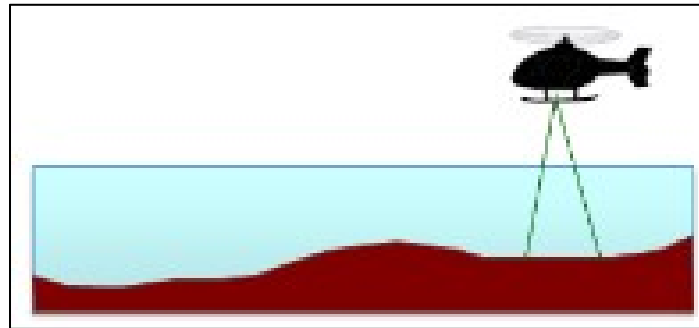


# 航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアル(案) 等について



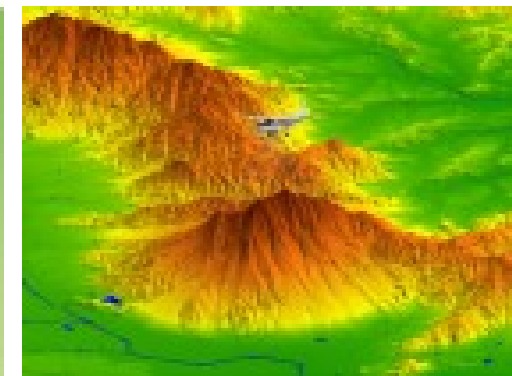
国土交通省 国土地理院 北海道地方測量部

1. 航空レーザー測深とは？
2. 航空レーザー測深機を用いた公共測量マニュアル（案）
3. 三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル（案）

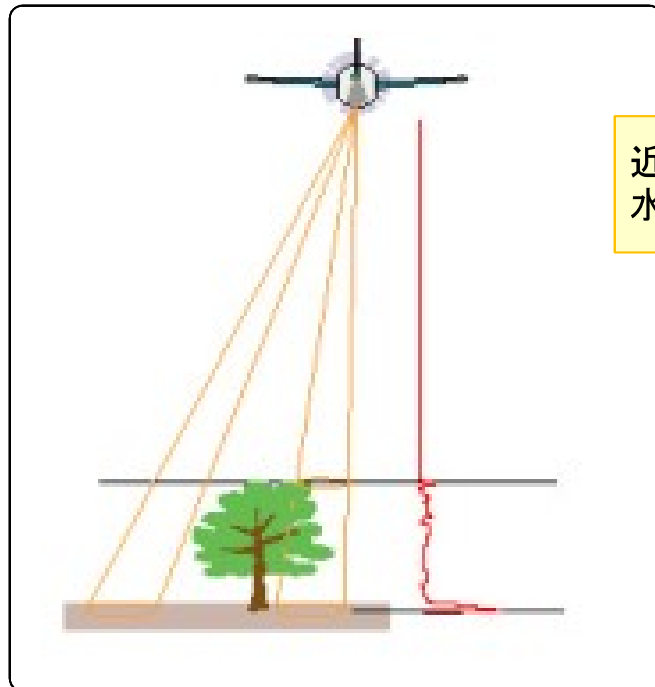
## 1. 航空レーザー測深とは？

## 航空レーザー測量

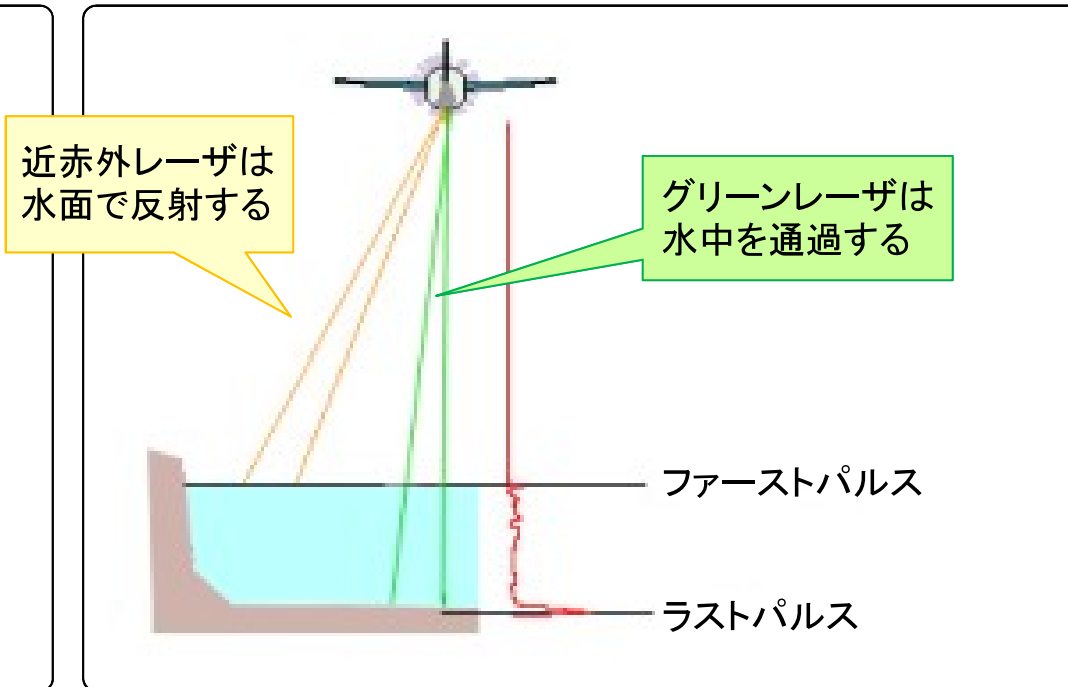
- 航空機に搭載したレーザスキャナを用いた測量は、従来から幅広く実施されている。
- 1990年代から行われるようになり、2008年4月から作業規程の準則に掲載
- 詳細な地形データ（DEMデータ）の作成等に利用
- 国土地理院の基盤地図情報HPでは5mメッシュ標高がダウンロードできる。



【従来の航空レーザー測量】



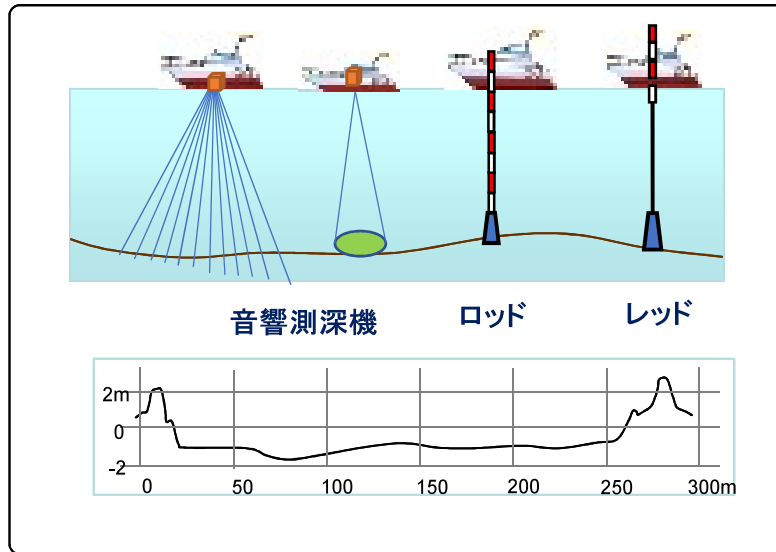
【航空レーザー測深】



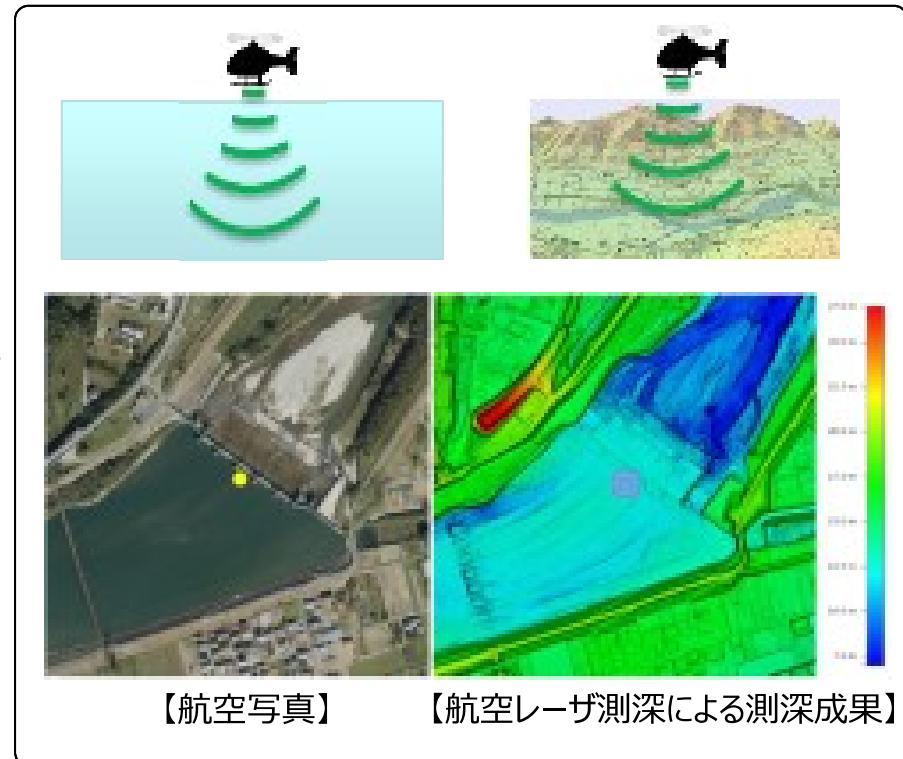
ALB : Airborne Laser Bathymetry

- 従来の航空レーザー（左図）は近赤外レーザーを使用した陸上のみの計測
- 航空レーザー測深は（右図）は水中を透過するグリーンレーザーを用いて水底を計測する。

## 【従来の測深】



## 【航空レーザー測深】



河川等の深浅測量は、従来はレッド（鉛塊の付いた紐）やロッド（目盛り付き棒）、音響測深機を用いた測量⇒線状の横断面図の作成等



航空機に搭載したグリーンレーザーによる水底の測量作業は、比較的広い範囲を面的に測量することが可能。

## 航空レーザー測深とは？

### □ 航空レーザー測深

- 地方整備局の河川事務所等でこれまでも公共測量は実施されている。
- 昨年度は32件の実績があり、すべて「作業規程の準則」第17条2項適用

#### 【第17条2項】

計画機関は、この準則に定めのない新しい測量技術を使用する場合には、使用する資料、機器、測量方法等により精度が確保できることを作業機関等からの検証結果等に基づき確認するとともに、確認に当たっては、あらかじめ国土地理院の長の意見を求めるものとする。

#### 【第17条3項】

国土地理院が新しい測量技術による測量方法に関するマニュアルを定めた場合は、当該マニュアルを前項の確認のための資料として使用することができる。

- これからも増加する傾向にあり、河川管理者からはマニュアルの作成が望まれている。

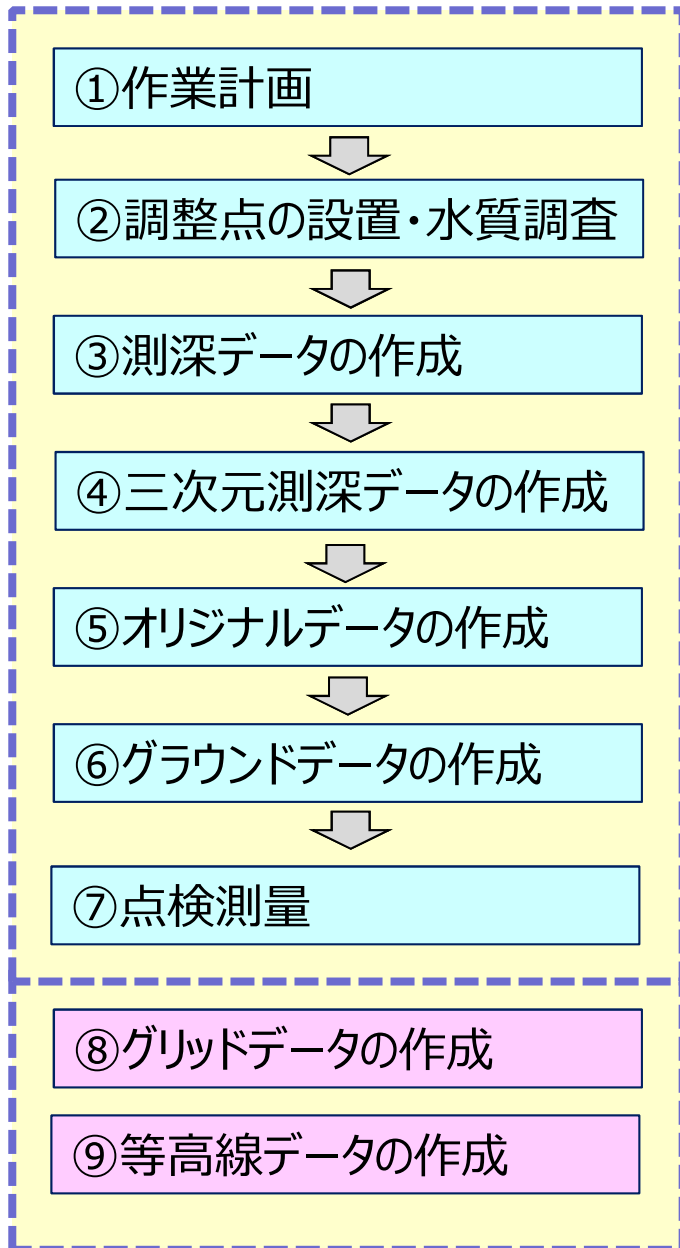


航空レーザー測深機を用いて測量を実施するための  
技術マニュアルの作成



## 2. 航空レーザー測深機を用いた公共測量マニュアル（案）

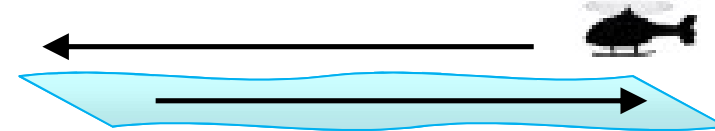




## □ 航空レーザー測深の流れ

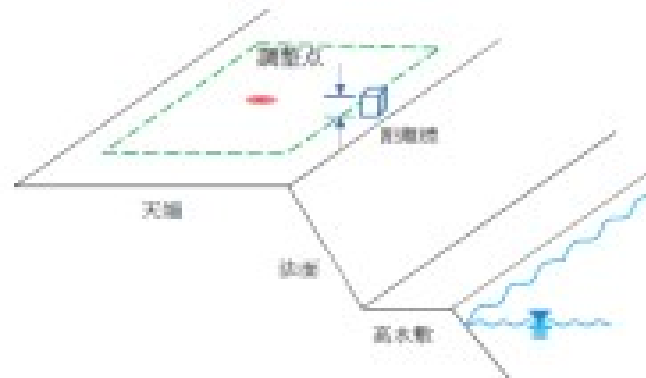
### ①作業計画

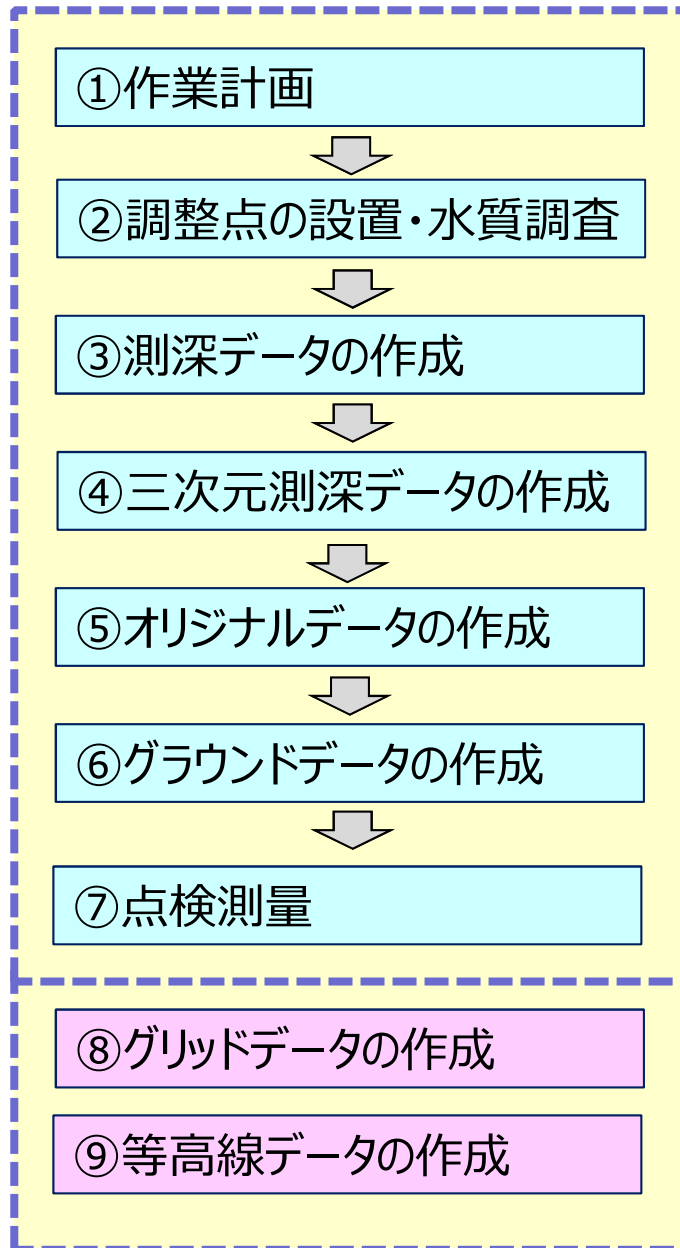
計測範囲やコース、作業内容を計画。



### ②調整点の設置・水質調査

測定の精度を確保するため、陸上の平坦な場所に調整点を設置。水質調査等を実施して水底が計測可能かどうかを調査。





## □ 航空レーザー測深の流れ

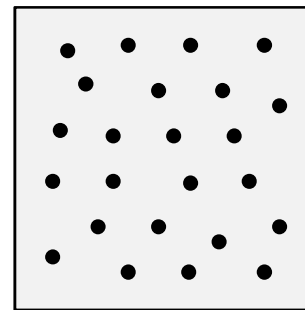
### ③測深データの作成（レーザー計測）

航空機で実際に計測し、測深データを作成。

### ④三次元測深データの作成

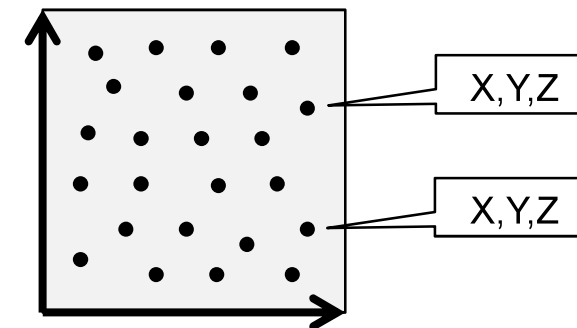
測深データと最適軌跡解析データを統合解析し、三次元の位置座標が与えられた「三次元測深データ」を作成。

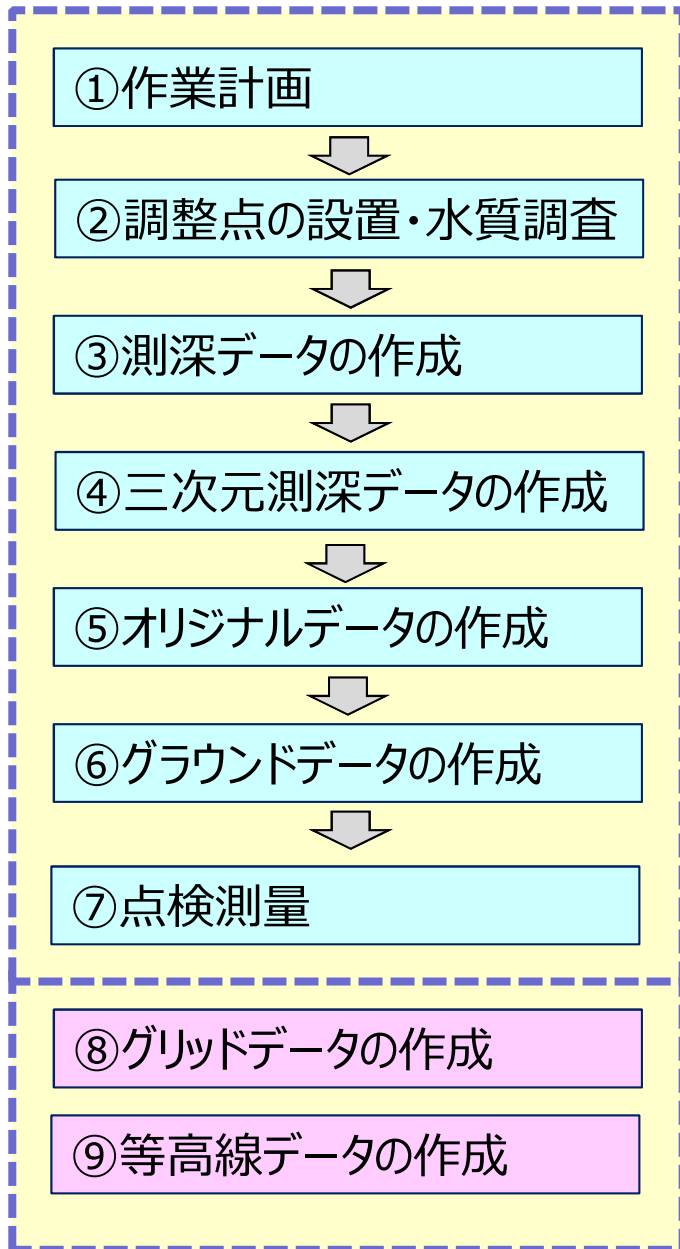
#### 【測深データ】



#### 【三次元測深データ】

測深データに三次元座標値を付与

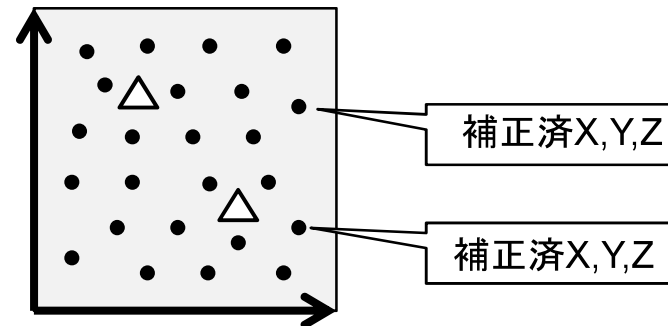




## □ 航空レーザー測深の流れ

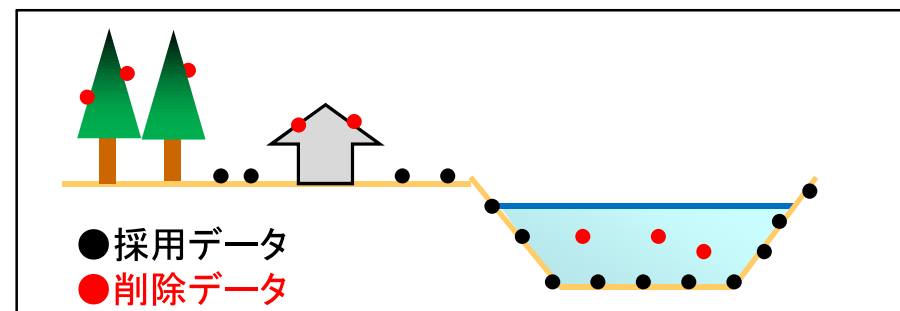
### ⑤オリジナルデータの作成

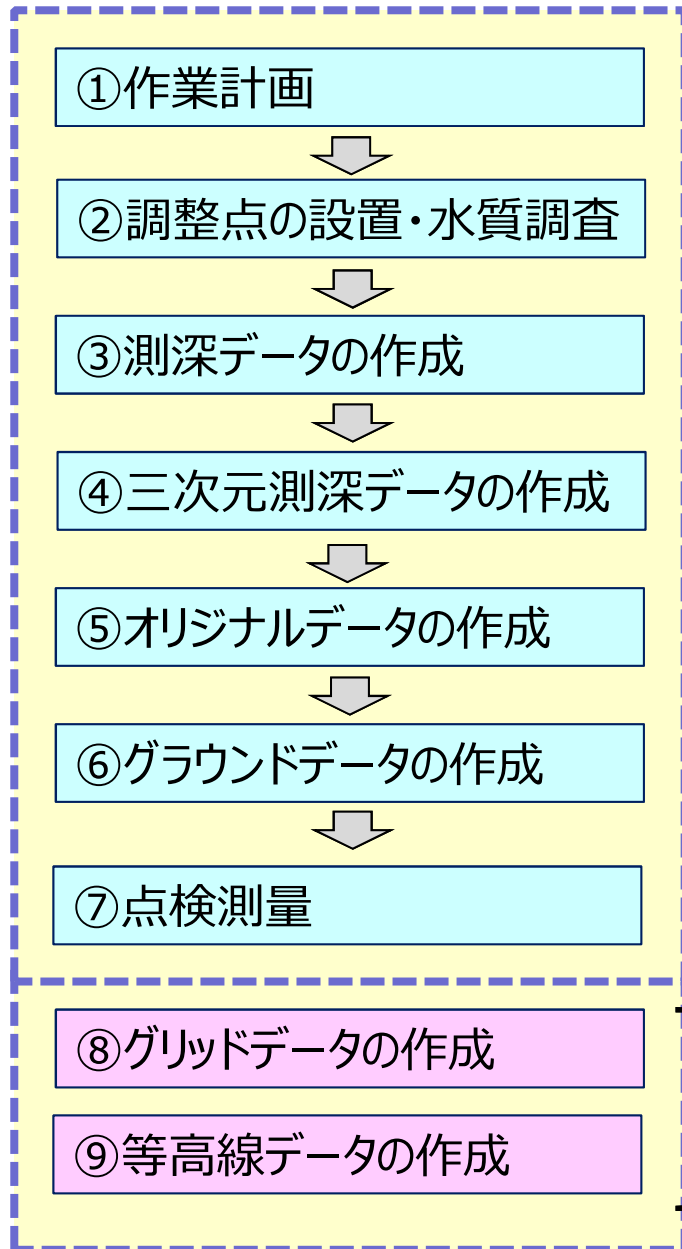
調整点成果を用いて、三次元測深データを点検・補正したデータを作成。



### ⑥グラウンドデータの作成

オリジナルデータをフィルタリング処理し、グラウンドデータ（水底地形及び陸上地形）を作成。





## □ 航空レーザー測深の流れ

### ⑦点検測量

5%の点検測量を実施する。

以降は必要に応じて実施

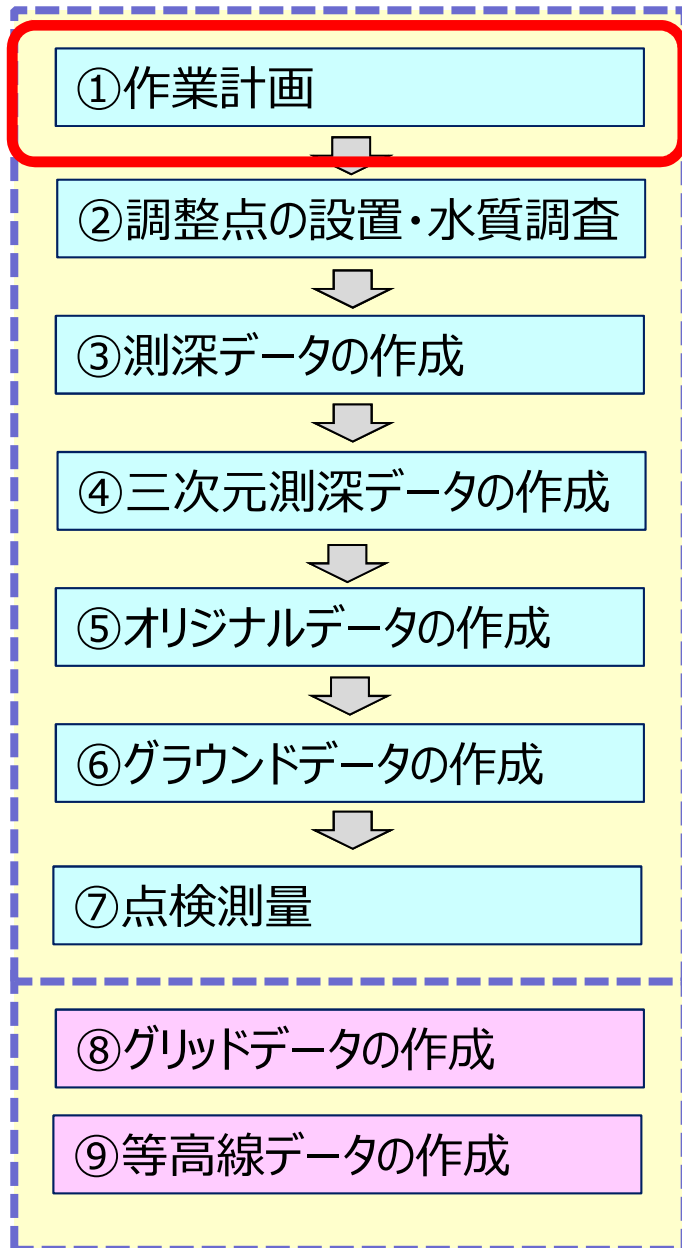
### ⑧グリッドデータの作成

グラウンドデータからの自動処理でDEMを作成。

### ⑨等高線データの作成

グラウンドデータやグリッドデータから自動処理で等高線を作成。

必要に応じて実施



## ①作業計画

最終成果・・・グラウンドデータのみ？

グリッドデータと等高線データは？

### ➤ レーザの照射間隔

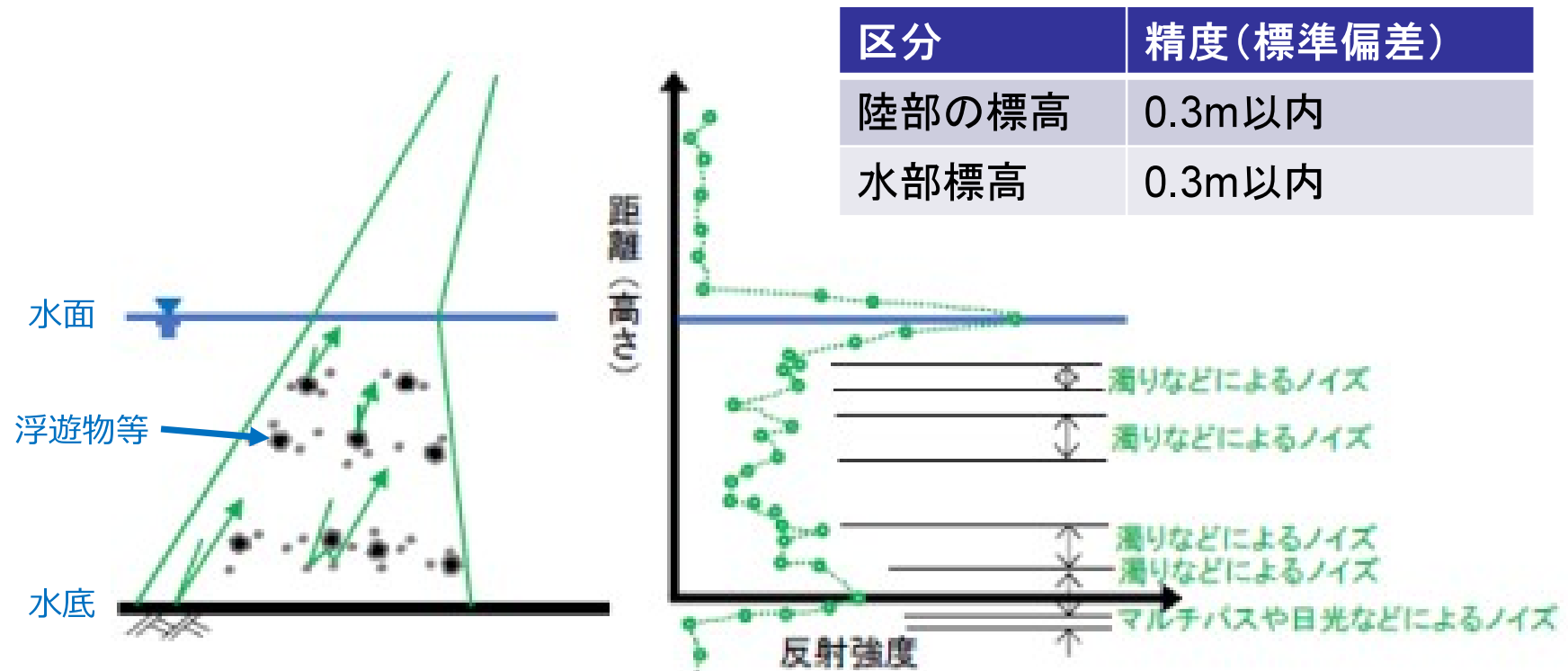
水底の方が陸上よりもレーザーが到達する割合が少ないため、水底の測深間隔と陸上の計測間隔は別々に設定できる。（同一でも良い）

地図情報レベル	格子間隔	照射間隔
500	0.5m以内	0.33～0.45m
1000	1m以内	0.67～0.9m
2500	2m以内	1.33～1.82m
5000	5m以内	3.33～4.55m

照射間隔は格子間隔の1/1.1～1/1.5倍

## ①作業計画

航空レーザー測深の精度・・・第13条 航空レーザー測深の精度は、次表を標準とする。  
 ただし、水部の標高は水質の影響により水底が測深できない場合は、適用しないものとする。

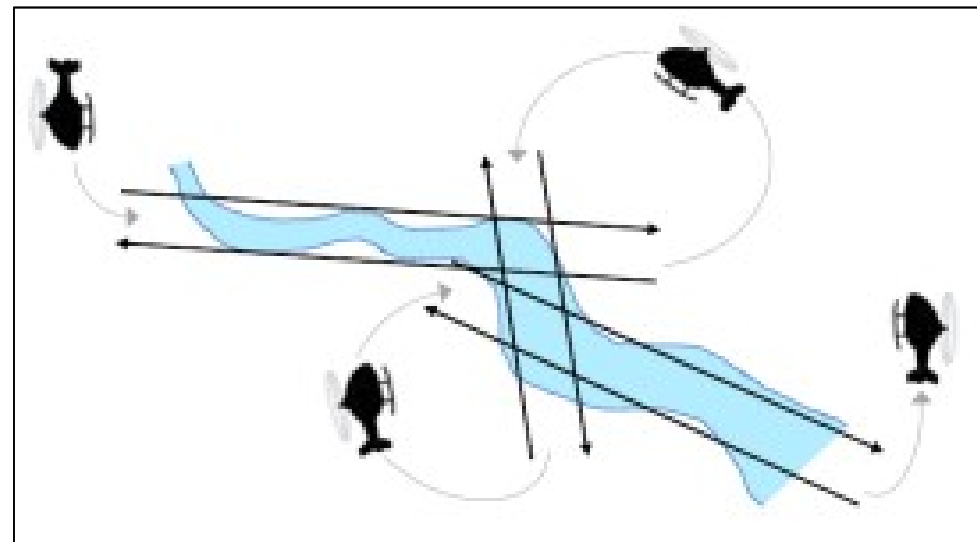


レーザー光の水中での反射の概念

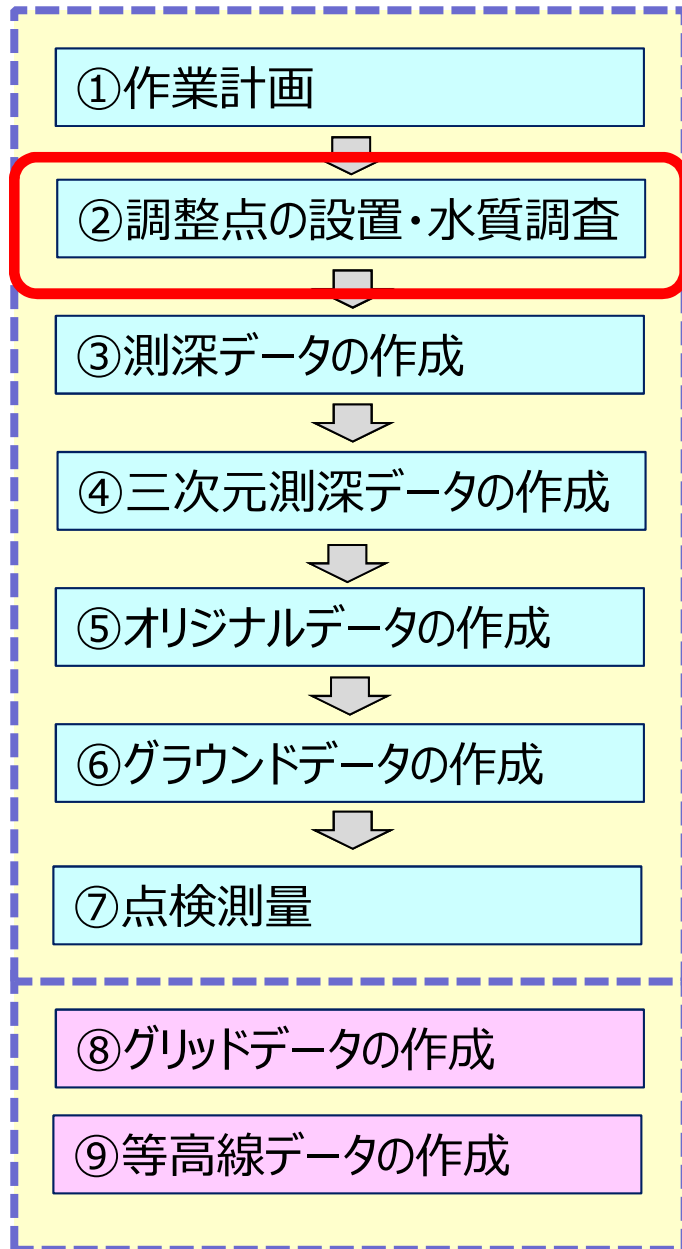
## ①作業計画

### コース設計

- 水底と陸上は同時に計測する。
- 測深と同時に数値写真を撮影する。
- 飛行コースは流路を直線で定義できる区間に分割し、各区間を2コース以上の複数設定する。飛行コースは等高度直線または等対地高度直線とする。
- 飛行コースの両端は、河口部等、特別な場合を除き、陸上とする。
- 飛行コースの重複度は30%を標準とする。
- 作業地域の5メートル延伸した地域を計測する。
- 水質を考慮して測深の日時を決める。

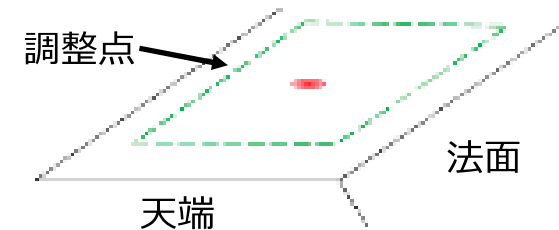


直線区間における複数コースの計画



## ②調整点の設置・水質調査

- ・設置場所は測深間隔の2～3倍の広さの平坦地とする。



- ・設置位置は作業地域の上流端に1点、下流端に1点、中間には作業地域の長さ（km）を5で割った値で等分された数を設置する。
- ・水平位置の測定は4級基準点測量（近傍に既知点が無い場合は単点観測法も可）により行う。
- ・標高の測定は4級水準測量により行う。

### 【その他の方法】

GNSS観測スタティック法

GNSSによる標高の測量マニュアル

偏心距離及び偏心角を測定し偏心計算 等



## ②調整点の設置・水質調査

- 航空レーザー測深は河川の水質が大きく影響することから、事前の水質調査が重要
- 以下の4つの水質調査方法があげられる。
  - (1)透明度調査・・・セッキ板による調査
  - (2)濁度調査・・・濁度計による調査
  - (3)透視度調査・・・透視度計による調査
  - (4)浮遊物質（SS）調査・・・採水を濾過し、物質を採取する調査
- 既存の計測結果から、(1)と(2)が有効とみられたことから、この2つを標準としている※。



①セッキ板

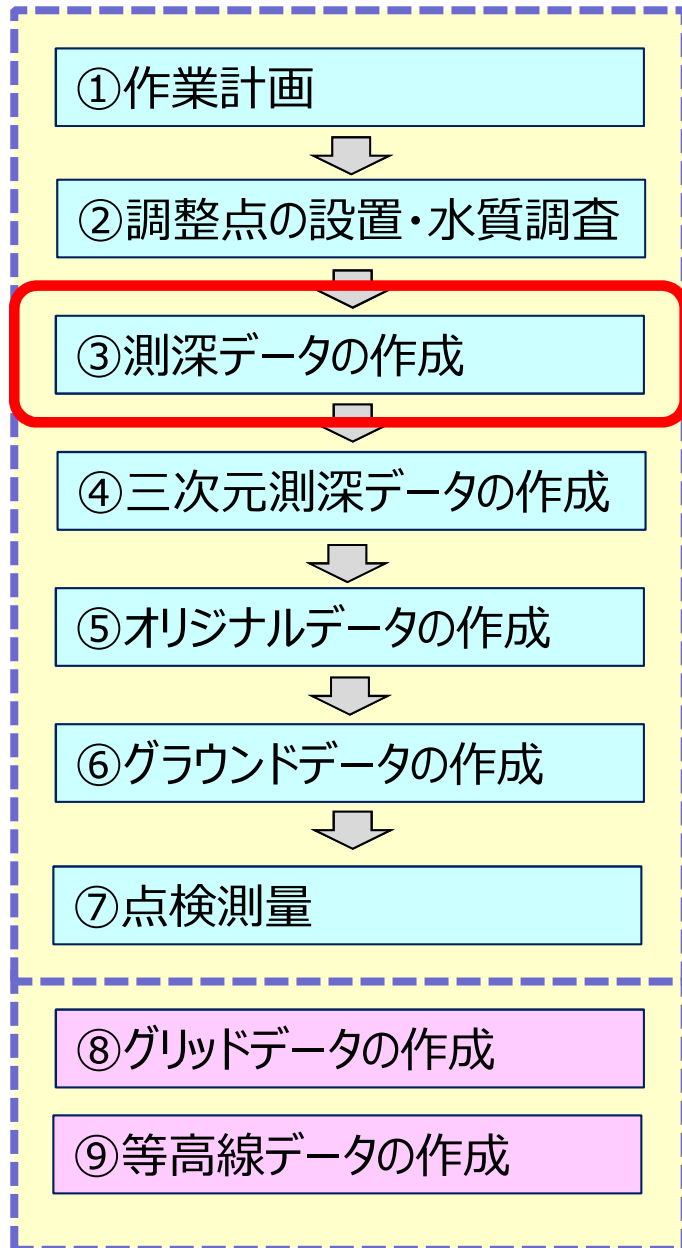


②濁度計



③透視度計

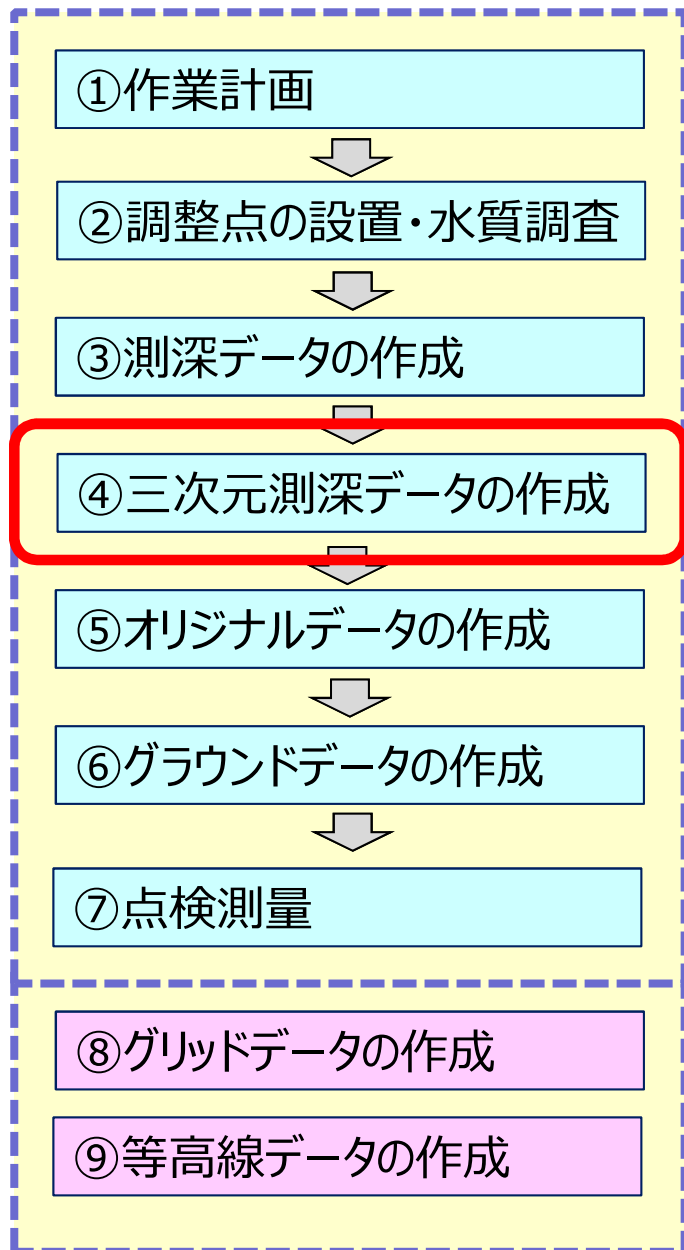
※現段階において国内河川の水質と測深限界の関係性は知見が少ないため、多くの河川の水質調査結果の状況や今後の情報蓄積を踏まえ、引き続き検討を行う必要がある。



## ③測深データの作成

- 実際に現地でレーザー計測を実施する。  
GNSS/IMU  
レーザー測距装置（波形記録方式）  
ボアサイトキャリブレーション（6ヶ月以内）
- 飛行  
直線かつ等高度で飛行  
スキャン角度は±20度以内
- 数値写真の撮影  
地上画素寸法25cm

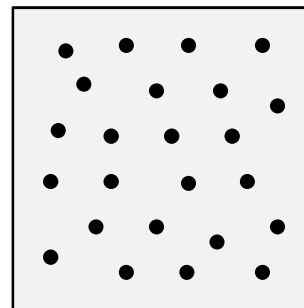




## ④三次元測深データの作成

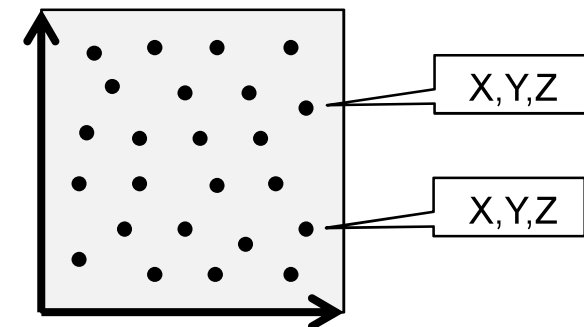
- ・測深データ + 最適軌跡解析データ  
= 三次元測深データ

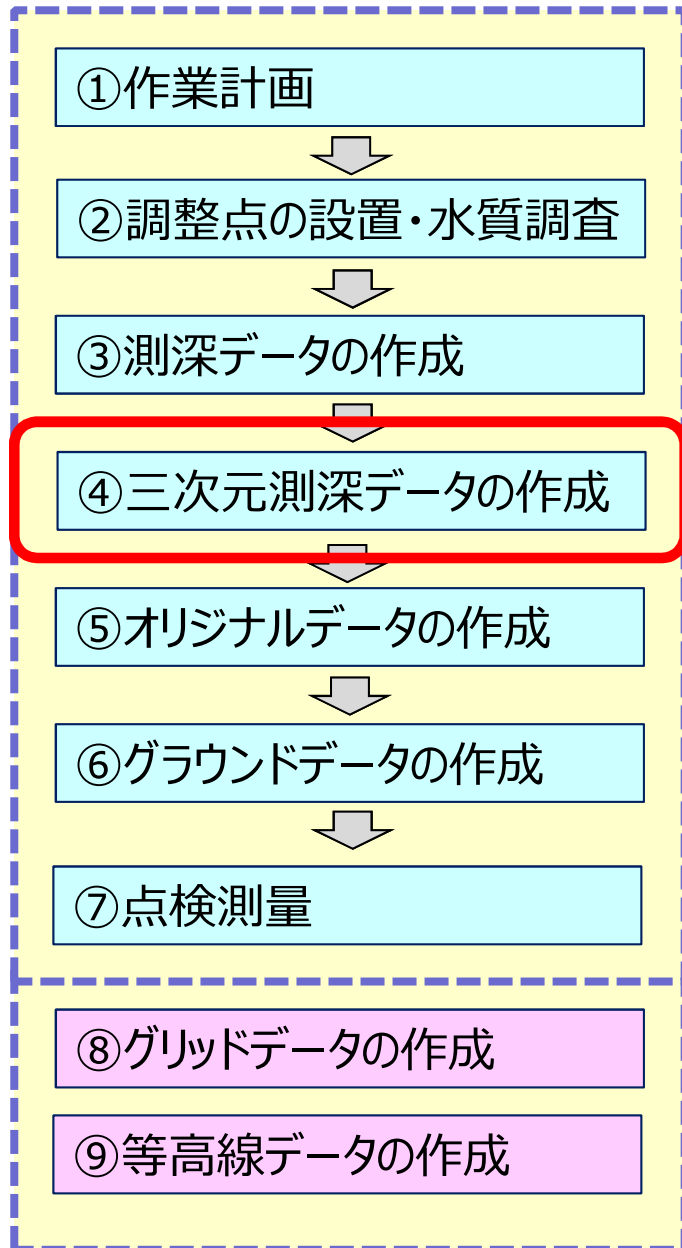
【測深データ】



【三次元測深データ】

測深データに3次元座標値を付与





## ④三次元測深データの作成

### ・点検

準則の航空レーザー測量に準ずる点検

各調整点において

較差の平均値25cm以上

RMS誤差30cm以上

すべての調整点において

較差の平均値25cm以上

標準偏差25cm以上

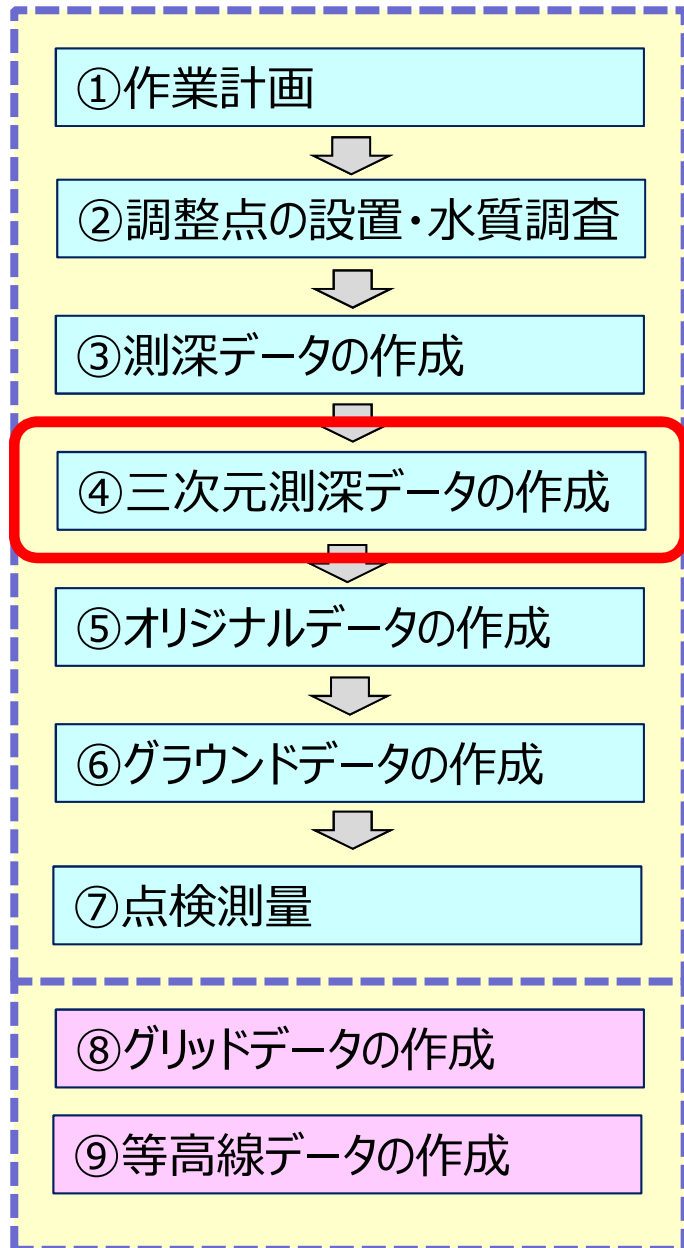
再計算  
再測等

コース間の標高値の比較点検

標高値の較差の平均値30cm以上

→点検箇所の新選定、キャリブレーション値

の再計測と、測深データの再補正



## ④三次元測深データの作成

- ・写真地図データの作成

正射変換したオルソ画像（TIFF）

- ・水部ポリゴンデータの作成

- ・欠測率の計算

$$\text{欠測率} = (\text{欠測格子数} / \text{全体の格子数}) \times 100$$

格子間隔 1m超 10%以下が標準

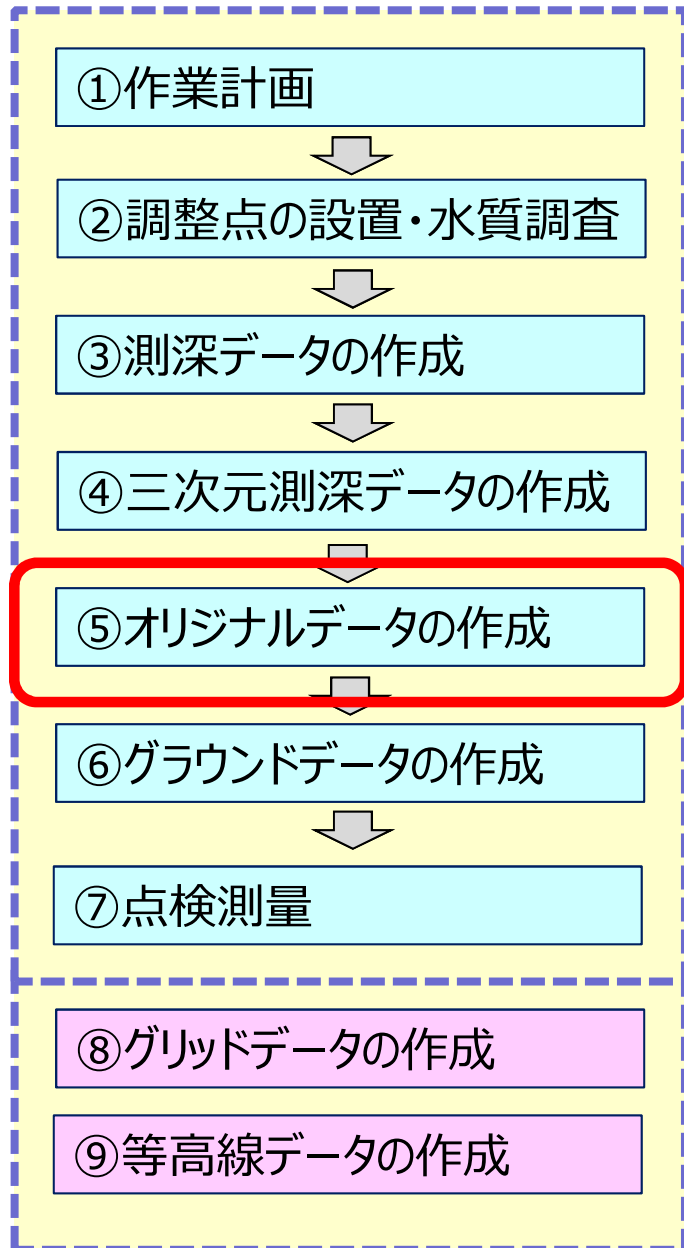
1m以下 15%以下が標準

- ・データの結合

近赤外レーザーと緑波長レーザーの2種類のデータを結合

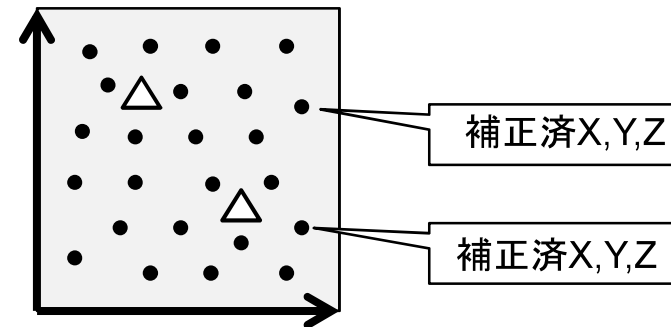
- ・データの点検

図形編集装置等を用いて点検

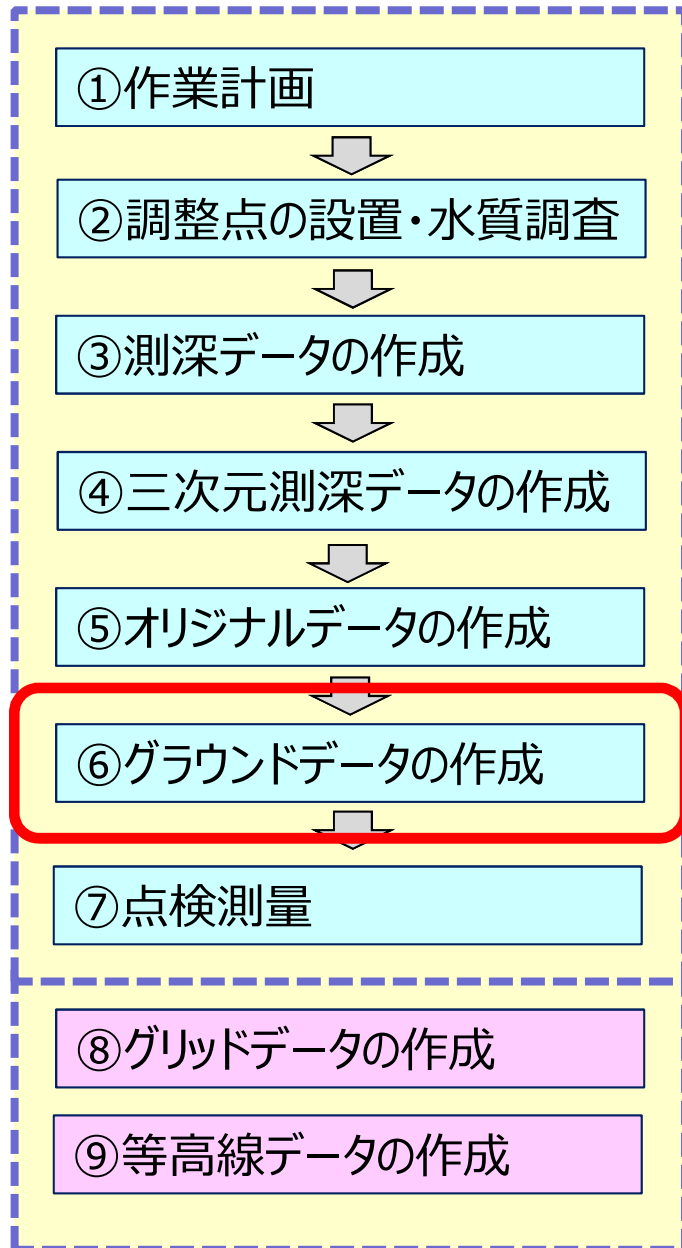


## ⑤オリジナルデータの作成

- 調整点成果を用いて、三次元測深データを点検・補正したデータを作成。



- 調整点との較差の平均値が25cm以上  
→地域全体を上下の一律平行移動  
→再点検



## ⑥グラウンドデータの作成

- ・水部と陸部と別々にフィルタリングを行う。
- ・陸部は航空レーザー測量と同様に、建物や樹木等の地表面以外のデータを除去する。

### 【フィルタリング対象項目】

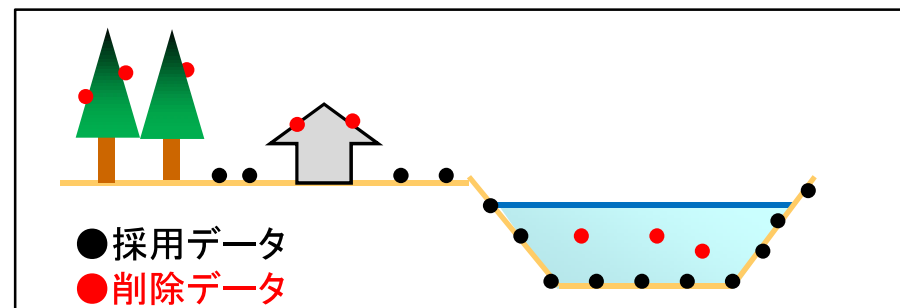
交通設備（道路施設、鉄道施設、橋等）

建物等（住宅、工場、倉庫、公共施設等）

小物体（記念碑、給水塔、電波塔等）

植生（樹木、竹林、生垣等）

- ・水部は水中の濁り等から反射したデータを取り除き水底のみのデータとする。



## ⑥グラウンドデータの作成

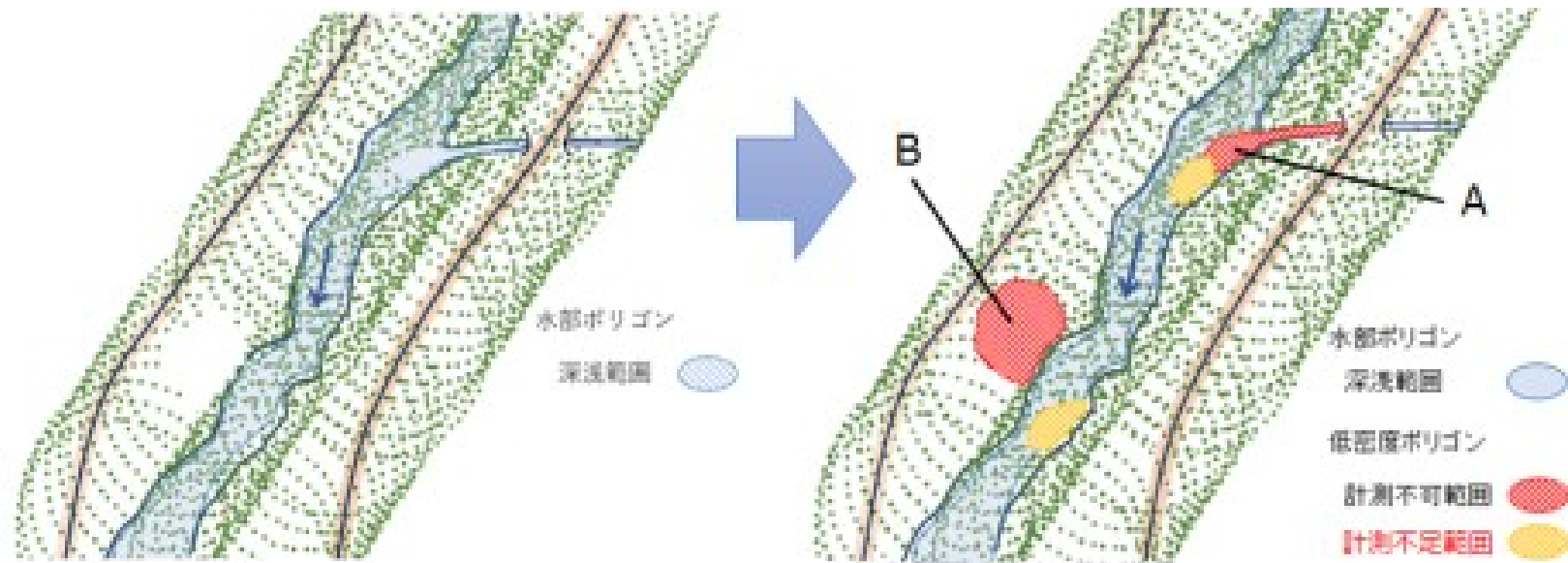
### 低密度ポリゴンの作成

計測不可範囲・・・レーザーの反射光が広い範囲で取得されていない。

補測（深淺測量等）が必要な範囲。

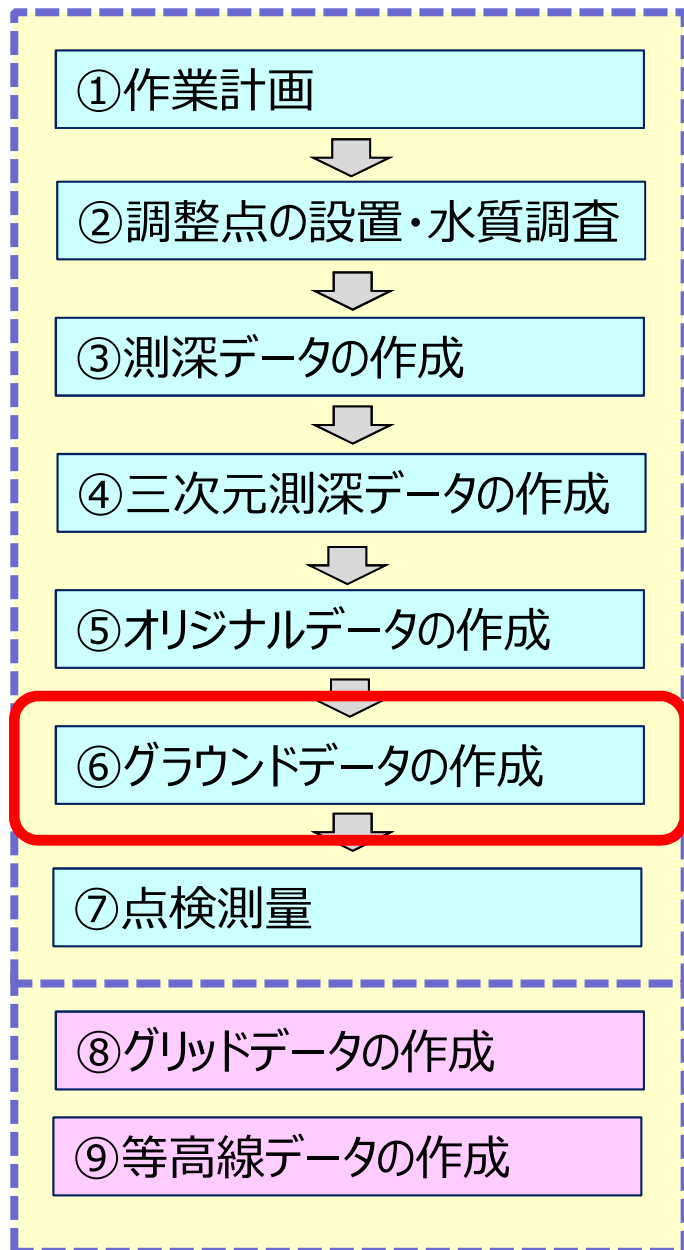
計測不足範囲・・・レーザーの反射光が広い範囲で疎らに取得されている。

グリッドデータを作成する場合は周りからの内挿補間で補える。



低密度ポリゴン取得の概念図





## ⑥グラウンドデータの作成

フィルタリング点検図の作成

次の2種類の点検図を出力し、目視検査を実施する。

- ・陰影段彩図等の地形解析図データ・等高線データの重ね合わせ図
- ・写真地図データ・オリジナルデータ・水部ポリゴン・低密度ポリゴンの重ね合わせ図

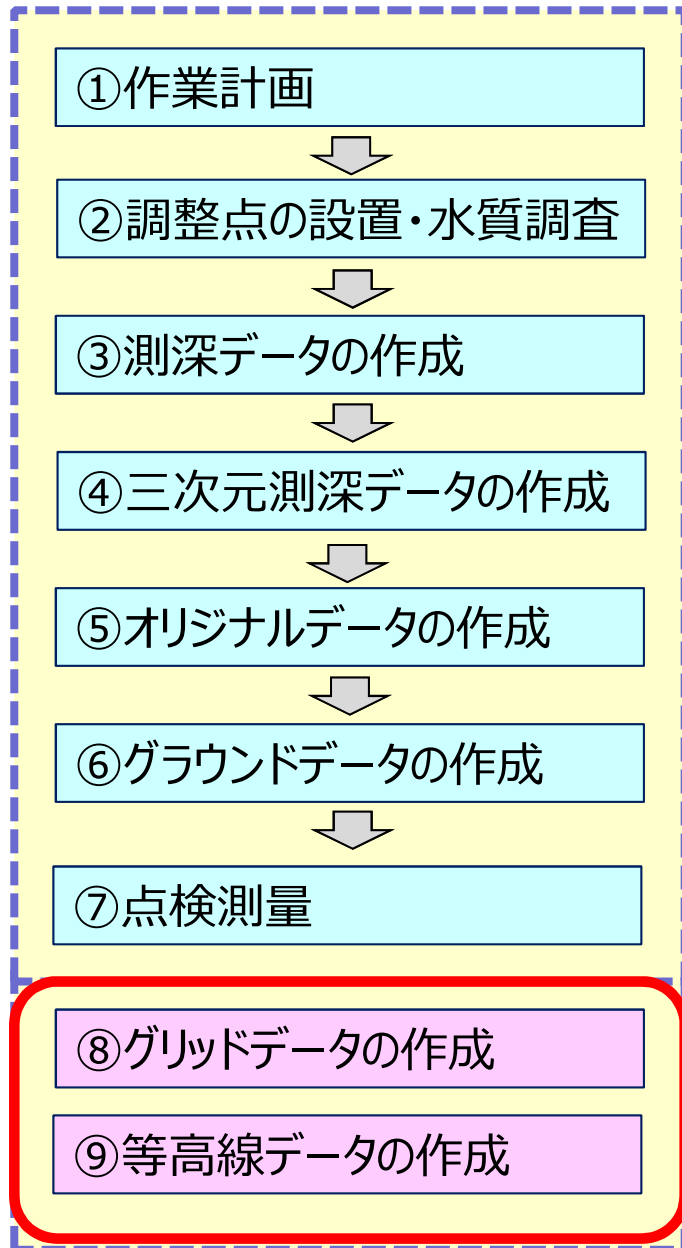


成果データを作成



点検測量





## ⑧グリッドデータの作成

グラウンドデータから内挿補間により格子状の標高データを作成。

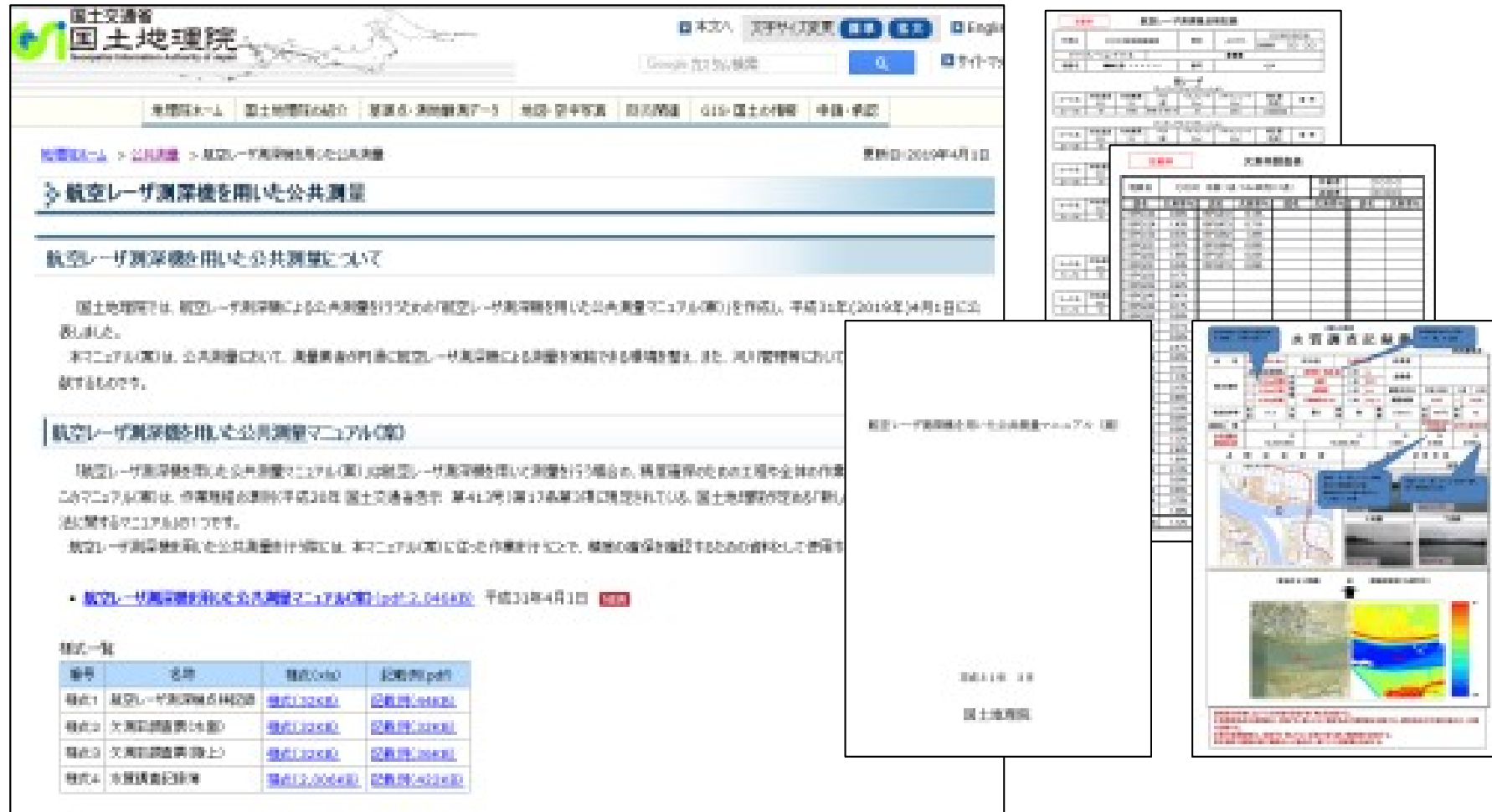
項目	標高値(標準偏差)
格子内にグラウンドデータがある場合	0.3m以内
無い場合	2m以内

## ⑨等高線データの作成

グラウンドデータまたはグリッドデータから自動生成。

地図情報レベル	主曲線	計曲線	グラウンドデータ、グリッドデータの間隔
500	1m	5m	約1m
1000	1m	5m	約1m
2500	2m	10m	約2m

## マニュアル（案）の公表（国土地理院ホームページ）



国土地理院では、航空レーザー測深機による公共測量を行うための航空レーザー測深機を用いた公共測量マニュアル(案)を作成し、平成30年(2018年)4月1日に公表しました。

本マニュアル(案)は、公共測量において、測量業者が円滑に航空レーザー測深機による測量を実施できる環境を整え、また、河川管理等において役立つものであり、

**航空レーザー測深機を用いた公共測量マニュアル(案)**

1.航空レーザー測深機を用いた公共測量マニュアル(案)は航空レーザー測深機を用いて測量を行う場合の、測量境界のための土地の測量と全体の作業のこのマニュアル(案)は、測量法第10条(平成28年 国土交通省告示 第412号)第13条第3項に規定されている、国土地理院が定める「測量法に関するマニュアル」の1つです。

航空レーザー測深機を用いた公共測量計5案には、本マニュアル(案)に基づいた作業を行うことで、精度の確保を確認するための資料として整備する

- 航空レーザー測深機を用いた公共測量マニュアル(案)の公表(平成30年4月1日)

種別	番号	名称	種別(×××)	記載形式(pdf)
種別1		航空レーザー測深機点検記録簿	種別1(20××)	記載形式(20××)
種別2		測量記録簿(4面型)	種別2(20××)	記載形式(20××)
種別3		測量記録簿(5面型)	種別3(20××)	記載形式(20××)
種別4		測量記録簿(3面型)	種別4(20××)	記載形式(20××)

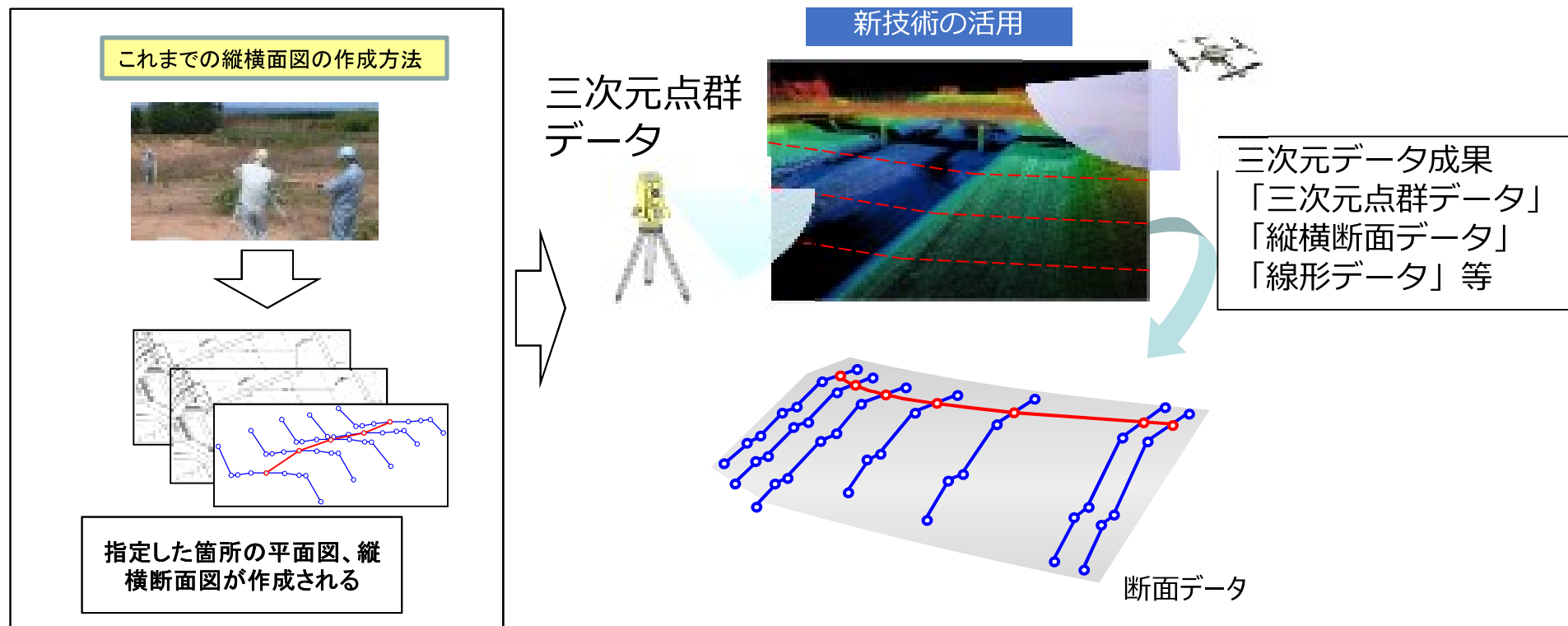
国土地理院

<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/alb/index.html>

## 3. 三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル（案）

## マニュアル（案）の作成の背景

**現状** 三次元点群データの公共測量成果全般から断面図化する場合の標準的な作業工程や精度管理の規定がない



三次元点群データの利用ニーズの拡大に対応し、三次元点群データをより一層、効率的な利活用の推進を図るため、三次元点群を使用した断面図作成マニュアル(案)を全部改定し、公共測量成果の三次元点群データを対象として、路線測量の公共測量成果（縦横断面図データ）に対応した公共測量マニュアル（案）を策定

## マニュアルのターゲット

- i-Constructionにおける公共測量での活用を想定。



新技術マニュアル (案)	UAVを用いた公共測量マニュアル(案)	地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)	UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル (案)	公共測量成果 (測量法17条の2項適用の成果を含む)
主な成果データ	三次元点群データ	三次元点群データ	三次元点群データ	三次元点群データ

<b>三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル (案)</b>	
必要データ	<b>三次元点群データ</b>
対象測量	路線測量、河川測量等
主な成果物	縦横断面図データ

NEW! NEW!

←

**マニュアルや測量法17条の2項適用などの公共測量成果の全て三次元点群データを用いて作成する縦横断面図データの作成に利用可能**

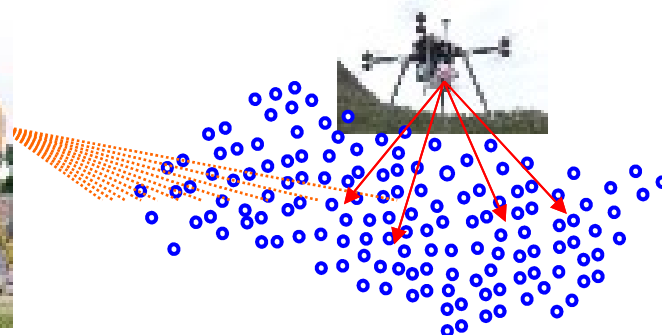
H31年3月全面改定、H29年3月改正、H28年6月策定

## マニュアルの概要について

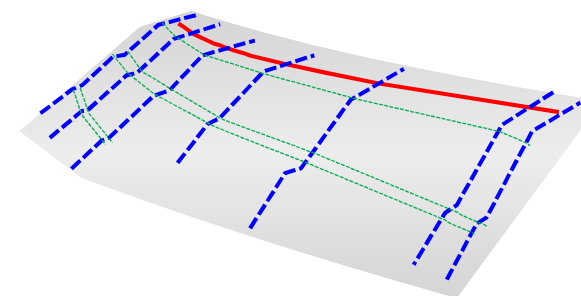
三次元点群データから任意地点の断面図作成のための標準的な作業方法を規定。

### ➔ 三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル（案）を公表（平成31年4月1日）

- ブレークラインの設定により、傾斜変換点を含む正確な地形取得を可能にした。
- 対象地域全体で三次元地形モデルを作成することで、任意地点の断面図を作成可能にした。
- 三次元点群データから断面図を作成するための標準的な作業工程を明確化した。
- 精度管理の方法を規定



三次元点群データ



三次元地形モデル

- 縦断面
- - - 横断面
- - - ブレークライン



## マニュアルの構成について

### 三次元点群データから断面図を作成するための標準的な作業工程を明確化

- マニュアルの構成

【序】概説

第1編 総則

第2編 三次元点群データを使用した断面図作成

第1章 概説

第1節 要旨

第2節 製品仕様書の記載事項

第2章 三次元点群データを使用した断面図作成

第1節 作業計画

第2節 資料収集

第3節 予察

第4節 補備測量

第5節 地形モデルの作成

第6節 断面図データの作成

第7節 数値地形図データファイルの作成

第8節 成果等の整理

第3編 資料

第1章 標準様式

第2章 別表1（測量成果検定基準）

第3章 参考資料

（傾斜変換点を考慮した三次元点群データ作成）

作業手順の明確化

## マニュアルの構成について

### 三次元点群データから断面図を作成するための標準的な作業工程を明確化

#### □ 三次元点群データを使用した断面図作成の流れ

##### ①作業計画

- ・作業規程の準則第11条を準用
- ・三次元点群データの精度、点密度、三次元点群データを作成した測量手法等を考慮し、工程別に作成する。

##### ②資料収集

- ・使用する三次元点群データの特徴を理解し、適切な地形モデルを作成し、任意の位置の断面図作成に必要な資料を収集する。

#### 第2章 三次元点群データを使用した断面図作成

##### 第1節 ①作業計画

##### 第2節 ②資料収集

##### 第3節 ③予察

##### 第4節 ④補備測量

##### 第5節 ⑤地形モデルの作成

##### 第6節 ⑥断面図データの作成

##### 第7節 ⑦数値地形図データファイルの作成

##### 第8節 ⑧成果等の整理

## マニュアルの構成について

### 三次元点群データから断面図を作成するための標準的な作業工程を明確化

#### □ 三次元点群データを使用した断面図作成の流れ

##### ③ 予察

- ・断面図作成のために必要となる三次元点群データの補備箇所を抽出

##### ④ 補備測量

- ・断面図作成に供する地形モデルを作成するために三次元点群データを補備する作業

#### 第2章 三次元点群データを使用した断面図作成

##### 第1節 ① 作業計画

##### 第2節 ② 資料収集

##### 第3節 ③ 予察

##### 第4節 ④ 補備測量

##### 第5節 ⑤ 地形モデルの作成

##### 第6節 ⑥ 断面図データの作成

##### 第7節 ⑦ 数値地形図データファイルの作成

##### 第8節 ⑧ 成果等の整理

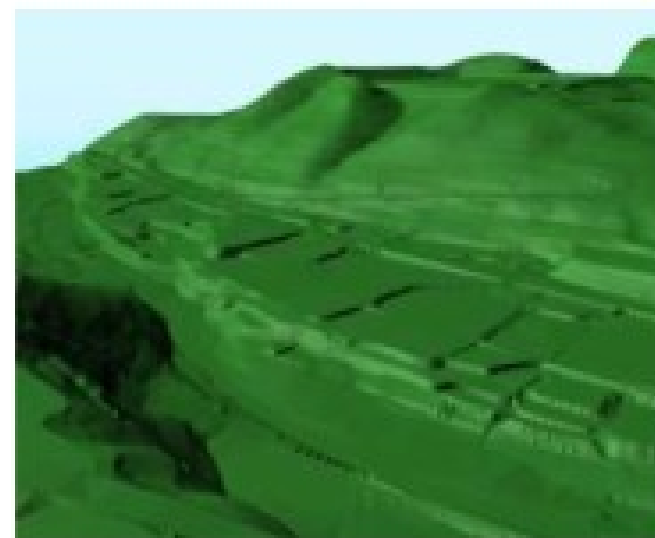
## マニュアルの特徴について

### ◆ブレイクラインの設定による、傾斜変換点を含む正確な地形取得が可能

- ・地形の断面が変化している、傾斜変換点などは、写真に明瞭に写らなかったり、レーザ光線があたりなかったりすることが多く正確な地形表現の妨げとなっている。
- ・傾斜変換点をブレイクラインとした制約付きTIN（Triangulated Irregular Network: 不規則三角網）の利用により、地形を詳細にした地形モデルの作成が可能



ブレイクラインなし



ブレイクラインあり

## マニュアルの特徴について

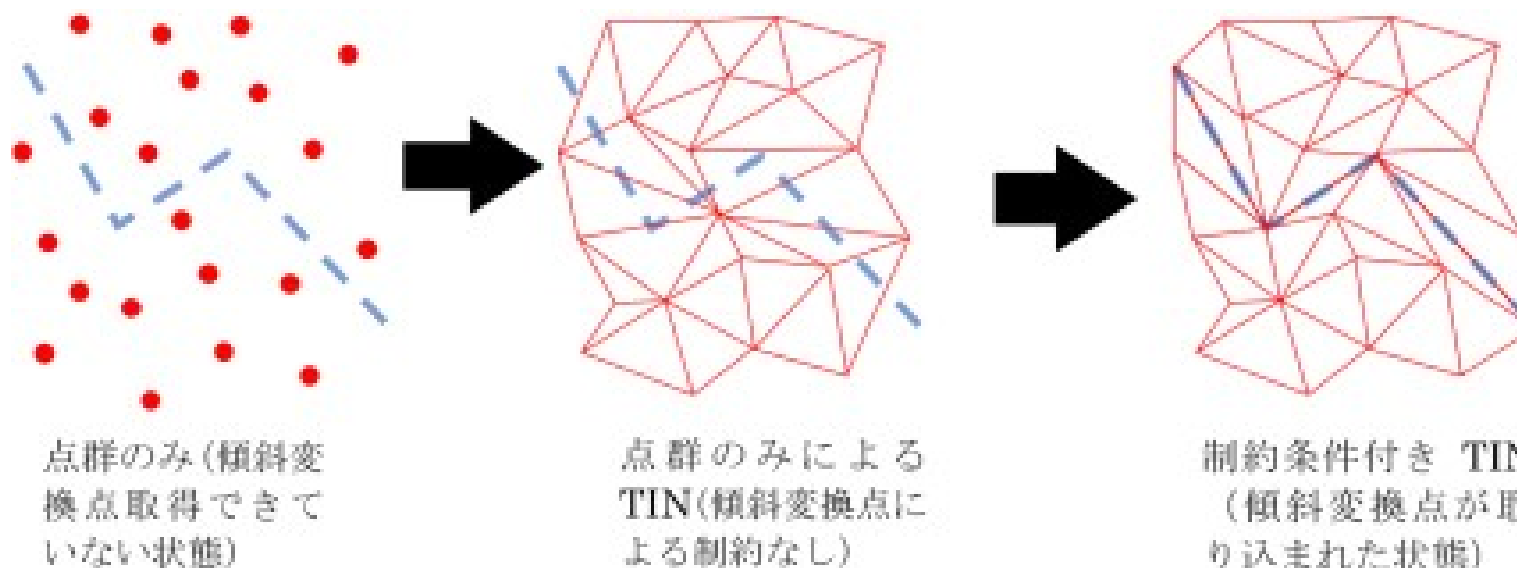
### ◆ブレイクラインの設定方法について

傾斜変換点は、一般にはブレイクラインとして法肩や法尻などが該当するが、三次元点群データ上にはそれらに該当する情報は存在しない（下図の左）。

→そのままでは正確な地形表現をすることはできない。

傾斜変換点が重要な目安となる設計などの業務では大きな問題となる。

傾斜変換点などをブレイクラインの設定を行い（「補備測量」と規定）、そのブレイクラインを加え（下図の中央の青線）、それを制約条件としてTINを作成して、地形モデル上で傾斜変換点を表現できるようにしている（下図の右）。



## マニュアルの構成について

### 三次元点群データから断面図を作成するための標準的な作業工程を明確化

#### □ 三次元点群データを使用した断面図作成の流れ

##### ⑤地形モデルの作成

- ・地形モデルの作成は、水準点地表面高、三次元点群データから欠測範囲、傾斜変換点、主要な構造物外形等の制約条件を付け、TINを作成することを標準とする。
- ・地形モデルは、三次元点群データが保持する精度を劣化させない範囲で、隣接する三角形を統合できるものとする。ただし、制約条件を外してはならない。

#### 第2章 三次元点群データを使用した断面図作成

##### 第1節①作業計画

##### 第2節②資料収集

##### 第3節③予察

##### 第4節④補備測量

##### 第5節⑤地形モデルの作成

##### 第6節⑥断面図データの作成

##### 第7節⑦数値地形図データファイルの作成

##### 第8節⑧成果等の整理

## マニュアルの構成について

### 三次元点群データから断面図を作成するための標準的な作業工程を明確化

#### □ 三次元点群データを使用した断面図作成の流れ

##### ⑥断面図データの作成

- ・地形モデルとの交点の標高を測線に与える作業

##### ⑦数値地形図データファイルの作成

- ・製品仕様書に従い数値地形図データファイル及び断面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

##### ⑧成果等の整理

#### 第2章 三次元点群データを使用した断面図作成

##### 第1節①作業計画

##### 第2節②資料収集

##### 第3節③予察

##### 第4節④補備測量

##### 第5節⑤地形モデルの作成

##### 第6節⑥断面図データの作成

##### 第7節⑦数値地形図データファイルの作成

##### 第8節⑧成果等の整理

## 精度管理についての規定（補備測量） 補備測量に関する精度管理表を規定

様式1

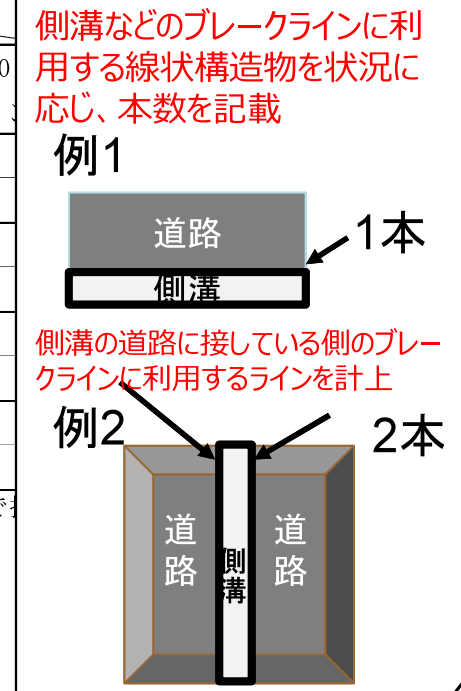
### 補備測量 精度管理表（記載例） 記載例

作業名または地区名	点群密度	点群精度	作業量	作業期間	作業機関名	主任技術者	点検者					
	16点 / m <sup>2</sup>	10cm以内		自 年 月 日 至 年 月 日		印	印					
図名または図面番号	水準点 地表面高（点）			欠測範囲（箇所）			傾斜変換点（本）			主要な構造物（本）		
	総数	脱落	誤記	総数	脱落	誤記	総数	脱落	誤記	総数	脱落	誤記
	測量手法			測量手法			測量手法			測量手法		
09LD3588	1	0	0				2	0	0	2	0	0
	鋼巻尺						トータルステーション			トータルステーション		
09LD3589												
09LD35				1	0	0				0	0	
				トータルステーション			トータルステーション					

点群精度、点群密度は、要求仕様の数値を記載します。

ブレイクラインの本数を記載

ブレイクライン設定作業が適切に行われているのかを確認



注 1. 各工程作業ごとに、該当する項目を選んで図面単位に作成する。該当しない項目欄には斜線で示す。  
2. 各項目の脱落、誤記等は点検データに基づいて集計し、その個数を記載する。

### 補備測量とは？

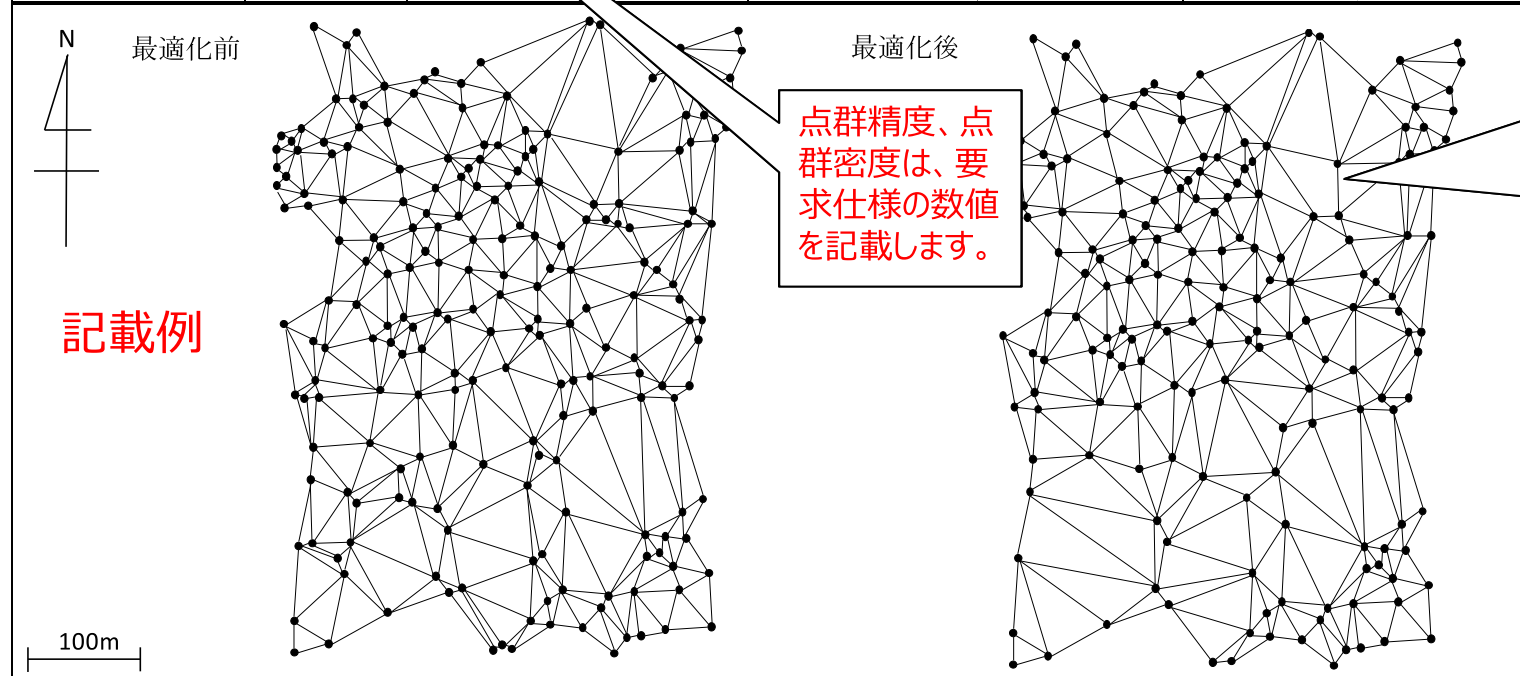
ここでの補備測量とは、断面図作成に供する地形モデルを作成するために三次元点群データにブレイクラインを設定する作業をいう。



## 精度管理についての規定（地形モデルの最適化） 地形モデルの最適化に関する精度管理表を規定

地形モデルの最適化とは、後続作業での利便性を考慮して、三次元点群データが保持する精度を劣化させない範囲で、データを削除すること。

作業名または地区名	点群密度	点群精度	作業量	作業期間	作業機関		
	16点 / m <sup>2</sup>	10cm以内		自 年 月 日 至 年 月 日			
図名または図面番号	最大変化量	三角形総数		点総数		最適化率	
		最適化前	最適化後	最適化前	最適化後	三角形	点
09LD3589	9.1cm	350	298	205	175	85%	85%



TIN画像、陰影図などの最適化前後の変化が確認できる三次元モデルの画像

用紙は、A4判とする。

記載例

注：方位と表示縮尺を適当な位置に記載する。  
最大変化量は、最適化前の三角形の頂点と最適化後の三角形の面との較差の最大値とする。

\* 地形モデルの最適化を行うことにより、データの軽量化が図られ、データの利便性が向上します。

## まとめ

### 三次元点群データから断面図を作成するための標準的な作業工程を明確化

- マニュアルの構成

【序】概説

第1編 総則

第2編 三次元点群データを使用した断面図作成

第1章 概説

第1節 要旨

第2節 製品仕様書の記載事項

第2章 三次元点群データを使用した断面図作成

第1節 作業計画

第2節 資料収集

第3節 予察

第4節 補備測量

第5節 地形モデルの作成

第6節 断面図データの作成

第7節 数値地形図データファイルの作成

第8節 成果等の整理

第3編 資料

第1章 標準様式

第2章 別表1（測量成果検定基準）

第3章 参考資料

（傾斜変換点を考慮した三次元点群データ作成）

作業手順の明確化

- 特徴

- 三次元点群データの以下の特性に配慮
  - 傾斜変換点の表現に弱い
  - データ量が多い

- 補備測量

- 傾斜変換点の入力（ブレイクライン）を規定
  - 実体視による方法
  - 複合表示による方法

- 地形モデル

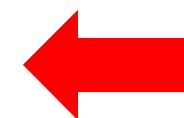
- ブレイクラインによる制約条件付きTINの作成を標準
- TINの最適化を規定
- 任意の断面が作成可能

## まとめ

マニュアル（案）を、2019年4月1日に公表

<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/download/download.html>

- マニュアル・要領等のダウンロード
- 作業規程関連
- 航空レーザー測深機を用いた公共測量について **NEW!**
- UAV写真測量について
- UAVレーザー測量について
- 地上レーザースキャナを用いた公共測量について
- 測量成果電子納品要領及び運用ガイドライン【測量編】(平成30年3月)
- マルチGNSS測量 -近代化GPS、Galileo等の活用-
- 「スマート・サーベイ・プロジェクト」-衛星測位を活用した測量業務の効率化-
- その他
- 三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル（案）（平成31年3月）[PDF:552KB] **NEW!**
- 公共測量成果改定マニュアル（平成28年5月）
- 公共測量におけるセミ・ダイナミック補正マニュアル（平成25年6月）[PDF:3.44MB]



- 今後、実際の運用状況を踏まえて、より利用しやすくなるように改善していく予定

ご清聴ありがとうございました。

## 問い合わせ先

国土地理院 企画部 測量指導課

Tel: 029-864-1111 (内線3241, 3253)

国土地理院北海道地方測量部 測量課 公共測量担当

TEL 011-709-2311 (代表) メール [gsi-koukyou-ho@gxb.mlit.go.jp](mailto:gsi-koukyou-ho@gxb.mlit.go.jp)