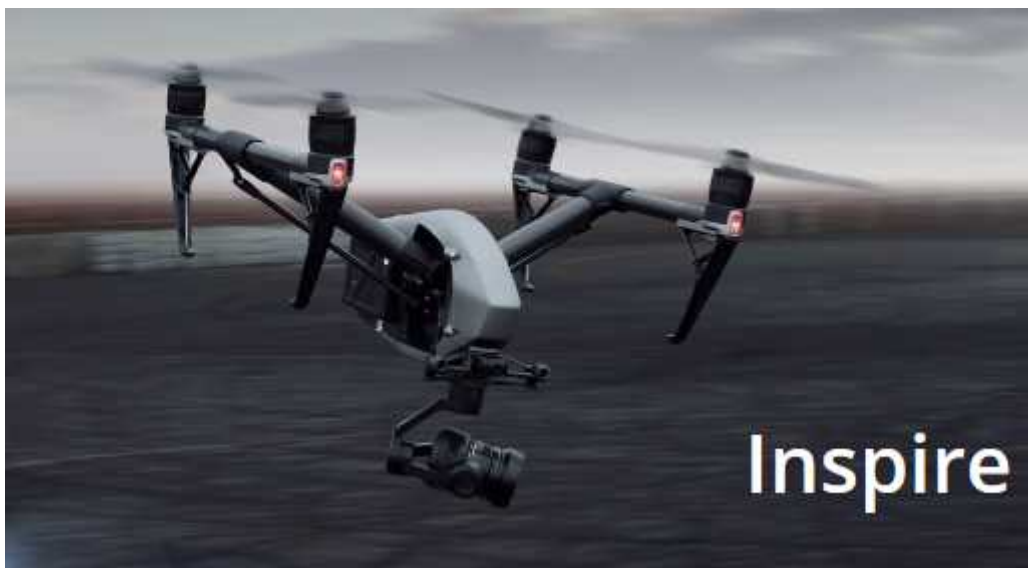


写真測量



出典：https://store.dji.com/jp/shop/inspire-series?from=menu_products

近畿測量専門学校
山田一弘

〒546-0023

大阪市東住吉区矢田1-5-9

TEL 06-6607-5650

E-mail : info @ kinsoku.ac.jp

E-mail : yamada @ kinsoku.ac.jp

http : //www.kinsoku.ac.jp/

1. 概要

空中写真測量とは、空中写真測量を用いて数値地形図データを作成する作業いう。空中写真測量により作成する数値地形図データの地図情報レベルは、500,1000,2500,5000,および10000を標準とする。対象物を撮影してその写真から対象物の幾何学的大体および質的情報を得るための技術をいう。

幾何学的情報：対象物の形や大きさなどに関するもの
質的情報：道路・河川・家・畑・などの地形・地質などのいたるまで写真画像に含まれるいろいろな情報をいう。
写真判読：資質情報を読み取る技術をいう

1-1 写真の性質

写真はレンズを通してフィルム上に写された画像である。レンズの中心を通してフィルム面に結像する。このように1点を通して写すことを中心投影といい、その1点を投影中心という。

これに対して地図は地表面の点を鉛直真下に落として描いたものである。このようなものを正射投影という。

1-2 写真による測定

地表面の地物の位置は平面座標と高さを与えることによって定められる。写真はこのような3次元的な地物を1枚の平らな写真の中に記録する。したがって、1枚の写真だけでは対象物の立体像を求めることはできない。

2枚の写真に写った同一対象物の画像を測定して立体像を求める。このような2枚の写真を実体写真（立体写真）という。

実体写真を用いて測定を行ったり地図を描いたりする装置を図化機という。

1-3 写真の種類

空中写真：航空機・気球・人工衛星等から撮影された写真を総称している。

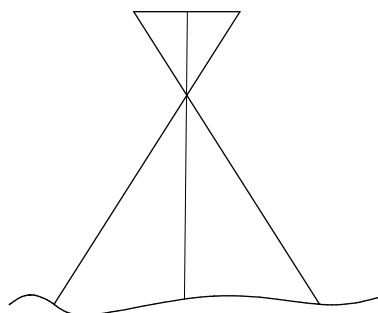
地上写真：地上において撮影した写真をいう。

鉛直写真：空中写真においてカメラの光軸を鉛直方向に向けて撮影したものをいう。

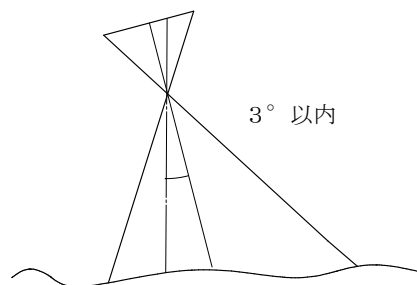
垂直写真：空中写真においてカメラの光軸を鉛直から 3° 以内の傾きで撮影したものをいう。

斜め写真：斜めに向けて撮影したものをいう。

水平写真：カメラの光軸を水平に向けて撮影した写真をいう。



鉛直写真



垂直写真

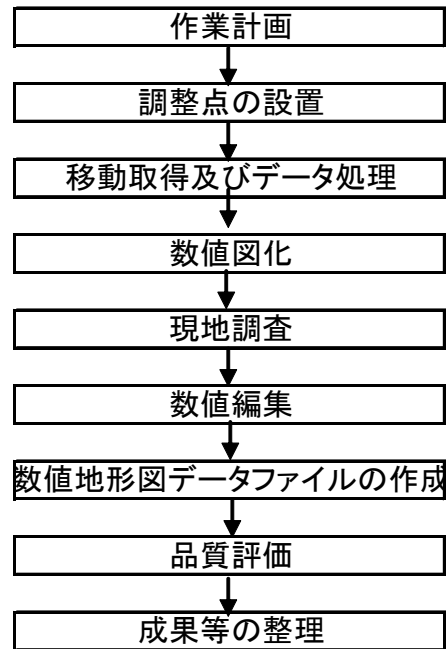
2. 車載写真レーザ測量

1. 車両に自車位置市制データ取得装置及び数値図化用データ取得装置を搭載した計測・解析システムを用いて道路及びその周辺の地形、地物等を測定し、取得したデータから数値図化機及び図形編集装置により数値地形図データを作成する作業をいう。
2. 道路の周辺に適用する場合は、車載写真レーザ測量システムの性能を踏まえ、所定の精度が得られる範囲とする。
3. 数値地形図データの数値地形情報レベルは、500 及び 1000 を標準とする。

2-1 車載写真レーザによる 数値地形図データ作業工程

作業工程

1. 作業計画
2. 調整点の設置
3. 移動取得及びデータ処理
4. 数値図化
5. 現地補測
6. 数値編集
7. 数値地形図データファイルの作成
8. 品質評価
9. 成果等の整理



2-2 調整点の設置

既設点のほかに解析結果の点検や潮位正処理に必要な水平位置及びひよこの基準と成る点を設置する作業である。

2-2-1 調整点

1. 走行区間はの路線長や景況に応じて 2 点以上を次の各号の順で設置することを原則とする。
 - a. GNSS 衛星からの電波の受信が困難な箇所
 - b. カーブや右左折等の進路変動箇所
 - c. 取得区間の始終点
2. 数値図化用データ上で明瞭に確認できる地物とする。ただし、それらが存在しない場合には標識、反射テープ等を使用して設置するものとする。

2-2-2 調整点の精度

1. 調整点の精度は、数値地形図データの地図情報レベルに応じて下記の表を標準とする。

地図情報レベル	精度	水平位置 (標準偏差)	標高 (標準偏差)
	500		0.1m以内
1000		0.1m以内	0.1m以内

2. 各取得区間における調整点間の距離の許容範囲は下記の表を標準とする。

調整点間の距離	許容範囲
500m以上	点間距離の1/10000
500m未満	50mm

調整点の設置は、基準点測量に準じた観測、または、細部測量野 TS 点の設置に準じて行うものとする。ただし、調整点の精度を確保し得る範囲内において、既知点間の距離、調整点間の距離路線長等はこの限りでない。

2-3 移動取得及びレーザー処理

2-3-1 移動取得

車載写真レーザー測量システムを用いて、自車位置姿勢データ及び数値図化用データを生成するためのデータを取得する作業をいう。

2-3-2 車載写真レーザーシステム

自車位置姿勢データ取得装置、数値図化用データ取得装置及び解析ソフトウェアで構成するものとする。

2-3-3 自車位置姿勢データ取得装置

GNSS 測量機，IMU（慣性計測装置），走行距離計（オゾメータ,DMI,走行距離積算計ともいう。）

2-3-4 数値図化用データ取得装置

1. 計測用カメラ
数値図化範囲における正射影の地上画素寸法は、5cm 以内であること。
2. レーザ測距装置
数値図化範囲内における正射影の最小点群密度は次のとおりである。
 1. レーザ点群のみによる数値図化に用いる場合は、400 点/m²以上
 2. 複合表示による立体的構造を持つ地物の数値図化及び距離を得るために用いる場合は、50 点/m²以上であること。
 3. 複合表示による平面的構造を持つ地物の数値図化に用いる場合は、25 点/m²以上であること。

2-3-5 解析ソフト

1. 自車位置姿勢データに基づいて、数値図化用データが作成できること。
2. 調整点から自車位置姿勢の軌跡座標を算出し、調整処理できること。

2-3-6 キャリブレーション

キャリブレーションは、各取得データが実際の数値図化対象地物の三次元座標と一致するように調整することである。

1. 車載写真レーザー測量システムは、キャリブレーションを実施したものを使用する。
2. 固定式システムとは、車載写真レーザー測量システムを構成する機器の空間的配置を、作業者が変更できないものをいう
3. キャリブレーションの有効期間は次のとおりである。
 1. 固定式システムについては、1 年を標準とする。
 2. 着脱式システムについては、6 ヶ月を標準とする。

2-3-7 移動取得計画

移動取得を行うに当たっては、走行区間及び取得区間を決定し、移動取得計画を作成するものとする。

走行区間

自車位置姿勢データ取得装置の初期化から修了処理までの区間とし、取得区間への進入及び退出においては、GNSS衛星からの電波の安定した受診と車両の安定した走行が出来るものとする。

取得区間

数値図化用データ取得装置によりデータを取得する区間とし、次の各号に留意して決定するものとする。

- 1.GNSS衛星からの電波の安定した受診が可能な取得区間が連続する場合には、一つの取得区間とすることができる。
- 2.GNSS衛星からの電波の安定した受診が長時間にわたって期待できない箇所では、自車位置姿勢データ取得装置のセリフキャリブレーションが行える待避場所を確保するものとする。
- 2.車両の走行が可能で、かつ数値図化が適切に行える幅員でなければならない。

2-3-8 移動取得計画の注意事項

- 1.取得区間の幅員を調査するとともに、立体交差部、側道部、取り付け道路部、道路工事、積雪等、移動取得の障害となるもののうむについて確認する。
- 2.GNSS衛星の配置を事前に確認し、てきせつな移動取得ができるようにする。
- 3.車両の走行速度は、数値図化用データ取得装置が所定の地上画素寸法又はレーザ点群密度を得ることができ、かつ欠測の生じない速度とする。
- 4.同一区間での取得を複数回行う必要がある場合には、それらの数値図化用データの合成が適切に行えるようにする。

2-4 数値図化

車載写真レーザ測量用数値図化機を用いて、地図情報を数値形式で取得し、数値図化データを記録する作業をいう。

2-4-1 車載写真レーザ測量用数値図化機

1. 次の各号のいずれかの方法により数値図化が行える機能を有するものとする。
 - 1.コンピュータ内に三次元空間を設け、スクリーンモニター上の複数の画面に異なる投影でレーザ点群と外部標定要素付き写真を重畳した色付き点群を使用し、地図情報を数値化する複合表示による。
 - 2.正射変換した写真や正射表示したレーザ点群又はレーザ反射強度点群を用いて地図情報を数値化する正射表示による。
 - 3.立体的構造物の形状が顕著になるようにレーザ点群を三次元表示し、地図情報を数値化する。
2. 車載写真レーザ測量用数値図化機は、数値図化用データの使用可能範囲を表示する機能を表示する。

2-4-2 数値図化用データの使用範囲

1. 写真の地上画素寸法は次のとおりである。

地図情報レベル	地上画素寸法
500	5cm以内
1000	10cm以内

2. レーザ点群を数値図化の基準とする場合、レーザの点群密度は次のとおりとする。

地図情報レベル	点群密度
500	400点/㎡以上
1000	100点/㎡以上

3. 複合表示による方法で立体的構造を持つ地物の数値図化及び距離を得るためのレーザ点群密度は次のとおりである。

地図情報レベル	点群密度
500	50点/㎡以上
1000	13点/㎡以上

4. 複合表示による方法で平面的構造を持つ地物の数値図化に用いるレーザ点群密度は次のとおりである。

地図情報レベル	点群密度
500	25点/㎡以上
1000	13点/㎡以上

2-4-3 標高点の選定

1. 標高点の選定は、レーザ測距装置により取得したデータより行う。
2. 標高点の計測位置は、地形判読の便を考慮し、交差点等の形状が明瞭な箇所お選定するものとする。
3. 標高点の計測間隔は、地図情報レベルに 4 cm を乗じた距離を標準とする。

2-4-4 数値図化データの点検

1. 数値図化データの点検は、数値図化データをスクリーンモニターに表示させて、参照用写真等を用いて行うものとする。
2. 数値図化データの点検は、次の項目について行う。
 - 1.取得の漏れ及び過剰並びに平面位置及び標高の誤りの有無
 - 2.接合の良否
 - 3.標高点の位置、密度及び測定値の良否
 - 4.地形表現データの整合

2-5 現地補測

数値図化データの出力図を用いて数値地形図データを作成するためにひつような各種表現事項及び名称等について、地図情報レベルを考慮して現地において確認及び補足し、数値編集に必要な現地補足データを作成する作業をいう。

2-5-1 現地補測の方法

1. 現地補測において確認及び補償すべき事項は、次のとおりとする。
 1. 数値図化用データから数値図化できなかった箇所
 2. 編集作業において生じた疑問事項及び重要な表現事項
 3. 編集困難な事項
 4. 境界及び注記
 5. 各種表現対象物の表現誤り及び脱落
2. 現地補測は、判読又は数値図化が困難な地物等及び移動取得後に変化が生じた地域について、基準点等又は数値図化データ上で現地との対応が確実な点に基づき、細部測量により行うものとする。

2-6 数値編集

現地補測等の結果に基づき、図形編集装置を用いて数値図化データを編集し、編集済データを作成する作業をいう。

1. 数値編集装置に入力したデータについて、追加、削除、修正等の処理を行い、編集済データを作成するものとする。
2. 等高線データは、スクリーンモニター又は地図情報レベルの相当縮尺の出力図を用いて点検を行い、矛盾箇所等の修正を行うものとする。
3. 数値編集は数値図化に用いた数値図化手法を考慮して行うものとする。
4. 各地物の形状の特徴を表現するように編集を行うものとする。

2-7 数値地形図データファイルの作成

製品仕様書に従って編集済データから数値地形図データファイルを作成し、電磁記録媒体に記録する作業をいう。

2-8 品質評価

測量計画機関がお作成した品質評価手順に基づいて品質評価を行い、総括表及び個別表を作成する。同時に精度管理表を完成させる。

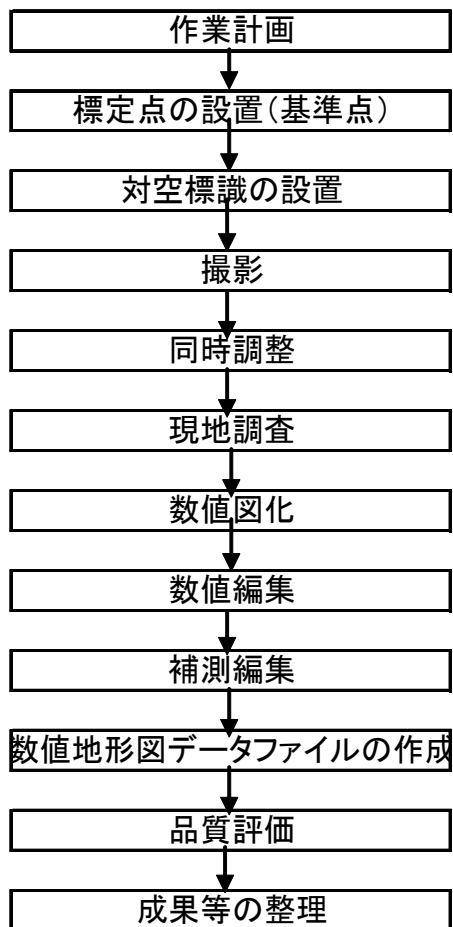
2-9 成果等

1. 次の各号のとおり
 1. 数値地形図データファイル
 2. 三次元点群データ
 3. 精度管理表
 4. 品質評価表
 5. メタデータ
 6. その他の資料
2. 外部標定要素付き写真を測量成果とする場合には、個人情報の保護及びプライバシーに配慮するものとする。

3 空中写真測量の数値地形図データ及び写真地図作成

1 空中写真測量の数値地形図データ

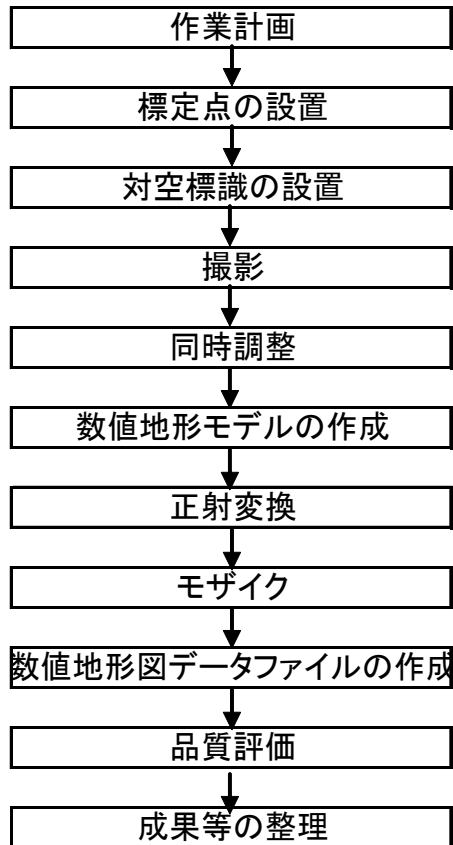
空中写真を用いて数値地形図データを作成する作業



1. 作業計画
2. 標定点の設置
3. 対空標識の設置
4. 撮影
5. 同時調整
6. 現地調査
7. 数値図化
8. 数値編集
9. 補測編集
10. 数値地形図データファイルの作成
11. 品質評価
12. 成果表等の整理

2 写真地図作成

数値写真を正射変換した正射投影画像を作成した後必要に応じてモザイク画像作成し、写真地図データファイルを作成する作業



1. 作業計画
2. 標定点の設置
3. 対空標識の設置
4. 撮影
5. 同時調整
6. 数値地形モデルの作成
7. 正射変換
8. モザイク
9. 写真地図データファイルの作成
10. 品質評価
11. 成果等の整理

3-1 標定点の設置

既知点のほかに同時調整に必要な水平位置及び標高の基準となる点を設置する作業。

標定点の精度

精度 地図情報レベル	水平位置 (標準偏差)	標高 (標準偏差)
500	0.1m以内	0.1m以内
1000	0.1m以内	0.1m以内
2500	0.2m以内	0.2m以内
5000	0.2m以内	0.2m以内
10000	0.5m以内	0.3m以内

3-2 対空標識の設置

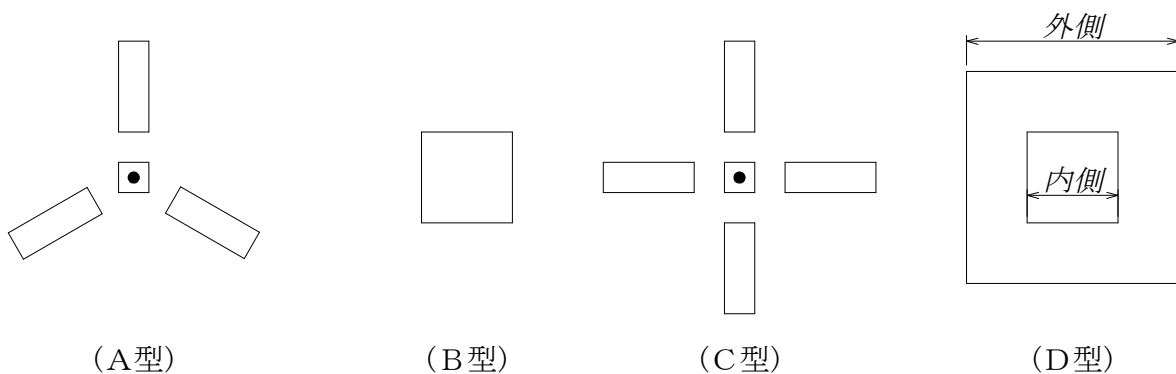
同時調整及び数値図化において基準点、水準点、標定点等の写真座標を測定するため、基準点等に一時標識を設置する作業をいう。

対空標識の種類と規格は下図または下表の通りである。

対空標識の寸法

地図情報レベル	A型・C型	B型・E型	D型	厚さ
500	20cm × 10cm	20cm × 20cm	内側 30cm・外側 70cm	4mm ~ 5mm
1000	30cm × 10cm	30cm × 30cm	内側 30cm・外側 70cm	
2500	45cm × 15cm	45cm × 45cm	内側 50cm・外側 100cm	
5000	90cm × 30cm	90cm × 90cm	内側 100cm・外側 200cm	
10000	90cm × 30cm	90cm × 90cm	内側 100cm・外側 200cm	

対空標識の形状



3-3 撮影

測量用空中写真を撮影する作業で、後続作業に必要な外部標定要素の同時取得及び解析、写真処理及び数値写真の作成工程を含むものとする。

1. 機材

フィルム航空カメラ

1. 広角航空カメラであること。
2. 撮影に使用するフィルターと組み合わせた画面距離及び歪曲収差の検定値が、0.01mm 単位まで明確なものであること。
3. カラー空中写真は色収差が補正されたものであること。

2. 撮影フィルム

1. 写真処理による伸縮率の異方性が 0.01 % 以下であること。
2. 伸縮率の異方性及び不規則伸縮率は、相対湿度 1 % について 0.0025 % 以下であること。
3. フィルムの感食性は、特に指定された場合を除き、パン・クロマチックであること。

3. デジタル航空カメラ

1. 撮像素子を装備し取得したデジタル画像を数値写真として出力できること。
2. フレーム型とし所用の面積と所定の地上画素寸法を確保できること。
3. 撮影に使用するフィルターと組み合わせた画面距離及び歪曲収差の検定値が、0.01mm 単位まで明瞭なものであること。
4. カラー数値写真は、色収差が補正されたものであること。
5. ジャイロ架台を装備していること。

4. 撮像素子

1. 破損素子が少ないこと
2. ラジオメトリック解像度は、赤、緑、青等の各色 12 ビット以上であること。
3. ノイズが少ない高画質の画像が出力できること。

5. 航空機

1. 撮影に必要な装備をし、所定の高度で安定飛行を行えること。
2. 撮影時の飛行姿勢、航空カメラの水平規正及び偏流修正角のいずれにも妨げられることなく常に釈迦が完全に確保されていること。
3. GNSS/IMU 装置の GNSS アンテナが機体頂部に、IMU が航空カメラ本体に取り付け可能であること。

6. GNSS/IMU装置

GNSS/IMU 装置は次表の同等以上の性能を有すること。

項目		性能
GNSS 測量機	水平位置	0.3m
	高さ	高さ
	データ取得間隔	1秒
IMU	ローリング角	0.015度
	ピッチング角	0.015度
	ヘディング角	0.035度
	データ取得間隔	0.016秒

1. GNSS アンテナは、航空機の頂部に確実に固定できること。
2. GNSS 測量機は、2 周波で搬送波位相データを 1 秒以下の間隔で取得できること。
3. IMU は、センサ部の 3 軸の傾き及び加速度を計測できること。

4. IMU は、航空カメラ本体に取り付けできること。
5. キネマティック解析ソフトウェアは次のものを有すること。
 - d. キネマティック解析にて基礎ベクトルの解析ができること。
 - b. 解析結果の評価項目を表示できること。
6. 最適軌跡解析ソフトウェアは、次のものを有すること。
 - a. 空中写真の露出された位置及び傾きが算出できること。
 - b. 解析結果の評価項目を表示できること。

GNSS アンテナ及びIMU は、航空カメラとともにボアサイトキャリブレーションを行うものとする。なお、ボアサイトキャリブレーションの有効期限は 6 ヶ月を標準とすし、レンズの取り外し等を行った場合は、その都度ボアサイトキャリブレーションを行うものとする。

7. 撮影縮尺及び地上画素寸法

撮影縮尺及び数値写真の地上画素寸法は、地図情報レベル等に応じて定めるものとする。

フィルム航空カメラで撮影する空中写真の撮影縮尺及び地図情報レベルとの関連は、次表を標準とする。

地図情報レベル	撮影縮尺
500	1/3000~1/4000
1000	1/6000~1/8000
2500	1/10000~1/12500
5000	1/20000~1/25000
10000	1/30000

※ 計画期間が指示し、又は承認した場合は、撮影縮尺を標準の 80 % を限度として小さくすることができる。

デジタル航空カメラで撮影する数値写真の地上画素寸法及び地図情報レベルとの関連は、次表を標準とする。

地図情報レベル	地上画素寸法 (B: 基線長、H: 撮影高度)
500	90mm × 2 × B[m] ÷ H[m] ~ 120mm × 2 × B[m] ÷ H[m]
1000	180mm × 2 × B[m] ÷ H[m] ~ 240mm × 2 × B[m] ÷ H[m]
2500	300mm × 2 × B[m] ÷ H[m] ~ 375mm × 2 × B[m] ÷ H[m]
5000	600mm × 2 × B[m] ÷ H[m] ~ 700mm × 2 × B[m] ÷ H[m]
10000	900mm × 2 × B[m] ÷ H[m]

※ 平坦地の撮影は、計画機関が指示し、又は承認した場合は、地上画素寸法を標準の 160 % を限度として大きくすることができる。

写真縮尺：地上の図形が相似形に縮小されてフィルムに写される。この縮小率をいう。

$$\frac{1}{m_b} = \frac{l}{L} = \frac{f}{H}$$

$$\frac{1}{m_b} : \text{写真縮尺}$$

l : 物体の写真像の長さ

L : 地上の物体の長さ

H : 地面からカメラの高さ

f : カメラの焦点距離

$$\frac{1}{m_b} = \frac{a}{A} = \frac{f}{H}$$

A : 地上画素寸法

a : 撮像面での素子寸法

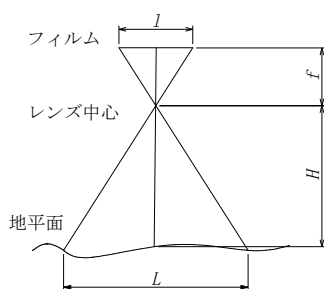
高 度：対地高度と撮影高度
 対地高度：地面から撮影地点（カメラ）までの高さ
 飛行高度：海面から撮影地点（カメラ）までの高さ「海拔撮影高度」「絶対撮影高度」

基準面における写真縮尺

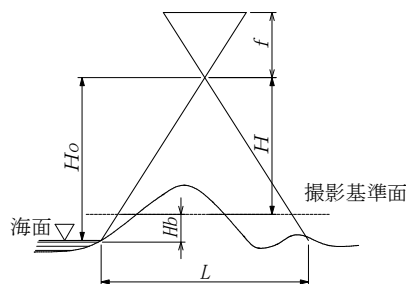
地面は平坦でない場合被写体によって縮尺が異なるので、仮想面を定めその面に対する縮尺を決める。その仮想面を撮影基準面または基準面という。

$$\frac{1}{m_b} = \frac{f}{H} = \frac{f}{H_o - H_b}$$

f : カメラの焦点距離
 H_o : 飛行高度（海拔撮影高度）
 H : 基準面からの撮影高度
 H_b : 海面から基準面の高さ



写真縮尺



撮影基準面

8. 撮影計画

撮影区域ごとに次の各号の条件を考慮して作成するものとする。

1. 地形図等の状況により、実体空白部を生じないようにする。
2. GNSS 衛星の数及び配置は、作業に必要な精度が得られるようにする。
3. 同一コースは、直線かつ等高線の撮影となるように計画する。
4. 同一コースは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。
5. 撮影区域を完全にカバーするため、撮影コースの始めと終わりの撮影区域外をそれぞれ最低 1 モデル以上設定する。
6. 撮影基準面は、原則として、撮影区域外に対して 1 つを定めるが、高低差の大きい区域にあっては、航空機運航の安全を考慮し、数コース単位に設定することができる。
7. フィルム航空カメラを用いる場合の対地高度は、撮影縮尺及びフィルム航空カメラの画面距離から求める。撮影高度は、対地高度に撮影区域内の撮影基準面高を加えたものとする。
8. デジタル航空カメラを用いる場合の対地高度は、地上画素寸法、素子寸法及び画面距離から求める。撮影高度は、対地高度に撮影区域内の撮影基準面高を加えたものとする。
9. キネマティック解析における整数値バイアスの決定方法は、固定局と撮影区域の基線距離を考慮し、地上初期化方式と空中初期化方式から選択するものとする。
10. IMU 初期化飛行は、撮影の開始コース、終了コース及び撮影基準面が異なるコースを考慮し行うものとする。
11. 撮影コース長は、IMU の累積誤差を考慮しておおむね 15 分以内で撮影できる距離とする。
12. 固定局には、電子基準点を用いることを原則とする。
13. 新たに固定局を設置する場合は、1 級基準点測量及び 3 級水準測量に準ずる測量によって水平位置及び標高を求めるものとする。
14. 固定局の設置位置は、次に注意して決定するものとする。
 1. 上空視界の確保及びデータ取得の有無
 2. GNSS アンテナの固定の確保

9. 撮影時期

原則として、撮影に適した時期で、気象状態及び GNSS 衛星の配置が良好な時に行う。GNSS 衛星の数は GPS 衛星のみ 5 衛星以上、GLONASS 衛星を用いる場合は 6 衛星以上ただし、GPS 衛星・GLONASS 衛星各々 2 衛星以上用いること。

10. 撮影飛行

1. 撮影飛行は水平飛行とし、計画撮影高度及び計画撮影コースを保持するものとする。
2. 撮影前後に整数値バイアス決定及び IMU ドリフト初期化のため飛行を行うものとする。
3. 計画撮影高度に対するずれは、計画対地高度の 5 %以内とする。ただし、フィルム航空カメラによる撮影で撮影縮尺が 4000 分の 1 以上の場合、又はデジタル航空カメラによる撮影で地図情報レベル 500 以下の場合は、計画対地高度の 10 %以内とすることができる。
4. 航空カメラの傾きは鉛直方向とし、大幅な傾きが起きないように撮影するものとする。
5. 等速直線飛行は 15 分以内とし、これを超える場合は適宜 IMU 初期化飛行を実施するものとする。
6. 地上で初期化を行う場合は、航空機マルチパスとなる反射源から離して駐機するものとする。

11. 航空カメラの使用

1. 同一区域内の撮影は、原則として、同一航空カメラで行う。
2. やむを得ず他の航空カメラを使用する場合は、同一コースは同一航空カメラを使用する。
3. 空中写真に写し込む記録板には、撮影地区名、計画撮影高度及び撮影年月日を明瞭に記載しなければならない。

12. 空中写真の重複度

1. 撮影計画に基づいた適切な重複度となるように努めなければならない。
2. 隣接空中写真間の重複度は、最小で 53 %とする。
3. コース間の空中写真の最小重複度は、10 %とする。
4. 同一コースをやむを得ず 2 分割及び 3 分割する場合は、分割部分を 2 モデル以上重複させなければならない。

13. GNSS/IMUデータの処理

データ取得

1. 固定局の GNSS 観測データ、航空機搭載の GNSS 観測データ及び IMU 観測データを取得するものとする。
2. 固定局の GNSS 観測データ取得間隔は、30 秒以下とする。
3. 航空機搭載 GNSS 測量機の GNSS 観測データ取得間隔は、1 秒以下とする。
4. 航空機搭載 GNSS/IMU は、撮影の前後に連続して 5 分以上の観測を実施するものとする。

14. 解析処理

1. 撮影が終了した時は、速やかに GNSS/IMU データの解析処理を行う。
2. 解析処理は、固定局及び航空機搭載の GNSS 測量機の観測データを用いて、キネマティック解析を行う。
3. 解析は、キネマティック解析

15. 解析結果の点検

1. GNSS/IMU の解析処理が終了したときには、速やかに点検を行い、精度管理表等を作成し、再撮影が必要が否かを判定するものとする。
2. 点検は、次の各号について行うものとする。

- a. 固定局及び航空機搭載の GNSS 測量機の作動及びデータ収録状況の良否
- b. サイクルスリップ状況の有無
- c. GNSS/IMU 撮影範囲の確保

16. オーバーラップとサイドラップ

オーバーラップ：撮影方向における隣接写真の重複度合いをいう。

$$OL = \frac{(S-B)}{S} \times 100\%$$

OL：オーバーラップ (%)

S：1枚の写真に写る地面の範囲

B：撮影間隔（基線長または撮影基線長）

$$B = S \left(1 - \frac{OL}{100} \right)$$

s：画面の大きさ

b：主点基線長

$$OL = \frac{(s-b)}{s} \times 100\%$$

写真縮尺 $\frac{1}{m_b}$ とすると $s = \frac{S}{m_b}$ である。

$$b = s \left(1 - \frac{OL}{100} \right)$$

$b = \frac{B}{m_b}$ 主点基線長である。

サイドラップ：広い地域を撮影するときは、飛行機が飛ぶコースだけでは全域を撮影できないので、撮影した隣を撮影しなければならない、そこでコースとコースの重複が必要になる。この重複度合いをいう。

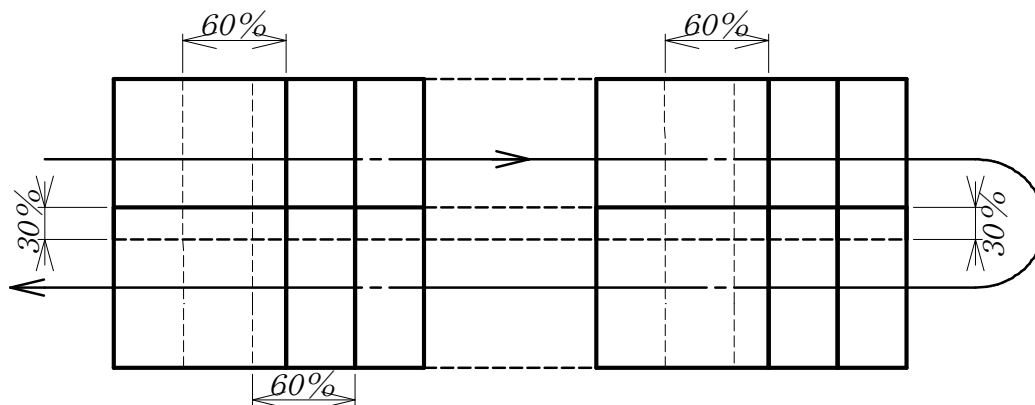
$$SL = \frac{(S-C)}{S} \times 100\%$$

SL：サイドラップ

S：1枚の写真に写る地面の範囲

C：コースとコースの間隔

$$C = S \left(1 - \frac{SL}{100} \right)$$



3-4 刺針

同時調整及び数値図化において基準点等の写真座標を測定するため、基準点等の位置を現地において空中写真上に表示する作業をいう。

3-5 同時調整

デジタルステレオ図化機を用いて、空中三角測量により、パスポイント、タイポイント、標定点の写真座標を測定し標定点成果及び撮影時に得られた、外部標定要素を統合して調整計算を行い、各写真の外部標定要素の成果値、パスポイント、タイポイント等の水平位置及び標高を決定する作業

1. パスポイントとタイポイント

パスポイント：主点付近及び主点基線に直角な両方向の3箇所以上に配置することを標準とする。

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。

タイポイント：隣接コースと重複している部分で空中写真上で明瞭に認められる位置に、直線にならないようにジグザグに配置することを標準とする。

配置する点数は1モデルに1点を標準とする。

パスポイントで兼ねて配置することができる。

2. ブロック調整法

多項式法、独立モデル法、バンドル法がある。

多項式法：タイポイントによってコースとコースを接続させる。各コースごとにコース座標を求める。そして対地標定ならびに調整計算については、全コース座標を同時に用いて最小2乗法によりブロック内の全コースの最適解を求める。

独立モデル法：相互標定までは単コース調整と同様な操作を行い、各モデルごとにモデル座標を求める。そして投影中心の一致条件、パスポイント・タイポイントの一致条件および基準点の測地座標への一致条件を用いて、ブロック全体の全モデルで同時に最小2乗法により、ブロック全体の最適解を求める。

バンドル法：投影中心、写真像点、地上点が同一直線上にあるという共線条件式を観測方程式とし、ブロック全体の全光束（バンドル）の最適解を最小2乗法で求める。与件は基準点の座標、写真座標である。

3-5-1 座標系

コンパレータ座標系：座標計測装置に固有の2次元座標系

指標座標系：写真指標の中心原点とする2次元座標系

写真座標系：主点を原点とする2次元座標系で表す。

3-5-2 内部評定

コンパレータ座標→指標座標→写真座標への変換をいう。

画面距離と歪曲収差・指標間距離・主点の位置をいう。

アナログ図化機時代はダイヤポジの伸縮に応じて、図化機のプロジェクタの画面距離を調整し、主点のプロジェクター光軸上にあわせる操作のことをいう。

3-5-3 相互標定

二つの投射器より出る対応光線をそれぞれ交会させて縦視差（ y 視差）をなくすことである。写真モデルの相互標定点（パスポイント）を求め、投射器により投影板上に投影する。各標定点の消去するため $\kappa, \phi, \omega, b_x, b_y, b_z$ をそれぞれ微少量動かして縦視差を消去する。

3-5-4 絶対標定（対地標定）

相互標定によって被写体（現地）と相似な縮小モデルが作成される。しかし、モデルは水準面に対して傾いているので、 X 軸、 Y 軸のまわりの回転 Ω, Φ を用いて所定の基準点の高さに合わせなければならない。原理的に標高点が3点あれば、水準面の定位は可能である。

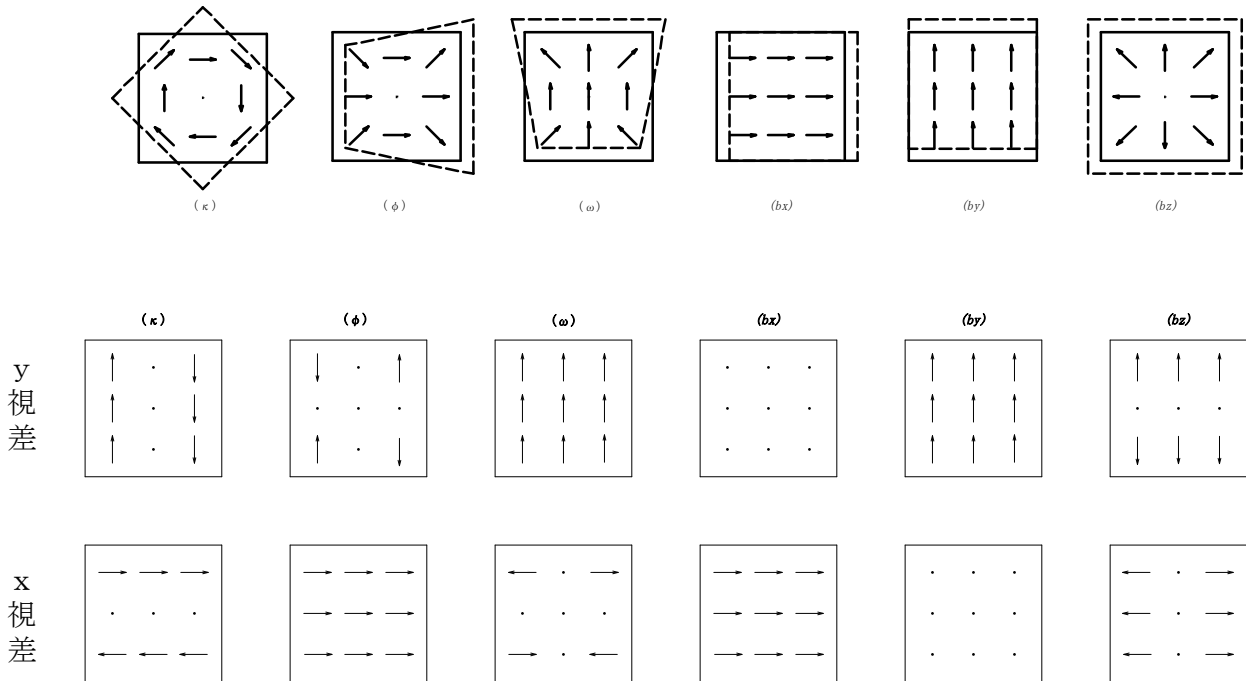
回転 κ と縮尺 S をきめることは、平面位置基準点が2点あればよい。よって三角点3点あれば絶対標定が可能である。

3-5-5 視差

視差には、横視差（水平視差）と縦視差（垂直視差）がある。

X 軸（飛行時の進行方向）：基線方向
 Y 軸：X 軸を 90° 右に回転させた方向
 Z 軸：上方向

投影カメラの動きと視差は下図の通りである。



3-6 現地調査

数値地形図データを作成するために必要な各種表現事項、名称等について地図情報レベルを考慮して現地において調査確認し、その結果を空中写真及び参考資料に記入して、数値図化及び数値編集に必要な資料を作成する作業をいう。情報現地

3-7 数値図化

空中写真及び同時調整等で得られた成果を使用し、デジタルステレオ図化機によりステレオモデルを構築し、地形、地物等の座標値を取得し、数値図化データを記録する作業をいう。

3-7-2 数値地形モデルの作成（写真地図）

自動標高抽出技術等により標高を取得し、数値地形モデルファイルを作成する作業をいう。

3-8 数値編集

現地調査等の結果に基づき、図形編集装置を用いて、数値図化データを編集し、編集済みデータを作成する作業をいう。

3-9 補測編集

数値編集で作成された編集済みデータ及び出力図に表現されている重要な事項の確認を行い、必要部分を現地において補測する測量を行い、これらの結果に基づき編集済みデータを編集することにより、補測編集済みデータを作成する作業をいう。

3-9-2 正射変換（写真地図）

数値写真を中心投影から正射変換し、正射投影像を作成する作業をいう。

3-9-3 モザイク（写真地図）

隣接する正射投影画像をモザイク処理により結合させ、モザイク画像を作成する作業をいう。

3-10 写真地図データファイルの作成

製品仕様書に従ってモザイク画像から写真地図データファイルを図葉単位に切り出し、写真地図データファイルの位置情報として位置情報ファイルを作成し、電磁的記録媒体に記録する作業をいう。

4 既成図の数値化

既に作成された地形図等の数値化を行い、数値地形図データを作成する作業をいう。ベクターデータとは、座標値をもった点列によって表現される。図形データをいう。ラスターデータとは、行と列に並べられた画素の配列によって構成される画像データをいう。

作業工程

1. 作業計画
2. 計測用基図作成
3. 計測
4. 数値編集
5. 数値地形図データファイルの作成
6. 品質評価
7. 成果等の整理

4-1 計測用基図作成

既成図の原図に基づき計測に使用する基図を作成する作業をいう。

4-2 計測

計測機器を用いて、計測用基図の数値化を行い、数値地形図データを取得する作業をいう。

4-3 数値編集

図形編集装置を用いて計測データを編集し、編集済データを作成する作業をいう。

4-4 数値地形図データファイルの作成

製品仕様書に従って編集済データのデータから数値地形図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。

5 修正測量

既成の数値地形図データファイルを更新する作業をいう。

修正測量における数値地形図データ修正の精度は、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 標準編集	等高線の 標準偏差
500	0.35m以内	0.33m以内	0.5m以内
1000	1.00m以内	0.5m以内	0.5m以内
2500	2.50m以内	1.0m以内	1.0m以内
5000	5.00m以内	2.5m以内	2.5m以内
10000	10.00m以内	5.0m以内	5.0m以内

作業工程

1. 空中写真測量による修正

1. 作業計画
2. 撮影
3. 予察
4. 修正数値図化
5. 現地調査
6. 修正数値編集
7. 数値地形図データファイルの更新
8. 品質評価
9. 成果等の整理

2. TS等を用いる修正

4. RTK法による修正

1. 作業計画
2. 予察
3. 修正数値図化
 - a. 基準点の設置
 - b. 修正細部測量
4. 修正数値編集
5. 数値地形図データファイルの更新
6. 品質評価
7. 成果等の整理

3. キネマティック法による修正

5. ネットワーク型RTK法による修正

6. 既成図を用いる方法による修正

1. 作業計画
2. 予察
 - a. 既成図の収集
 - b. 修正箇所抽出
3. 現地調査
4. 修正数値図化
 - a. 現地調査結果の編集
 - b. 座標計測による修正データの取得
5. 修正数値編集
6. 数値地形図データファイルの更新
7. 品質評価
8. 成果等の整理

7. 他の既成データを用いる方法による修正

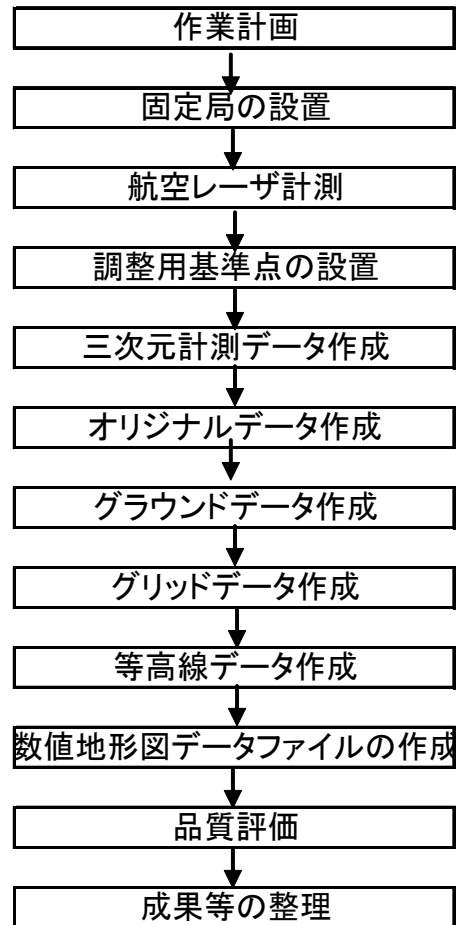
1. 作業計画
2. 予察
3. 修正数値図化
 - a. 他の既成データの収集
 - b. 他の既成データ出力図の作成
 - c. 修正箇所抽出
4. 現地調査
5. 修正数値編集
6. 数値地形図データファイルの更新
7. 品質評価
8. 成果等の整理

6 航空レーザ測量

航空レーザ測量システムを用いて地形を計測し、格子状の標高データである数値標高モデル（グリッドデータ）等の数値地形図データファイルを作成する作業。

6-1 作業工程

1. 作業計画
2. GNSS 固定局の設置
3. 航空レーザ計測
4. 調整用基準点の設置
5. 三次元計測データ作成
6. オリジナルデータ作成
7. グラウンドデータ作成
8. グリッドデータ作成
9. 等高線データ作成
10. 数値地形図データファイル作成
11. 品質評価
12. 成果等の整理



数値標高モデルの規格は、地上での格子間隔で表現するものとする。格子間隔と地図情報レベルの関係は次表を標準とする。

6-2 固定局の設置

1. 航空レーザ測量において、レーザ測距装置の位置をキネマティック法で決めるための地上固定局を設置する。
2. 固定局として、電子基準点を用いることができる。
3. 固定局の設置は、計測対象地域内の基線距離が 50Km を超えないようにに選定するものとする。
4. GNSS 観測データ取得間隔は、1 秒以下でなければならない。
5. 固定局を設置する場合は、1 級基準点測量及び 3 級水準測量により水平位置及び標高を求める。
6. 固定局を設置する場合は、固定局明細表を作成するものとする。

6-3 航空レーザ計測

航空レーザ測量システムを用いて、計測データを取得する作業をいう。
航空レーザ測量システム

1. GNSS

- a. GNSS アンテナは、航空機の頂部に確実に固定できる。
- b. GNSS 観測データを1秒以下の間隔で取得できること。
- c. 2周波で搬送波位相を観測できること。

2. IMU

- a. IMU は、センサ部のヘディング (κ)、ピッチング (ϕ)、ローリング (ω) の3軸の傾き及び加速度が計測可能で解析で得られる標準偏差が次に示す性能と同等以上を有すること。

センサ部	性能
ローリング	0.015度
ピッチング	0.015度
ヘディング	0.035度
取得間隔	0.005秒

- b. IMU は、レーザ測距装置に直接マウントできること。

3. レーザ測距装置

- a. ファーストパルス及びラストパルスの2パルス以上計測できること。
- b. スキャン機能を有すること
- c. 眼等の人体への悪影響を防止する機能を有すること。
- d. 安全基準が明確に示されていること。

6-4 調整用基準点の設置

1. 三次元計測データの点検及び調整を行うための基準点を設置する作業をいう。
2. 調整用基準点は、三次元計測データの現地における位置が確認できる平坦な箇所で、調整用基準点の計測に支障がない場所に設置するものとする。
3. 調整用基準点の数は、次の値を標準とする。ただし、最低4点以上とし、小数部は切り上げて算出するものとする。
4. 調整用基準点の配点は、作業地域形状の四隅に選定し、作業地域全体にできるだけ均一に、かつ水準点の近傍に配置するものとする。
5. 調整用基準点の設置場所は、所定の格子間隔の2倍から3倍までの辺長があるグラウンド、空き地、道路、公園、屋上等、樹木や歩道の段差等の障害物がない場所に設置するものとする。

6-5 三次元計測データの作成

1. 航空レーザ測量データを統合解析して作成する。
2. 三次元計測データを作成する際は、断面表示、鳥瞰表示等により、隣接する建物等により複数回反射（マルチパス）して得られるノイズ等によるエラー計測部分を削除するものとする。
3. 三次元計測における地上座標値は、1cm単位とする。

6-6 オリジナルデータの作成

1. オリジナルデータは、三次元計測データから作成するものとする。
2. 調整用基準点と三次元計測データとの較差の平均値が±25cm以上の場合は、地域全体について補正を行うことを標準とする。
3. 補正処理は、地域全体の三次元データの標高値を上下の一律シフトの平行移動による補正とする。
4. 作成結果は、調整用基準点残差表により整理するものとする。

6-7 グランドデータの作成

1. グランドデータは、オリジナルデータのうち地表面の標高を示すデータを行い、オリジナルデータからフィルタリングを行い作成するものとする。
2. 作業地域の外周を 50m 以上延伸して作成するものとする。
3. フィルタリングとは、地表面以外のデータを取り除く作業をいう。
4. 大規模な地表遮蔽部分のフィルタリングにおいて、地形表現に不具合が生じる場合は、周囲のフィルタリングしていないグランドデータ等を用いて内挿補間を行うものとする。

6-8 グリッドデータの作成

1. グリッドデータは、グランドデータから内挿補間により作成するものとする。
2. グリッドデータの標高値の精度は、次表を標準とする。

項目	標高値(標準偏差)
格子間隔内にグランドデータがある場合	0.3m以内
格子間隔内にグランドデータがない場合	2.0m以内

2. グリッドデータは、国土基本図図郭単位に、南北及び東西方向にそれぞれ任意間隔で分割し、製品仕様書に定められた格子間隔で作成する。

地図情報レベル	格子間隔
1000	1m以内
2500	2m以内
5000	5m以内

4. グリッドデータへの標高値内挿補間法は、グリッドデータの使用目的及びグランドデータの密度を考慮して、最近隣法、TIN(不正三角網)、IDW,kriging、平均法等のいずれかを用いるものとする。
5. グリッドデータの各点については、必要に応じてフィルタリング状況又は水部状況を表す属性を付与するものとする。
6. グリッドデータにおける標高値の単位は、四捨五入し 0.1 m とする。

※ 最近隣法

グリッド点から最も近い距離にある点群を採用する方法である。グリッド間隔が狭く、グランドデータ密度と同等で、わりと平坦な地形の場合に有効な手法である。また、処理方法が単純であるため高速に処理可能である。

※ 平均法

内挿するグリッドからの任意の検索範囲内に入るグランドデータの平均によりグリッドの標高とする内挿法と近いが、わりと緩やかに変化する地形にも対応でき、計算処理も高速に行える。

※ TIN

グランドデータから発生させた不正三角網 (TIN : Triangulated Irregular Network) を用い、各グリッドが含まれる三角形から内挿される。地形が等傾斜の場合に有利であるが、三角形を構成するグラウンドデータの組み合わせによって結果が異なってくる。

※ kriging

グランドデータの各点から一定距離内(又は一定個数)の各点群に対し、グリッドまでの距離に応じた重みを付けて内挿する方法である。内挿するグリッドに近いグラウンドデータほど重みが大きく、内挿結果への影響が大きい。グラウンドデータの密度のバラツキが多きい場合に有効である。

※ IDW (Inverse Distance weighted)

krigingと同じく重み付けの内挿法であるが、内挿するグリッドからの距離だけでなくグラウンドデータ間の距離も考慮される。グラウンドデータが疎な場合でも空間的相関性を考慮に入れた内挿が行われ精度が確保される。

作業範囲に応じて地形の形状が異なるため、それに応じた内挿補間方法採用することが望ましい。その際、各地形間には十分な重複部分を設定して内挿補間を行う。また、それぞれの地形の境界において接合が円滑になるように編集する。

また、データ量や処理時間に起因して、処理単位を図郭等で分割する場合には、処理単位より十分に広い範囲を対象として行うことにより、処理単位で切り出ししても隣接図郭との接合に異常がないようにする。

6-9 等高線データの作成

1. 等高線データは、グラウンドデータ又はグリッドデータを用いて作成するものとする。
3. 等高線データ作成は、次の通りとする。
 - a. 等高線データは、国土基本図図郭単位で作成する。
 - b. 主曲線間隔 1m、2m、5m 間隔の等高線データを作成する際のグラウンドデータ又はグリッドデータの間隔は、次表を標準とする。なお、グラウンドデータ及びグリッドデータは、作業地域の外周 50m 以上延伸したものを使用するものとする。

地図情報 レベル	主曲線	計曲線	グラウンドデータ		
			約 1 m	約 2 m	約 5 m
1000	1 m	5 m	○	—	—
2500	2 m	10 m	○	○	—
5000	5 m	25 m	○	○	○

6-10 数値地形図データファイルの作成

1. 製品仕様書に従って数値地形図データファイルを作成し、電磁的記録母体に記録作業をいう。
2. 数値地形図データファイルは、次の各号のとおりとする。
 1. オリジナルデータ
 2. グラウンドデータ
 3. グリッドデータ
 4. 水部データ
 5. 写真地図データ
 6. 位置情報データ
 7. 等高線データ
 8. 格納データリスト

※写真地図データ

写真地図データは、三次元計測データ等を用いて航空レーザ用数値写真の正射変換を行って作成する。

※水部ポリゴンデータ

写真地図データを用いて水部の範囲を対象に作成する。レーザ光線は水面で吸収や反射して欠測などが生じる。これらの欠測データを除去し、一定の高さを内挿するために水部ポリゴンを作成する。

7. リモートセンシング

高空や宇宙等遠隔の所から地表面の形状や物理状況などを探査する技術をいう。

7-1 リモートセンシングの特徴

- ① 広域性
観測できる範囲が広い（約 180 km × 180 km）ため、一度に広域の情報を平均された精度で取得できる。
- ② 同時性
地球上の離れた地域でもほぼ同時期のデータを取得できる。ポインティング機能を使用すれば 2 日以内に同一の場所を観測できる衛星もある。
- ③ 時系列性
均一性のあるデータを時系列的に取得できるため、変化の分析、比較等に有利である。
- ④ デジタル性
データはデジタルであるため、コンピュータ処理が可能である。また数値地図データ等の他のデータと統合した処理が可能になる。
- ⑤ マルチスペクトルデータ（分光データ）
対象物の特徴を分光特性として分析、評価できる。
- ⑥ 二次元データ（画像データ）
データは二次元（画像）データとして得られるので、対象物の分布及び分布の時間的変化を捉えるのに適している。

7-2 電磁波スペクトル

1pm 10pm 10nm 380nm 770nm 1.3μm 2.5μm 8μm 15μm 0.1mm 1mm 1cm 10cm 1m 10m 100m 1km 10km 100km																	
γ線	X線	UV	V	赤外線 (IR)					マイクロ波			電波					
				NIR	SWIR	MIR	TIR	FIR	EHF	SHF	UHF	VHF	HF	MF	LF	VLF	
ガンマ線	エックス線	紫外線	可視光	近赤外	短波長赤外	中間赤外	熱赤外	遠赤外	サブミリ波	ミリメートル波	センチメートル波	極超短波	超短波	短波	中波	長波	超長波

$$\text{pm} = 10^{-12} \text{ m}, \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}, \text{ μm} = 10^{-6} \text{ m}$$

0.45 ~ 0.90 μm の波長帯は雲を透過できない。

7-3 合成開口レーザ (SAR) 方式

ランドサットや SPOT 衛星などは、太陽の反射光、あるいは地熱放射を利用するパッシブ(受動)方式で、雲などの影響により、必要な時に必ずしも地表面の映像が取得できないのが欠点であった。これに対して合成開口レーザは人工的にマイクロ波[Kバンド: 1.5cm, Xバンド: 3cm, Cバンド: 6cm, Lバンド: 24cm, Pバンド: 70cm、数字は代表値を示す。この中で良く用いられるのは、X,C,Lである。]を放射して、その反射波を利用するアクティブ(能動)方式で、昼夜、天候を問わず撮影可能という長所がある。SARは横斜め下方にマイクロ波パルスを発射し、地表から後方散乱波をとらえ、パルス圧縮技術と合成開口技術により、短いアンテナにも拘わらず高分解能画像が得られる。

1. パルス圧縮

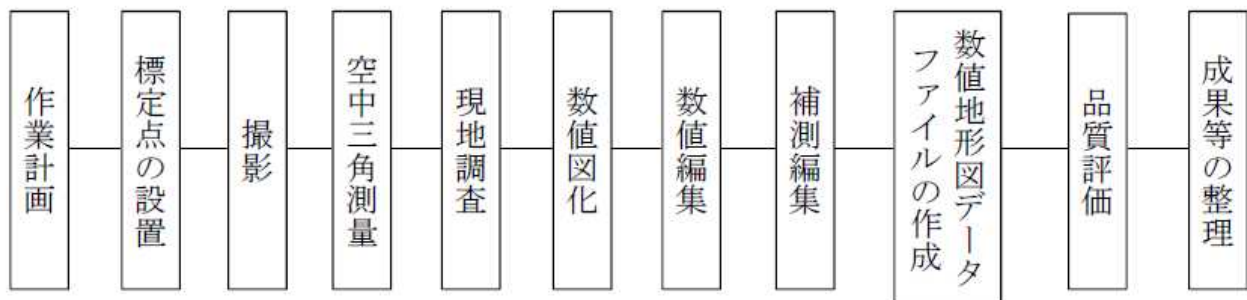
gers-1 の SAR は鉛直直下[nadir(天底)]から 35° 斜め横にマイクロ波(Lバンド)を放射する。この鉛直下方から測った角のことを off-nadir (オフナディア) 角という。水平方向からの角を俯角という。この衛星の高度は 570km であるから、地表までの斜距離(スラントレンジ)は約 750km で、往復時間は 0.005 秒、グランドレンジ分解能を 18m とすると、80 ナノ秒すなわちパルス幅は 80 ナノ秒である。レンジ分解能を上げるにはパルス幅を小さくすればよい。パルス幅を狭くするとパルスのエネルギーが小さくなり、S/N 比の低下をきたす。これを克服するためにパルス圧縮技法が開発された。

※ パルス圧縮技法

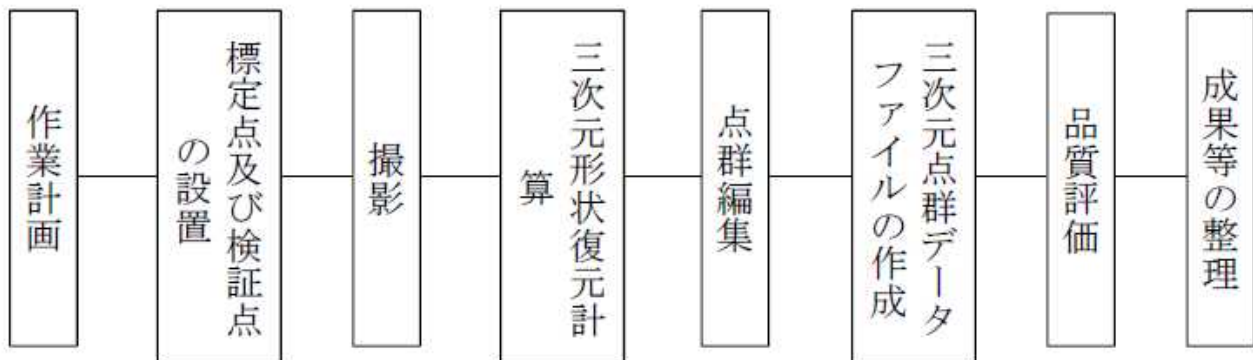
線形変調することにより、パルス幅(パワー)が大きく、且つ広帯域なパルスが送信でき、受信後周波数と時間の関係が送信側と逆な特性(複数共役関係)を持ったマッチト・フィルタを通すことで狭いパルス幅で大きな出力を得る方法である。

8 UAV

8-1 UAVによる数値地形図作成 作業工程

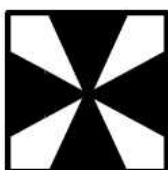


8-2 UAVによる三次元点群作成

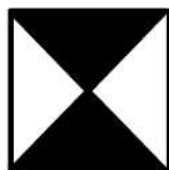


8-3 対空標識

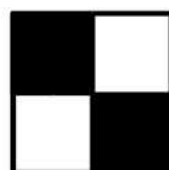
1 対空標識の様子は、次を標準とする。



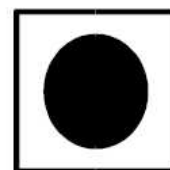
★型



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