

# 航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアル（案）

平成31年 3月

国土地理院

## 目次

【序】	概説	1
第1編	総則	3
第2編	航空レーザ測深機を用いた測量	5
第1章	概説	5
第1節	要旨	5
第2節	製品仕様書の記載事項	5
第2章	航空レーザ測深	6
第1節	要旨	6
第2節	作業計画	8
第3節	固定局の設置	10
第4節	測深データの作成	11
第5節	調整点の設置	14
第6節	三次元測深データの作成	17
第7節	オリジナルデータの作成	21
第8節	グラウンドデータの作成	21
第9節	数値地形図データファイルの作成	25
第10節	品質評価	26
第11節	成果等の整理	26
第3章	その他の成果データの作成	27
第1節	概説	27
第2節	作業計画	27
第3節	グリッドデータの作成	28
第4節	等高線データの作成	29
第5節	その他の成果データの作成	30
第6節	品質評価	30
第7節	成果等の整理	30
第3編	資料	31
第1章	標準様式	31
第2章	参考資料	35

## 【序】概説

### 1. はじめに

近赤外波長を使用する航空レーザ測量は、1995年頃に日本に導入されて以来、ハードウェア（特に、レーザ発射頻度）の能力向上及び衛星測位システムの品質向上とともに、データ処理・解析技術も目覚しく発展した。現在、作業規程の準則には、航空レーザ測量システムを用いて陸上地形を計測し、格子状の標高データである数値地形モデル等の数値地形図データファイルを作成する作業を規定している。

航空レーザ測深機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。）は、緑波長のレーザ光を採用して陸水部の標高を面的に取得するための標準的な作業方法をまとめたものである。

従来の近赤外波長を使用する航空レーザ測量と原理は同じであり、取得した三次元点群データからは、格子状の標高データであるグリッドデータや等高線データの作成が可能である。

なお、本マニュアルはレーザ測深機を用いた測量について、現時点での作業方法や精度等を定めたものであるが、今後、検証や事例等の積み上げにより新たな知見が得られた場合は見直す可能性がある。

### 2. 航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアルとは

#### 1) 本マニュアルの使用方法

##### ① 公共測量を実施する場合

国又は地方公共団体等において作業規程の準則を準用している場合、準則第17条（機器等及び作業方法に関する特例）第3項を適用することで、本マニュアルを使用することができる。測量計画機関は、公共測量を実施する際にはあらかじめ測量法第36条（計画書についての助言）に基づく国土地理院の技術的助言を受けなければならないが、その際、提出する計画書に本マニュアル案を使用する旨を記載する。

##### ② 基本測量及び公共測量以外の測量を実施する場合

基本測量及び公共測量以外の測量を実施する場合にも、本マニュアルを利用することができる。利用に当たっては、利用目的に応じて各種基準や精度管理表等が当該測量に適しているかを確認する必要がある。

#### 2) 本マニュアルの構成

本マニュアルは、測量技術としての航空レーザ測深機を用いた測量に対する理解を深め、その利用の普及・促進を図るため、条文、運用基準のほかに解説を加えている。

なお、本マニュアルの全体構成は、以下のとおりである。

##### ① 【序】概説

航空レーザ測深機を用いた測量についての概説、マニュアルの構成等について説明

している。

② 第1編 総則

本マニュアルの目的、航空レーザ測深機を用いた測量を実施するにあたっての条件及びデータの取り扱い等について規定している。

③ 第2編 航空レーザ測深機を用いた測量

航空レーザ測深機を用いた測量を実施するにあたっての工程別作業区分及び作業手法について規定している。

④ 第3編 資料

航空レーザ測深機を用いた公共測量を実施するにあたっての精度管理のための標準様式を規定する。また、本マニュアルを補足するための資料として、参考資料を添付している。

## 第1編 総則

### (目 的)

第1条 本マニュアルは、作業規程の準則（以下、「準則」という）第17条の機器等及び作業方法に関する特例の規定に基づき、航空レーザ測深機を用いた標準的な陸水部の地形測量作業方法を定めることにより、必要な精度の確保に資するとともに、技術の利用促進を図ることを目的とする。

### (用語の定義)

第2条 本マニュアルにおける用語の定義は、次の各号に定めるところによる。

- 一 測深データとは、航空レーザ測深機を用いて得られたデータをいう。
- 二 三次元測深データとは、測深データを統合解析した標高データをいう。
- 三 オリジナルデータとは、調整点等を用いて三次元測深データの点検・補正を行った標高データをいう。
- 四 グラウンドデータとは、オリジナルデータから土地被覆、水面及び水中浮遊物等の測深データを除去した標高データをいう。
- 五 航空レーザ測深用写真地図データとは、航空レーザ測深用数値写真に三次元測深データ等を用いて正射変換を行ったものをいう。

### (準則の準用)

第3条 本マニュアルに定めるもの以外は、準則を準用する。

#### <第3条 運用基準>

準則は、平成28年3月31日国土交通省告示第565号を指すものとする。

#### 【解説】

陸上の測量は、準則の航空レーザ測量を準用することを標準とする。

また、航空レーザ測深機を用いた測量は実用化が進んでいる航空レーザ測量の作業方法と基本的なところは同じであることから、規定に当たっては航空レーザ測量の規定に沿った記述をすることにより、航空レーザ測深機を用いた測量の実用化が円滑に推進されるようにした。

**(作業計画)**

第4条 作業計画は、準則第11条の規定を準用する。

**(工程管理)**

第5条 工程管理は、準則第12条の規定を準用する。

**(精度管理)**

第6条 測量作業機関は、測定の正確さを確保するため、適切な精度管理を行い、その結果に基づいて精度管理表を作成し、これを測量計画機関に提出しなければならない。

2 測量作業機関は、各工程別作業の終了時、その他適切な時期に所要の点検を行わなければならない。

3 測量作業機関は、作業の終了後速やかに点検測定を行わなければならない。

**<第6条 運用基準>**

点検測定は、深浅測定によることを標準とし、航空レーザ測深によることもできるものとする。

本マニュアルに基づく測量成果に対する点検測定率は5%を標準とする。

**【解説】**

点検測定は、測定の正確さを確認することに加え、人的要因や観測条件による誤差など、計画時には予測できずに対策が十分に打てなかったところを把握するために行うものである。このような観点を踏まえて測量計画機関と測量作業機関は、点検測定率を満たす測定の方法や場所を決定し、点検を行わなければならない。

**(測量成果の検定)**

第7条 測量成果の検定は、準則第15条の規定を準用する。

**(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。

## 第2編 航空レーザ測深機を用いた測量

### 第1章 概説

#### 第1節 要旨

##### (要旨)

第9条 「航空レーザ測深機を用いた測量」とは、河川等の調査、維持管理等を目的として、河川等の地形形状（水底、陸上ともに対象）を計測し、三次元点群データやグリッドデータ等を作成する作業をいう。

#### 第2節 製品仕様書の記載事項

##### (測深間隔と計測間隔)

- 第10条 レーザ光線の照射間隔は、水底の測深間隔と、陸上の計測間隔に分けて記載する。
- 2 測深間隔は、河底地形の形状や測深成果の利用目的等によって決定するものとする。
  - 3 計測間隔は、陸上に形状を正確に取得したい人工物（堤防等）がある場合には、その大きさ・形状を考慮して決定するものとする。

##### <第10条 運用基準>

数値地形図データの地図情報レベルに応じたグラウンドデータを作成する場合、レーザ光線の照射間隔は次表の格子間隔の1/1.1から1/1.5を標準とする。

地図情報レベル	格子間隔
500	0.5m以内
1000	1m以内
2500	2m以内
5000	5m以内

##### 【解説】

航空機からレーザ光線が照射される間隔を、水底では測深間隔、陸上では計測間隔とした。

航空レーザ測深機には、水底と陸上を別々のレーザ測距儀で測るものと、同じレーザ測距儀で測るものがあるが、いずれも水底の方が陸上に比べて地表面までレーザ光の到達する割合が少ないのが一般的である。

このような機器の特性を踏まえ、利用目的に応じて航空レーザ測深が行えるように、測深間隔と計測間隔を別々に規定した。

なお、レーザ光の照射間隔及び格子間隔と地図情報レベルの関係は、準則の航空レーザ測量第313条第2項及び第315条第4項に準拠して規定してある。

## 第2章 航空レーザ測深

### 第1節 要旨

#### (要旨)

第11条 「航空レーザ測深」とは、航空レーザ測深機を用いて、測深データを取得し、三次元測深データ、オリジナルデータ、グラウンドデータを作成することをいう。

#### 【解説】

整備される数値地形モデルの構造は、ランダムポイント構造とした。

これは、航空レーザ測深では、河川の水質や植生の密生度等の影響により測深できない範囲が多く発生するケースや、河岸など地形形状が急変する箇所ではその形状をグリッド構造や不整三角網（TIN）構造で正確に表現できないケースが危惧されるためである。

#### (工程別作業区分及び順序)

第12条 工程別作業区分及び順序は、次を標準とする。

- 一 作業計画
- 二 固定局の設置
- 三 測深データの作成
- 四 調整点の設置
- 五 三次元測深データの作成
- 六 オリジナルデータの作成
- 七 グラウンドデータの作成
- 八 数値地形図データファイルの作成
- 九 品質評価
- 十 成果等の整理

#### 【解説】

航空レーザ測深で整備する標準的な成果は「グラウンドデータ」とし、「グリッドデータ」「等高線データ」は、必要に応じて作成する「その他の成果データ」として第3章に整理した。

水質調査や補備測量（深淺測量等）は、航空レーザ測深の品質確保にとって非常に重要な作業である。水質調査の方法については既存の調査計測事例より、透明度や濁度と相関関係がみられたことから、白色盤（セッキ板）もしくは濁度計による水質調査を標準とするのが望ましい。また、補備測量はその作業量を予め把握することが困難なことから、工程別作業区分には含めず、作業を行う場合の標準的な方法を参考資料に整理した。



### (精度)

第13条 航空レーザ測深の精度は、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。

区分	精度 (標準偏差)
陸部の標高	0.3m 以内
水部の標高	0.3m 以内

### 【解説】

光は一定の速度で進むため、進んだ時間を計れば距離を求めることができる。航空レーザ測深も光の一種であるレーザ光を使用しているため、同じことがいえる。これを地球上の高さに変えるには、照射の位置と方向を GNSS/IMU で求めるとともに、水面でのレーザ光の屈折による光路の変化を補正する必要がある。

この航空レーザ測深の精度は既存の調査計測事例を用いて精度検証した結果から、上記の精度を規定している。

実際の測深作業でこの精度を確保するには、水中の濁り等から反射したレーザ光による点データを除去し、水底からの反射光による標高値のみを抽出する「フィルタリング作業」を適切に実施する必要がある。具体的には、

- 反射光がノイズか水底からなのかを区別し、水底からの反射光による標高値を適切に判別できている必要がある (図 1)。
- 濁り等の層が厚いため水底までレーザ光が届かず、深くなるにつれて減衰している反射光は適宜取り除く必要がある (図 2)。

上記のフィルタリング処理を適切に実施した場合、水質の影響により水底が測深できない範囲が広がるが、その場合は低密度ポリゴンにより上記の精度を確保すべき範囲の対象外として整理する。

なお、測深データにおける精度と水質等の環境との相関については、今後も継続的に検証を行うことが重要である。

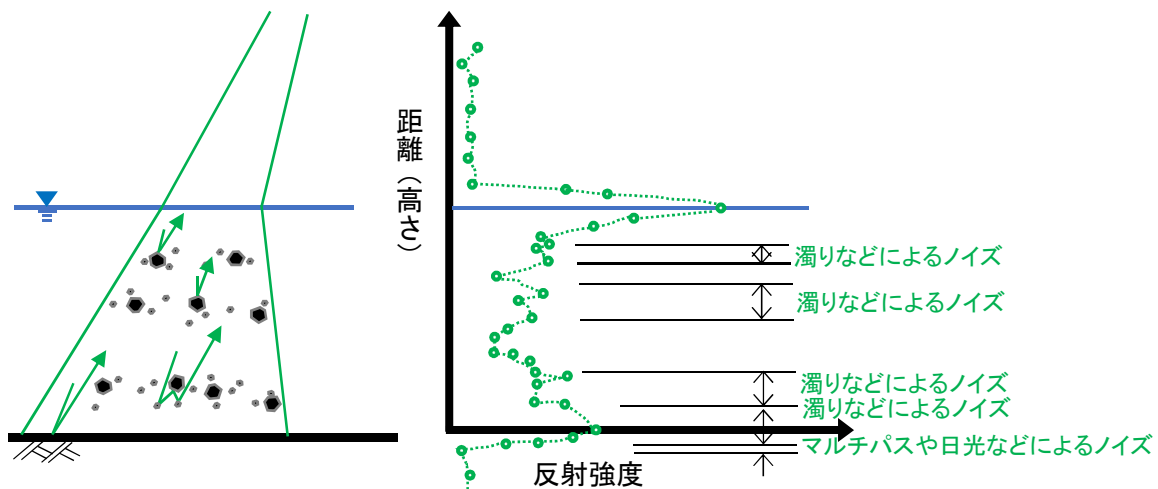


図1 レーザ光の水中での反射の概念（水底が判定可能）

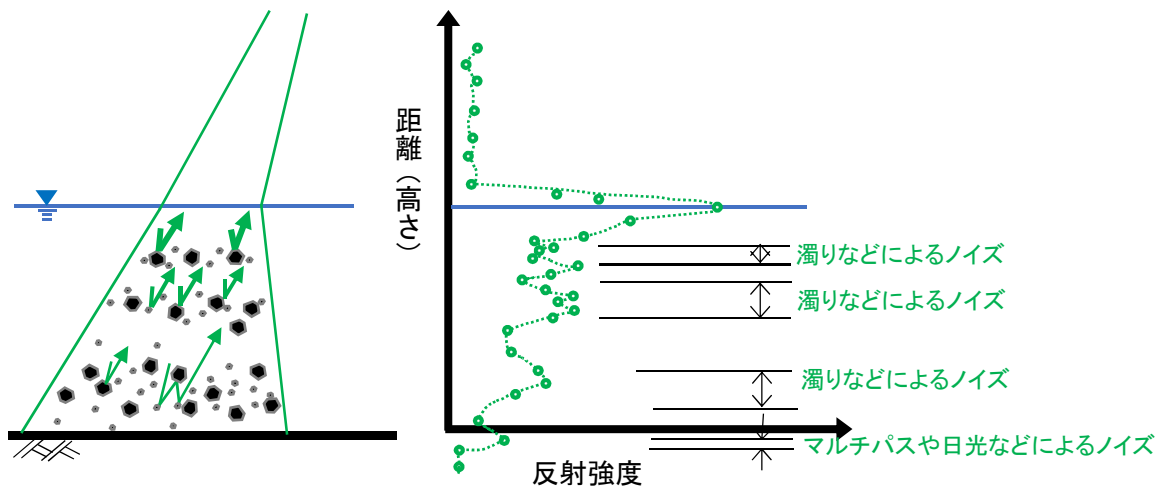


図2 レーザ光の水中での反射の概念（全体に濁りがあり水底が判定不能）

## 第2節 作業計画

### （作業計画）

第14条 作業計画は、第4条 によるほか、工程別に作成するものとする。

#### <第14条 運用基準>

1. 航空レーザ測深は、GNSS 衛星配置等を考慮し、測深諸元、飛行コース、固定局の設置場所、GNSS 観測及び河川調査について計画し、必要とする測深間隔あるいは計測間隔が得られるようにするものとする。
2. 測深諸元は、対地高度、対地速度、コース間重複度(%)、スキャン回数、スキャン角度、及びパルスレートを標準とする。

3. 水底と陸上は、同時に測深することを標準とする。
4. 航空レーザ測深と同時に、航空レーザ測深用数値写真も撮影することを標準とする。
5. 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 コース以上の複数の飛行コースにより測深することを標準とする。飛行コースは、等高度直線または等対地高度直線とする。
6. 飛行コース両端は、河口部等、特別な場合を除き、陸上とする。
7. 飛行コース間の重複度は、30 パーセントを標準とする。
8. 隣接する直線区間の飛行コース同士は、交差していることを原則とする。
9. 測深対象地域は、作業地域の外周を 5 メートル以上延伸した範囲とする。
10. 固定局の設置場所は、上空視界や基線距離等を考慮して計画するものとする。
11. GNSS 観測計画は、最新の軌道情報を用いて受信可能な衛星数等を考慮して行うものとする。
12. 航空レーザ測深の日時は、次の各号に留意して決定する。
  - 一 河川の水質
  - 二 河川の水位
  - 三 水辺の植生密生度
13. 河川の水質については、支川も含めて影響を与えるものを次のとおり調査する。調査実施のタイミングについては、測量計画機関と測量作業機関で協議して決定する。
  - 一 事前の資料収集による作業地域の概況把握
  - 二 直前の天候（出水等）による水質の低下の有無の確認
  - 三 水質に影響を与える工事の状況等の確認
  - 四 支川等からの河川の水質を低下させるものの流入の有無の確認
  - 五 その他
14. 水質調査結果は、水質調査記録簿に整理する。

#### 【解説】

河川は、複雑な流路を形成している。流路の曲がりくねりの大きさによっては未測深が発生しやすくなったり、現地の標高との整合を図るための調整点の設置場所が少なくなることも考えられる。このような状況を踏まえ、最低 2 コースを対として測深することを標準とし、複数の飛行コースによる測深を標準とした。

また、隣接する直線区間の飛行コース同士の高さを調整しやすくするために、飛行コースを陸上まで延ばすとともに、隣接する直線区間の飛行コース同士を交差させることを原則とした。

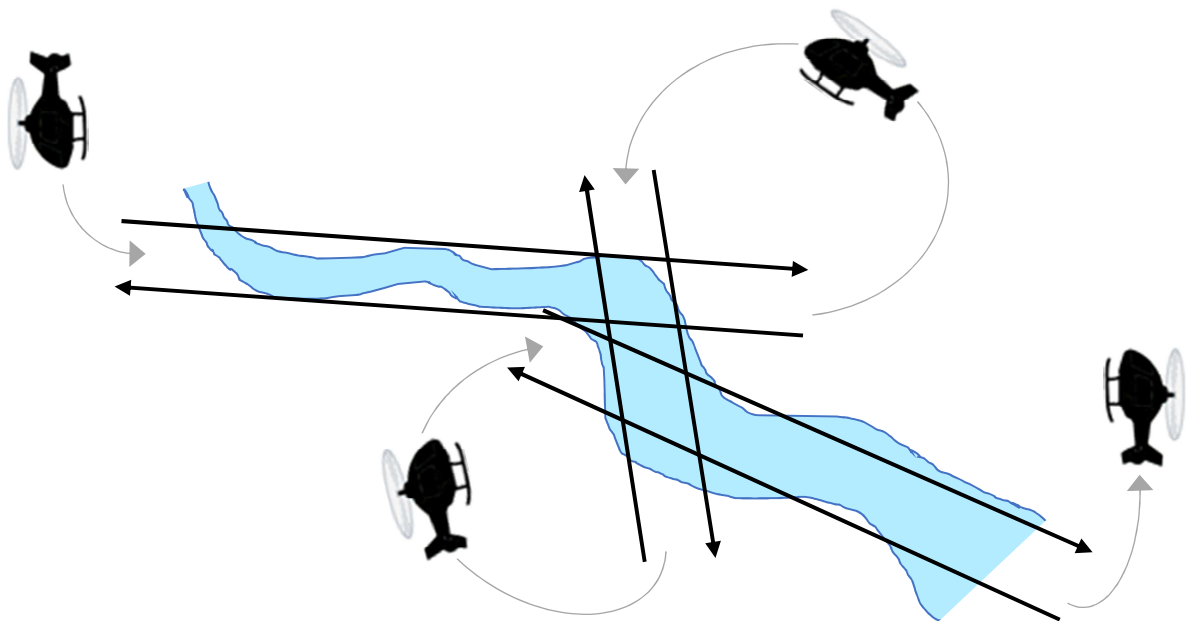


図 1 直線区間における複数コースの計画

航空レーザ測深の精度には水質が影響する。水質は調査時期にも大きく左右されるため、測量計画機関は河川の特徴、特に水質に配慮して調査時期を決定することが重要である。

水質調査記録簿は、本マニュアルの付属資料に標準様式を示す。

既存の調査計測事例における水質調査成果では、透明度と計測可能深度とは相関の可能性が、濁度と計測可能深度とは逆相関の可能性のあることから、この2つを調査項目として採用することを推奨する。

水質に対する測深精度の考え方については今後、航空レーザ測深の事例を収集、整理した後に示すこととする。

### 第3節 固定局の設置

#### (固定局の設置)

第15条 「固定局の設置」とは、航空レーザ測深において、レーザ測距装置の位置をキネマティック法で求めるための地上固定局を設置することをいう。

#### <第15条 運用基準>

1. 固定局の設置は、測深対象地域内の基線距離が50キロメートルを超えないように選定するものとする。
2. 固定局には、電子基準点を用いることを原則とする。

3. 新たに固定局を設置する場合は、1級基準点測量及び3級水準測量により水平位置及び標高値を求めるものとする。
4. 固定局を設置した場合は、固定局明細表を作成するものとする。

#### (固定局の点検)

第16条 固定局の点検は、固定局の設置時に状況調査を行い、次の各号について行うものとする。

- 一 上空視界の確保及びデータ取得の有無
- 二 測深対象地域における選定の良否
- 三 固定局の水平位置及び標高値精度の確保
- 四 GNSS アンテナの固定の確保

### 第4節 測深データの作成

#### (測深データの作成)

第17条 「測深データの作成」とは、航空レーザ測深機を用いて、測深データを作成する作業をいう。

#### (航空レーザ測深機)

第18条 航空レーザ測深機は、GNSS/IMU装置、レーザ測距装置及び解析ソフトウェアから構成するものとする。

#### <第18条 運用基準>

1. 航空レーザ測深機を構成する機器等の性能は、次のとおりとする。
  - 一 航空機搭載のGNSSアンテナ及び受信機
    - イ GNSSアンテナは、航空機の頂部に確実に固定できること。
    - ロ GNSS観測データを1秒以下の間隔で取得できること。
    - ハ 2周波で搬送波位相を観測できること。
  - 二 キネマティック解析ソフトウェアは、次の機能を有するものを標準とする。
    - イ キネマティック解析にて基線ベクトルの解析ができること。
    - ロ 解析結果の評価項目を表示できること。
  - 三 GNSS測量機は、次表に掲げるもの又はこれらと同等以上の性能を有するものとする。

項目	性能
水平成分	0.3m
高さ成分	0.3m

#### 四 IMU

- イ IMU は、センサ部のローリング、ピッチング、ヘディングの三軸の傾き及び加速度が計測可能で、解析結果の標準偏差及びデータ取得間隔が次表に掲げるもの又はこれらと同等以上の性能を有すること。

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
データ取得間隔	0.005 秒

- ロ IMU は、レーザ測距装置に直接装着できること。

#### 五 レーザ測距装置

- イ 反射波の記録形式は、波形記録形式であること  
 ロ スキャン機能を有すること。  
 ハ 眼等の人体への悪影響を防止する機能を有していること。  
 ニ 安全基準が明確に示されていること。  
 ホ レーザ測距儀は、水底、水面、陸上を測深できる機能を備えていること。

#### 六 解析ソフトウェア

- イ 測深した三次元位置が算出できること。  
 ロ 水中の屈折率を補正解析する機能を有すること。

- 七 航空レーザ測深機は、ボアサイトキャリブレーションを実施したものを、キャリブレーションの有効期間は6ヶ月とする。

- 八 機器点検内容を記録した点検記録は、作業着手前に作成するものとする。

#### (測深データの取得)

第19条 測深データの取得は、固定局のGNSS観測データ、航空機上のGNSS観測データ、IMU観測データ及びレーザ測距データについて行うものとする。

#### <第19条 運用基準>

1. 同一コースの航空レーザ測深は、直線かつ等高度で行うことを標準とする。ただし、回転翼航空機を利用する場合はこの限りではない。
2. 同一コースにおける対地速度は一定の速度を保つように努めるものとする。
3. GNSS観測については、次のとおり行うものとする。
  - 一 固定局及び航空機上のGNSS観測のデータ取得間隔は1秒以下とする。

- 二 取得時の GNSS 衛星の数は、準則第 37 条第 2 項第二号の規定を準用する。
  - 三 GNSS 観測結果等は、GNSS 衛星の配置等を記載した手簿、記録簿等の資料、基線解析結果等を記載した精度管理表に整理する。
4. スキャン角度は、±20 度以内を標準とする。

**【解説】**

海での測深を対象として設計された航空レーザ測深機の緑レーザは、水中を進むための強度がレーザ光に要求されるため、スキャン角は航空レーザ測量よりも抑制されている。内水面では海面に比べて波高は無視できる大きさであるため、航空レーザ測深機が採用している仕様をもとにスキャン角は±20 度以内で計測するように規定した。

**(航空レーザ測深用数値写真の取得)**

第 20 条 航空レーザ測深用数値写真は、空中から地表および水部を撮影した画像データで、フィルタリング及び点検のために撮影するものとする。

<第 20 条 条運用基準>

航空レーザ測深用数値写真は、次の各号に留意して撮影するものとする。

- 一 航空レーザ測深と同時期に撮影することを標準とする。
- 二 地表遮蔽物が確認できる解像度とし、地上画素寸法は 0.25 メートル以内を標準とする。地表遮蔽物とは、建物・橋等の人工構造物や樹木等の植生で、その表面の高さが地形面の高さと著しく異なる土地被覆をいう。
- 三 撮影は、測深対象地域を網羅する範囲とする。

**【解説】**

地上画素寸法を 0.25 メートル以内とし、作業規程の準則第 321 条 2 項の航空レーザ測量の規定で示されている地上画素寸法 1.0 メートル以下よりも高解像度としたのは、現状の機器性能では 0.25 メートル以内が達成されているためである。

**(測深データの点検)**

第 21 条 測深データの点検は、航空レーザ測深終了時に、速やかに行い、精度管理表等を作成し、再測深が必要か否かの判定を行うものとする。

<第 21 条 運用基準>

点検は、次の各号について行うものとする。

- 1. 測深データの取得状況と撮影範囲
  - 一 固定局、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
  - 二 サイクルスリップ状況の有無
  - 三 航空レーザ測深範囲の良否
  - 四 航空レーザ測深用数値写真の撮影範囲及び画質の良否
  - 五 飛行高度及び飛行コースの良否
- 2. キネマティック解析結果の点検は、飛行コース上において次の各号について行うも

のとする。

- 一 最少衛星数
  - 二 DOP (PDOP、HDOP、VDOP) 値
  - 三 位置の往復解の差
  - 四 解の品質
  - 五 位置の標準偏差の平均値と最大値
3. 最適軌跡解析結果の点検は、飛行コース上において次の各号について行うものとする。
- 一 GNSS 解と IMU 解の整合性
  - 二 位置の標準偏差の平均値と最大値
  - 三 姿勢の標準偏差の平均値と最大値
4. 測深データの点検は、次の各号について行うものとする。
- 一 コースごとの測深漏れ
  - 二 飛行コース上の飛行軌跡
5. 点検資料として、次の各号について作成するものとする。
- 一 キネマティック解析処理時に出力される測深時間帯の衛星数及びPDOP図
  - 二 コースごとの測深範囲を重ね書きした測深漏れの点検図
  - 三 飛行コース上に飛行軌跡を展開した航跡図
  - 四 航空レーザ測深記録
  - 五 航空レーザ測深作業日誌
  - 六 GNSS 衛星の配置等を記載した手簿、記簿
  - 七 GNSS/IMU 計算精度管理表
6. 電子基準点以外の固定局を使用した場合には、点検資料として次の各号について作成するものとする。
- 一 固定局観測記録簿
  - 二 GNSS 観測データファイル説明書
7. 点検結果により、再測深の必要がある場合は、速やかに行うものとする。

#### 【解説】

測深データの点検事項は、準則の航空レーザ測量と同じとする。

## 第5節 調整点の設置

### (調整点の設置)

第22条 「調整点の設置」とは、三次元測深データの点検及び調整を行うための基準となる点（以下「調整点」という。）を陸上部に設置する作業をいう。

#### <第22条 運用基準>

調整点の設置は、次の各号により行うものとする。

- 一 設置場所は、測深間隔の2倍から3倍の広さがある平坦地とする。



- 二 設置位置は、作業地域の上流端と下流端に各 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標準とする。

【解説】

調整点は、GNSS によって決定された測深データの標高を、水準測量によって測量された標高と整合させる役割を担うものである。航空レーザ測深機からのレーザ光が 4、5 点照射される広さを持った平らな土地や構造物上に設置する。

調整点の設置場所は、河川敷や天端などが想定される。なお、裸地でなければならず、草などに覆われている場合には草を刈り取り、その上に板などの平坦なものを設置する必要がある。

点数については航空レーザ測量で規定されている「作業地域の面積 (km<sup>2</sup>) を 25 で割った値に 1 を足した値」を長さに換算して規定した。

なお、調整点による三次元測深データの標高調整 (オリジナルデータの作成) は、陸上を計測したレーザ計測値のみによって行う。水底を測深するレーザ測深は、ボアサイトキャリブレーションによって陸上のレーザ計測値との整合が図られているため、陸上のレーザ計測値で調整することによって、自ずと調整される。

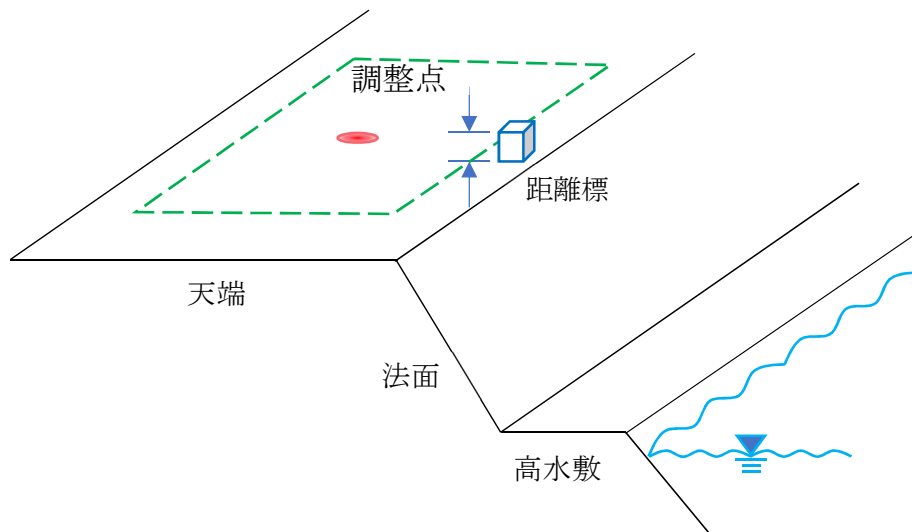
(調整点の測定)

第 2 3 条 調整点の測定は、次の各号のとおりとする。

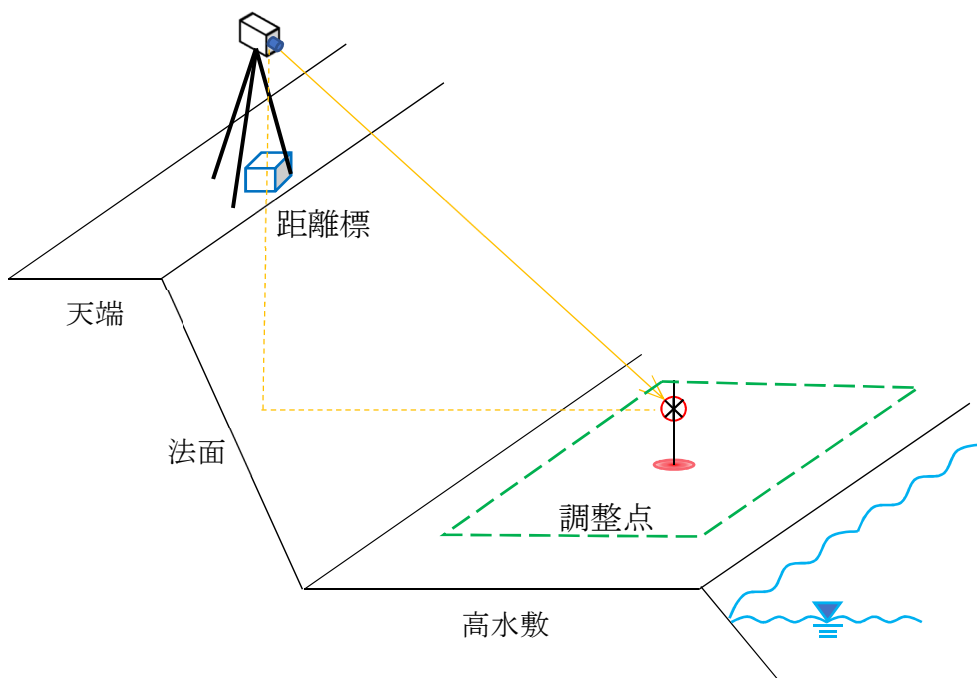
- 一 水平位置の測定は、準則第 2 編第 2 章で規定する 4 級基準点測量により行う。  
ただし、近傍に必要な既知点がない場合には、準則第 5 9 条第 6 項第二号に規定する単点観測法に準じて行うことができる。
  - 二 標高の測定は、準則第 2 編第 3 章で規定する 4 級水準測量により行う。ただし、近傍に必要な水準点がない場合には、測定する調整点に最も近い 2 点以上の水準点を既知点として準則第 2 編第 2 章基準点測量に規定する GNSS 観測のスタティック法または「GNSS による標高の測量マニュアル (平成 29 年 2 月 27 日改正)」に準じて行うことができる。
  - 三 標高の測定は、水準点が隣接して設置されている場合は、水準点から調整点までの高さを測定し、偏心することができる。
  - 四 標高の測定は、水準点が近傍に設置されている場合は、水準点から調整点までの偏心距離及び偏心角を測定し、偏心計算により行うことができる。
- 2 調整点配点図及び調整点明細表を作成するものとする。なお、調整点明細表には現況等を撮影した写真を添付する。

【解説】

河川には、水準基標測量及び定期縦断測量によって、標高が取り付けられた水準基標や距離標が存在することが多い。この標高を調整点標高への取り付けに利用することによって、河川管理の標高との整合が高まる。このとき採用される測量手法は、巻尺や TS による間接水準測量と考えられる。



(a) 距離標と調整点が隣接



(b) 距離標と調整点が近傍

図 2 調整点の偏心

## 第6節 三次元測深データの作成

### (三次元測深データの作成)

第24条 「三次元測深データの作成」とは、測深データと最適軌跡解析データを統合解析し、測深位置の三次元座標データを作成する作業をいう。

#### <第24条 運用基準>

三次元測深データにおける座標値は、センチメートル位とする。

#### 【解説】

本マニュアルが想定している航空レーザ測深機は、レーザ測距儀の使い方で2種類に分類できる。ひとつは、緑レーザで水底を測深し、近赤レーザで陸上と水面を測深する機種であり、もうひとつは、緑レーザで水底と陸上の測深を行い、近赤レーザで水面を測深する機種である。どちらの方式であっても、計測されたデータから陸上のデータ、水面のデータ、水底のデータを分類することが可能である。

なお、水部のみを測深することに絞って設計された緑レーザは陸上の計測も可能であるが、スポット径が大きく設計されているため、陸上を計測したデータ利用では注意が必要である。

分類の方法は、ファイル分けや色分け、あるいは属性付けなどが考えられる。

これにより水底と陸上で異なる地形形状や土地被覆に対し、それぞれに適したフィルタリング処理を行い易くする。

### (三次元測深データの点検)

第25条 三次元測深データの点検は、調整点との比較により行うものとする。

#### <第25条 運用基準>

1. 調整点と三次元測深データとの比較点検は、次のとおりとする。
  - 一 調整点と比較する三次元測深データは、所定の測深間隔と同一半径の円又は2倍辺長の正方形内の測深データを平均したものとする。
  - 二 各調整点において調整点と三次元測深データとの較差を求め、その平均値とRMS誤差等を求めるものとする。
  - 三 すべての調整点において三次元測深データの平均値との較差を求め、その平均値との標準偏差等を求めるものとする。
  - 四 点検結果は、三次元測深データ点検表及び調整点調査表に整理するものとする。
2. 前項の点検の結果に対する措置は、次のとおり行うものとする。
  - 一 各調整点における点検の結果、較差の平均値の絶対値が25センチメートル以上又はRMS誤差が30センチメートル以上の場合は、原因を調査の上、再計算処理又は再測等の是正処置を講じる。

- 二 すべての調整点での点検の結果、較差の平均値の絶対値が 25 センチメートル以上又は標準偏差値が 25 センチメートル以上の場合は、原因を調査の上、再計算処理又は再測等の是正処置を講じる。ただし、較差の傾向が、作業地域全体で同じ場合は第 33 条の規定に基づき補正を行う。

**(コース間標高値の点検)**

第 26 条 コース間標高値の点検は、コース間の重複部分に点検箇所を選定し、コースごとの標高値の比較点検を行うものとする。

＜第 26 条 運用基準＞

1. 点検箇所を選定と点検は、次のとおりとする。
  - 一 点検箇所の数は、(コース長 km/10+1) の小数点以下切り上げとする。
  - 二 点検箇所の配置は、陸域の重複部分のコースの端点にとり、重複部分の上下に均等に配置することを標準とする。ただし、陸域が存在しない場合はこの限りではない。
  - 三 山間部、線状地域等の地形条件の場合は配置および点数を変更することができる。
  - 四 点検箇所の標高値は、平坦で明瞭な地点を選定し、計測間隔と同一半径の円又はおおむね 2 倍の辺長の正方形内の測深データを平均したものとす。
  - 五 重複コースごとの各コースの点検箇所の標高値の較差を求め、較差の平均値等を求めるものとする。
  - 六 重複コースごとの標高値の較差の平均値の絶対値が 30 センチメートル以上の場合は、点検箇所の再選定または点検結果からキャリブレーション値の再計測と測深データの再補正を行うものとする。
2. コース間標高値の点検の整理は、コース間点検箇所残差表で行うものとする。また、配点図は、コース間点検箇所配点図を作成するものとする。

**【解説】**

コース間検証点は、陸域に設置することを標準とする。これは、調整点と同様に水面下は視認性が悪く平坦地の選定が困難であることに起因する。なお、航空レーザ測量や航空レーザ測深のコース間点検は、重複部分で同一箇所を直接レーザ計測することが難しいことから、コース間検証点とする箇所の周囲のレーザ計測点の平均標高値を比較する。そのためコース間検証点は平坦地に配置する。

#### (再点検)

第27条 作業終了時には、調整点配点図、調整点明細表、三次元測深データ点検表、調整点調査表、コース間点検箇所配点図及びコース間点検箇所残差表を作成し、これらに航空レーザ測深用数値写真を用いて、次の各号の点検を行うものとする。

- 一 調整点の配点及び設置箇所の適否
- 二 調整点と三次元測深データとの較差の平均値と標準偏差の適否
- 三 点検箇所の配点と選点箇所の適否
- 四 点検箇所の標高値の較差の平均値と標準偏差の適否

#### (航空レーザ測深用写真地図データの作成)

第28条 航空レーザ測深用写真地図データの作成は、航空レーザ測深用数値写真及び三次元測深データを用いて正射変換により行うものとする。

#### <第28条 運用基準>

1. 航空レーザ測深用写真地図データファイルの作成は、次の各号により行うものとする。
  - 一 正射変換は、陸上及び水面の標高を使用して行うことを原則とする。
  - 二 ファイルの単位は、国土基本図図郭の単位を原則とする。
  - 三 データの形式は、**TIFF** とする。
  - 四 地上画素寸法は **0.25** メートル以下を標準とする。
  - 五 位置情報ファイルは、ワールドファイル形式とする。

#### (水部ポリゴンデータの作成)

第29条 水部ポリゴンデータは、水面標高から作成することを標準として、必要に応じて航空レーザ測深用写真地図データを使用して作成する。

#### 【解説】

水部ポリゴンデータは、陸部と水部の精度管理を分けて行えるよう、水中からの反射によって作成された標高値を特定するために作成する。

ただし、水中から反射してきたレーザ光を的確に捉えることができない場合もある。このような場合、水部ポリゴンは航空レーザ測深用写真地図データを使用して水部の範囲を計測して作成する。

#### (欠測率の計算)

第30条 欠測率の計算は、測深間隔及び計測間隔に基づき決定する格子間隔を単位とし、レーザの反射光を取得出来ていない範囲の割合を算出するものとする。

#### <第30条 運用基準>

1. 欠測箇所は、第10条に規定された格子間隔で作業範囲を格子状に区切り、三次元測深データがない格子とする。
2. 欠測率は、作業範囲全体の格子数に対し、欠測している格子の数の割合をいい、次の計算式で求めるものとする。  
欠測率= (欠測格子数/作業範囲全体の格子数) ×100
3. 計算単位は、水面と陸上に分け、国土基本図図郭ごとに行い、欠測率調査表に整理するものとする。
4. 欠測率は、格子間隔が1メートルを超える場合は10パーセント以下、1メートル以下の場合は15パーセント以下を標準とする。

#### 【解説】

航空レーザ測深は、風などによる航空機の揺動によって、測深の密度に粗密が発生する。欠測率は、この粗密の度合いを管理するために実施する。

#### (三次元測深データの結合)

第31条 近赤外レーザと緑波長レーザの2種類以上の計測データを取得した場合には三次元測深データを結合するものとする。

#### (データの点検)

第32条 データの点検は、図形編集装置等を用いて行うものとする。

- 2 後処理及び品質評価に必要となる調査を、必要に応じて現地にて行うものとする。

#### <第32条 運用基準>

1. 点検は、次の各号について行うものとする。
  - 一 航空レーザ測深用写真地図データの画像接合部の著しいずれの有無
  - 二 水部ポリゴンデータの取得漏れの有無
  - 三 水部ポリゴンデータ接合の良否
  - 四 欠測率の良否
  - 五 三次元測深データ結合の良否
2. 欠測範囲については、水質の状況も踏まえて補測の要否・方法を検討する。

## 【解説】

河床は流水によって絶えず変動していることから補測は航空レーザ測深を実施した時期と極力時間を空けずに実施する必要がある、早めに補測の要否を判定することが重要である。

## 第7節 オリジナルデータの作成

### (オリジナルデータの作成)

第33条 「オリジナルデータの作成」とは、三次元測深データから調整点成果を用いて点検・補正した三次元座標データを作成する作業をいう。

#### <第33条 運用基準>

1. 調整点と三次元測深データとの較差の平均値の絶対値が25センチメートル以上の場合は、地域全体について補正を行うものとする。
2. 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。

### (オリジナルデータの点検)

第34条 オリジナルデータの点検は、補正を行う場合は、オリジナルデータ作成の補正前及び補正後において点検を行い、作業の終了時において再点検を行うものとする。補正を行わない場合は、調整点成果を用いた点検を行う。

#### <第34条 運用基準>

1. 補正を行い、オリジナルデータを作成した場合は、補正後の較差の平均値と標準偏差が許容範囲内であるかを調整点残差表により点検するものとする。

## 第8節 グラウンドデータの作成

### (グラウンドデータの作成)

第35条 「グラウンドデータの作成」とは、オリジナルデータからフィルタリング処理により水底地形及び陸上地形の地表面の三次元座標データを作成する作業をいう。

#### <第35条 運用基準>

1. グラウンドデータは、作業地域の外周を5メートル以上延伸した範囲とする。
2. 「フィルタリング」とは、地形面以外のデータを取り除く作業をいい、水底地形及び陸上地形に分けて行う。

3. 水底地形のフィルタリングは、水中の濁り等から反射したレーザ光による点データを取り除く。
4. 陸上地形のフィルタリングは、次表の対象項目を標準とする。

交通設備	道路施設等	道路橋（長さ 5m 以上）、高架橋、横断歩道端照明灯、信号灯、道路情報板等
	鉄道施設	鉄道橋（長さ 5m 以上）、高架橋（モノレールの高架橋含む）、跨線橋、プラットホーム、プラットホーム上屋、架線支柱、信号灯支柱
	移動体	駐車車両、鉄道車両、船舶
建物等	建物及び附属施設等	一般住宅、工場、倉庫、公共施設、駅舎、無壁舎、温室、ビニールハウス、競技場のスタンド、門、プール（土台部分含む）、へい
小物体		記念碑、鳥居、貯水槽、肥料槽、給水塔、起重機、煙突、高塔、電波塔、灯台、灯標、運輸管（地上、空間）、送電線
水部等		浮き桟橋、水位観測施設、河川表示板、漁業関連施設
植生		樹木 <sup>※1</sup> 、竹林 <sup>※1</sup> 、生垣 <sup>※1</sup> 、水生植物 <sup>※1</sup> 、浮草 <sup>※1</sup>
その他	その他	大規模な改変工事中の地域 <sup>※2</sup> 、地下鉄工事等の開削部、資材置場等の材料、資材
備考		<p>※1 地形面として、判断できる部分は可能な限り採用するものとする。</p> <p>※2 地形面として、ほぼ恒久的であると判断できるものは採用するものとする。</p>

#### （低密度ポリゴンデータの作成）

第36条 低密度ポリゴンデータは、フィルタリング結果を用いてグラウンドデータが低密度になった範囲を対象に作成するものとする。

- 2 低密度ポリゴンデータは、水底と陸上毎に、計測不可範囲と計測不足範囲に分類して作成する。

#### 【解説】

「計測不可範囲」は、フィルタリング作業後のデータにおいて、レーザの反射光が広い範囲で取得出来ておらず、補測（深浅測量等）が必要な範囲をいう。

「計測不足範囲」は、フィルタリング作業後のデータにおいて、レーザの反射光が広い範囲で疎らにしか取得出来ていないが、後にグリッドデータを作成する場合、内挿補間により補える範囲をいう。

具体的な計測不可範囲の広さや計測不足範囲の密度は、河川測量の目的によって変わってくる。



計測不可範囲と計測不足範囲で構成される低密度ポリゴンと測深範囲を示す水部ポリゴンは、精度の管理に利用される。この概念を示したのが、図3である。川の中には、支川から流れ込んできた濁りが徐々に広がり、計測不可範囲から計測不足範囲に変化していくことを表現している（図3のA地点）。陸上（高水敷き）では、密生した河川植物によって広くレーザ計測が行えなかったことを示している（図3のB地点）。

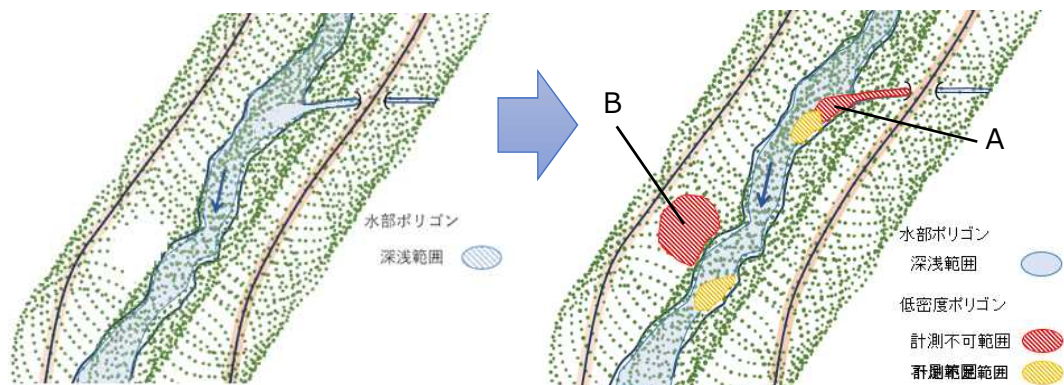


図3 品質管理の概念図

**(既存データとの整合・接合)**

第37条 既存の成果（航空レーザ測量成果または航空レーザ測深成果）との整合・接合は、次のとおりとする。

- 一 整合は、既存の成果が使用した調整点を用いることが可能な場合にその調整点にあわせてグラウンドデータの補正を行い、既存の成果と比較及び点検を行うものとする。
- 二 既存の航空レーザ測深成果との水底の接合は、新規に作成するデータの作業範囲界の位置で結合するものとする。
- 三 既存の成果との陸上での接合は、重複範囲の地形形状を考慮して、データ間の差異に起因する地形変化箇所が露わにならないよう、必要に応じて編集して結合する。

<第37条 運用基準>

既存の航空レーザ測量成果との接合箇所は次を標準とし、段差が生じないようにする。

- 一 天端の端
- 二 地形急変箇所

(標高データの統合)

第38条 水底と陸上の標高データは、ひとつのデータファイルに統合するものとする。

(フィルタリング点検図の作成)

第39条 フィルタリング点検図は、フィルタリングが適切に行われたか否か、作成されたグラウンドデータの異常の有無について点検するために作成するものとする。

<第39条 運用基準>

1. フィルタリング点検図は、「陰影段彩等の地形解析図データと等高線データの重ね合せ図」及び「航空レーザ測深用写真地図データ、オリジナルデータ、水部ポリゴン及び低密度ポリゴンの重ね合せ図」の2種類を作成するものとする。ただし、航空レーザ測深用写真地図データが作成されていない場合は、航空レーザ測深用写真地図データに代えてオリジナルデータから作成された陰影段彩図等とすることができる。
2. フィルタリング点検図は、国土基本図図郭単位で作成するものとする。
3. フィルタリング点検図は、陸水部の計測間隔の地図情報レベルに該当した縮尺で出力するものとする。
4. 「陰影断彩等の地形解析図データ及び等高線データの重ね合せ図」における等高線の間隔及び色区分は、次表を標準とする。また、計曲線には等高線データ数値を付加し、凹地については凹地記号をそれぞれ付加するものとする。

等高線種類	間隔	色区分
計 曲 線	5m	黄色
主 曲 線	1m	赤色

5. 「航空レーザ測深用写真地図データ、オリジナルデータ及び低密度ポリゴンの重ね合せ図」における色区分は、次表を標準とする。

項 目	色 区 分
オリジナルデータでグラウンドデータとして採用された点	赤色
オリジナルデータでフィルタリングにより削除された点	黄色
水部ポリゴンの境界線	紺色
低密度ポリゴンの境界線	緑色

6. フィルタリング点検図は、作業地域の外周を5m以上延伸した範囲について作成するものとする。

**(フィルタリングの点検)**

第40条 フィルタリングの点検は、フィルタリング点検図を用いる。

＜第40条 運用基準＞

1. 次の各号について行うものとする。
  - 一 第35条4項に規定するフィルタリング対象項目のオリジナルデータ採否の適否
  - 二 水部ポリゴン範囲の適否
  - 三 低密度ポリゴン範囲の適否
2. フィルタリングの良否の判断が困難な場合は、図形編集装置を用いた断面表現等により点検するものとする。

## 第9節 数値地形図データファイルの作成

**(要旨)**

第41条 本節において「数値地形図データファイルの作成」とは、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、電磁的記録媒体に記録する作業をいう。

＜第41条 運用基準＞

1. 数値地形図データファイルは、次の各号を標準とする。
  - 一 オリジナルデータ
  - 二 グラウンドデータ
  - 三 水部ポリゴンの境界線
  - 四 低密度ポリゴンの境界線
  - 五 航空レーザ測深用写真地図データ
  - 六 位置情報ファイル
  - 七 現地調査表
  - 八 格納データリスト
2. 図郭割りは、国土基本図図郭割りに準拠する。

**【解説】**

数値地形図データファイル仕様は、準則に規定されているファイル仕様及びLASファイル仕様で検討する。

標高以外の成果品として、水部ポリゴン、測深不可ポリゴン、不足ポリゴンが必要である。測深不可ポリゴン及び不足ポリゴンは低密度ポリゴンとしてファイル化する。

## 第 10 節 品質評価

### (品質評価)

第 42 条 数値地形図データファイルの品質評価は準則第 44 条の規定を準用する。

## 第 11 節 成果等の整理

### (メタデータの作成)

第 43 条 数値地形図データファイルのメタデータの作成は準則第 45 条の規定を準用する。

### (成果等)

第 44 条 成果等は、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 作業記録
- 三 品質評価表及び精度管理表
- 四 メタデータ
- 五 その他の資料

## 第3章 その他の成果データの作成

### 第1節 概説

#### (要旨)

第45条 「その他の成果データの作成」とは、航空レーザ測深によって得られたグラウンドデータをもとに、グリッドデータや等高線データを作成することをいう。

#### 【解説】

グラウンドデータに計測不可範囲や不足範囲がある場合、それをもとにグリッドデータや等高線データを作成する際には、グラウンドデータからの内挿が必要となるが、品質に留意しなければならない。

確実に品質が担保されたグリッドデータや等高線データを作成するには、別途、計測不可範囲や不足範囲に対して補測を行うことが望ましい。

#### (工程別作業区分及び順序)

第46条 工程別作業区分及び順序は、次を標準とする。

- 一 作業計画
- 二 グリッドデータの作成
- 三 等高線データの作成
- 四 数値地形図データの作成
- 五 品質評価
- 六 成果等の整理

### 第2節 作業計画

#### (作業計画)

第47条 作業計画は、第4条 によるほか、工程別に作成するものとする。

### 第3節 グリッドデータの作成

#### (グリッドデータの作成)

第48条 「グリッドデータの作成」とは、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する作業をいう。

#### <第48条 運用基準>

1. 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)
格子間隔内にグラウンドデータがある場合	0.3m 以内
格子間隔内にグラウ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で作成するものとする。
3. グリッドデータへの標高値内挿補間法は、地形形状並びにグリッドデータの使用目的及びグラウンドデータの密度を考慮し、TIN、最近隣法を用いることを標準とする。ただし、データの欠損が多い箇所については、Kriging 法により内挿補間することができるものとする。
4. グリッドデータの間隔は測深間隔に基づき格子間隔を決定するが、陸部と水部ともに水部の格子間隔を標準とする。
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は、0.1メートル位とする。
7. 航空レーザ測深の陸水部のフィルタリングにおいて、グラウンドデータが測深性能の限界等により作業地域に対して大きく欠落した場合は、原則、内挿補間を行わないものとする。

#### (グリッドデータ点検図の作成)

第49条 グリッドデータ点検図は、作成されたグリッドデータに異常がないか及び隣接図との接合が適切に行われているかを点検するために作成するものとする。

#### <第49条 運用基準>

1. グリッドデータの点検を図形編集装置により行う場合には、グリッドデータ点検図作成を省略することができる。
2. グリッドデータ点検図は、陰影段彩図等と低密度ポリゴンの境界線を重ね合わせたものを標準とする。
3. 陰影段彩図等は、測深間隔が陰影段彩表現等から読図点検できる解像度とする。
4. 作業地域に隣接して既存データが存在する場合は、作業地域の外周を5メートル以

上延伸した範囲について作成することを標準とする。

**(グリッドデータの点検)**

第50条 グリッドデータの点検は、グリッドデータ点検図又は図形編集装置を用いて次の各号について行うものとする。

- 一 所定の格子間隔等の適否
- 二 標高値の誤記及び脱落
- 三 陸水部の範囲
- 四 低密度の範囲
- 五 接合の良否

## 第4節 等高線データの作成

**(等高線データの作成)**

第51条 「等高線データの作成」とは、グラウンドデータ又はグリッドデータから自動生成により等高線データを作成する作業をいう。

<第51条 運用基準>

- 1. 等高線データの作成は、次のとおりとする。
  - 一 等高線データは、国土基本図図郭単位で作成するものとする。
  - 二 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、作業地域の外周に5メートル以上の距離を延伸した範囲のものを使用することとする。

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		
			約 1m	約 2m	約 5m
500	1m	5m	○	—	—
1000	1m	5m	○	—	—
2500	2m	10m	○	○	—
5000	5m	25m	○	○	○

**(等高線データの点検)**

第52条 等高線データの点検は、図形編集装置、出力図等を用いて行うものとする。

<第52条 運用基準>

- 1. 点検内容は、次のとおりとする。
  - 一 等高線データの誤記及び脱落

二 等高線データ形状の良否

## 第5節 その他の成果データの作成

### (要旨)

第53条 本節において「その他の成果データの作成」とは、製品仕様書に従ってその他の成果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。

＜第53条 運用基準＞

1. その他の成果データファイルは、次の各号のとおりとする。
  - 一 グリッドデータ
  - 二 等高線データ

## 第6節 品質評価

### (品質評価)

第54条 その他の成果データファイルの品質評価は準則第44条の規定を準用する。

## 第7節 成果等の整理

### (メタデータの作成)

第55条 その他の成果データファイルのメタデータの作成は準則第45条の規定を準用する。

### (成果等)

第56条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 その他の成果データファイル
- 二 作業記録
- 三 品質評価表及び精度管理表
- 四 メタデータ
- 五 その他の資料



## 第3編 資料

### 第1章 標準様式

次の様式は、準則航空レーザ測量の様式に準じる。なお、括弧内は準則での番号である。

- 固定局明細表（様式第3-17）
- 航空レーザ測深記録（様式第3-18）
- 調整点・コース間点検箇所配点図（様式第3-19）
- 調整点明細表（様式第3-20）
- 三次元測深データ点検表（様式第3-21）
- 調整点調査表（様式第3-22）
- コース間点検箇所残差表（様式第3-23）
- 調整点残差表（様式第3-25）
- 既存データ検証結果表（様式第3-26）
- 航空レーザ測深機点検記録
- 欠測率調査表（水面／陸上）
- 水質調査記録表

## 航空レーザ測深機点検記録

作業名		機体		平成	年	月	日	
				点検者				
キャリブレーションサイト名								
機器名				番号				

### 緑レーザ

#### ローリングキャリブレーション

コース名	対地速度 (Kt)	対地高度 (ft)	FOV (度)	パルスレート (Hz)	スキャンレート (Hz)	補正值 (角度)	備考
C-							

#### ピッチングキャリブレーション

コース名	対地速度 (Kt)	対地高度 (ft)	FOV (度)	パルスレート (Hz)	スキャンレート (Hz)	補正值 (角度)	備考
C-							

#### ヘディングキャリブレーション

コース名	対地速度 (Kt)	対地高度 (ft)	FOV (度)	パルスレート (Hz)	スキャンレート (Hz)	補正值 (角度)	備考
C-							

#### 標高差 (測距) キャリブレーション

コース名	対地速度 (Kt)	対地高度 (ft)	FOV (度)	パルスレート (Hz)	スキャンレート (Hz)	補正值 (cm)	備考
C-							

キャリブレーション後の標高差
cm

### 近赤レーザ

#### ローリングキャリブレーション

コース名	対地速度 (Kt)	対地高度 (ft)	FOV (度)	パルスレート (Hz)	スキャンレート (Hz)	補正值 (角度)	備考
C-							

#### ピッチングキャリブレーション

コース名	対地速度 (Kt)	対地高度 (ft)	FOV (度)	パルスレート (Hz)	スキャンレート (Hz)	補正值 (角度)	備考
C-							

#### ヘディングキャリブレーション

コース名	対地速度 (Kt)	対地高度 (ft)	FOV (度)	パルスレート (Hz)	スキャンレート (Hz)	補正值 (角度)	備考
C-							

#### 標高差 (測距) キャリブレーション

コース名	対地速度 (Kt)	対地高度 (ft)	FOV (度)	パルスレート (Hz)	スキャンレート (Hz)	補正值 (cm)	備考
C-							

キャリブレーション後の標高差
cm

用紙の大きさはA4判とする。

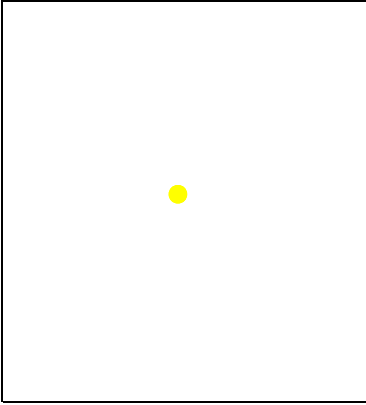
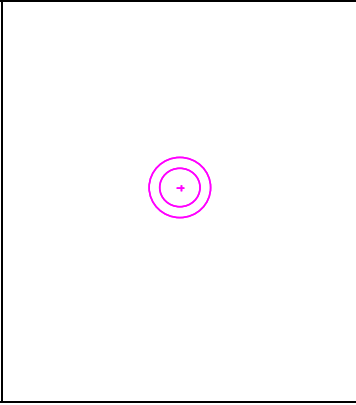
### 欠測率調査表（水面／陸上）

地区名					作業者		
					点検者		
図名	欠測率%	図名	欠測率%	図名	欠測率%	図名	欠測率%
全域平均		最小		最大			

用紙の大きさはA4判とする

# 水質調査記録簿

世界測地系

点名		河川名			作業者			
採水場所	点附近位置図No.	水質情報	透明度・着底		m	点検者		
			濁度		NTU			
			透視度		cm	調査年月日		
			浮遊物質量(SS)		mg/L	調査時間		~
気象条件等		気温	天気	風向	風速	水温	水色	
座標系	VIII	X	Y	H	水質調査地点の測深値		近傍の最測深値	
水質調査測深位置		m	m	m	m	m		
点附近位置図				遠景・近景写真				
				遠景		近景		
				上流側		下流側		
簡易オルソ画像				北 測深段彩図(凡例含む)				
								
<p>透明度の計測において白色盤の着底「有・無」を記録する。          水質調査地点の測深値は、着底「有・無」ともに調査地点の測深値を記録する。調査地点が欠測の場合は、欠測と記載する。          近傍の最測深値は、着底「有・無」ともに近傍で最も深い測深値を記録する。          採水場所で複数の層で調査をした場合は、層ごとに記録簿を作成する。</p>								

## 第2章 参考資料

1. 補測、補備測量
2. 測量の基準
3. 河川水質
4. キャリブレーション

以上

## 補測、補備測量

航空レーザ測深は、測深性能が河川の水質の影響を強く受け、河川の水質によっては測深できない場合がある。また、水の流れによる急峻な深掘れ等が存在すると、そこで測深できない可能性もある、その他、測深間隔等の影響から川岸などの地形の急変部も捉えづらい。

一方、航空レーザ測深の成果は離散的な標高点の集まりであり、利用しやすくするために格子状の標高点であるグリッドデータにすることがあるが、上記のような要因により測深できない箇所が存在する航空レーザ測量成果をグリッド化すると、品質のバラツキが大きくなる。

このため、航空レーザ測深に測深できない箇所等がある場合には補測を行い、精度が均質な完成されたデータセットとすることが望ましい。また、予め測深できない事が予想され航空レーザ測深による測量が困難な箇所については、補備測量を実施することが望ましい。

補測や補備測量は、深淺測量等により実施される。

深淺測量には、図 2 のように音響測深、レッド（測深錘）による測深、ロッド（測深桿）による測深などがあり、河川の深さや流速の速さに応じて採用手法が異なってくる。位置の特定は、距離標を基準として距離標から測深位置までの距離によって与えたり、岸辺から方向と距離を計測して与えたり、GNSS/IMU を装備して与えたり、河川の状況によって最適な手法が採用されている。

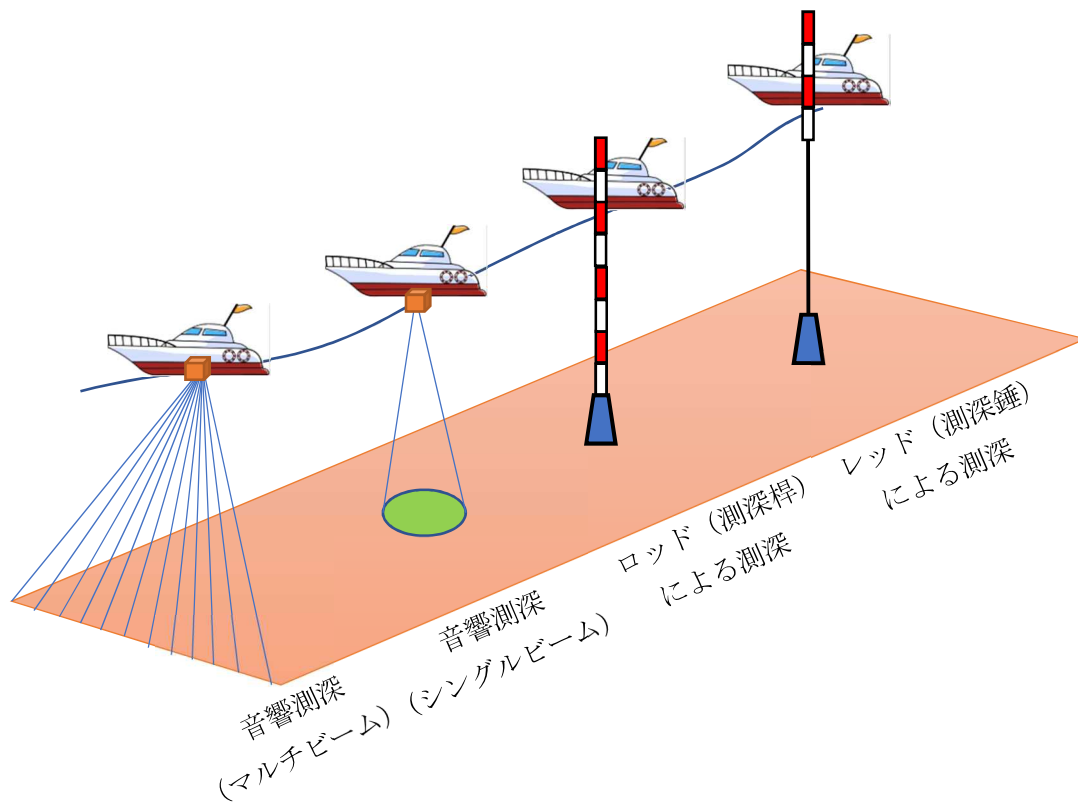


図 2 深浅測量

航空レーザ測深の補測や補備測量として実施される場合は、測深範囲内の水底地形が表現できるように測深することが重要になってくる。つまり、水底地形の傾斜が変化する位置を連続的に測深できることが理想である。しかしながら補測や補備測量は水底が見えないところで実施することが標準であり、水底地形の確認が難しいことから、航空レーザ測深の測深間隔と同等の間隔での測深が現実的と考えられる。

具体的な深浅測量の方法は、準則の第 4 編応用測量 第 3 章河川測量に規定されている内容であり、これらを参考にするとよい。

## 測定の基準

本マニュアルは、公共測定の対象とする陸水部において、測定法の基準に従って航空レーザ測深が実施されることを原則としている。測定法では、公共測定の基準は、第11条第一号で「位置は、地理学的経緯度及び平均海面からの高さで表示する。」とし、同第三号で「測定の原点は、日本経緯度原点及び日本水準原点とする。」としている。具体的には、平面直角座標系（平成14年国土交通省告示第9号）に規定する世界測地系に従う直角座標及び測定法施行令（昭和24年政令第322号）第2条第2項に規定する日本水準原点を基準とする高さ（以下「標高」という。）により表示することが原則となる。ただし、離島の測定その他特別の事情がある場合において、国土地理院の長の承認を得たときは、この限りでない（同三号）。

一部の河川では、標高の基準を有していることから、その標高を利用する場合には、公共測定の届出にその旨を記載して提出しなければならない。また、当然のことながら、日本水準原点を基準とする公共測定の標高とは較差があることから、公共測定の成果と統合して利用するには注意が必要である。

河口部の測定では、海岸が含まれることもあると考えられる。その場合は、海域に対しては水路業務法に関する手続が必要となる。

表 1 河川の基準面

河川名	特殊基準面	東京湾中等潮位（T.P.）との関係	摘要
北上川	K.P	-0.8745m	
鳴瀬川	S.P	-0.0873m	
利根川	Y.P	-0.8402m	
荒川・中川・多摩川	A.P	-1.1344m	
淀川	O.P	-1.3000m	
吉野川	A.P	-0.8333m	
渡川	T.P.W	+0.1130m	
琵琶湖	B.S.L	+84.371m	



## 河川水質

河川の水質は、航空レーザ測深限界に大きく影響することが確認されている。そのため、航空レーザ測深を行うに当たっては、直前に河川の水質を調査し、航空レーザ測深の適切なタイミングを図ることが望ましい。

しかしながら、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く、河川ごとに測深実施のタイミングを決定しているのが現状である。加えて、対象とする河川の流路が長い場合などは流入する支川の影響を受け、区間ごとに測深限界が変わる可能性がある。また、掘削工事等による濁水の影響を受ける場合もあり、水質を踏まえた測深の実施判断を合理的に進めるためには、水質と測深限界の関係を、事前に把握しておくことが望ましい。

航空レーザ測深において実施される水質調査として、以下 4 つの方法が挙げられる(各方法の概要は次ページに示す)。

- ①透明度調査
- ②濁度調査
- ③透視度調査
- ④浮遊物質(SS)調査

これらの水質調査結果について既存の計測事例を検証した結果、「透明度調査」「濁度調査」が航空レーザ測深において有効な調査方法となりうる知見が得られた。

「透明度調査」は、航空レーザ測深機メーカーが推奨する方法でもあり、既存の結果からは測深可能深度と高い相関性を示すことが確認されている。河川が浅く調査用ボートの航行に支障をきたすことがなければ有効な方法と考えられるが、国内河川の場合、瀬淵等が交互に連続することが多く、ボートが着底しない深場を探しながらの調査なので効率的に実施困難な懸念もある。

「濁度調査」は、川岸から採水してその場で結果を得られることから、簡便で有効な方法と考えられる。ただし、現時点ではサンプル数が少ないため、継続的な調査を実施し、相関性の確度を検討していく必要がある。

一方、「透視度調査」及び「浮遊物質(SS)調査」は、既存の計測事例では関係性を把握できる有効な結果は得られなかった。ただし、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ことが重要である。

<調査方法の概要>

一般的な水質調査（4種）の概要を示す。

表 水質調査の概要

調査項目	調査方法	補足説明
透明度調査 	直径 30cm の白色盤（セッキ板）を沈め、目視できる水深を測定。この水深を1セッキと呼ぶ。	航空レーザ測深機メーカー推奨の方法であるが、淵等の深場でボートによる調査を要し手間を要す。
濁度調査 	精水 1L に粘土鉱物 1mg が含まれた水を濁度 1 として試料を比較対比して測定。	簡易の計測機器も市販されており、調査は比較的容易。
透視度調査 	透明な管に試料を入れて上部から透視。白色の標識板に太さ 0.5mm、間隔 1mm の二重線で書かれた十字が目視できるときの水層の高さを測定。	市販の透視度計には、30 cm、50 cm、100 cm の 3 種類がある。航空レーザ測深用には 100 cm を使用することが多い。調査は比較的容易。
浮遊物質（SS）調査  （室内試験による）	採水した試料を試験室に持ち帰り、水中の懸濁物質を濾紙で濾過したものを乾燥させて、その重量を測定。	室内試験を要するため、簡便性に劣る。

《記入例》

# 水質調査記録簿

世界測地系

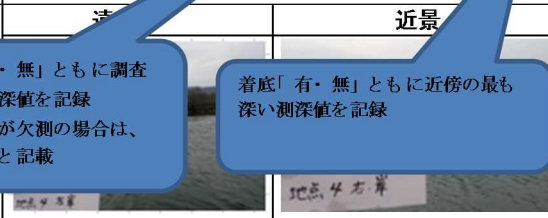
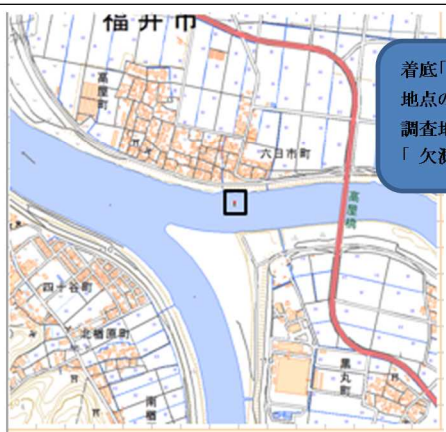
採水場所の表層/中層/低層を記載し、対象の層に○

水質調査地点の着底「有・無」を記録

点名	九頭竜川15.4kp		河川名	九頭竜川		作業者						
採水場所	点附近位置図No.		透明度・着底	無	2.60	m	点検者					
	1	15.4kp表層	濁度		1.60	NTU						
	2	15.4kp中層	透視度		1.00	cm	調査年月日	平成30年	11月	12日		
	3	15.4kp低層	浮遊物質量(SS)		7.30	mg/L	調査時間	13:45	~	14:00		
気象条件等	気温	17.3	天気	曇り	風向	南	風速	5.5m/s	水温	14.7℃	水色	12
座標系	VII	X	Y	H		水質調査地点の測深値		近傍の最測深値				
水質調査測深位置	m		m		m		m		m			
	12,237.564		16,552.763		-2.841		2.600		2.956			

点附近位置図

遠景・近景写真



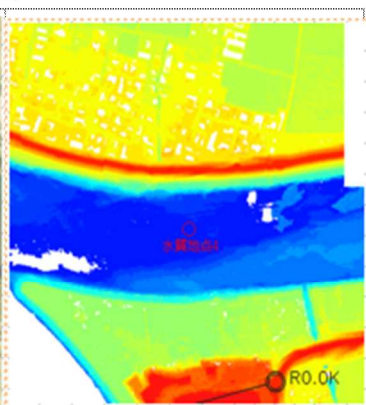
着底「有・無」ともに調査地点の測深値を記録  
調査地点が欠測の場合は、「欠測」と記載

着底「有・無」ともに近傍の最も深い測深値を記録

簡易オルソ画像



測深段彩図(凡例含む)

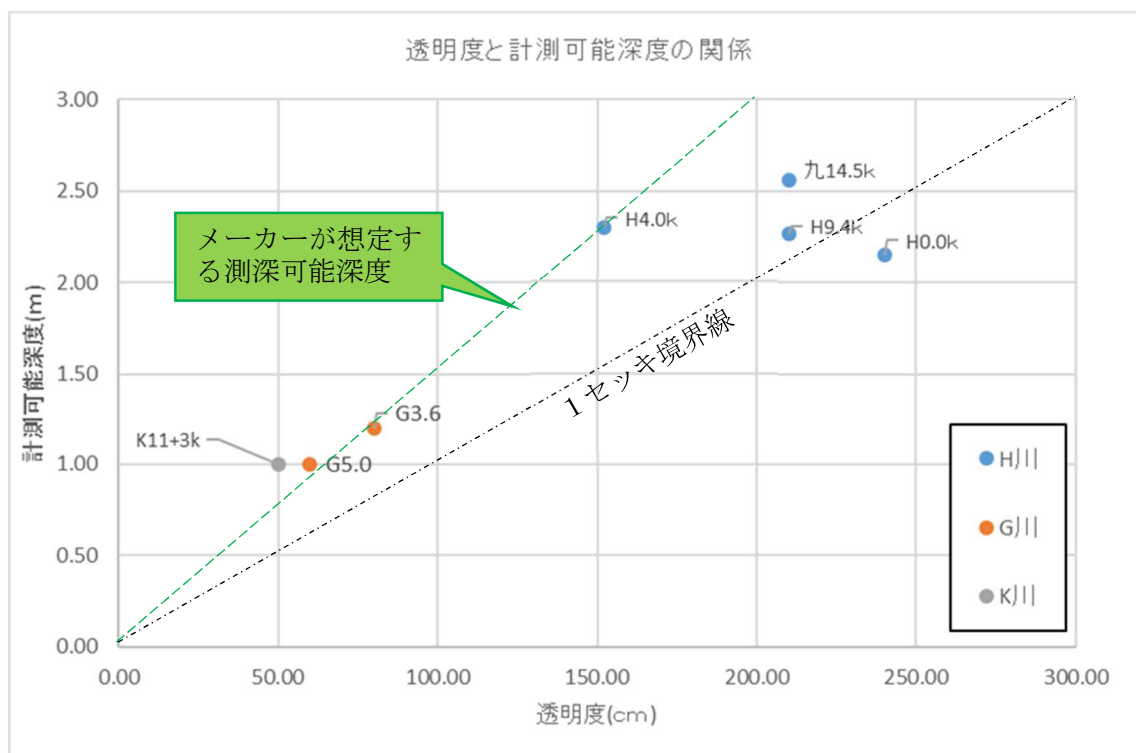


透明度の計測において白色盤の着底「有・無」を記録する。  
 水質調査地点の測深値は、着底「有・無」ともに調査地点の測深値を記録する。調査地点が欠測の場合は、欠測と記載する。  
 近傍の最測深値は、着底「有・無」ともに近傍で最も深い測深値を記録する。  
 採水場所で複数の層で調査をした場合は、層ごとに記録簿を作成する。

<透明度の調査結果>

調査結果を横軸に測深可能深度を縦軸にプロットしている。

調査地点は、透明度調査において白色盤（セッキ板）の視認の読み取り値が、河床に到達前になったものを示している。この調査地点の結果に着目することで、測深可能深度と水質調査の関係性（相関）を表した。



【考察】

- ・ 着底していない調査地点（7箇所）については、直線的に高い相関がみられる。



透明度調査は、測深可能深度の推定に有効と考えられる。

## キャリブレーション

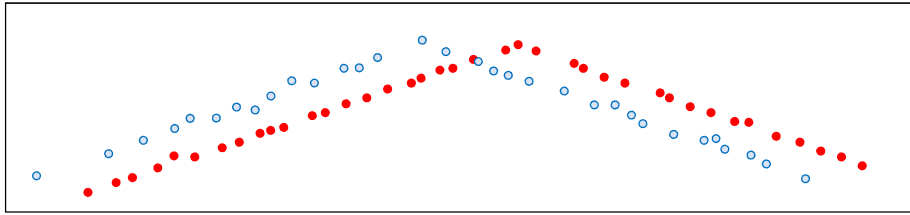
図 3 は、キャリブレーションサイトの例で、切り妻屋根の大きな建物が 3 軒並ぶ。これらの建物を異なる方向から計測し、重ね合わせるとき図 4 (a)のように二重に切り妻屋根が表示されるのがキャリブレーション前のデータであり、このデータからどのような方向から計測しても、同じものは同じ場所に表示されるようにするのがキャリブレーションであり、その結果を図 4 (b)が示している。航空レーザ測量では、このようなキャリブレーションによって異なるコースからの計測データの較差は、数 cm 程度に収められる。

航空レーザ測深も、航空レーザ測量と同じである。但し、一般的な航空レーザ測深には、2 台のレーザスキャナが装備されているため、それぞれをキャリブレーションする必要がある。その場合、個別に行うものや、密度の高いレーザスキャナを先にキャリブレーションして、その結果を教師として密度の低いレーザスキャナをキャリブレーションするものもあるなど、メーカーによって方法は異なる。ただ、2 台のレーザスキャナによる測深データの較差は、いずれも数 cm 程度に収められている。

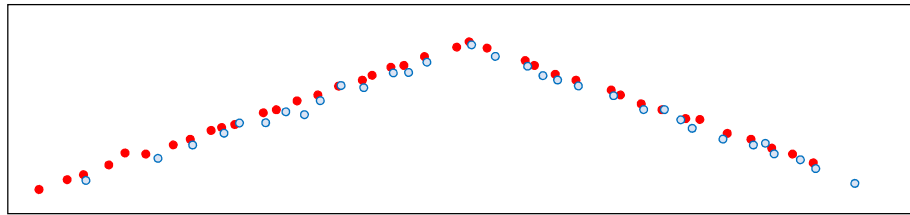


地理院地図より

図 3 キャリブレーションサイト例 (中央の建物、矢印は飛行経路)



(a) 前



(b) 後

図 4 キャリブレーション