮影計画図
- 二 誤差モデル等、独立したカメラキャリブレーションで得られる成果一式
- 三 撮影した空中写真
- 四 撮影記録
- 五 撮影標定図
- 六 UAV 撮影コース別精度管理表
- 七 その他の資料

第 5 章 空中三角測量

(要旨)

第 3 1 条 空中三角測量とは、撮影した空中写真、標定点、パスポイント及びタイポイントの写真座標、カメラキャリブレーションデータ等を用いて、空中写真の外部標定要素及びパスポイント、タイポイントの水平位置と標高を決定する作業をいう。

(パスポイント及びタイポイントの選点)

第 3 2 条 パスポイントは、同一コースで連続する空中写真間を連結する点、タイポイントは隣接コースの空中写真間を連結する点に分けて選定するものとする。

2 パスポイント及びタイポイントの選定は、空中写真間の連結が理論的に最も堅ろうとなる配置で、空中写真上で明瞭に認められる位置とすることを標準とする。

<第 3 2 条 運用基準>

- 1 パスポイントの配置は、次の各号によるものとする。
 - (1) 主点付近及び主点基線に直角な両方向の 3 箇所以上を標準とする。
 - (2) 主点基線に直角な方向は、上下端付近の等距離に配置することを標準とする。
- 2 タイポイントの配置は、次の各号によるものとする。
 - (1) 1 モデル毎に等間隔かつジグザグに配置することを標準とする。
 - (2) パスポイントで兼ねることができる。

(標定点とパスポイント及びタイポイントの観測)

第 3 3 条 標定点、パスポイント及びタイポイントの写真座標は、立体視で観測することを標準とする。

<第 3 3 条 運用基準>

- 1 パスポイント及びタイポイントは、その点が写っている全ての空中写真で観測することを標準とする。

【解説】

空中写真を堅固に連結するには、前条に規定する配置でパスポイント及びタイポイントを取得する必要がある。しかしながらパスポイント及びタイポイントを取得する位置に、明瞭な地物が存在するとは限らない。このような状況で取得するには、立体視をしながら手動で観測する必要がある。自動で取得した場合には、立体視による確認や写真測量ソフトの異常値検索機能などにより、点検する必要がある。

パスポイント及びタイポイントは、写っている全ての空中写真で観測することによって自由度をなくし、堅固なモデルを作れることになる。

(調整計算)

第 3 4 条 カメラキャリブレーションデータ並びに標定点、パスポイント及びタイポイントの
写真座標を用い、バンドル法により調整計算を行い、各空中写真の外部標定要素並びにパス
ポイント及びタイポイントの水平位置と標高を求めるものとする。

<第 3 4 条 運用基準>

- 1 調整計算を行う前には、多項式法又はバンドル調整法の異常値検索機能により過誤を検出し、
観測値を点検するものとする。
- 2 調整計算では、セルフキャリブレーションは行わないことを標準とする。
- 3 標定点の水平位置及び標高の残差は、どちらも標準偏差及び最大値ともに次表の値以内とす
る。

地図情報レベル	標準偏差	最大値
250	0.06m	0.12m
500	0.12m	0.24m

- 4 パスポイント及びタイポイントの交会残差は、標準偏差が 1.5 画素以内、最大値が 3.0 画素
以内とする。
- 5 大気屈折及び地球曲率の影響の補正は、行わないものとする。
- 6 セルフキャリブレーション付きの調整計算を行った場合には、セルフキャリブレー
ションデータを更新し、数値図化時のステレオモデル構築に再現できるようにしなけ
ればならない。
- 7 調整計算は、単一ブロックとして行うことを標準とする。

【解説】

大気屈折及び地球曲率の影響の補正は、撮影範囲が狭いこと、対地高度が低いことから、必要
とはしない。

調整計算が収束しない場合には、理由としてはデジタルカメラやカメラキャリブレーション、
標定点、パスポイント・タイポイントなどに問題があると考えられる。したがって、例えばパス
ポイント・タイポイントの観測精度を上げるなどの見直しが必要となる。

(成果等)

第 3 5 条 空中三角測量の成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 外部標定要素成果表
- 二 パスポイント、タイポイント成果表
- 三 空中三角測量作業計画、実施一覧図
- 四 写真座標測定簿
- 五 調整計算簿
- 六 空中三角測量精度管理表
- 七 その他の資料

第 6 章 現地調査

(要旨)

第 3 6 条 現地調査とは、空中写真で判読が困難な各種表現事項、名称等、他の地物に隠蔽された箇所を、現地にて調査する作業をいう。

- 2 現地調査を行うに当たっては、現地調査の着手前に撮影計画や各種既存資料を元に、予察を行うものとする。

(現地調査の実施)

第 3 7 条 現地調査は、予察の結果に基づいて空中写真及び各種資料を活用し、次に掲げるものについて実施するものとする。

- 一 予察結果の確認
- 二 空中写真上で判読困難な箇所の地図項目
- 三 空中写真上で判読不能な地図項目
- 四 標定点

<第 3 7 条 運用基準>

- 1 現地調査を行うに当たっては、次の事項に留意するものとする。
 - (1) コントラストが低い地物間の境界
 - (2) 接触する建物の区画
 - (3) 空中写真上で不明瞭な植生及び植生界
 - (4) 凹地、がけ、岩等の表現上誤り易い地形
- 2 記号や注記は、ステレオモデルの向きに合わせて整理するものとする。
- 3 現地調査を分割して行う場合には、接合のやり取りを予め取り決めておくものとする。

(整理)

第 38 条 調査結果は、数値図化及び数値編集作業時に参照しやすいように整理するものとする。

(成果等)

第 39 条 現地調査の成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 現地調査結果を整理した空中写真等
- 二 その他の資料

第 7 章 数値図化

(数値図化)

第 40 条 数値図化は、準則第 3 編第 4 章第 8 節の規定を準用する。

第 8 章 数値編集

(数値編集)

第 41 条 数値編集は、準則第 3 編第 4 章第 9 節の規定を準用する。

第 9 章 補測編集

(補測編集)

第 42 条 補測編集は、準則第 3 編第 4 章第 10 節の規定を準用する。

第 10 章 数値地形図データファイルの作成

(数値地形図データファイルの作成)

第 43 条 数値地形図データファイルの作成は、準則第 3 編第 4 章第 11 節の規定を準用する。

第 11 章 品質評価

(品質評価)

第 44 条 品質評価は、準則第 3 編第 4 章第 12 節の規定を準用する。

第 12 章 成果等の整理

(メタデータの作成)

第 45 条 数値地形図データファイルのメタデータの作成は、製品仕様書に従いファイルの管理及び利用において必要となる事項について作成するものとする。

(成果等)

第 46 条 UAV による空中写真を用いた数値地形図作成における成果等は、前各章で定めるもののほか、次の各号のとおりとする。

- 一 数値地形図データファイル
- 二 その他の資料

第 3 編 UAV による空中写真を用いた三次元点群作成

第 1 章 概説

(要旨)

第 4 7 条 本編は UAV による空中写真を用いて三次元点群を作成する測量作業の方法等を定める。

2 「三次元点群」とは、地形に係わる情報の水平位置、標高に加え、空中写真の色情報を属性として、計算処理が可能な状態として表現したものをいう。

(工程別作業区分及び順序)

第 4 8 条 UAV による空中写真を用いた三次元点群作成における工程別作業区分及び順序は、次の各号を標準とする。

- 一 作業計画
- 二 標定点及び検証点の設置
- 三 撮影
- 四 三次元形状復元計算
- 五 点群編集
- 六 三次元点群データファイルの作成
- 七 品質評価
- 八 成果等の整理

(三次元点群の精度)

第 4 9 条 作成する三次元点群の位置精度は、0.05m 以内、0.10m 以内又は 0.20m 以内のいずれかを標準とする。なおここでいう位置精度とは、作業範囲において観測した検証点の位置座標と、この地点に相当する三次元点群が示す位置座標の X、Y、Z それぞれの成分の較差の許容範囲をいう。

【解説】

作成する三次元点群の位置精度は、その目的に応じて設定し、それぞれの位置精度に必要な作業を行う。空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（平成 28 年 3 月 国土交通省）の場合、位置精度 0.05m 以内の三次元点群は出来形管理に、位置精度 0.10m 以内の三次元点群は起工測量又は岩線計測に、位置精度 0.20m 以内の三次元点群は部分払い出来高計測にそれぞれ利用されている。

第 2 章 作業計画

(要旨)

第 5 0 条 作業計画は、第 1 4 条の規定を準用する。

(参考)

(要旨)

第 1 4 条 作業計画は、第 3 条の規定によるほか、工程別に作成するものとする。

第 3 章 標定点及び検証点の設置

(要旨)

第 5 1 条 標定点及び検証点の設置とは、三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 (以下第 3 編において「標定点」という。) 及び三次元点群の検証を行う点 (以下「検証点」という。) を設置する作業をいう。

2 標定点及び検証点には対空標識を設置する。

(対空標識の規格及び設置等)

第 5 2 条 対空標識は、第 1 6 条の規定を準用する。

(参考)

(対空標識の規格及び設置等)

第 1 6 条 対空標識は、拡大された空中写真上で確認できるように形状、寸法、色等を選定するものとする。

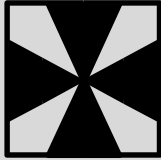
<第 5 2 条 運用基準>

- 1 第 1 6 条運用基準を準用する。

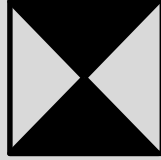
(参考)

<第 1 6 条 運用基準>

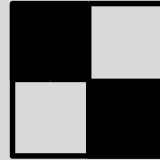
- 1 対空標識の様子は、次を標準とする。



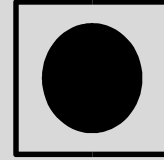
★型



X 型



+ 型



○型

- 2 対空標識の辺長又は円形の直径は、撮影する空中写真に 15 画素以上で写る大きさを標準とする。
- 3 対空標識の色は白黒を標準とし、状況により黄色や黒色とする。
- 4 対空標識の設置に当たっては、次に定める事項に留意する。
 - (1) あらかじめ土地の所有者又は管理者の許可を得る。
 - (2) UAV から明瞭に撮影できるよう上空視界を確保する。
 - (3) 設置する地点の状態が良好な地点を選ぶものとする。
- 5 設置した対空標識は、撮影作業完了後、速やかに回収し原状を回復するものとする。
- 6 空中写真上で周辺地物との色調差が明瞭な構造物が測定できる場合は、その構造物を標定点及び対空標識に代えることができる。

(標定点及び検証点の配置)

第 5 3 条 標定点は、計測対象範囲の形状、比高が大きく変化するような箇所、撮影コースの設定、地表面の状態等を考慮しつつ、次の各号のとおり配置するものとする。

- 一 標定点は、計測対象範囲を囲むように配置する点（以下「外側標定点」という。）及び計測対象範囲内に配置する点（以下「内側標定点」という。）で構成する。
- 二 外側標定点は、計測対象範囲の外側に配置することを標準とする。
- 三 内側標定点は、計測対象範囲内に均等に配置することを標準とする。
- 四 標定点の配置間隔は、作成する三次元点群の位置精度に応じて、以下の表を標準とする。
なお、外側標定点は 3 点以上、内側標定点は 1 点以上設置するものとする。

位置精度	隣接する外側標定点間の距離	任意の内側標定点とその点を囲む各標定点との距離
0.05m 以内	100m 以内	200m 以内
0.10m 以内	100m 以内	400m 以内
0.20m 以内	200m 以内	600m 以内

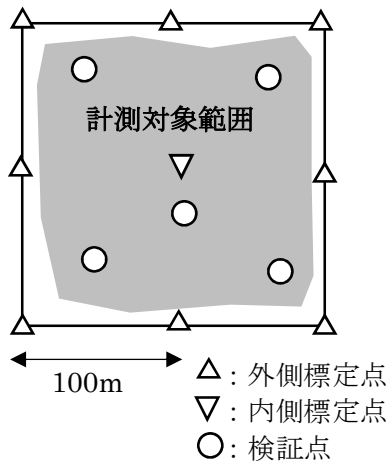
五 計測対象範囲内の最も標高の高い地点及び最も標高の低い地点には、標定点を設置することを標準とする。なお、これらの標定点は、外側標定点又は内側標定点の一部とすることができる。

- 2 検証点は、標定点とは別に、次の各号のとおり配置するものとする。
 - 一 検証点は、標定点からできるだけ離れた場所に、計測対象範囲内に均等に配置することを標準とする。
 - 二 設置する検証点の数は、設置する標定点の総数の半数以上（端数は繰り上げ。）を標準とする。
 - 三 検証点は、平坦な場所又は傾斜が一様な場所に配置することを標準とする。

【解説】

標準的な標定点の設置イメージは、図 3_1 のとおりである。

計測対象範囲に傾斜の急な法面等の比高が大きく変化する部分を含む場合は、比高が大きく変化する部分に標定点を設置することで、計測精度を確保できる可能性が高くなる。また、地表面の様式の変化が乏しい部分も計測精度が低下する可能性があるため標定点を配置することが考えられる。その他、十分な精度を確保したい箇所には、標定点や検証点を設置することで対応することが望ましい。



外側標定点

- ・ 計測対象範囲を囲むように配置
- ・ 隣り合う外側標定点の距離は 100m 以内

内側標定点

- ・ 内側標定点は最低 1 点とする。
- ・ 内側標定点とそれを囲む標定点との距離は 200m 以内

検証点

- ・ 標定点の総数の半数以上 (端数は繰り上げ)
- ・ 計測対象範囲内に均等に配置

図 3_1 標定点の配置

(標定点及び検証点の観測方法)

第 5 4 条 標定点及び検証点の位置及び高さは、準則第 3 編第 2 章第 4 節第 1 款の TS 点の設置に準じた観測により求めるものとする。ただし、作成する三次元点群の位置精度が 0.05m 以内の場合には、準則第 9 2 条に示す TS 等を用いる TS 点の設置に準じて行うものとする。

<第 5 4 条 運用基準>

- 1 標定点及び検証点の観測結果については、精度管理表にまとめるものとする。
- 2 TS 等を用いる場合は、準則第 4 4 5 条第 3 項を準用し、次表を標準とする。

区分		水平角観測	鉛直角観測	距離測定
方法		2 対回 (0°, 90°)	1 対回	2 回測定
較差の許容範囲	倍角差	60"	60"	5 mm
	観測差	40"		

- 3 キネマティック法、RTK 法又はネットワーク型 RTK 法による TS 点の設置は、準則第 9 3 条及び第 9 4 条に準じて行うものとする。いずれの方法においても、観測は 2 セット行うものとする。1 セット目の観測値を採用値とし、2 セット目を点検値とする。セット間の格差の許容範囲は、X 及び Y 成分は 20mm、Z 成分は 30mm を標準とする。

【解説】

標定点及び検証点の測量は、準則に定める TS 点の設置に準じ、TS による放射法、GNSS によるキネマティック法、RTK 法、ネットワーク型 RTK 法により行うことができる。ネットワーク型 RTK 法の場合、単点観測法による観測も可能であり、いわゆる GNSS ローバーを使用することも可能である。ただし、出来形管理のための測量など、作成する三次元点群の位置精度が 0.05m 以内の場合には、標定点及び検証点の位置精度を確保する観点から、TS を用いた測量のみ行うことができることとしている。

(成果等)

第 5 5 条 標定点及び検証点の設置の成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 標定点及び検証点成果表
- 二 標定点及び検証点配置図
- 三 標定点及び検証点測量簿及び同明細簿
- 四 精度管理表
- 五 その他の資料

第 4 章 撮影

(要旨)

第 5 6 条 撮影とは、UAV を用いて三次元形状復元計算用の空中写真を撮影する作業をいう。

(撮影計画)

第 5 7 条 撮影計画は、撮影地域ごとに、作成する三次元点群の位置精度、地上画素寸法、対地高度、使用機器、地形形状、土地被覆、気象条件等を考慮して立案し、撮影計画図としてまとめるものとする。

<第 5 7 条 運用基準>

1 撮影する空中写真の地上画素寸法は、作成する三次元点群の位置精度に応じて、次表を標準とする。

位置精度	地上画素寸法
0.05m 以内	0.01m 以内
0.10m 以内	0.02m 以内
0.20m 以内	0.03m 以内

2 対地高度は、 $[(\text{地上画素寸法}) \div (\text{使用するデジタルカメラの 1 画素のサイズ}) \times (\text{焦点距離})]$ 以下とし、地形や土地被覆、使用するデジタルカメラ等を考慮して決定するものとする。

3 撮影基準面は、撮影地域に対して一つを定めることを標準とするが、比高の大きい地域にあつては、数コース単位に設定することができる。

4 焦点距離は、レンズの特性や地形等の状況によって決定するものとする。決定した焦点距離は、撮影終了まで固定することを標準とする。ただし、地形形状等からオートフォーカスを使用することが適切であると判断される場合は、この限りではない。

5 UAV の飛行速度は、空中写真が記録できる時間以上に撮影間隔がとれる速度とする。

6 同一コースは、直線かつ等高度で撮影することを標準とする。

7 撮影後に実際の写真重複度を確認できる場合には、同一コース内の隣接空中写真との重複度

が 80%以上、隣接コースの空中写真との重複度が 60%以上を確保できるよう撮影計画を立案することを標準とする。撮影後に写真重複度の確認が困難な場合には、同一コース内の隣接空中写真との重複度は 90%以上、隣接コースの空中写真との重複度は 60%以上として撮影計画を立案するものとする。

8 コースの位置及び隣接空中写真との重複度は、次の各号に配慮するものとする。

- (1) 実体空白部を生じさせない
- (2) 隠蔽部ができる限り少なくなるようにする

9 外側標定点を結ぶ範囲のさらに外側に、少なくとも 1 枚以上の空中写真が撮影されるよう、撮影計画を立案するものとする。

10 撮影計画は、撮影時の明るさや風速、風向、地形・地物の経年変化等により、現場での見直しが生じることを考慮しておく。

【解説】

図 3_2 は、計測対象範囲と撮影する写真の範囲等のイメージを示したものである。

民生用デジタルカメラでは、任意の画素の情報を、周囲の画素の情報も加味して色補間処理を行い求める場合も多い。上述の地上画素寸法は、様々な民生用デジタルカメラを使用することを前提として、精度を満たす結果を得られるよう設定したものである。このため、必要な精度を確保することが確認できる場合には、運用基準第 1 項とは異なる地上画素寸法で撮影を行うことができる。

撮影は、気象条件が良好な時期及び時間に行うように計画することが必要である。安定した飛行のため、風は強くないことは望ましい。画像のブレをできるだけ少なくするため、露光時間が短くなるよう、明るい時間帯に行うことが必要である。また、太陽高度が低い場合には、陰の影響も生じるため注意が必要である。この他、撮影が好ましくない条件としては、突風の恐れがある場合や降雨、降雪等がある。

計測対象範囲においてマッチングしやすい目印が多ければ、三次元形状復元計算におけるマッチングの精度が向上する可能性がある。そのため、撮影前に、現況を見ながら、目印（例えば、対空標識やポール等）を設置したり、白線を引いたりといった簡単な対策が挙げられる。

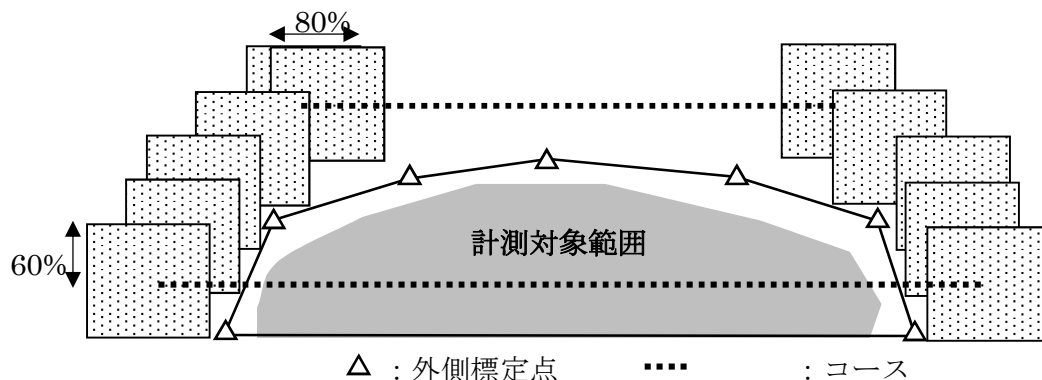


図 3_2 撮影する写真のイメージ（撮影後に実際の写真重複度を確認できる場合）

(使用する UAV の性能等)

第 58 条 撮影に使用する UAV の性能等は、第 23 条の規定を準用する。

(参考)

(使用する UAV の性能等)

第 23 条 撮影に使用する UAV は、次の各号の性能及び機能を有することを標準とする。

- 一 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。
- 二 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。
- 三 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。

(使用するデジタルカメラの性能等)

第 59 条 撮影に使用するデジタルカメラの性能等は、第 24 条の規定を準用する。

(参考)

(使用するデジタルカメラの性能等)

第 24 条 撮影に使用するデジタルカメラの本体は、次の各号の性能及び機能を有することを標準とする。

- 一 焦点距離、露光時間、絞り、ISO 感度が手動で設定できる。
- 二 レンズの焦点の距離を調整したり、レンズのブレ等を補正したりする自動処理機能を解除できる。
- 三 焦点距離や露光時間等の情報が確認できる。
- 四 十分な記録容量を確保できる。
- 五 撮像素子サイズ及び記録画素数の情報が確認できる。

2 撮影に使用するデジタルカメラのレンズは、単焦点のものを標準とする。

【解説】

地形形状等から、オートフォーカスでの撮影が適切であると判断される場合は、焦点距離の調整機能を解除できないデジタルカメラを使用することも可能である。撮影した画像の保存形式に特段の定めはないが、画質の低下を避けるため、圧縮率の高い形式での保存は避けることが望ましい。

(機器の点検と撮影計画の確認)

第 60 条 機器の点検と撮影計画の確認は、第 26 条の規定を準用する。

(参考)

(機器の点検と撮影計画の確認)

第 2 6 条 UAV を飛行させるに当たっては、撮影計画の実際への適合性を確認する飛行を行い、機器の点検と撮影計画の確認を行うものとする。

<第 6 0 条 運用基準>

- 1 第 2 6 条運用基準を準用する。

(参考)

<第 2 6 条 運用基準>

- 1 機器の点検は、次の各号について行う。
 - (1) UAV の外観
 - (2) UAV のネジの締付状態
 - (3) バッテリの状態
 - (4) 送信機の状態
 - (5) デジタルカメラの装着状態
 - (6) デジタルカメラの設定
- 2 撮影計画の確認は次の各号について行う。
 - (1) 露光時間、感度等の撮影条件
 - (2) 撮影範囲の地形、地物の状況等を踏まえた撮影コース、対地高度の見直し

(撮影飛行)

第 6 1 条 UAV による撮影飛行は、第 2 7 条の規定を準用する。

(参考)

(撮影飛行)

- 第 2 7 条 UAV による撮影飛行は、次の各号に従って行うものとする。
- 一 計画対地高度及び計画撮影コースを保持するものとする。計画対地高度に対する実際の飛行の対地高度のずれは、10%以内とする。
 - 二 離着陸以外は、自律飛行で行うことを標準とする。
 - 三 機体に異常が見られた場合は、ただちに撮影飛行を中止する。
 - 四 他の UAV 等の接近が確認された場合には、ただちに撮影飛行を中止する。

(撮影結果の点検)

第 6 2 条 撮影の直後に、現地において撮影結果の点検を行うものとする。

2 撮影結果の点検は、次の各号について行い精度管理表にまとめるものとする。

- 一 撮影範囲
- 二 空中写真の画質
- 三 隣接空中写真間の重複度
- 四 隠蔽部の範囲
- 五 全ての標定点及び検証点が適切に撮影できているか

<第 6 2 条 運用基準>

- 1 空中写真の画質は、全ての写真を対象に、ボケ、ブレ、ノイズ等について点検するものとする。
- 2 空中写真間の重複度は、撮影結果から、主点間の距離が長い地点等重複度が小さいと考えられる箇所を複数抜き取り、撮影範囲等を元に計算する。ただし、実際の写真重複度の計算が困難であって、同一コース内の隣接空中写真との重複度を 90%以上として撮影計画を立案している場合には、点検を省略できるものとする。
- 3 隠蔽部の有無は、三次元点群作成に障害がないかを点検するものとする。

【解説】

重複度については、同一コース上で隣接する空中写真の重複度と、隣接するコース同士で隣り合う空中写真の重複度を点検する。重複度の計算は、撮影標定図において隣接する写真の主点間距離を取得し、対地高度や撮影範囲等を踏まえて行うことが一般的である。現時点では、自動的に重複度の計算を行うソフトウェア等が必ずしも普及していないことから、重複度が小さいと考えられる地点を、撮影標定図に示された主点間隔等を元に複数抽出し、それらを対象に計算を行うことを規定しているが、可能であれば、全ての写真を対象に重複度を計算することが望ましい。

なお、写真の品質の点検は全数点検することとしており、UAV 撮影コース別精度管理表への記載は、一枚毎の記載が標準となるが、枚数が多すぎる場合には、精度管理表の全項目について問題の無い写真はまとめて記載するという対応も考えられる。

(追加撮影)

第 6 3 条 撮影結果の点検の結果、次の各号の場合には、それらの箇所を追加撮影するものとする。

- 一 実体空白部や現地調査で補えない隠蔽部等が存在する場合
- 二 適切な画質の空中写真が得られない場合
- 三 適切な重複度の空中写真が得られない場合

【解説】

追加撮影では、適切な画像が得られていない場所を対象に撮影を行い、三次元復元計算に用いる空中写真を入れ替えたり、空白部が生じた場所についてそれらを補うように撮影し、他の写真とともに加えて三次元復元計算を行ったりすることを想定している。

同一コース内の隣接空中写真との重複度が 80% よりも小さい場合や、隣接コースの空中写真との重複度が 60% よりも小さい場合、必要な場所を補うように追加の撮影を行うことが考えられる。ただし、最終的な三次元点群が所定の精度を満たす場合には、必ずしも追加撮影が必要ではないことから、全体的な状況等を踏まえて、追加撮影の実施の有無を判断することが必要である。

(成果等)

第 6 4 条 撮影の成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 撮影計画図
- 二 撮影した空中写真
- 三 撮影記録
- 四 撮影標定図
- 五 UAV 撮影コース別精度管理表
- 六 その他の資料

第 5 章 三次元形状復元計算

(要旨)

第 6 5 条 三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、空中写真の外部標定要素及び空中写真に撮像された地点（以下「特徴点」という。）の位置座標を求め、地形・地物の三次元形状を復元し、オリジナルデータを作成する作業をいう。

- 2 三次元形状復元計算は、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処理を含むものとする。

<第 6 5 条 運用基準>

- 1 三次元形状復元計算に用いる撮像素子寸法、画素数は、デジタルカメラのカタログ値を採用し、焦点距離の初期値は、デジタルカメラのカタログの焦点距離の値を用いるものとする。
- 2 三次元形状復元計算は、分割して実施しないことを標準とする。
- 3 カメラのキャリブレーションについては、三次元形状復元計算において、セルフキャリブレーションを行うことを標準とする。

(三次元形状復元計算結果の点検)

第 6 6 条 三次元形状復元計算の結果は、三次元形状復元計算ソフトの機能に応じて点検するものとする。

【解説】

三次元形状復元計算ソフトが出力する点検に利用可能な情報には、以下のようなものがある。

- (1) 計算から省かれた空中写真の有無
- (2) 計算に使用した空中写真の重複枚数
- (3) 特徴点の分布
- (4) 写真座標の交会残差
- (5) 標定点の残差

(標定点の残差及び検証点の較差の点検)

第 6 7 条 三次元形状復元計算で得られる標定点の残差が、X、Y、Z いずれの成分も、作成する三次元点群の位置精度以内であることを点検する。

- 2 あらかじめ求めた検証点の位置座標と、三次元形状復元計算で得られた検証点の位置座標との較差が、X、Y、Z いずれの成分も、作成する三次元点群の位置精度以内であることを点検する。
- 3 点検のために、必要に応じてオルソ画像を作成することができるものとする。
- 4 点検の結果、精度を満たさない場合には、不良写真の除去及び特徴点の修正を行った上で、再度三次元形状復元計算を行い、点検を行うものとする。こうした処理を行っても精度を満たさない場合には、追加撮影を行うものとする。

<第 6 7 条 運用基準>

- 1 三次元形状復元計算ソフトで直接検証点の位置座標を求めることができない場合は、検証点の位置座標は、次の方法で求めるものとする。
 - (1) 平面位置は、第 3 項で作成したオルソ画像上で検証点の位置を確認し、座標を求める。
 - (2) 高さは、作成した三次元点群を用いて、各検証点に対し平面座標上の距離が 15cm 以内であるような点群を抽出し、距離の重み付内挿法 (Inverse Distance Weighted 法 : IDW 法) で求める。

【解説】

計算に使用する標定点の数や配置を変更することにより、残差及び較差が変化することもあることから、標定点及び検証点を多めに設置・観測し、精度を満たさない場合は数や配置を変えて再計算を行うことも考えられる。

(成果等)

第 6 8 条 三次元形状復元計算の成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 オリジナルデータ
- 二 三次元形状復元計算ソフトが出力する情報
- 三 三次元形状復元精度管理表
- 四 その他の資料

【解説】

カメラのセルフキャリブレーションで得られる成果一式も、成果等を含むものとする。

第 6 章 点群編集

(要旨)

第 6 9 条 点群編集とは、オリジナルデータから必要に応じて異常点の除去、あるいは、点群の補間等の編集を行ってグラウンドデータを作成し、所定の構造に構造化する作業をいう。

(点群編集)

第 7 0 条 オリジナルデータを複数の方向から表示し、地形以外を示す特徴点や成果に不要となる特徴点等の異常点を取り除くものとする。

- 2 オリジナルデータが必要な密度を満たさない場合は、必要に応じて TS 等を用いて現地補測を行い、点群を補間する。
- 3 異常点やオリジナルデータが必要な密度を満たさない場所が広範囲に分布する場合には、空中写真及び三次元形状復元計算結果を見直し、必要に応じて空中写真の追加撮影又は三次元形状復元計算の再計算を行うものとする。

【解説】

三次元点群の点群編集には、誤抽出の修正と欠測部での補測がある。誤抽出とは、異なる場所を同一の場所と判定して三次元点群に変換したものをいう。欠測部とは三次元点群が、精度に影響するほどまとまった範囲で抽出できなかったところをいう。前者は類似の様子が固まって存在する場所に、後者は土地被覆の濃淡が少なかったり、水面のように異なる模様で写る場所が該当する。

抽出が正確に行われたとしても成果とはならない樹木、草、構造物、車両等を抽出している場合は、これらも必要に応じて編集により除去する。

土木施工において使用する三次元点群の点密度は、下表を標準に分類している。

低密度	標準の密度	高密度
100m ² (10m×10m) につき 1 点以上	0.25m ² (0.5m×0.5m) につき 1 点以上	0.01m ² (0.1m×0.1m) につき 1 点以上

例えば、法肩・法尻等の地形形状が急激に変化する箇所においては、点密度を高密度とすることを標準としている。また、植生等により測定した点が正しく地表を捉えられず、標準の点密度の取得が困難な場合には、低密度とすることを認めている。一方で、低密度の許容点密度に満たない場合は、TS 等により補足を行うことにより、密度を満たすように補完することが必要となる。

このように、利用場面に応じて、点群編集を行うことが必要である。

なお、土木施工においては、低密度、高密度の範囲を別に示すことを求めている。

(構造化)

第 7 1 条 構造化とは、必要に応じて、グラウンドデータを決められた構造の構造化データに変換する作業をいう。

2 構造化に当たっては、必要に応じてブレイクラインを追加できるものとする。

【解説】

グラウンドデータを変換することで、サーフェスモデル (TIN データ) や、一定の格子間隔で地形の形状を表す DEM データを作成することができる。また、サーフェスモデルに撮影した空中写真画像を貼り付けることで、写真地図 (三次元オルソ画像) を作成することもできる。サーフェスモデルは土木施工において利用されることも多い。必要となるデータは、利用目的等によっても異なることから、必要に応じてグラウンドデータから、これらの構造化データに変換する作業を行う。

第 7 章 三次元点群データファイルの作成

(要旨)

第 7 2 条 三次元点群データファイルの作成とは、グラウンドデータ又は変換した構造化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作業をいう。

【解説】

三次元形状復元計算ソフトは、多様な形式の出力が可能な場合が多いが、三次元点群としては LAS 形式や 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。

第 8 章 品質評価

(品質評価)

第 7 3 条 品質評価は、準則第 3 編第 4 章第 1 2 節の規定を準用する。

第 9 章 成果等の整理

(メタデータの作成)

第 7 4 条 三次元点群データファイルのメタデータの作成は、製品仕様書に従いファイルの管理及び利用において必要となる事項について作成するものとする。

(成果等)

第 7 5 条 UAV による空中写真を用いた三次元点群作成における成果等は、前各章で定めるもののほか、次の各号のとおりとする。

- 一 三次元点群データファイル
- 二 その他の資料

第 4 編 資料

標準様式等

- ・ カメラキャリブレーション実施記録
- ・ UAV 撮影コース別精度管理表
- ・ 空中三角測量精度管理表
- ・ 三次元形状復元精度管理表
- ・ 電子納品補足資料

引用資料

- ・ 秋山実 (2001) : 写真測量、山海堂、183p.

参考資料

- ・ 日本写真測量学会編 (1983) : 解析写真測量、日本写真測量学会.
- ・ 八木康史・齋藤英雄編 (2010) : CVIM チュートリアルシリーズ コンピュータビジョン最先端ガイド 3.

カメラキャリブレーション実施記録(数値地形図作成)

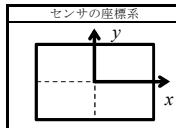
地区名 地名		カメラ キャリブレーション 実施年月日	撮影年月日		作業機関名	主任技術者	印
						作業実施者	印

カメラ	名称			
	シリアル番号	No.		
	画素数	pixel ×	pixel	
	センササイズ	mm ×	mm	-
	1画素あたりの大きさ	μm		

レンズ	名称			
	シリアル番号	No.		
	焦点距離	mm		
	画角	°		

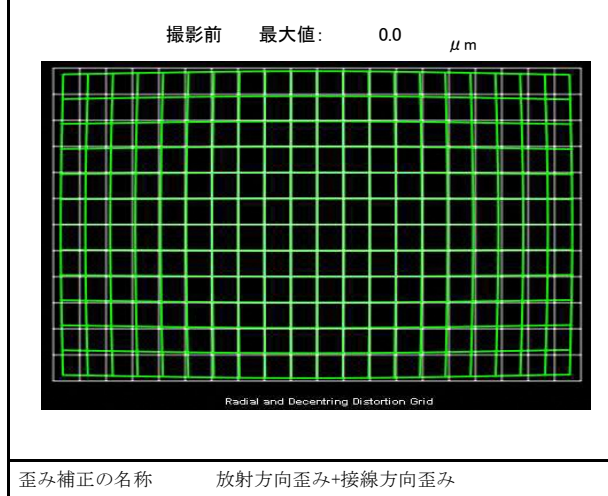
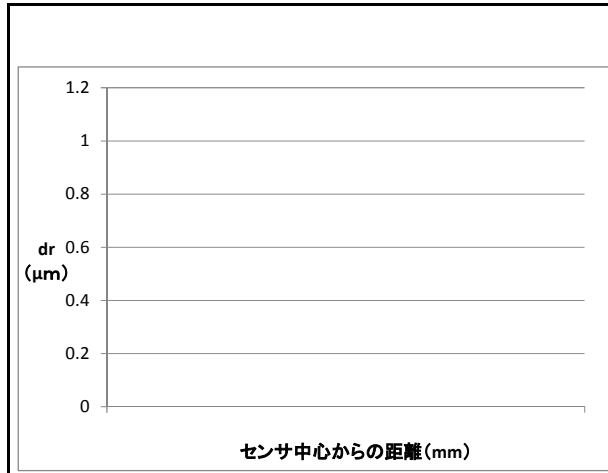
カメラキャリブレーションに 使用したソフトウェア	iWitness V2.2 (Photometrix社)		
補正モデル式			
$\Delta x = x \cdot \frac{dr}{r} + p_1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot p_2 \cdot x \cdot y$ $\Delta y = y \cdot \frac{dr}{r} + p_2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot p_1 \cdot x \cdot y$ $(dr = k_1 \cdot r^3 + k_2 \cdot r^5 + k_3 \cdot r^7, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2})$			
パラメータ			
焦点距離	記号	値	mm
主点位置のズレ	$x p$		mm
	$y p$		mm
放射方向歪み係数	$k 1$		
	$k 2$		
	$k 3$		
接線方向歪み係数	$p 1$		
	$p 2$		
画像座標の残差(RMS)			pixel

放射方向歪み量 $dr(\mu m)$	
距離 r (mm)	歪み量
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
	最大(μm) 0.0



接線方向最大歪み量 (μm)
撮影前

注 原点位置と座標軸を記載する。



注 1. 補正前と歪み補正後を重ね合わせた図を掲載する。
2. 放射方向歪みに関する図と接線方向歪みに関する図の掲載を原則とする。

注 1. パラメータ欄には歪み補正の名称を記載する。
接線方向歪みの補正を行っていない場合は接線方向歪み係数欄を斜線にて削除する。
2. 記号欄には補正モデル式に記した補正項の記号を記載する。

UAV撮影コース別精度管理表(数値地形図作成)

地区名 地名	名称	計 画			作 業 名
		地上画素 寸法	基準面高	対地高度	
	カメラ 画素数 pixel × pixel センサーサイズ mm × mm				
撮影日時 年 月 日	飛行方向 N W — E S	名称	cm	m	主 任 者 技 術 者
h:m ~	ISO	焦点距離	カメラキャリブレーション実施年月日 年 月 日		社 内 者 点 検 者
風 速 m/s	シャッター速度	画 像 記 録 方 式	重 複 率 点 検 方 法		社 内 検 査 日 年 月 日
	データ形式	使用ソフト名など			年 月 日

ファイル名	コース番号	写真番号	採 否	コース方 向重複度 (最小OL)	航 跡の ずれ	色 調の 良否	ハ レ・ 影シ ヨ	ボ ケ・ ブレ	ゴ ミ・ ノイ ズ	隠 蔽部 の有 無	対 標明 否	障 害 事 項 そ の 他
				%	mm							
平均及集計				(最小値) %	(最大) %							

コース間重複度

コース番号	写真番号	最小 SL (%)
コース間 重複度 (%)		
コース番号	写真番号	最小 SL (%)
コース間 重複度 (%)		
コース番号	写真番号	/

空中三角測量精度管理表(数値地形図作成)

作業名又は地区名				作業量		作業期間		作業機関名				主任技術者		印					
												社内検査者		印					
コース番号	撮影高度	写真番号	モデル数	標定點				標定點残差				地上画素寸法		cm					
				使用点数		除外点数		水平位置		標高		バンドル法	<input type="checkbox"/> セルフキャリブレーション付き 誤差モデル						
				水平位置	標高	水平位置	標高	標準偏差	最大	標準偏差	最大		<input type="checkbox"/> 最適軌跡解析付き						
				交会残差				標準偏差		最大									
	(m)	～						(m)	(m)	(m)	(m)	標準偏差 (mm)		最大 (mm)					
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
		～																	
制限値 (地図情報レベル:)																			
使用機械				作業者				社内検査期間 人日数				再測率				備考			

用紙の大きさはA4判とする。

- 注 1. セルフキャリブレーションおよび最適軌跡解析を使用した場合は□にチェックを入れ、誤差モデルを記入する
 2. パスポイント及びタイポイントの交会残差の単位は、mm 単位で記入する。
 3. 計算から除外した点がある場合は、備考欄にその理由を明記する。

三次元形状復元精度管理表(三次元点群作成)

作業名又は地区名		調整方法		作業期間		作業機関名		主任技術者	印
				自 平成 年 月 日	至 平成 年 月 日			社内検査者	印
SfMソフト名	計画OL率	計画SL率	作業量	コース数		写真枚数	地上画素寸法	対地高度	

標定点の交会残差			
	X	Y	交会残差
最大値			
標準偏差			

※単位は、ソフトによる

検証点の交会残差			
	X	Y	交会残差
最大値			
標準偏差			

※単位は、ソフトによる

備考
<p>(作業範囲において歪みが大きいところ、色調が悪いところなどを書く)</p>

標定点の残差						検証点の較差				
点名	区分	dx	dy	dxy	dh	点名	dx	dy	dxy	dh
平均値						平均値				
最大値						最大値				
標準偏差						標準偏差				

注1：区分には、外部標定点は外、内部標定点は内を表示する。

注2：用紙の大きさはA4判とする。