

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

国土地理院

目次

【序】概説.....	1
第1編 総則	6
第2編 三次元点群データを使用した断面図作成	8
第1章 概説.....	8
第1節 要旨	8
第2節 製品仕様書の記載事項.....	9
第2章 三次元点群データを使用した断面図作成	10
第1節 作業計画.....	10
第2節 資料収集.....	10
第3節 予察.....	10
第4節 補備測量.....	11
第5節 地形モデルの作成	16
第6節 断面図データの作成.....	16
第7節 数値地形図データファイルの作成.....	18
第8節 成果等の整理.....	18
第3編 資料	20
標準様式.....	20
別表1 (測量成果検定基準)	23
参考資料 (傾斜変換点を考慮した三次元点群データ作成)	24

【序】概説

1. はじめに

道路設計での土量算出や河川管理の河床変動の把握などで重要な役割を担ってきた断面図は、道路や河川に沿った測線での縦断測量や縦断測量の測線に直交する測線での横断測量として、これまで技術的には水準測量によって作成されてきた。これにより、生物の背骨と肋骨のような形状で標高を観測し、目的とする範囲の地形を把握してきた。この水準測量による方法では、測線に沿った位置では高い精度の標高を得ることができるが、測線間の地形は推定によって把握されることになる。そのため、地形の推定割合を減らして地形把握の精度を向上させようとする、測線間の間隔を狭くすることになる。これは、例えば測線の間隔を半分にすると、作業量が倍となり、経済的な負担を大きくする。

一方、UAV から撮影した空中写真、さらには UAV に搭載したレーザスキャナや地上レーザスキャナを使用することによって、測量した範囲のあらゆる地点の地形を三次元点群データとして把握することができる。これらの測量方法の精度は、取得された個々の点では水準測量に及ばないが、目的とする範囲の地形を網羅的に把握できるという特徴があり、適切な精度の三次元点群データを使用することで、総合的には十分な精度を有する測量成果となり得る。その結果、設計などにおける柔軟な利用を可能とする。また、作業時間が短縮される。

現在、三次元点群データを作成する様々な測量方法が実用化されているが、それらは写真による方法とレーザによる方法のふたつに分類でき、それぞれ次のような特徴がある。

写真による方法は、写真に写ったものの標高を観測し、その精度は写真の地上画素寸法と重複度が基本となる。レーザによる方法は、レーザ光が僅かな隙間を通過して地形を観測し、その精度は、光速での観測であることからレーザ光の照射密度が基本となる。写真は、被写体を網羅的に写し取るが、地形表面が写っていないければ、地形の標高を得ることはできない。レーザは、植生があってもレーザ光が通るほどの隙間があれば地形標高を観測できるが、照射間隔は結果的には離散的となる。

また、どちらの方法も自動的に三次元点群データを得ることができるが、地形以外のものも含まれるため、それらを取り除く必要がある（これを「編集」や「フィルタリング」と呼ぶ）。その結果、部分的に三次元点群データの存在しない箇所が発生したりする。あるいは、内挿によって補間した場合などは、その場所は精度の劣化が危惧される。写真では網羅的に測量対象が写り、レーザでは高密度にレーザ光が照射されるが、傾斜変換点は明瞭に写真に写らなかったり、レーザ光が当たらなかったりすることも多いため、捉えがたい箇所となる。

本マニュアル案（以下「本マニュアル」という。）では、前述のような三次元点群データの特性を踏まえ、それらが不得手とする傾斜変換点を補って（「地形変化点の抽出」として規定している）地形をモデル化し、かつ断面図を作ることを規定している。三次元点群データ作成は、今後も発展が期待されることから、地形測量や工事測量のイノベーションにつながる標準的な測量方法を規定したものである。

2. 三次元点群データを使用した断面図作成とは

三次元点群データを使用した断面図作成とは、文字通り、三次元点群データから指定した測線に沿って地形の形状を取得し、断面図として表現できるようにするものである。その際、三次元点群データが大きな役割になる。そのために本マニュアルでは、後述の理由により、三次元点群データの種類と精度及び地形モデルを次のように規定している。

- 三次元点群データとは、地表面の標高の集合とする。
- 三次元点群データの精度は、個々の点の精度と密度で決定する。
- 地形モデルは、傾斜変換点が補われた TIN (Triangulated Irregular Network, 不整三角網) 構造の地形モデルとして表現されたものとする。

1) 三次元点群データとは

三次元点群データは、コンピュータ技術によってデジタルデータとして取り扱われはじめたころは DTM (Digital Terrain Model, 数値地形モデル) と呼ばれ、地形の表現方法によって、離散的な標高の集合としての表現ではランダムポイント、格子状に配列された標高としての表現ではグリッドデータ、傾斜変換点の標高を連続的な線とする表現ではブレークライン、同じ標高の連続した線とする表現では等高線、地形を三角形の集合とする表現では TIN と呼ばれていた。これらの表現は、作業規程の準則に規定されている数値地形図図式の定義でもある。

ランダムポイントやグリッドデータのような標高点として地形を表現したものは DEM (Digital Elevation Model, 数値標高モデル) と呼ばれている。

航空レーザ測量は、基本測量として規定され実施されるようになると、三次元点群データは航空レーザ測量の処理工程によって新たな名称が与えられた。航空レーザ測量での処理工程順に、観測されたままのものを三次元計測データ、地表面の標高との調整が行われたものをオリジナルデータ、地表面以外の標高を除去（これは「フィルタリング」と規定されている）したものをグラウンドデータ、格子状に再配列したものをグリッドデータとしている。この呼称は、地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成にも継承されている。

さらに、地上レーザスキャナが普及して地形や構造物を点の集合として表現したり、SfM /MVS (Structure from Motion / Multi View Stereo) と呼ばれる技術によって写真に写っているものを点の集合として表現したりすることができるようになると、空中写真測量で DSM (Digital Surface Model, 地形表層モデル) と呼ばれている写真に写った状態の標高の集合も三次元点群データと呼ばれるようになった。

このように現在では三次元点群データと呼ばれるデータの範囲は広く、人によって捉え方が大きく異なってくる。

本マニュアルでは、公共測量における三次元点群データを用いた断面図作成を目的としていることから、地表の標高の集合で、最も精度の高いランダムポイントあるいはグラウンドデータを三次元点群データとし規定するとともに、必要に応じて三次元点群データとし

て表現の不得意とする傾斜変換点をブレイクラインで補って、必ずブレイクラインがいずれかの三角形の辺として使用される TIN（以下「制約付き TIN」という。）を地形モデルとして規定し、網羅的な地形表現や断面図作成に供することができるようにしている。

2) 三次元点群データの精度

本マニュアルでは、三次元点群データを使用して断面図を作成することを規定している。したがって、断面図の精度は三次元点群データに依拠するため、断面図に求められる精度が確保できる精度の三次元点群データを使用する必要がある。一方、三次元点群データの精度は、測量方法や測量条件、点間隔によって異なり、正確に把握するためには三次元点群データを作成した測量についての理解が必要である。ここでは断面図作成に適した三次元点群データを選択できるように三次元点群データの精度の考え方と測量方法によって異なる精度特性を解説する。

① 三次元点群データの精度の考え方

測量の精度は、一般には観測精度の統計値（標準偏差など）によって表現される。これは、三次元点群データでは個々の点の精度に対応する。この点を使用して地形を表現するには、地形表現に耐えられるだけの密度である必要がある。したがって三次元点群データの精度を知るには、観測精度と点間隔を把握することが基本となる。これらは、写真による方法とレーザによる方法で、それぞれ次のように考えることができる

写真による方法では、重複して撮影した写真間で、同一箇所（以下「特徴点」という。）を検出して標高に変換するため、特徴点の明瞭さが観測精度を決定し、特徴点の密度が点間隔を決定する。つまり、明瞭に地物が写っている場所ほど観測精度は高く、それらが高密度に点在する場所ほど点間隔は短くなる。

レーザによる方法では、レーザ光線を照射し、反射してくるまでの時間や反射してきたときの位相によって距離を観測するとともに、照射方向による補正で標高に変換するため、測量機器の性能が標高の精度を、照射方向の間隔が点間隔を決める。なお、レーザスキャナを固定して観測する方法では、レーザスキャナに近いほど点間隔が短く、移動体にレーザスキャナを搭載して観測する方法では、移動方向は移動体の速度に、移動方向に直交する方向はレーザスキャナの観測間隔によって点間隔が決まる。

② 測量方法によって異なる精度特性

三次元点群データの精度は、写真による方法とレーザによる方法で、次のような特性がある。

写真による方法では、本マニュアルで使用する三次元点群データは地表面としていることから、地表面が写真に写っている必要があるが、それだけではなく周囲との色調差が大きな特徴点となり得るものが多く、かつ全般に写っている必要がある。ただ、全般に写っていても、色調差で構成される模様が一定の繰り返しで存在すると重複する写真間での同一箇所の特定に誤りが入る可能性が高くなる。地上画素寸法が小さいほど精度が高くなるのが写真測量の一般的な特性であるが、UAV からの空中写真のように近接して地表面を撮影すると敷設直後のアスファルトといった人工的なものは濃淡がなく、標高が得られない。

レーザによる方法では、一般的には植生域でも地表面が可能といわれているが、あくまでも植生と植生の間にレーザが反射して戻ってこられる強度が得られる広さの隙間がある場合である。地上レーザスキャナを使用したり、UAV を搭載したレーザスキャナから広い角度で走査したりする場合は、植生の幹や枝葉にレーザ光が当たる可能性が高くなる。植生でも、樹木より草の方が一般的には密生度は高く、レーザ光を通し難くなる。密生度は、植生が繁茂する春や夏の方が密である。一方、冬には樹木の下に溶けきらない雪が積もっている場合もある。

3) 地形モデルの TIN による表現

三次元点群データは、地形を網羅的に表現したものであるため、いかなる場所でも地形の形状を把握することができるとともに、測線を指定することで断面図を作成することもできる。

三次元点群データの幾何構造としては、ランダムポイントやグリッドデータ、TIN が考えられる。

これらの中でランダムポイントが最も精度の高い三次元点群データであるが、断面図を作成するには何らかの方法によって測線に高さを内挿する必要があり、測線に沿って多くの三次元点群データが存在しないと内挿による精度劣化が生じる。また、ランダムポイント自体のデータ量が大きくなって、取り扱い難くなる。

グリッドデータは、格子間隔が短くとも、構造上は原点と格子間隔を属性とすることで標高のみでデータを構成することが可能で、データ量を大幅に軽減できる。一方、グリッドデータはランダムポイントからの内挿によって作成され、断面図はさらにグリッドデータから測線に標高を内挿するという二重の内挿による精度劣化が生じる。

また、ランダムポイントもグリッドデータも、ブレイクラインを取り込むには点にばらす必要があり、ブレイクラインで表現される傾斜変換点は滑らかにされてしまう。

一方、TIN は、ブレイクラインを取り込んで、TIN を構成する三角形の一辺とすることができ、傾斜変換点を断面図で表現可能となる。また、三角形の頂点はオリジナルデータと同じで観測時の精度を確保できるとともに、隣接する等傾斜の三角形同士は統合することで、精度を劣化させずにデータ量を削減することもできる。これにより、データ量を大幅に削減できる効果が期待できる。

3. 三次元点群データを使用した断面図作成マニュアルとは

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

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。

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、測量技術としての三次元点群データを使用した断面図作成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

三次元点群データを使用した断面図作成についての概説、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、三次元点群データを使用した断面図作成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 三次元点群データを使用した断面図作成

三次元点群データを使用した断面図作成を実施するにあたっての標準的な工程別作業区分及び作成手法、主な測量記録等の規格について規定している。

④ 第3編 資料

三次元点群データを使用した断面図作成のための精度管理及び数値地形図データのファイル仕様等の標準様式を規定する。また、本マニュアルの妥当性を検証するために実施した実証実験結果の概要、その際に使用したシステムの機器構成、諸元、図化方式等について、参考資料として示している。

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、公共測量として作成された三次元点群データ（任意の地点における地形等の標高を計算処理可能な状態として表現したものをいう。以下、同じ。）を補備して任意の位置の地形断面図を作成する作業について、その標準的な作業方法を定め、その規格を統一するとともに、必要な精度を確保することを目的として定めたものである。

(準則の準用)

第2条 本マニュアルに定めるもの以外は、準則を準用する。

<第2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。

(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12条の規定を準用する。

(精度管理)

- 第5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量を行わなければならない。

(測量成果の検定)

第6条 測量成果の検定は、基盤地図情報に該当する測量成果等の高精度を要する測量成果又は利用度の高い測量成果で計画機関が指定するものについては、別表1に基づく検定に関する技術を有する第三者機関による検定を受けなければならない。

(成果及び資料等の様式)

第7条 三次元点群データを使用した断面図作成における成果、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測量計画機関が指示し、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。

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

(要旨)

第9条 「三次元点群データを使用した断面図作成」とは、三次元点群データから任意の位置の断面図を作成できる地形モデルを介して断面図を作成する作業をいう。

- 2 三次元点群データとは、地表面の標高の集合で、観測位置で表現されたものを原則とする。
- 3 地形モデルには、断面図に必要な傾斜変換点や構造物位置が与えられるものとする。

【解説】

三次元点群データとは、航空レーザ測量での規定ではグラウンドデータをいい、地表面を観測された状態のものとしている。これは、測量結果として最も精度の高い状態のものであるためである。

グラウンドデータから作成される格子状のグリッドデータについても、測量成果として規定されており、グリッドデータは、データ構造が単純で解析も容易で、データ容量が軽量で利用者にとっては取り扱いやすいが、グラウンドデータから内挿によって作成されるため、その過程で精度の劣化や傾斜変換点の平滑化が生じる。

(準拠する基準点)

第10条 補備測量に用いる基準点は、三次元点群データの作成に使用した基準点に基づいて実施するものとする。

(地形モデルの精度)

第11条 地形モデルは、使用する三次元点群データと同等の精度を確保しなければならない。ただし、欠測範囲は除く。

(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 資料収集
- 三 予察
- 四 補備測量
- 五 地形モデルの作成
- 六 断面図データの作成
- 七 数値地形図データファイルの作成
- 八 成果等の整理

(図形編集装置)

第13条 図形編集装置は、電子計算機及びスクリーンモニターで構成され、図形を3次元で記録、表示するとともに、属性を保持でき、次の機能を有するものとする。

- 一 画面分割表示
- 二 任意の視点からの三次元表示
- 三 図形及び注記の三次元入力
- 四 図形及び注記の削除
- 五 図形及び注記の三次元編集
- 六 数値地形図データフォーマットによる出力

第2節 製品仕様書の記載事項

(製品仕様書)

第14条 製品仕様書は、当該三次元点群データを使用した断面図作成の概覧、適用範囲、データ製品識別、データの内容及び構造、参照系、データ品質、データ製品配布、メタデータ等について体系的に記載するものとする。

第2章 三次元点群データを使用した断面図作成

第1節 作業計画

(作業計画)

第15条 作業計画は、第3条の規定によるほか、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、三次元点群データが作成された範囲の土地被覆等を考慮の上、工程別に作成するものとする。

第2節 資料収集

(資料収集)

第16条 資料収集は、三次元点群データの特性を理解し、適切な地形モデルを作成し、任意の位置の断面図を作成に必要な資料を収集するものとする。

<第16条 運用基準>

- 1 収集する資料は、次を標準とする。
 - 一 三次元点群データと同等の水平精度を保持する水準点とその標石高
 - 二 三次元点群データを作成した測量の記録
 - 三 三次元点群データが作成された範囲の土地被覆を示す資料
 - 四 その他
- 2 収集する資料は、内容を点検の上、後続の作業を考慮して整理する。

【解説】

三次元点群データが作成された範囲の土地被覆を示す資料としては、空中写真、地上写真、地形図などが、想定される。

第3節 予察

(予察)

第17条 予察は、三次元点群データ、断面図作成位置及び収集した資料に基づき、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することをいう。

<第17条 運用基準>

- 1 抽出する項目は、次を標準とする。
 - 一 三次元点群データの欠測箇所
 - 二 傾斜変換点
 - 三 主要な構造物
 - 四 その他
- 2 抽出の結果は、予察図として整理するものとする。
- 3 予察図には、必要に応じて三次元点群データを作成した測量の記録を整理するものと

する。

4 整理する三次元点群データを作成した測量の記録は、次を標準とする。

- 一 基準点／標定点等の配置
- 二 撮影／計測の位置あるいはコース

第4節 補備測量

(要旨)

第18条 補備測量は、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を補備する作業をいう。

<第18条 運用基準>

補備測量は、次の作業を標準とする。

- 一 水準点地表面高の入力
- 二 欠測範囲の入力
- 三 傾斜変換点の入力
- 四 主要な構造物の入力
- 五 その他

(取得する座標の位)

第19条 取得する座標の位は、三次元点群データと同じとする。

(水準点地表面高の入力)

第20条 水準点地表面高は、水準点の標高から標石高を引いた標高をいう。

- 2 水準点地表面高は、座標を用いて入力するものとする。

<第20条 運用基準>

水準点地表面高は、次のデータ仕様で入力するものとする。

- 地図分類：7305（公共基準点（水準点））
図形区分：0（非区分）
幾何構造：点
座標次元：3次元
実データ区分：0（実データなし（地形表面の高さを計測したもの））

【解説】

水準点は、埋設された石の上に高さが取り付けられているので、実データ区分は1となるが、本条では水準点の地表面の高さとなるため、実データ区分を0（実データなし（地形表面の高さを計測したもの））とした。

(欠測範囲の入力)

第21条 欠測範囲は、三次元点群データを地形モデルとして表現した際に、点の密度が少なく三次元点群データの精度を確保できていない範囲をいう。

- 2 欠測範囲は、予察図を参照しながら、三次元点群データからの等高線や陰影表現等を背景とし、入力することを原則とする。

<第21条 運用基準>

欠測範囲は、次のデータ仕様で入力するものとする。

地図分類：6301（区域界）

図形区分：なし（0）

幾何構造：面

座標次元：2次元

実データ区分：3（三次元座標レコード（地形表面の高さを計測したもの））

又は、

実データ区分：6（三次元座標レコード（人工構造物等の地形表面以外の高さを計測したもの））

【解説】

欠測範囲は、本条第1項に規定するとおりであり、三次元点群データによって個々に違ってはくるが、一般には図1のように明らかに周辺とは点群密度が異なるところをいう。樹木の繁茂地帯で、3次元点群データ作成の際に除去（フィルタリング）された範囲が多くを占めるものと思われる。この範囲は、当然のことながら欠測範囲内は、必要とする精度が満たされていないことになる。したがって、このような箇所は準則の第3編第8章の航空レーザ測量では低密度ポリゴンとして特定するように規定されているとおり、精度管理が行わなければならない。しかしながら、三次元点群データ作成マニュアルでは、このような規定は行われていない。そのため、このような範囲（本マニュアルでは欠測範囲）がないか特定し、3次元点群データから作成する地形モデルや断面図データにおいて、その範囲が分かるようにしておく必要がある。

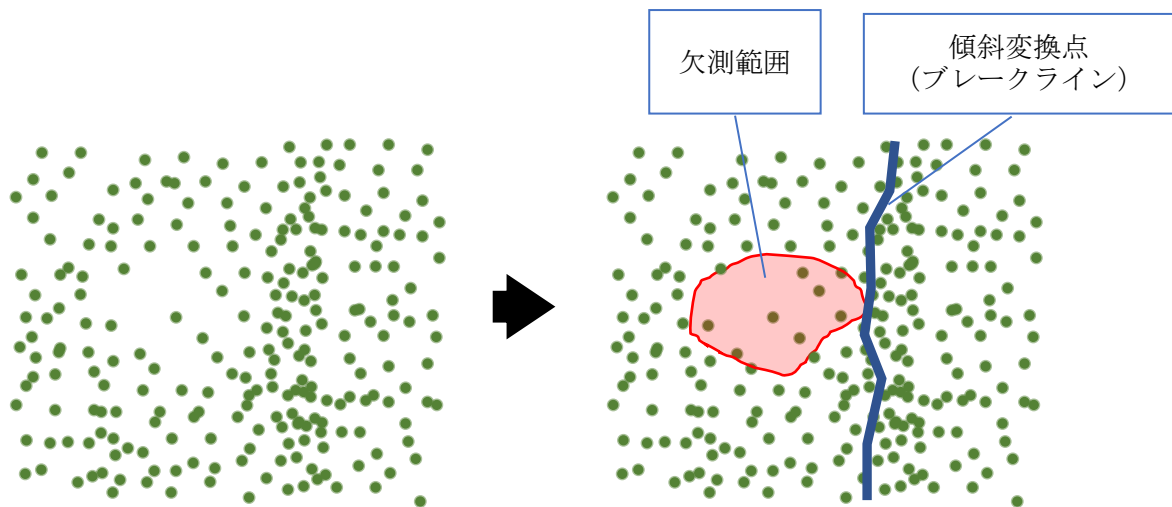


図1 欠測範囲と傾斜変換点

(傾斜変換点の取得)

第22条 傾斜変換点は、三次元点群データを地形モデルとして表現した際に、地形の急変地点で三次元点群データの精度を確保できていない範囲をいう

- 2 傾斜変換点は、予察図を参照しながら、次の各号により行うものとする。
 - 一 三次元点群データからの等高線や陰影表現等を背景とする取得。
 - 二 現地測量

<第22条 運用基準>

1 傾斜変換点の取得を、三次元点群データからの等高線や陰影表現などを背景に行う場合は、次の何れかの表示により行うことを標準とする。

- 一 実体視
- 二 複合表示

2 実体視による傾斜変換点の取得は、デジタルステレオ図化機を用い、三次元点群データを実体表示して行うものとする。

3 複合表示は、図形編集装置を用い、三次元点群データを複数の方向から表示して行うものとする。

4 現地測量は、トータルステーション等又はGNSS測量機を用い、準則第3編第2章第4節に準拠して行うものとする。

5 実体視及び複合表示により行う場合は、写真等の地形を判読できるものを参照しながら行うものとする。

6 傾斜変換点は、次のデータ仕様で取得するものとする。

地図分類：7521（ブレイクライン）

図形区分：なし（0）

幾何構造：線

座標次元：3次元

実データ区分：3（三次元座標レコード（地形表面の高さを計測したもの））

【解説】

三次元点群データの実体視による傾斜変換点の取得は、デジタルステレオ図化機による立体図化で、空中写真を見えなくした状態で行う。黒や白といった単色にしたふたつの画像を用意し、あたかも空中写真のように外部標定要素を与えることで画像が判読できない実体表示を行い、三次元点群データを立体視表示する。

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し（図1）、対となって現れる。図1や図2では、尾根線や谷線など、独立して現れるものを例として表現している。このような傾斜変換点は、地形表現としては地形を明らかにする重要な場所として位置付けられるが、三次元点群データにはそれらに該当する情報は存在しない（図2の左図では、データ内ではなく地上にはあることを表現している）。したがって、当然ながら、そのような場所を表現することはできない。これは、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。したがって、別途、何らかの方法（本マニュアルでは、ほぼ測量）で取得したものを加え（図2の中）、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する（図2の右）。

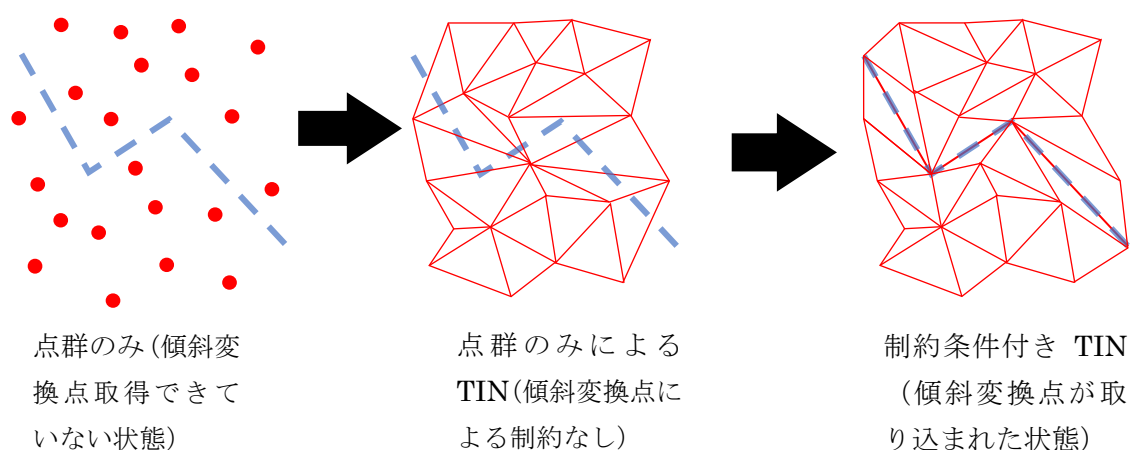


図2 傾斜変換点（青色）の取得の流れ

(補備測量に使用するシステム及び機器)

第23条 デジタルステレオ図化機は、実体視可能な画像からステレオモデルを作成及び表示し、傾斜変換点を数値形式で取得及び記録する機能等を有するソフトウェア、電子計算機及び周辺機器から構成されるシステムで、作業に必要な精度を保持できる性能を有するものとする。

2 デジタルステレオ図化機の機能は、準則第212条に規定するものを標準とする。

3 図形編集装置は、電子計算機、スクリーンモニターで構成され、図形を三次元で記録、表示するとともに、属性を保持できるものとする。

4 図形編集装置の機能は、次のものを標準とする。

一 画面分割表示

二 任意の視点からの三次元表示

三 図形及び注記の三次元入力

四 図形及び注記の削除

五 図形及び注記の三次元編集

六 数値地形図データフォーマットによる出力

5 補備測量に用いる機器は、準則別表1「測量機級別性能分類表」に規定する3級トータルステーション、3級レベル、又はこれらと同等以上のものを標準とする。

(主要な構造物の入力)

第24条 主要な構造物は、三次元点群データの利用に必要な構造物の外形をいう。

2 主要な構造物は、予察図を参照しながら、三次元点群データからの等高線や陰影表現等を背景とし、入力することを原則とする。

<第24条 運用基準>

主要な構造物は、次のデータ仕様で入力するものとする。

地図分類：準則に規定されている構造物の分類による

図形区分：なし(0)

幾何構造：線

座標次元：2次元

実データ区分：3(三次元座標レコード(地形表面の高さを計測したもの))

又は、

実データ区分：6(三次元座標レコード(人工構造物等の地形表面以外の高さを計測したもの))

第5節 地形モデルの作成

(要旨)

第25条 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。

<第25条 運用基準>

三次元点群データ作成に使用された標定点等が、三次元点群データと同等精度の標高を保持し、かつ地表面の標高の換算できる場合は、標定点等を制約条件として与えることができる。

(方法)

第26条 地形モデルは、制約条件となる箇所を三角形の一辺や一点とし、三次元点群データの再現性が最も高いTIN構造で作成することを標準とする。

<第26条 運用基準>

TINは、三次元点群データが各三角形の最小角が最大となる組み合わせであることを原則とし、さらに制約条件により三角形を分割する方法で作成することを標準とする。

2 傾斜変換等の制約条件と近傍の三次元点群データは、その精度が傾斜変換点等と接合できる範囲まで除去するものとする。

(地形モデルの最適化)

第27条 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。

【解説】

地形モデルの利便性を図るため、精度の劣化しない範囲でデータを間引きすることを「地形モデルの最適化」として規定した。

精度の劣化の判定は、最適化した地形モデルとそれに伴って排除された三次元点群データとの高さ方向の差分が、三次元点群データの精度以内かで行う。

第6節 断面図データの作成

(要旨)

第28条 断面図データの作成は、地形モデルとの交点の標高を、測線に与える作業を行う。

(測線の入力)

第29条 測線は、測量計画機関の指定に基づいて入力するものとする。

<第29条 運用基準>

測線は、次のデータ仕様で入力するものとする。

地図分類：7704（水準路線）

図形区分：なし（0）

幾何構造：線

座標次元：2次元

実データ区分：6（三次元座標レコード（人工構造物等の地形表面以外の高さを計測したものの））

【解説】

作業規程の準則の第4編第2章第6節第400条では、路線測量における縦断測量として測線は中心杭をつなぐ線としている。

作業規程の準則の第4編第2章第7節第402条では、路線測量における横断測量として測線は中心杭等を基準にして、中心点における中心線の接線に対して直角方向の線としている。

作業規程の準則の第4編第3章第5節第419条では、河川測量における定期縦断測量として測線は左右両岸の距離標をつなぐ線としている。

作業規程の準則の第4編第3章第6節第421条では、河川測量における定期横断測量として測線は左右距離標の視通線としている。

(方 法)

第30条 断面図データの作成は、測線と地形モデルとの交点計算により得られた地形モデルの標高を、測線に内挿することにより行うものとする。

(断面図データファイルの作成)

第31条 断面図データファイルは、測線の水平距離を横軸に、測線の高さを縦軸にし、図紙上で適切に表示できる縮尺で作成するものとする。

<第31条 運用基準>

- 1 断面図データファイルは、次の項目が判読できるように表現するものとする。
 - 一 主要の構造物の位置
 - 二 欠測範囲
- 2 横軸の縮尺は、100分の1から100,000分の1までを標準とする。
- 3 縦軸の縮尺は、100分の1から200分の1までを標準とする。

4 断面図データは、測量計画機関の指示によるファイル形式で記録するものとする。

第7節 数値地形図データファイルの作成

(要旨)

第32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をいう。

<第32条 運用基準>

数値地形図データファイルは、次を格納するものとする。

- 一 水準点地表面高
 - 二 欠測範囲
 - 三 傾斜変換点
 - 四 構造物の外形
 - 五 地形モデル
 - 六 測線
- 2 断面図データファイルは、次を格納するものとする。
- 一 断面図データ
 - 二 断面図の表現に必要となる項目

第8節 成果等の整理

(メタデータの作成)

第33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34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 断面図データファイル
- 三 作業記録
- 四 精度管理表
- 五 その他の資料

附則

三次元点群を使用した断面図作成マニュアル（案）（平成 29 年 3 月改正）は、廃止する。

第3編 資料

標準様式

- 補備測量精度管理表
- 地形モデルの最適化精度管理表
- 数値地形図データファイル精度管理表（準則様式第1-20）

補備測量 精度管理表

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			
				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		

用紙は、A4判とする。

- 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抹消する。
 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。

地形モデルの最適化 精度管理表

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
				自 年 月 日 至 年 月 日		印	印
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

用紙は、A4判とする。

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。

別表 1 (測量成果検定基準)

測量成果検定基準

作業種別	測量成果及び資料	検定基準
三次元点群データを使用した断面図作成	地形モデル	規定内のもの
	数値地形図データファイル	〃
	断面図データ	地形モデルの当該位置と断面図データが同じ
	精度管理表／品質評価表	品質要求に基づく評価結果の適否
	メタデータ	記載様式、内容の誤りの有無
	その他の資料	規定に基づく記載等の適否

参考資料（傾斜変換点を考慮した三次元点群データ作成）

三次元点群データ作成は自動処理で観測されるため、傾斜変換点といった連続した観測対象物の特性を表現することは弱い。特に、凹凸や植生等が存在する自然地形では、基本的には傾斜変換点を連続的に表現することはできない。したがって本マニュアルでは、傾斜変換点を補備し、傾斜変換点を表現できる TIN 構造で地形モデルを作成することで、傾斜変換点を含む断面図が作成できるように規定している。

しかしながら、傾斜変換点が必要であれば、三次元点群データ作成時に傾斜変換点を表現できることを考慮しておくことが望ましい。そこで、ここでは考えられる次の3つの方法について解説する。

- 傾斜変換点箇所のみを高密度に観測する（これを「粗密観測」と呼ぶ）
- 傾斜変換点箇所に標識を設置して観測する（これを「折れ点観測」と呼ぶ）
- 傾斜変換点箇所を別途 TS で観測する（これを「TS 観測」と呼ぶ）

粗密観測

三次元点群データは、密度が高いほど地形を細かく表現できるが、その分データ量が増加し、作業負担が増加するとともに、利用もし難くなる。したがって地形の形状に応じ、水平も含めて等傾斜の箇所は粗い密度で、傾斜変換点箇所では密な密度で観測することで、合理的な地形表現ができるようにする。

なお、粗密観測を効率的に行うには、全域を粗い密度で観測し、その後に傾斜変換点箇所を、その傾斜変換の度合いによる密度で観測する。つまり、コンクリート被覆などによって作られた人工的な傾斜変換点は、傾斜変換点を形成する両側の形状が平らであるため、三次元点群データの密度が粗くてもよい。

折れ点観測

折れ点観測では、傾斜変換点箇所を形成する傾斜の境界線において、境界線自体の傾斜が変化する地点（いわゆる「折れ点」）に、三次元点群データ作成に使用する方法に応じて明瞭に観測できる大きさや模様の標識を設置しておく。そして、作成された三次元点群データから標識をつなぐ線を描画して境界線を再現するとともに、この境界線を高密度な点に変換し、三次元点群データに合成する。

なお、TIN 構造で地形モデルを作成する場合は、再現した傾斜の境界線を、TIN を構成する三角形の一辺となるように使用することもできる。

TS 観測

TS 観測は、三次元点群データ作成とは別に、TS によって傾斜の境界線を観測する方法である。折れ点観測と同様に、境界線を高密度な点に変換して三次元点群データに合成したり、TIN を作成する際の三角形の一辺としたりすることで、傾斜変換点を表現できるようになる。折れ点観測のように標識を設置する必要はないが、三次元点群データ作成用の機器とは別に TS を用意する必要がある。

なお、要求精度と現場環境によっては GNSS 測量機による観測も考えられる。