

地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）

平成 30 年 3 月

国土交通省国土地理院

目 次

【序】概説	1
1. はじめに	1
2. 地上レーザスキャナを用いた公共測量とは	2
3. 地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル	4
1) 本マニュアルの目的	4
2) 本マニュアルの構成	5
3) 本マニュアルの適用範囲と利用上の注意点	6
第1編 総則	7
第2編 地上レーザスキャナを用いた地形測量	9
第1章 概説	9
第1節 要旨	9
第2節 製品仕様書の記載事項	9
第2章 地上レーザスキャナを用いた地形測量	11
第1節 要旨	11
第2節 作業計画	12
第3節 標定点の設置	12
第4節 地上レーザ観測	14
第5節 現地調査	17
第6節 数値図化	18
第7節 補測編集	20
第8節 成果等の整理	21
第3編 地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成	22
第1章 概説	22
第1節 要旨	22
第2節 製品仕様書の記載事項	22
第2章 地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成	24
第1節 要旨	24
第2節 作業計画	24
第3節 標定点の設置	24
第4節 地上レーザ観測	26
第5節 三次元点群データ編集	28
第6節 三次元点群データファイルの作成	29
第7節 成果等の整理	29
第4編 資料	31
様式第1	32

様式第 2	33
様式第 3	34
様式第 4 - 1	35
様式第 4 - 2	36
様式第 5	37
別表 1	38
解説	39

【序】概説

1. はじめに

レーザーは、干渉性（2つの光が干渉縞を作ることができることをいい、「コヒーレンス」とも呼ばれる）に優れ、狭帯域な波で、光を特定の方向に集中できる指向性や光を一点に集中する収束性が極めて良い光である。そのため、コンピュータやオーディオ機器、医療機器等、広い分野で利用されている。また、変調したレーザー光やパルスを物体に照射し、反射してきたレーザー光の位相を観測したり、往復時間を観測したりすることにより、正確に距離を観測できる。

この距離が正確に観測できるという特性は、測量にも有効で、トータルステーションや航空レーザー測量システム、車載写真レーザー測量システム等の測量機器へも利用されている。

トータルステーションでは、特定の点に多くのレーザー光を照射し、距離を観測している。航空レーザー測量システムや車載写真レーザー測量システムに搭載されている機器は、航空機や車の進行方向に直交する方向の横断測量を行うようにレーザー光を照射すると同時に、航空機や車を移動させることによって下方や周囲に存在する地形・地物までの方向と距離を観測し、三次元の点群として表現している。

本マニュアルで規定する地上レーザスキャナ(TLS; Terrestrial Laser Scanner)は、特定の位置に機器を据え付け、前方に断面を測量するようにレーザー光を照射すると同時に、機器本体を回転させることにより周囲に存在する地形・地物までの方向と距離を面的に観測し、三次元の点群として表現している。

このように測量機器としてのレーザーは、照射数や照射速度を増加させながら点の観測から線状の観測（「プロファイリング」とも呼ばれる）、面的な観測（「スキャニング」とも呼ばれる）と進歩を遂げるとともに、レーザー光の照射数が膨大となり、照射した地形・地物の三次元の形状を把握できるまでに進歩を遂げ、砂防や建設分野においては斜面崩壊地や工事現場等の形状やそれらの場所の時系列的観測による差分で土砂量を観測することが可能となった。また、照射した地形・地物から反射してきたレーザー光の強度を受光することによって、反射強度が異なる地形・地物を分類することが可能となり、この特性を利用した地形図作成への利用も行われるようになってきている。

このようにレーザーの有効性は測量分野でも認められて利用範囲を拡大しているが、例えば本マニュアルで規定する地上レーザスキャナについていえば、地上レーザスキャナからの距離が遠くなるほど観測点の間隔が広くなるとともに、レーザスキャナの前方（以下「放射方向」という。）とレーザスキャナ本体の回転方向（以下「接線方向」という。）の間隔が異なってくる。また、照射された地形・地物とレーザー光との入射角によってレーザー光の照射範囲（これを「スポット」あるいは「フットプリント」という）が楕円形状となり、入射角が小さくなるほど楕円形の長半径と短半径の差が拡大するとともに、同じ所が部分的に別のスポットの範囲となって反射強度を形成することになる。さらに、植生や構造物によって遮蔽さ

れた部分は観測できない一方、必要としないことが多い植生や構造物の側面が観測される等、測量として注意すべき特性もある。

本マニュアルでは、このような地上レーザスキャナの特性を踏まえつつ、地上レーザスキャナの高密度に反射強度付きで標高値を観測できること、今後の発展も期待できることから、地形測量や工事測量のイノベーションにつながる適切な測量方法を規定したものである。

2. 地上レーザスキャナを用いた公共測量とは

本マニュアルでは、「地上レーザスキャナを用いた地形測量」と「地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成」のふたつの公共測量の方法を規定している。地形測量は数値地形図データ作成のための測量で、三次元点群データ作成は地形を表現するための高密度な標高を作成するための測量である。

これらのふたつの測量の工程別作業区分及び順序は、図 1 のように規定している。前半の工程は同じであるが、性質は異なる。

地形測量では、地上レーザスキャナで取得された高密度の標高値群とその反射強度（これを「三次元観測データ」とよぶ）を基図として地物等を描画していく。つまり、地形測量は、三次元観測データを基に新たな情報を作成していく測量である。一方、三次元点群データ作成は、三次元観測データから地形を捉えられなかった点を除去していき、地形を標高値の集合だけ（「数値地形モデル」あるいは「DTM：Digital Terrain Model」とも呼ばれる）で表現する測量である。三次元点群データ作成では、反射強度データを使用する必要はない。

本マニュアルが想定する作業地域においては、地上レーザスキャナによって観測される点の間隔は、レーザ光の照射位置に対して前方には遠いほど広がっていき、地上レーザスキャナを原点とする同心円上には均等な間隔となる。このような地上レーザスキャナによる観測位置の特性に対し、地形測量で描画しようとする地物の形状は、三次元点群データ作成で表現しようとする地形の形状に対して微細であるため、観測点間隔は前方にも同心円上にも均一であることが望まれる。これを実現するには、地形測量では、より地上レーザスキャナに近い範囲での観測データしか利用しないことになる。これに対して三次元点群データ作成では、水平であったり鉛直であったりする人工地形とは違って自然地形は地形の形状が滑らかであるため、地形形状の変化点（尾根筋や谷筋、あるいは傾斜変換線）以外では、高密度な観測データを要求されず、遠くまで観測できる。また、工事現場での利用では、mm 単位の精度を要求される舗装工への適用があったり、地上レーザスキャナの設置位置が限定されてレーザ光の入射角が小さくなるという前提に立たなければならなかったりと、近い距離での観測に考慮しなければならない。このように、地形測量と三次元点群データ作成では、適用できる作業範囲が異なってくることになる。地形測量においても地形を表現する必要があるが、等高線によって行うものであり、ここでも三次元観測データは基図としての取り扱いとなる。

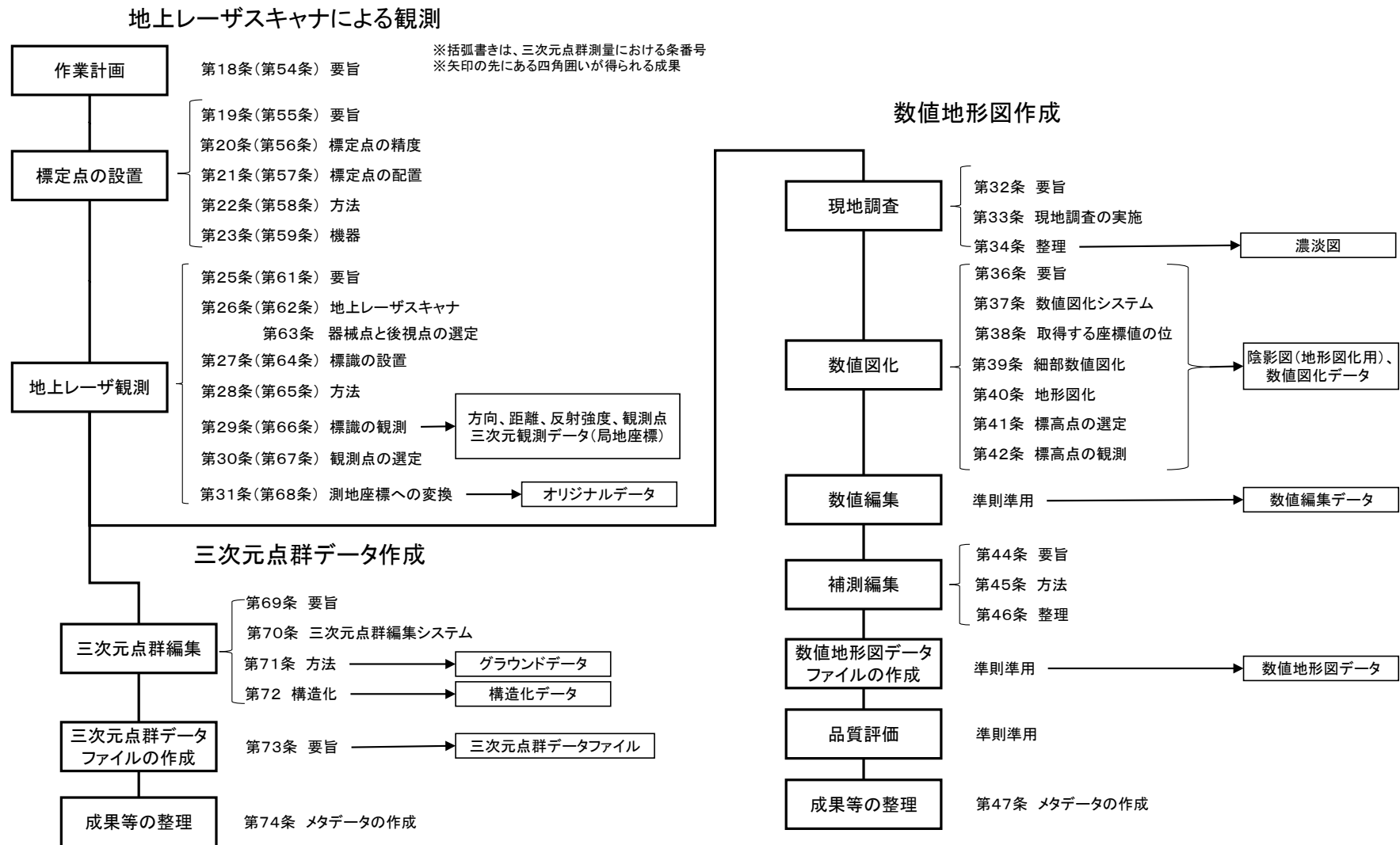


図 1 作業の流れと対応する条文、得られる成果品

本マニュアルの成果は、多くが公共測量成果であることから、測量法で定められた測地系で整備されていることが重要となる。一方、三次元点群データは、当該業務での工事や災害等による地形の変化を時系列的に捉えられることが重要となる。つまり、地形測量では地球上での絶対的な位置を意識した測量を、三次元点群データ作成では局地的な範囲での相対的な関係を意識した測量を、それぞれ行うことになり、求められる位置精度の意味や許容範囲の値は異なってくる。

以上のような工程別作業区分及び順序を同じくする前半の工程における地形測量と三次元点群データ作成に求められるものを整理すると、これらの測量に利用される地上レーザスキャナの性質も異なってくると思われる。例えば、地形測量では地物を判読するための反射強度あるいは色が必須となってくるが、三次元点群データ作成では標高値のみが観測できればよい。地形測量では、近距離を均等かつ短い間隔で観測できることが望まれるが、三次元点群データ作成では、距離に関係なく同じ位置を繰り返し観測できることが望まれる。

後半の工程においては、地形測量では数値地形図データの数値図化や数値編集等が、三次元点群データ作成では三次元点群データとしての点群編集(「フィルタリング」とも呼ばれる)が、それぞれ行われる。

数値地形図データの数値図化や数値編集等では、反射強度だけでは区別が付きがたい地物を、標高値や現地調査などによって補いながら、作業規程の準則(以下、「準則」という。)に規定されている標準図式にしたがった形式に整理される。

三次元点群データの点群編集では、地形を捉えていない点は、論理的な判断や別途撮影された写真等を参照しながら除去される。さらに、後利用がし易い形式に構造化したデータとして整理される。

このような地形測量と三次元点群データ作成の性質を踏まえ、適用される分野も異なると考えられることから、本マニュアル案では地形測量と三次元点群データ作成を別々の編として規定している。今後、地上レーザスキャナを用いた公共測量において本マニュアルにしたがった作業が増加するものと思われる。これらにより本マニュアルで規定した地形測量や三次元点群データ作成の性質や方法が、一層、明確になってくるものと思われる。したがって将来的には、これらを踏まえ、必要な箇所を修正した後に準則で規定する。

3. 地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル

1) 本マニュアルの目的

本マニュアルは、準則第17条(機器等及び作業方法に関する特例)を適用し、公共測量において地上レーザスキャナを用いて測量を実施する場合の標準的な作業方法を定め、その規格の統一、成果の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。

① 公共測量を実施する場合

国又は地方公共団体において、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）を適用し、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により、本マニュアルを準用することができる。

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、i-Construction 等の工事測量においても本マニュアルの測量方法等を利用することができる。

2) 本マニュアルの構成

本マニュアルは、地上レーザスキャナを用いた測量を実施する際の標準的な作業方法、使用する機器等の必要な事項について規定している。

また、測量技術としての地上レーザスキャナを用いた測量に対する理解を深め、その利用の普及・促進の一助となるよう、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

地上レーザスキャナ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、地上レーザスキャナ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 地上レーザスキャナを用いた地形測量

準則の第 3 編「地形測量及び写真測量」に対応するものとして第 2 編「地上レーザスキャナを用いた地形測量」を設け、この編の中の位置付けとして「地上レーザスキャナを用いた地形測量」を規定することとし、実施するにあたっての工程別作業区分及び順序、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 地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成

三次元点群データ作成技術の進展に対応して第 3 編「地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成」を設け、この編の中の位置付けとして「地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成」を規定することとし、その実施にあたっての工程別作業区分及び順序、作成手法、主な測量記録等の規格について規定している。

⑤ 第 4 編 資料

地上レーザスキャナを用いた測量のための精度管理表及び数値地形図データファイル・三次元点群データファイル仕様等の標準様式を規定している。

3) 本マニュアルの適用範囲と利用上の注意点

レーザを用いた測量では、航空レーザが地形測量に用いられるようになったことで、国内の地形が詳細に明らかになり、防災をはじめとする様々な分野で社会に大きく貢献することとなった。

航空レーザ測量では、上空から地上に向けてレーザ光を照射するとともに、ラストリターンパルスと呼ばれる強度が強い最後の反射光、つまり最も遠くにあると推定される地点を識別することにより地上高を識別する。また、ラストリターンパルスに樹冠や構造物から反射光が含まれていても、これらは周辺にある地上高からのラストリターンパルスによって自動的に除去しやすい。

地上レーザ測量では、このような航空レーザ測量の特性とは異なり、遠くにある点ばかりが数値地形図データ作成に必要なとは限らない。地上レーザスキャナの近くで、上空にある点は、電線や樹木といった測量成果としては必要ない点として識別はできるが、このような地形を捉えていない点を点群全体で自動的に除去できる目安はない。そのためフィルタリングは手作業によらざるを得ず、植生や構造物が多い地区では負荷が多い作業となる。

このように除去する点が多くなる地区では、経済性を悪化させるとともに、除去する点が多いと精度の低下にもつながるため、地上レーザ測量の対象地域はレーザ光を遮るものがない地域に限定することが望ましいと考えられる。

以上の地上レーザスキャナの特性を踏まえ、本マニュアルでは地形測量への活用では、主に道路や区画整理地などで比較的レベルで平坦な場所、三次元点群データ作成への活用では、道路等の建設工事現場で、局地的な基準での観測でも許される場所で、それぞれ利用されることを想定して規定している。

なお、災害などの迅速性が優先される対象、大まかな土量を測ればよい対象等においては、本マニュアルを参考とし、対象物や現場の状況に応じて対応されることが望まれる。

第1編 総則

(目的)

第1条 本マニュアルは、公共測量における地上レーザスキャナを用いた数値地形図データ作成及び三次元点群データ作成について、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。

(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号による一部改正を準用する。

(製品仕様書)

第3条 計画機関は、得ようとする測量成果の種類、内容、構造、品質等を示す仕様書（以下「製品仕様書」という。）を定めなければならない。

(作業計画)

第4条 作業機関は、作業着手前に作業の方法、使用する主要な機器、要員、日程等について適切な作業計画を立案し、これを計画機関に提出して、その承認を得なければならない。作業計画を変更しようとする場合も同様とする。

(工程管理)

第5条 作業機関は、前条の作業計画に基づき、適切な工程管理を行わなければならない。

2 作業機関は、測量作業の進捗状況を適宜計画機関に報告しなければならない。

(精度管理)

第6条 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、これを計画機関に提出しなければならない。

2 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 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。

(測量成果の検定)

第7条 作業機関は、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8条 地上レーザスキャナを用いた測量における成果、資料等は、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。

<第8条 運用基準>

地上レーザスキャナを用いた測量に関連する標準的な様式は、本マニュアルに規定する。

(運用基準)

第9条 本マニュアルの運用に関して必要な事項は、本マニュアルの中に運用基準として定める。

第2編 地上レーザスキャナを用いた地形測量

第1章 概説

第1節 要旨

(要旨)

- 第10条 本編は、地上レーザスキャナを用いた地形測量の作業方法等を定める。
- 2 「地上レーザスキャナ」とは、地上に設置してレーザ光を照射し、対象物の三次元観測データを取得する測量機器をいう。
- 3 「地上レーザスキャナを用いた地形測量」とは、地上レーザスキャナを用いて三次元観測データを取得する地形測量により数値地形図データ等を作成する作業をいう。
- 4 「数値地形図データ」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。

第2節 製品仕様書の記載事項

(製品仕様書)

第11条 製品仕様書は、当該地上レーザスキャナを用いた地形測量の概覧、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。

(数値地形図データの地図情報レベル)

第12条 数値地形図データの地図情報レベルは、250及び500を標準とする。

<第12条 運用基準>

- 1 数値地形図データの位置精度及び地図情報レベルは、準則第80条（数値地形図データの精度）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

- 2 「地図情報レベル」とは、数値地形図データの地図表現精度を表し、数値地形図における図郭内のデータの平均的な総合精度を示す指標をいう。
- 3 地図情報レベルと地形図縮尺の関係は、次表のとおりである。

地図情報レベル	相当縮尺
250	1/250
500	1/500

(数値地形図データの図式)

第13条 数値地形図データの図式は、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、数値地形図データのファイル仕様、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 地上レーザスキャナを用いた地形測量

第1節 要旨

(要旨)

第14条 地上レーザスキャナを用いた地形測量とは、地上レーザスキャナを用いて観測した方向、距離及び反射強度から数値地形図データファイルを作成する作業をいう。

(地図情報レベルと観測条件)

第15条 観測条件は、地図情報レベルに応じて地形、地物で設定するものとする。

<第15条 運用基準>

- 1 地形の観測条件は、放射方向の観測点間隔によって決定するものとする。
- 2 地物の観測条件は、放射方向の観測点間隔とスポット長径によって決定するものとする。
- 3 地上レーザスキャナの観測を単独で行う場合の観測条件は、下表を標準とし、地物は放射方向の観測点間隔と放射方向のスポット長径のいずれかが満たされているものとする。

地図情報レベル	地形	地物	
	放射方向の観測点 間隔[mm]	放射方向の観測点 間隔[mm]	放射方向のスポット 長径(FWHM)[mm]
250	330	25	50
500	330	50	100

- 4 地上レーザスキャナの観測を同一箇所に対して複数回行う場合、その観測条件は前項の基準に準拠するものとする。

(工程別作業区分及び順序)

第16条 工程別作業区分及び順序は、次のとおりとする。

- 一 作業計画
- 二 標定点の設置
- 三 地上レーザ観測
- 四 現地調査

- 五 数値図化
- 六 数値編集
- 七 補測編集
- 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

(作業手法の準用)

第17条 前条第1項の第六号と第八号、第九号は、準則第3編第4章第9節と第11節、第12節を準用する。

第2節 作業計画

(要 旨)

第18条 作業計画は、第4条の規定によるほか、工程別に作成するものとする。

第3節 標定点の設置

(要 旨)

第19条 標定点の設置とは、座標変換により地上レーザスキャナに水平位置と標高、方向を与えるための基準となる点（以下「標定点」という。）を設置する作業をいう。

(標定点の精度)

第20条 標定点の精度は、数値地形図データの地図情報レベルに応じ、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	0.1 m 以内	0.1m 以内
500	0.1 m 以内	0.1m 以内

2 標定点間の距離の許容範囲は、次表に規定するもの又はこれらと同等以上のものを標準とする。なお S は点間距離の計算値をいう。

距離	許容範囲
20m 未満	10mm
20m 以上	$S/2,000$

(標定点の配置)

第21条 標定点は、地上レーザスキャナの設置位置とともに次の各号に配慮して適切に設置するものとする。

- 一 作業範囲の大きさ
- 二 地上レーザスキャナの性能
- 三 レーザ光の地形上でのスポット長径
- 四 レーザ光の地物からの反射強度
- 五 測地座標系への変換の方法

2 標定点は、レーザ観測の有効範囲の外に設置することを原則とする。

<第21条 運用基準>

- 1 標定点の数は、レーザ観測ごとに次のとおり設置することを原則とする。
 - 一 相似変換による方法に用いる場合は4点以上
 - 二 後方交会による方法に用いる場合は3点以上
- 2 異なる地点から複数回、地上レーザ観測する場合には、標定点の数は冗長性が保てる範囲で減らすことができる。
- 3 基準点は、標定点を兼ねることができる。

(方 法)

第22条 標定点の設置は、準則第3編第2章第4節第1款のTS点の設置に準じて行うものとする。

(機 器)

第23条 標定点の設置に用いる機器は、準則第35条に準じるものとする。

(成果等)

第24条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 標定点成果表
- 二 地上レーザスキャナ・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節 地上レーザ観測

(要 旨)

第25条 地上レーザ観測とは、地上レーザスキャナにより地形・地物の方向、距離及び反射強度を観測するとともに、標定点により測地座標系に変換してオリジナルデータを作成する作業をいう。

(地上レーザスキャナ)

第26条 地上レーザスキャナは、所要の性能を有するものを使用しなければならない。

<第26条 運用基準>

地上レーザスキャナの性能は、次の各号のとおりとする。

- 一 地上レーザスキャナの距離観測方法は、TOF方式又は位相差方式とする。

- 二 スポット径が分かる。
- 三 観測点の水平及び垂直方向の角度の観測間隔が分かる。
- 四 標準的な地形・地物が入射角 1.5 度以上で観測できる。
- 五 反射強度が取得できる。

(方 法)

第 27 条 地上レーザスキャナを用い、地形・地物に対する方向・距離、反射強度を観測する。

- 2 観測方法は、観測対象物に応じて採用するものとする。
- 3 観測の方向は、地形の低い方から高い方への向きを原則とする。
- 4 観測した方向及び距離を局地座標系に変換するとともに、受光した反射強度を記録するものとする。

<第 27 条 運用基準>

- 1 観測対象物は、標識、地形、地物に分類し、これらの大きさ、形状、地上レーザスキャナからの距離に応じて観測を行うものとする。
- 2 観測方法は、測地座標系で観測する場合は一号の方法を、局地座標系で観測して測地座標系へ変換する場合は二号もしくは三号の方法を用いることを原則とする。
 - 一 器械点と後視点による方法
 - 二 相似変換による方法
 - 三 後方交会による方法
- 3 器械点と後視点による方法及び後方交会による方法を用いる場合は、コンペンセータを備えた地上レーザスキャナを用いなければならない。
- 4 反射強度が同等の地物が隣接する場合は、それらの境が濃淡として捉えられるような措置をとることができるものとする。
- 5 一部の観測対象物のみを高密度で観測することができるものとする。
- 6 同一箇所から複数回観測する場合は、それぞれ地上レーザスキャナの器械高を変えることを原則とする。

(標識の設置)

第 28 条 標定点の上には、標識を設置することを原則とする。

- 2 標識の形状及び大きさは、その中心が所定の精度で観測できるものでなければならない。

<第28条 運用基準>

- 1 標識の形状及び反射特性は、地上レーザスキャナのメーカーが推奨するものを使用することを原則とする。
- 2 標識の大きさは、地上レーザスキャナからの距離に応じて選択するものとする。
- 3 標識は、地上レーザスキャナに対して正対して設置しなければならない。
- 4 標識と同等の観測精度が得られる地物を用いる場合は、標識を設置しなくともよいものとする。

(標識の観測)

第29条 標識に照射された三次元観測データを用い、標識の中心を観測する。

(観測点の選定)

- 第30条 数値図化に必要となる観測点を選定できるものとする。
- 2 観測点は、間隔に応じて間引きできるものとする。
 - 3 観測点は、スポット長径に応じて除去することを原則とする。

<第30条 運用基準>

- 1 観測点の選定は、第15条に規定した放射方向の観測点間隔及び放射方向のスポット長径に準じて行うものとする。
- 2 内挿による観測点の微細化は、行ってはならない。

(測地座標系への変換)

- 第31条 三次元観測データは、標定点等を使用して測地座標系に変換し、オリジナルデータを作成するものとする。
- 2 測地座標系への変換における標定点の残差は、所定の値以内でなければならない。

<第31条 運用基準>

- 1 測地座標系への変換方法は、次の各号によるものとする。
 - 一 相似変換による方法
 - 二 後方交会による方法
- 2 測地座標系への変換における標定点の残差は、50mm以内とする。

第5節 現地調査

(要旨)

第32条 現地調査とは、地上レーザ観測で観測が困難な各種表現事項、名称、観測不良箇所等を、現地にて調査する作業をいう。

<第32条 運用基準>

- 1 観測不良箇所は、主に次の各号に定める範囲を調査する。
 - 一 他の地物による陰蔽範囲
 - 二 レーザ光の無反射範囲
 - 三 反射強度が同じ隣接地物

(現地調査の実施)

第33条 現地調査は、次の各号による方法により実施するものとする。

- 一 写真や写生による方法
- 二 地上レーザ観測の濃淡図に整理する方法

<第33条 運用基準>

- 1 写真や写生による方法では、調査項目を写真や写生で記録するものとする。
- 2 地上レーザ観測の濃淡図に整理する方法では、調査項目を地上レーザ観測の濃淡図に記載するものとする。
- 3 調査項目は、必要に応じて明瞭な地物からの距離を観測するものとする。
- 4 観測は、近隣の明瞭な地物からのオフセット値の観測を原則とする。

(整理)

第34条 現地調査の結果は、数値図化及び数値編集時に参照しやすいように整理するものとする。

<第34条 運用基準>

現地調査の結果は、位置が確認できるように整理するものとする。

(成果等)

第35条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 現地調査結果の整理資料
- 二 その他の資料

第6節 数値図化

(要 旨)

第36条 数値図化とは、現地調査の結果を基に地上レーザ観測で得られたオリジナルデータから、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。

(数値図化システム)

第37条 数値図化に使用するシステムは、次の各号の構成及び性能を有するものとする。

- 一 電子計算機、スクリーンモニター及びマウス等を有する
- 二 スクリーンモニターが複数の画面に分割できる
- 三 任意の視点からの三次元表示できる
- 四 X、Y、Zの座標値と所定のコードが入力及び記録できる

(取得する座標値の位)

第38条 数値図化における地上座標値は、0.01メートル位とする。

(細部数値図化)

第39条 細部数値図化は、線状対象物、建物、植生の順序で行い、等高線は地形図化で行うものとする。

2 分類コードは、準則付録7の数値地形図データ取得分類基準を標準とする。

- 3 数値図化は、オリジナルデータの正射影を基図とし、断面図や陰影図を参考に行うものとする。
- 4 濃淡不足、陰蔽等の障害により判読困難な部分又は図化不能部分がある場合は、その部分の範囲を明示し、必要に応じて補測編集を行う場合の注意事項を記載するものとする。

(地形図化)

第40条 地形図化は、オリジナルデータより行うものとする。

- 2 分類コードは、準則付録7の数値地形図データ取得分類基準を標準とする。
- 3 変形地は、可能な限り等高線で取得し、その状況によって変形地記号を取得するものとする。
- 4 等高線は、主曲線だけでは地形を適切に表現できない部分については補助曲線等を取得する。
- 5 陰蔽等の観測不良により図化不能部分がある場合は、その部分の範囲を明示し、必要に応じて補測編集を行う場合の注意事項を記載する。

<第40条 運用基準>

オリジナルデータは、等高線間隔で段彩表現することを原則とする。

(標高点の選定)

第41条 標高点は、地形判読の便を考慮して選定するものとする。

- 2 標高点の配置は、等密度の分布となるようにする。

<第41条 運用基準>

- 1 標高点の選定位置は、次の各号に従うものとする。
 - 一 道路の主要な分岐点
 - 二 河川の合流点、広い河川敷
 - 三 主な傾斜の変換点
 - 四 その付近の一般面を代表する地点
 - 五 凹地の読定可能な最深部
 - 六 その他地形を明確にするために必要な地点
- 2 標高点の密度は、地図情報レベルに4センチメートルを乗じた値を辺長とする格子に1点を標準とする。

(標高点の観測)

第42条 標高点の観測は、オリジナルデータから読み取りを原則とする。

<第42条 運用基準>

オリジナルデータの間隔が広く、適切な位置に観測点がない場合には、周辺の観測点から内挿するものとする。

(数値図化データの点検)

第43条 数値図化データの点検は、第36条から前条までの工程で作成された数値図化データをスクリーンモニターに表示させて、三次元観測データ等を用いて行うものとする。

<第43条 運用基準>

数値図化データの点検は、必要に応じて地図情報レベルの相当縮尺の出力図を用い、次の項目について行うものとする。

- 一 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
- 二 接合の良否
- 三 標高点の位置、密度及び観測値の良否
- 四 地形表現データの整合

第7節 補測編集

(要 旨)

第44条 補測編集とは、数値図化で生じた判読困難な部分又は図化不能な部分を現地測量にて補備し、数値編集データを編集する作業をいう。

- 2 補測編集は必要に応じて行うものとする。

(方 法)

第45条 補測編集は、準則第140条第2項に準拠するものとする。

(整理)

第46条 調査結果は、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。

<第46条 運用基準>

調査結果は、数値図化出力図に整理することを原則とする。

第8節 成果等の整理

(メタデータの作成)

第47条 地上レーザ測量の成果のメタデータは、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48条 成果等の整理は、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 三次元観測データ
- 三 品質評価
- 四 メタデータ
- 五 観測図
- 六 精度管理表
- 七 その他の資料

第3編 地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成

第1章 概説

第1節 要旨

(要旨)

第49条 本編は、地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成の作業方法等を定め、標高較差の精度を担保する。

2 「地上レーザスキャナ」とは、地上に設置してレーザ光を照射し、対象物の三次元観測データを取得する測量機器をいう。

3 「地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成」とは、地上レーザスキャナにより取得した三次元観測データを用いて三次元点群データ等を作成する作業をいう。

4 「三次元点群データ」とは、地形に係わる情報の水平位置、標高により計算処理が可能な状態として表現されたものをいう。

5 「標高較差」とは、三次元点群データの時系列的な変化をいう。

第2節 製品仕様書の記載事項

(製品仕様書)

第50条 製品仕様書は、当該地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成の概観、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。

(三次元点群データの標高較差の許容範囲と観測条件)

第51条 三次元点群データの精度と観測条件は、観測対象と要求精度に応じて設定するものとする。

<第51条 運用基準>

1 平坦面における標高較差の精度と観測条件は、下表のとおりとする。

標高較差の精度[mm]	放射方向の観測点間隔	最小入射角[度]	対象
-------------	------------	----------	----

(標準偏差)	[mm]		
5	250	4	水平面
10	500	2	水平面
20	1000	-	斜面

- 2 表面に凸凹や、起伏のある地形は、前項を基準として精度種別、許容範囲、観測条件を決定するものとする。
- 3 精度種別、許容範囲、観測条件を新たに設ける場合は、それに応じて各種の諸元を見直すものとする。

第2章 地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成

第1節 要旨

(要旨)

第52条 「地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成」とは、地上レーザスキャナを用いて三次元点群データファイルを作成する作業をいう。

(工程別作業区分及び順序)

第53条 工程別作業区分及び順序は、次のとおりとする。

- 一 作業計画
- 二 標定点の設置
- 三 地上レーザ観測
- 四 三次元点群データ作成
- 五 三次元点群データ編集
- 六 三次元点群データファイルの作成
- 七 成果等の整理

第2節 作業計画

(要旨)

第54条 作業計画は、第4条の規定によるほか、工程別に作成するものとする。

第3節 標定点の設置

(要旨)

第55条 標定点の設置とは、座標変換により地上レーザスキャナに水平位置と標高、方向を与えるための基準となる点（以下「標定点」という。）を設置する作業をいい、原則として測地座標系で行うものとする。

(標定点の精度)

第56条 標定点の精度は、水平位置(標準偏差)が0.1m以内、標高(標準偏差)が0.1m以内を標準とする。

2 標定点間の距離の許容範囲は、次表に規定するもの又はこれらと同等以上のものを標準とする。なおSは点間距離の計算値をいう。

距離	許容範囲
20m未満	10mm
20m以上	S/2,000

3 標定点間の標高の閉合差の許容範囲は、次に規定するものを標準とする。なお、Sは観測距離(片道、km単位)とする。

項目	許容範囲
環閉合差	$40\text{mm}\sqrt{s}$
既知点間での閉合差	$50\text{mm}\sqrt{s}$

(標定点の配置)

第57条 標定点の設置は、本条で規定するもの以外は第21条の規定を準用する

<第57条 運用基準>

標定点は、一定期間、保持できる場所に設置することを原則とし、困難な場合は予備点を設置するものとする。

(方 法)

第58条 標定点の設置は、準則第3編第2章第4節第1款のTS点の設置に準じて行うものとする。

2 標定点の観測は、準則第2編第3章水準測量に準じて行うものとする。

(機 器)

第59条 標定点の設置に用いる機器は、準則第35条に準じるものとする。

(成果等)

第60条 成果等は、次の各号のとおりとする。

- 一 標定点の成果表
- 二 地上レーザスキャナ・標定点の配置図及び水準路線図
- 三 標定点の測量簿及び同明細簿
- 四 精度管理表
- 五 その他の資料

第4節 地上レーザ観測

(要 旨)

第61条 地上レーザ観測とは、地上レーザスキャナにより地形の方向、距離を観測し、測地座標系に変換してオリジナルデータを作成する作業をいう。

(地上レーザスキャナ)

第62条 地上レーザスキャナは、第26条の規定を準用する。

(器械点と後視点の選定)

第63条 器械点と後視点は、既知点を使用することを原則とする。

- 2 器械点と後視点を設定する基準点や標定点を新たに設置する場合、基準点や標定点を設置する場所は、三次元点群データ作成が行われる期間、維持できる場所でなければならない。
- 3 器械点は、地上レーザスキャナが堅ろうに整置できなければならない。

(標識の設置)

第64条 標識の設置は、本条で規定するもの以外は第28条の規定を準用する。

<第64条 運用基準>

標識に地物を用いてはならない。

(方 法)

第65条 地上レーザ観測は、器械点と後視点による方法で行うことを原則とし、必要に応じて相似変換による方法及び後方交会による方法で行うことができる。

2 本条で規定するもの以外は第27条の規定を準用する。

<第65条 運用基準>

地上レーザスキャナの位置から作業範囲の写真を撮影することを原則とする。

(標識の観測)

第66条 標識の観測は、第29条の規定を準用する。

(観測点の選定)

第67条 観測点は、間隔に応じて間引きできるものとする。

2 観測点は、最小入射角に応じて除去するものとする。

<第67条 運用基準>

1 観測点の選定は、第51条に規定した放射方向の観測点間隔及び最小入射角に準じて行うものとする。

2 内挿による観測点の微細化は、行ってはならない。

(測地座標系への変換)

第68条 測地座標系への変換は、本条で規定するもの以外は第31条の規定を準用する。

2 測地座標系への変換は、原則として行うものとする。

<第68条 運用基準>

- 1 測地座標系への水平位置の変換方法は、次の各号によるものとする。
 - 一 相似変換による方法
 - 二 後方交会による方法
- 2 測地座標系への変換における標定点の水平位置の残差は、50mm 以内とする。
- 3 地上レーザスキャナの器械高は、次の各号のとおり整置するものとする。
 - 一 新規に観測する場合は、器械高を mm 単位で観測するものとする。
 - 二 改測で観測する場合は、新規の観測時の器械高に対し、第51条第1項に規定する標高較差の精度の3分の1以内で整置するものとする。

第5節 三次元点群データ編集

(要 旨)

第69条 三次元点群編集とは、オリジナルデータから地形を捉えていない点を除去してグラウンドデータを作成し、所定のデータ構造に構造化する作業をいう。

(三次元点群データ編集システム)

第70条 三次元点群データ編集に使用するシステムは、次の各号の構成及び性能を有するものとする。

- 一 電子計算機、スクリーンモニター及びマウス等を有する
- 二 任意の視点からの三次元表示できる
- 三 X、Y、Zの座標値の修正及び記録できる

(方 法)

第71条 三次元点群編集は、三次元点群編集システムを用いてオリジナルデータを三次元で表示し、目視にて地形以外から反射してきた観測点を除去し、グラウンドデータを作成する。

(構造化)

第72条 構造化とは、グラウンドデータを決められた構造のデータに変換する作業をいう。

2 必要に応じて傾斜変換線を追加できるものとする。

<第72条 運用基準>

- 1 構造化は、不整三角網 (TIN) あるいはグリッド構造を原則とする。
- 2 構造化の方法は、グラウンドデータの密度や作業範囲の形状に応じて決定するものとする。
- 3 不整三角網への構造化は、地形の形状に応じて最適な方法を採用するものとする。
- 4 グリッドへの構造化は、最近隣法あるいは不整三角網からの内挿を原則とする。

第6節 三次元点群データファイルの作成

(要 旨)

第73条 三次元点群データファイルの作成とは、点群あるいは構造化したグラウンド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。

<第73条 運用基準>

三次元点群データファイルは、発注者が示す仕様にしたがって作成するものとする。

第7節 成果等の整理

(メタデータの作成)

第74条 三次元点群データファイルのメタデータの作成は、必要に応じて準則第45条の規定を準用する。

(成果等)

第75条 成果等は、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 メタデータ
- 三 観測図

四 精度管理表

五 その他の資料

第4編 資料

標準様式

- ・ 標定点成果表
- ・ 地上レーザスキャナ・標定点配置図
- ・ 標定点明細書
- ・ 標定点精度管理表
- ・ 簡易水準測量精度管理表
- ・ 測地座標系への変換精度管理表

別表

- ・ 測量成果検定基準

標定点明細書

世界測地系 (測地成果○○○○)

等級点名		1/2.5 万図名			作業者	
標識の種類	チェッカ レトロリフレクタ スフィア コーナキューブ その他	標識点	標石より	m .	点検者	
			地面より	m .	設置年月日	年 月 日
座標系		X・N		Y・E		H
点の座標	本点	m , , .		m , , .		m .
	偏心点	, , .		, , .		.
	予備点	, , .		, , .		.
点付近見取図				地上写真		

用紙の大きさはA4判とする。

標定点精度管理表

地区名		作業量		作業機関名		主任技術者		点検者		
						印		印		
点名	測量方式	平均法	座標較差(最大)		高低の誤差又は較差(最大)	内角の閉合差 方向角の較差 (最大)				
			X	Y						
			m	m	m					
使用機械						備考				

用紙の大きさはA4判とする。

注1. 測量方式は、結合多角、単路線等を記入する。

注2. 平均法は、厳密水平(高低)網、簡易水平(高低)網又は三次元網平均等を記載する。

簡易水準測量精度管理表

作業名又は 地区名		作業量		作業機関名		主任技術者		点検者	
		点				印		印	
路線番号	距離	閉合差の 許容範囲	閉合差	路線番号	距離	閉合差の 許容範囲	閉合差		
	km	mm	mm		km	mm	mm		
使用機器			備考						

用紙の大きさはA4判とする。

注 閉合差の制限は、 $50 \text{ mm}\sqrt{S}$ (既知点から既知点までの閉合差)、 $40 \text{ mm}\sqrt{S}$ (環閉合差) により算出する。
Sは観測距離 (片道、km単位) とする。

測地座標系への変換 精度管理表

作業名		レーザスキャナ名		計画機関名		主任技術者	㊞
観測年月日		機器番号		作業機関名		点検者	㊞

点名	標定点 (m)			観測座標 (m)			残差 (m)			備考
	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔH	
許容範囲										

用紙の大きさはA4判とする。

測量成果検定基準

作業種別	測量成果及び資料	検定基準
地上レーザスキャナを用いた三次元点群測量	三次元点群データファイル	規定内のもの
	三次元点群データファイル出力図※	〃
	フィルタリング点検図※	〃
	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

※三次元点群データファイル出力図、フィルタリング点検図はデータ画像による検定も可とする。

解説

第1編 総則

【第1条（目的） 解説】

現行の準則において、地上レーザスキャナを用いた測定の利用については規定されていないが、準則第17条第3項で国土院が新しい測定技術による測定方法に関するマニュアルを定めた場合は、当該マニュアルを精度確認のための資料として使用することができると規定されている。本マニュアルは、これに該当するものであり、計画機関は本マニュアルにより、地上レーザスキャナを用いた測定技術を使用することについて判断することになる。

地上レーザスキャナによる観測は、観測点の間隔（放射方向と接線方向）や個々の観測点が反射強度として識別するレーザ光の照射範囲（スポット）、人の視覚による認識と反射強度の関係、地形の起伏による入射角の影響など、多様な特性を有している。したがって、地上レーザスキャナの使用に当たっては、距離の観測精度、座標（スキャン角度）の観測精度、入射角の違いによる観測点間隔の違い、観測点間隔や入射角・反射強度による地物の認識性能などを確認しておくことが重要である。

【第3条（製品仕様書） 解説】

計画機関とは、準則第3条に規定する測定計画機関をいい、測定法第7条に具体的に規定されている。一般には、地方公共団体や国の機関が該当する。

【第4条（作業機関） 解説】

作業機関とは、準則第3条で規定する測定作業機関をいい、測定法第8条に規定されている測定計画機関の指示又は委託を受けて測定作業を実施する者をいい、計画機関が自ら測定を行う場合は、計画機関も作業機関となる。

【第6条（精度管理） 解説】

準則は、測定法第34条に基づき公共測定に必要な精度を確保するため、観測器械の種類、観測法、計算法等を規定したものである。つまり、測定に限らず、製品ができあがった後に不良が見つかったとしても、修理に多くの負荷が掛かったり、場合によっては廃棄しなければならなかったりする。そのようなにならないために品質を工程ごとに確保する標準的な測定手法が示されたものである。

しかしながら測定手法自体にも弱点があると同時に、多様な条件に対応しなければならない測定においては、不得手な地形を対象としたり、要求精度を下げてでも測定したりしなければならない場合もある。点検測定は、こういった場合に特に重要となる。

したがって点検測定においては、測定手法の特徴を理解した上で、その弱点となる箇所や不得手な箇所、無理して測定した箇所などに焦点を当てることになる。

地上レーザ測定においては、その特徴は本概説の「1. はじめに」に、個々には第2編以降の関連規定に書いたとおりであるが、点検測定という観点では次のような箇所に品質の低下が起りやすい。

- 地上レーザスキャナから遠方の観測点
- レーザ光の入射角が、観測対象物に対して小さい場合
- 地物による地上レーザ観測の陰蔽部
- 反射強度が同等の、隣接する地物の境界
- 複数の地上レーザ観測の合成部や接合部

これらの具体的な状態については、器械の性能といった個々の条件によって判断する必要があり、点検方法も目視による地形・地物の有無の確認から巻尺による地物間の距離観測、TSによる地物の位置観測、TSやレベルによる地形比高の観測など、それぞれに応じて判断する必要がある。

また、本マニュアルに規定された測定手法は新技術であるため、本マニュアルの運用中に更なる進歩があることも予想される。そのような場合には、進歩した箇所なども点検測定の対象とな

りうる可能性がある。

第2編 地上レーザスキャナを用いた地形測量

第1章 概説

第1節 要旨

【第10条（要旨） 解説】

地上レーザスキャナの詳細については、第26条の解説を参照されたい。

地上レーザスキャナを用いた地形測量に適した作業範囲は、道路や区画整理地などの比較的狭い場所と想定している。また、このような場所は、起伏が少ない。したがって地上レーザスキャナを用いた地形測量は、狭く、起伏の少ない場所への適用を想定しているともいえる。

【第13条（数値地形図データの図式） 解説】

地図情報レベル250は局地的にあらゆる地物を形状で取得しており、地図編集には使い難く、図式は規定されてこなかったため、業務に応じて準則の付録7に準拠して定めることとした。

【第15条（地図情報レベルと観測条件） 解説】

ここでは、地上レーザスキャナからのレーザ光が、垂直方向にも水平方向にも同じ角度間隔で照射される場合を例に記述する。

地上レーザスキャナによる観測では、観測対象物がレーザ光の照射窓部を中心とする球の内面とすれば、その観測点間隔とスポット径の大きさは、均等に照射されることとなる。また、局所的であれば、地上に対して垂直に起立し、その表面が平坦である観測対象物では、観測点が概ね均等に照射されると仮定できる（図2）。しかしながら実際の観測においては、観測対象物には傾斜や凸凹があるため、斜度や形状によって観測点の間隔やスポット径の形状は異なってくる。地上レーザスキャナによる観測では、器械点から遠くなるほど観測点間隔やスポット径は広がっていく。その広がり、接線方向より放射方向の方がより大きくなる（図3、図4）。スポット径が大きくなれば、スポット径で覆われる反射強度が異なる地物も増え、それらは反射強度が混じり合うことになる。その結果、周辺の観測点反射強度とのコントラストを弱くし、判読性能を低下させることになる。

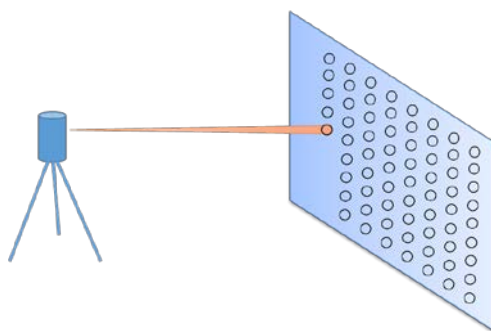


図2 地上レーザスキャナによる観測状況鳥瞰図（垂直平坦面）

以上のような地形測量へ利用する場合の地上レーザスキャナの特性を踏まえると、放射方向の観測点間隔とスポット径（スポット長径）が精度を支配する要素となり、これらを各地図情報レベルに適用される観測条件として採用している。

なお、レーザ光は、円錐形に拡散していくわけではない。使用されている光源や設計仕様によって拡散していく形状は異なってくる。また、照射されたレーザ光の全てが返ってきて、反射強度として受光されるわけではない。どのくらいのレーザ光が返ってきて反射強度として認識されるかについては、幾つかの考え方があるが、本マニュアルでは便宜的に FWHM (full width at

half maximum) を使用している。FWHM とは、正規分布の広がりを出す指標のひとつで、レーザー光の有為な反射面積が、正規分布の頂点の半分の位置の面積であることを表す指標である。

水平な平坦面を観測しているとすると、接線方向の観測点間隔 p_t は、観測点角度を α 、地上レーザースキャナから観測点までの距離を R とすると、次式で表せる。

$$p_t = 2R \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

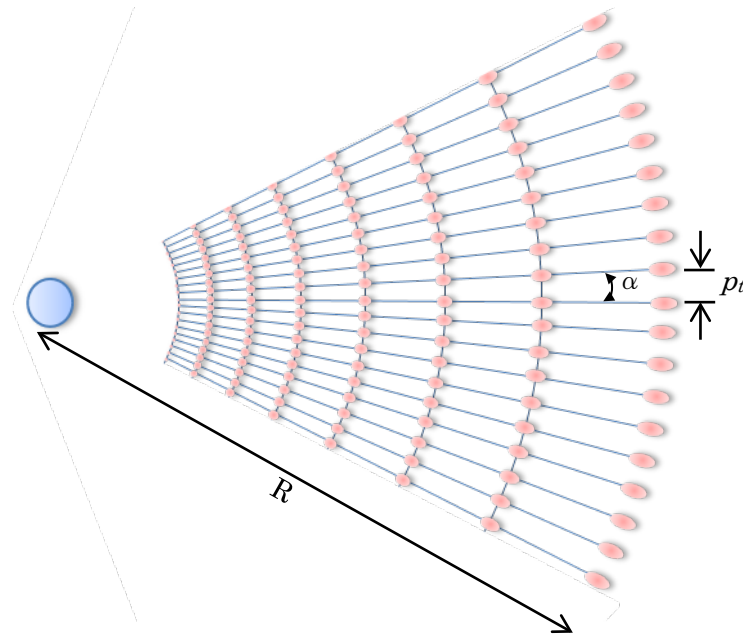


図 3 地上レーザースキャナによる観測状況平面図（水平な平坦面）

同じく放射方向の観測点間隔 p_r は、器械高を h とすると、地上レーザースキャナの直下から観測が行われたとして n 番目と $(n+1)$ 番目では、次式で表せる。

$$p_r = h[\tan\{(n+1)\alpha\} - \tan\{n\alpha\}]$$

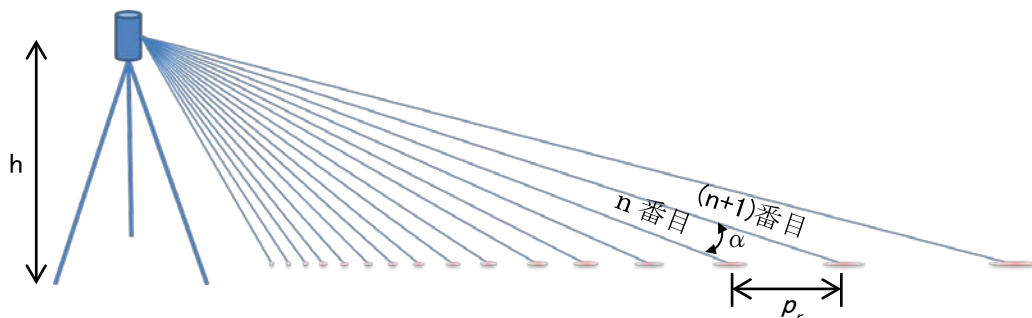


図 4 地上レーザースキャナによる観測状況立面図（水平な平坦面）

なお、観測点角度 α は、 n 番目と $(n+1)$ 番目のレーザー光の角度で、地上レーザースキャナの仕様書には最小観測角度や最小スキャン角度、あるいはスキャン分解能といった表現で、度やラジアン単位で記載されていることもあるが、公開していないメーカーもある。また、特定位置での観測点間隔を設定できる場合には、その設定によって変わってくる。ただ、基本的には角度で指定する観測範囲を、垂直方向と水平方向に分け、それらの観測範囲内で観測された点数で割ることによって算出することができる。

具体的な内容については、メーカーに問い合わせる必要がある。

これまで、水平な平坦面における放射方向と接線方向でのレーザー光の特性を解説してきたが、地物縁は単純に放射方向あるいは接線方向に走っているわけではないため、単純に観測点の間隔

やスポットの径によって、精度確保の判断ができるわけではない。図 5(1)は、四角形の地物を観測している状況を概観したものである。スポット径内の地物の反射特性により、反射強度の強さが決定され、三次元観測データとして可視化される。このように可視化された地物は、放射方向と接線方向の観測点間隔やスポット径寸法によって形状が決定され、地上レーザスキャナから遠くなるほど実際の形状との相似関係は崩れ、やがて認識も困難となる。

また、一部の地上レーザスキャナでは、地物が存在するところのみを高密度に観測することができる。複数箇所から観測されることは一般的だが、これによっても観測点の密度が高くなる。このような場合、スポット長径の大きさを補って判読性が向上することになる。ただ、全ての重複場所で向上するものではない。図 5(2)は、2方向からの観測の重複部を表現したものである。重複の状況が理解しやすいように観測点の数を減らし、スポット径を誇張してある。この重複の状況と地物の大きさ、位置あるいは大きさによって、判読性が異なってくることになる。

以上のような特性によって本条では規定しきれない複雑な状況が起きることも踏まえ、本条で規定する観測条件が満たされているかを判断する必要がある。

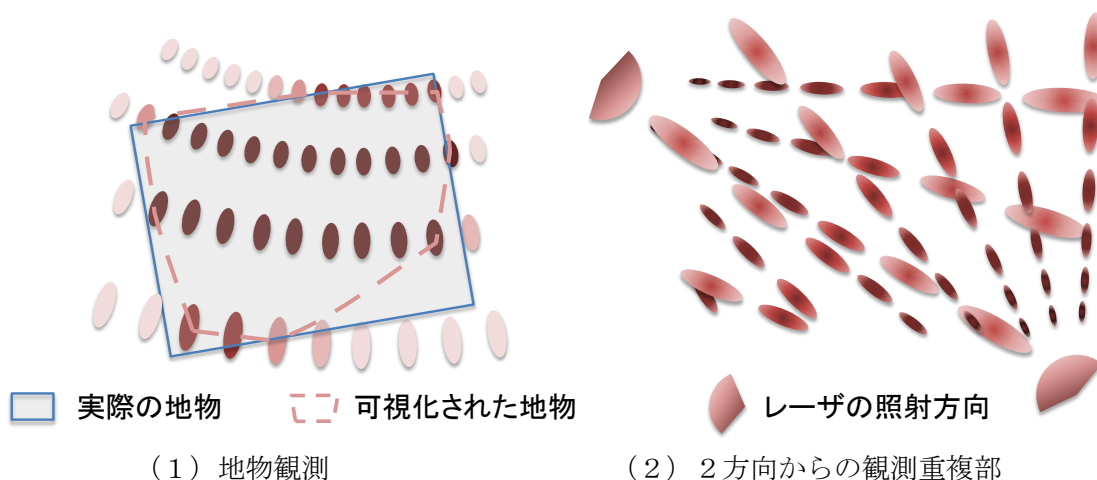


図 5 観測点間隔やスポット径の概念

【第 16 条（工程別作業区分及び順序） 解説】

第 2 編第 2 章地上レーザスキャナを用いた地形測量では、各工程で作成されるデータは下表にしたがって呼んでいる。

工程	細部工程	作成されるデータの呼称
地上レーザ観測	地上レーザ観測	方向、距離、反射強度、または観測点 三次元観測データ（局地座標）
	選定	（なし）
	測地座標系への変換	オリジナルデータ
現地調査	—	濃淡図
数値図化	—	数値図化データ
数値編集	—	数値編集データ
補測編集	—	補測編集データ
数値地形図データファイルの作成	—	数値地形図データ

第 2 節 作業計画

【第 18 条（要旨） 解説】

地上レーザ測量は、地形・地物や座標変換用の標識を適切な点間隔で観測するとともに、判読する必要がある地物が隣接する地形・地物と異なる反射強度であることが重要である。このため

には、地上レーザスキャナから地形・地物や座標変換用の標識までの距離、植生や構造物により観測できない場所が生じない配置、レーザ光が反射してこない地物や隣接する地物との反射強度が同等の地物への対策等が重要となる。

第3節 標定点の設置

【第20条（標定点の精度） 解説】

標定点の精度は、測地座標系の中で絶対的な位置関係を表す精度（第1項）と局地座標系の中での地物間の相対的な水平位置関係を表す精度（第2項）で規定した。地上レーザ測量では作業範囲が狭くなるため、絶対な位置関係だけの規定では、地物間の相対な位置関係が理論上は悪くなる可能性があるためである。

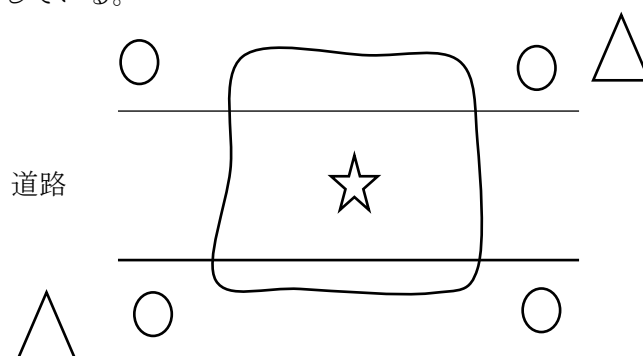
第1項は、基準点と同じ値を規定している。

第2項の標定点間の距離の許容範囲は、準則第4編第2章第4節の中心線測量での主要点及び中心点の点間距離への平地での要求精度（準則第394条第8項）に基づいて規定している。この規定では、隣接する中心点等の点間距離を測定し、座標値から求めた距離との比較による較差の許容範囲を示したものであり、地上レーザスキャナを用いた地形測量の標定点の水平位置にも、TSで観測した場合にはこれと同じ精度を、TS以外で観測した場合にはこれと同等の精度を求めている。平地のみを採用したのは、地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成で想定する作業範囲が平地であるためである。第2項は、いわゆる観測精度の規定であり、地球上での絶対的な位置とは関連しない。

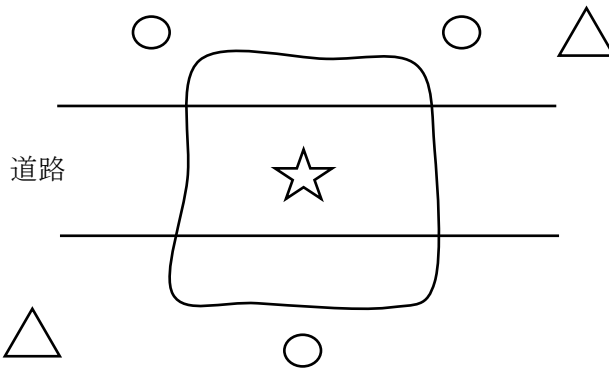
【第21条（標定点の配置） 解説】

図6は、地上レーザスキャナ及び標定点の望ましい配置を示したものである（各配置に利用する座標変換方法あるいは観測方法は、第27条、第31条の解説を参照されたい）。つまり、地上レーザスキャナから標定点までの距離は、観測精度が確保される範囲で遠い方が望ましい。少なくとも作業地域あるいは有効範囲の外に設置すべきである。地上レーザスキャナから標定点の方向は、地上レーザスキャナを中心に等角度となる配置が望ましい。

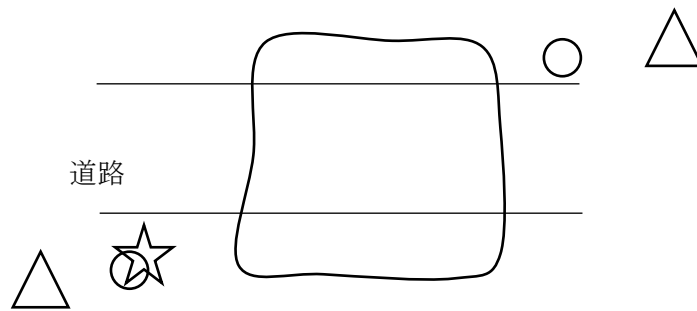
標定の数は、相似変換による方法及び後方交会による方法では、論理的には規定した数よりひとつ少ない点数で処理できる。しかしながら、これでは標定点の間違いや変換の精度が管理できないため、1点多くして冗長性を確保している。複数箇所から観測する場合は、共通の標定点が使われるなどして冗長性が確保されることになり、運用基準第2項では、これに応じて標定点数を決定していいと規定している。



(1) 相似変換による方法（コンペンセータなし TLS）



(2) 後方交会による方法 (コンペンセータあり TLS)



(3) 器械点と後視点による方法 (コンペンセータあり TLS)

凡例： △ 基準点 ○ 標定点 ☆ 地上レーザスキャナ ~ 作業範囲

図 6 標定点等の配置の概念図

地上レーザスキャナは、その構造から、設置した場所の直下は観測できないとともに、レーザー光が反射してきた観測点の範囲（これを「観測範囲」とよぶ）に対し、観測点の範囲の中でも測量に使用できる間隔が得られている範囲（これを「有効範囲」とよぶ）は異なる（図 7）。

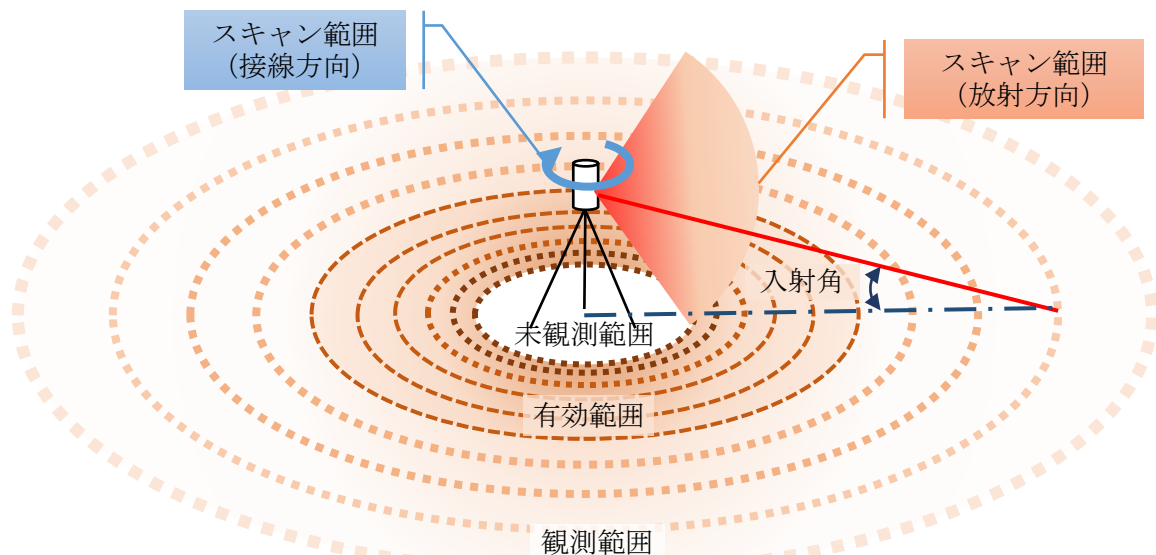


図 7 地上レーザスキャナによる観測の概要

【第 22 条 (方法) 解説】

地上レーザスキャナを用いた地形測量は、準則第 3 編第 2 章に規定されている現地測量と同種とするのが適当であるため、標定点の設置の方法は同第 4 節第 1 款に規定されている「TS 点の設

置」に準じることとした。また、現地測量では局地的な作業地域を対象としており、必ずしも測地座標系に準拠した標高を保持する必要がないため、「TS 点の設置」での規定と同様に、標高の観測は必要に応じて行う作業となる。

【第 24 条（成果等） 解説】

成果等の様式は、準則第 3 編地形測量及び写真測量第 4 章空中写真測量第 3 節標定点の設置に準じる。

第 4 節 地上レーザ観測

【第 26 条（地上レーザスキャナ） 解説】

地上レーザスキャナとは、レーザを器体に対して前方（放射方向）に一定角度で連続的に照射するとともに、同時に器体を一定角度で回転させることにより同心円状（接線方向）に照射位置が並ぶようにして距離を観測する機器で、三次元の点座標として出力される。平坦面であれば同心円状に地上レーザスキャナを原点とする距離と方向で観測する。

レーザは、鋭い指向性を持つ光で、照射して物体から反射してきた光を受光し、位相差を観測したり、照射から受光までの時間を観測したりすることで、長距離を高精度に観測することができる。

一方、このようなレーザ光の特性は、強いエネルギーを持つため、そのエネルギー量によっては目に入った際に水晶体で光の威力が絞られてエネルギーが増し、網膜を焼き付ける場合もある。そのため安全性の規格が JIS C6802（レーザ製品の安全基準）で決められており、クラス 1 からクラス 4 で分類されている。このクラスの中で流通している地上レーザスキャナには、クラス 1 からクラス 3 R の製品がある。クラス 1 は、基本的に安全であり、クラス 2、クラス 3 R もレーザ光による障害が生じるリスクが比較的小さいレーザ製品に分類されている。しかしながらいずれにしろ安全を確保するには、基本的にはレーザ光を直接のぞきこまない、凝視しない、望遠鏡や双眼鏡などの光学機器を通して見ないこと等、各機器メーカーが提供する使用時の安全指針を参照して利用する必要がある。

レーザに用いられている光の波長は、500nm から 1,500nm 程度で、現在はこの中の可視光域は避けて製造されていることが多い。可視光域の波長を使用するとその波長の補色の対象物からは反射が得られず、観測ができないためである。

レーザ光を用いた距離観測の方式で、測量分野にも適用できる機種には、前述の通り照射と受光の際の光の位相差を用いる方式（これを「位相差方式」とよぶ）と照射から受光までの時間を観測する方式（これを「TOF 方式」とよぶ。Time Of Flight）がある。

位相差方式は、位相差を観測する以外に波長の整数値バイアスを決定する必要があるため、複数の変調周波数で同時変調したレーザ光を照射し、反射してくるまでの時間を変調周波数ごとの位相遅延を観測することにより反射位置までの距離を得ている。このように複数の周波数を使用して、比較的短い距離で高精度、高密度に観測することを得意としている。

TOF 方式は、発光時間が数ナノ秒のパルス光を照射し、反射してきて受光するまでの時間を観測することにより距離に換算する。パルス光を使用するため、長距離を観測することを得意としている。

また、地上レーザスキャナは距離を観測する他に、反射してきた光の強さも記録しており、光の強さは反射強度あるいは受光強度と呼ばれる。地上レーザスキャナを使用した地形測量では、この反射強度を使用して数値図化が行われる。反射強度は、照射した光の強度と反射する場所までの距離、反射する地物の反射特性等によって変化し、同じ反射特性の地物を分類するには、距離による反射強度の変化を正規化する必要があるが、短距離の観測しか行われない地上レーザ測量においては、距離による影響は無視できる変化量である。なお、異なる地物でも反射特性が同じ場合には、分類ができない。ここが人の目が分類できる可視光域を受光できるカメラとの違いである。

可視光域以外にも、水や雪の観測にも注意が必要である。水部に当たったレーザ光は、透過し

たり鏡面反射したりする。透過した場合はレーザー光の波長や水底までの深さによってはレーザー光を屈折させて水底を測ったりし、鏡面反射した場合にはレーザー光が戻ってこずに観測できなったりする。黒色系統の地物ではレーザー光の反射率が低いので観測できるか注意する必要がある。また、雪も、凍っていたり溶けていたり、状態によって反射の状況が変わってくるので注意が必要である。

地上レーザスキャナにカメラを搭載し、三次元観測データに色を付けることも可能である。この場合、レーザー光が照射された方向とカメラで受光した光の方向が一致しなければならない。つまり、レーザー光の照射軸と自然光の受光軸を一致する必要があるが、このような機構となった地上レーザスキャナは、現在のところ一部の機種でしか装備されていない。また、ふたつの軸が一致しているという実証データが見当たらないので、本マニュアルでは反射強度を使用した分類のみを採用している。

地上レーザスキャナは、放射方向（または垂直方向）と接線方向（または水平方向）のレーザー光を照射するが、地物がない上空を照射しても意味がなく、三脚が設置された下方に照射しても有為なデータは得られないので、放射方向には照射範囲が限定されているのが一般的である。一方、接線方向は 360 度の範囲に照射するのが一般的である。

観測点の間隔は、放射方向では照射の方向を変更するミラーの回転速度によって、接線方向では器体の回転速度によって決定され、いずれの方向もそれぞれ等角度で観測されるようになっている。そのため、レーザー光があたった中心の位置の放射方向と接線方向の間隔(距離)は遠くなるほど広がる。特に平坦地を観測する場合には、放射方向の観測点間隔は、接線方向に対して大きく広がる(図 8)。図 8 では、スポット径で観測位置が表現されているが、観測点間隔はスポット径の中心同士の距離となる。

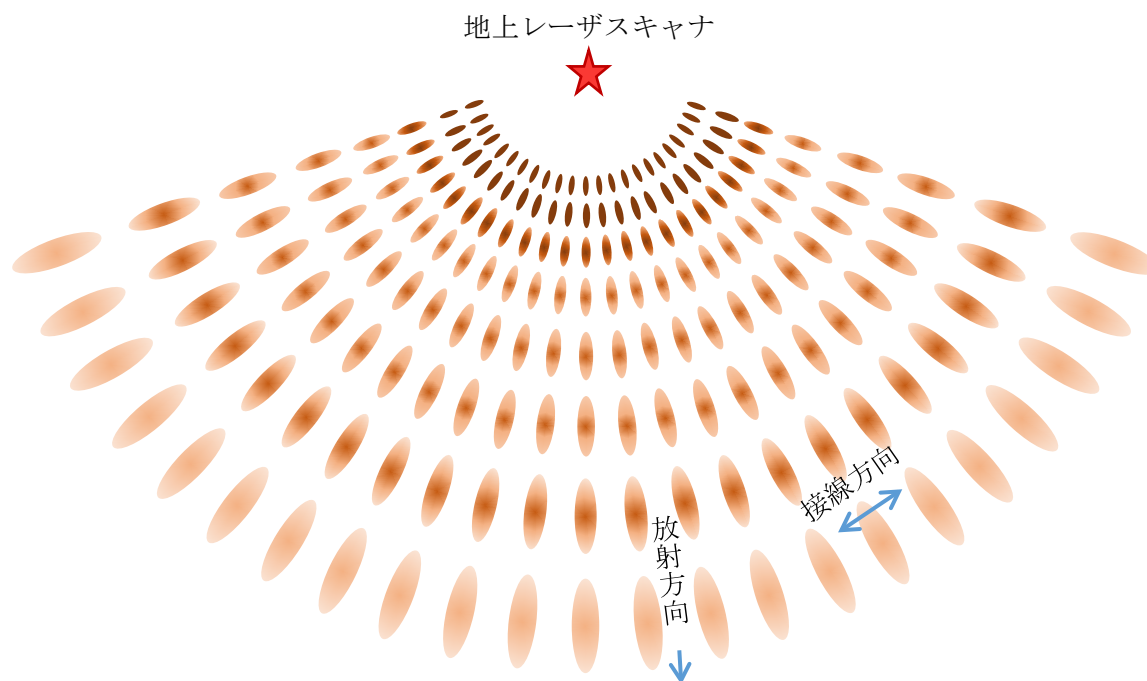


図 8 平坦面での位置とスポット形状

また、レーザー光は鋭い指向性があるとはいえ、スポットの径は遠くなるほど広がって行く。この広がり概ね均等で円形状をしているが、地上レーザ測量のように 1.5m 程度の高さから地面に向けて観測するような場合には、例えば水平な平坦地でいえば遠くに行くほど入射角が小さくなり、スポットの形状は接線方向となる楕円形の短辺は円の直径と同じであるが、放射方向となる楕円形の長辺は急激に長くなっていく(図 9)。

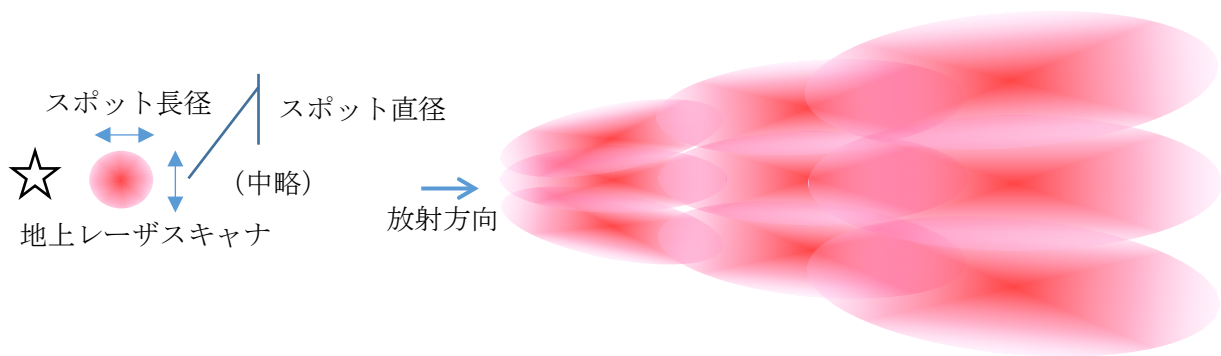


図 9 水平面でのスポット径の性状

概算であるが、レーザ光の照射窓部でのビーム径を $D[\text{mm}]$ 、ビーム拡がり角の半角を $d[\text{rad}]$ 、距離を $R[\text{m}]$ とすると、距離 $R[\text{m}]$ におけるスポット径 $D_r[\text{mm}]$ は、次式で表せる。

$$D_r = D + 2 \times R \times \tan(d) \times 1000$$

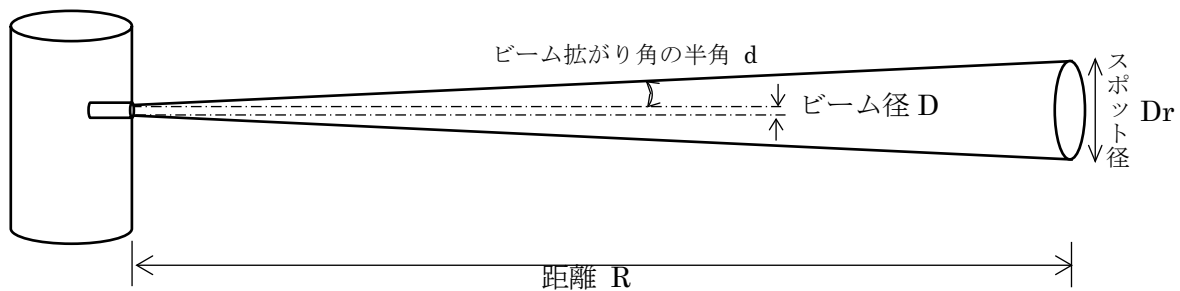


図 10 ビームの拡散

距離 $R[\text{m}]$ における地面に対する入射角 $\alpha[\text{rad}]$ は、器械高を $H[\text{m}]$ とすると、次式で表せる。

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{H}{R}\right)$$

このスポット径 D_r と入射角 α に基づき、水平な平坦面を観測した際のスポット径を算出したのが表 1 である。接線方向にはビーム直径が距離に応じて拡散するが、これを FWHM 指標で補正してスポット直径として記載している。放射方向には入射角に応じてビーム直径が変化していくが、この最大値を FWHM 指標で補正し、スポット長径として記載している。なお、これらの値はレーザ光が距離に応じて拡散していくものとしているが、実際とは異なるため、各メーカーの仕様とは厳密には一致しない。レーザ光の拡散は、使用する光源や設計仕様によって大きく変わるとともに、幾何学的に円錐形に広がるものでもない。そのためスポット径の算出は、機種ごとにメーカーに確認する必要がある。

地上レーザスキャナの精度は、測距精度と座標精度で表現され、測距精度は近距離での測距において距離に依存しないといえるが、座標精度は照射方向を決める測角精度に依存するため距離が遠くなるほど低下する。

測距精度は、一定の距離の先に面状の標識を固定して観測して得られる距離値の標準偏差である面精度（「レンジノイズ」とも呼ばれる）と、基準とした距離と地上レーザスキャナで観測した距離（点群データより算出される値）とを比較した値である。座標精度は、基準となる器械（「基準器」と呼ばれる。）で既知の座標に配置した複数の標識を、地上レーザスキャナで観測し、 x,y,z の較差の二乗和平方根である。

表 1 平坦面を観測した際のスポットの大きさ(FWHM)と観測点間隔 (器械高 1.5m)

分類	A			B			C		
最小観測間隔	4.E-05 rad			1.5E-04 rad			3.E-04 rad		
ビーム直径 (1/e ²)	7 mm			3 mm			15 mm		
ビーム拡がり角 (全角) (1/e ² 規定時)	3.5E-04 rad			2.2E-04 rad			1.0E-04 rad		
距離 [m]	観測間隔 [mm]	スポット直径 [mm]	スポット長径 [mm]	観測間隔 [mm]	スポット直径 [mm]	スポット長径 [mm]	観測間隔 [mm]	スポット直径 [mm]	スポット長径 [mm]
5	0.7	5.1	17.9	2.7	2.4	8.4	5.6	9.1	31.7
10	2.7	6.2	41.6	10.2	3.1	20.6	21.2	9.4	63.4
15	6.1	7.2	72.4	22.8	3.7	37.2	47.1	9.7	97.5
20	10.7	8.2	110.1	40.3	4.4	58.2	83.5	10.0	133.7
40	42.8	12.4	329.6	160.9	6.9	185.2	333.9	11.2	298.2
60	96.2	16.5	659.0	362.4	9.5	381.3	753.8	12.4	494.3

注:FWHM(full width at half maximum,)とは、レーザ光の有為な反射面積が正規分布の頂点の半分の位置の面積であることを表す。楕円形となる照射範囲の短辺をスポット直径、長辺をスポット長径と記述している。観測間隔は、照射方向と平坦面の交点の間隔をいう。

【第27条 (方法) 解説】

器械点と後視点による方法は、標定点の上に地上レーザスキャナを設置し、別の標定点を観測することで、地上レーザスキャナの方向と距離データの縮尺補正値を算出し、三次元観測データを測地座標系で取得するものである。本マニュアルでは、特定の方向へのみに観測できる比較的狭い範囲への適用を想定していて、標定点の配置イメージは図 6 (3)のとおりである。なお、器械点と後視点による方法は、4 級基準点や街区基準点といった多くの基準点が設置されている作業地域においては、標定点は準則第 3 編第 2 章の現地測量で規定するところの TS 点に相当することになり、現地測量で TS 点に TS を設置して地形・地物を観測することと同義となる。

地上レーザ測量においては、反射強度で地物を判読する。これは、通常、人が見ている可視光域とは異なる特性を持つ。また、反射強度の分解能は、写真の色の分解能に比べ、格段に低い。さらに地上レーザスキャナにより観測が、見かけ上は離散的に観測されることなどから、反射強度が近傍の地物が隣接して存在する場合は、それらの区別がつかない場合がある。このような場合は、観測後に現地調査を行うことも可能であるが、このような場所が予め分かっていたら、境に地形・地物の反射強度とは異なる素材のテープ等を貼り付けるなどの措置を取ることにより、境を明瞭にすることが可能となる。

観測点の間隔は、図 8 のとおり地上レーザスキャナから見て放射方向と接線方向では、観測点間隔が異なってくる。したがって放射方向の座標精度は、接線方向の座標精度に対して急速に悪くなる。これを補うために異なる場所からの観測も考えられるが、観測点間隔を適切な間隔に増やせるわけではない。的確に観測点間隔を増やすには、同じ場所から前の観測の中間を狙えるように地上レーザスキャナの器械高を変えることが有効である (図 11)。これにより標定点の観測や増え過ぎた点群の選定なども増えるが、精度確保の確実性は高まるとともに、スポット径の伸長を考慮する必要はあるが、一箇所からの観測範囲を広げられることになる。なお、器械高を違えて観測しても、必ずしも互いの観測点の中間を観測できるわけではない。最小観測間隔や地形の傾斜、観測する範囲等も考慮する必要がある。器械高の変更以外にも、地上レーザスキャナからの特定の距離での観測点間隔を設定できる機種においては、これを利用して特定の地物、例えば接線方向に縁を持つ地物に接線方向の縁が表現できるような観測点間隔を設定して観測することも考えられる。

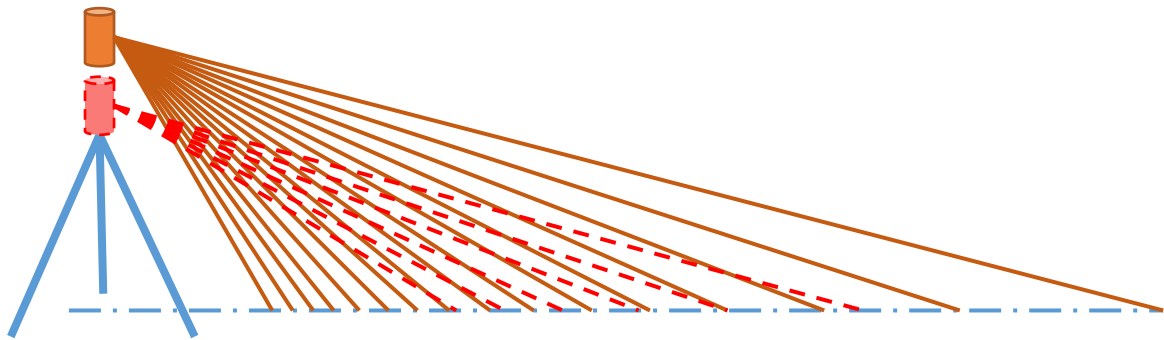


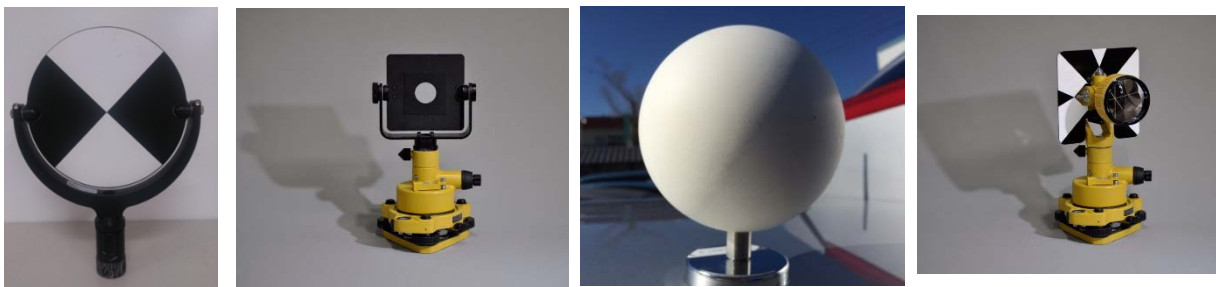
図 11 器械高を変えた観測の概念

【第 28 条（標識の設置） 解説】

地上レーザスキャナは、標識を自動的に観測する機能が本体または後処理ソフトウェアに備えられているため、地上レーザスキャナに適合した標識を使うと観測精度が担保される。また、円筒形あるいは球体以外の平坦な標識は、地上レーザスキャナに対して正対して設置する標識と同等の観測精度が得られる必要があり、メーカーは概ね±45°以内を推奨している。

標識の種類には、次のようなものがある。

- チェッカ : 拡散面に反射率の異なる領域を複数有するもの
- レトロフレクタ : 再帰反射性を有する反射部を有するもの
- スフィア : 表面が拡散反射率 90%以上の球体のもの
- コーナキューブ : 再帰反射性を有するプリズム



【第 29 条（標識の観測） 解説】

標識の観測には、二つの方法がある。一つは、地上レーザスキャナが標識を観測するための専用の機能を持ち、必要な精度を判断して観測する方法である。この場合は、専用の標識を用いるなど、メーカーの仕様にしたがう必要がある。もうひとつは、通常と同じに観測し、目視により三次元点群データから標識の中心を判読して観測するものである。この方法では、観測者自らが観測点間隔、標識の大きさや模様、標識表面の素材などに留意しなければならない。

【第 30 条（観測点の選定） 解説】

本条では、いわゆる間引き（第 1 項）と除去（「トリミング」ともいう。第 2 項）を規定している。間引きは、過剰の観測点を削減してデータ量を軽減することにより操作性を高める目的で規定している。除去は、地上レーザスキャナからの距離が遠くなって地形測量に適合しない間隔となった観測点を削除することを目的として規定しているが、観測が複数回行われた場合や観測点と地物との位置関係、特に接線方向の観測点と地物との位置関係などを考慮し、本当に不要なもののみを削除することを規定している。複数回の観測を行い、それらの重複部が、それぞれ適切な観測点間隔やスポット長径であれば、それらを合成して利用することは推奨されることである。

運用基準で準用している第 15 条の放射方向の観測点間隔及び放射方向のスポット長径は、水平面を基準に規定している。実際の測量地域では、起伏があるため、それに応じて調整する必要がある。

観測点は、第 26 条の解説に記述したような特性を持っており、単純に密度のみでは精度を評

価できない。

【第31条（測地座標系への変換） 解説】

相似変換による方法とは、平行移動、回転、縮尺による座標変換方法で、本マニュアルでは三次元で行うこととし、変換前後の座標間は相似関係が維持される。三次元ヘルマート変換と呼ばれることもある。本マニュアルでは、コンペンセータ（本体を自動的に水平に補正する装置。「自動補正装置」とも呼ばれる。）を装備しておらず水平に整置できない地上レーザスキャナでの利用を想定していて、その理想的な標定点等の配置は図 6 (1)のとおりである。

後方交会による方法とは、観測した複数の標定点から地上レーザスキャナの位置と方向、距離データの縮尺補正値を算出し、三次元観測データを測地座標系へ変換するものである。本マニュアルでは、一箇所からの地上レーザ観測が、地上レーザスキャナで適用できる範囲に近く広めの作業範囲への適用を想定しており、理想的な標定点等の配置は図 6 (2)のとおりである。

これらの変換では、いずれも標定点を真値として縮尺の補正も行うこととなっている。地上レーザ観測単独で見れば、縮尺を補正しない方が精度は高いが、隣接する測量成果と整合させるためには縮尺補正（「誤差調整」とも呼ばれる。）が必要となる。

運用基準第1項に規定した測地座標系への変換方法に加え、器械点と後視点による方法も含め、本マニュアルに規定している各観測の結果は、単独で測地座標系となるため、個々の観測の結果同士の較差は調整されない。そのため重複部分での微小な凹凸、接合部分での微小な段差が顕在化することもある。これらは、統合的な処理方法(これにより個々の三次元観測データ間の誤差調整が行われることになる)が規定されるまでは、数値図化時に対応方法を判断しながら描画することになる。

第5節 現地調査

【第32条（要旨） 解説】

地上レーザ測量でも他の測量手法同様に、地形・地物が観測できない陰蔽部（「オクリュージョン」とも呼ばれる。）や隣接する地形・地物との相互関係が区別できない認識困難箇所が発生する。ただ、このような箇所はできるだけ発生しないように観測計画が立案されなければならないため、発生したとしてもその数は少なく、その箇所を特定するのは容易である。したがって地上レーザ観測の直後に、その結果を確認し、不備な箇所では写真を撮影しておくといった調査方法が考えられる。その際、正確な位置が出せるように近くの明瞭な地物からのオフセット観測は必要となる。

調査すべき箇所が多く、点在する場合などは、地図情報レベル 500 等の数値地形図データ作成で採用されることがある「図化現調」と呼ばれる、数値図化データを用いた現地調査（実態は現地調査なしで図化を行い、その図化データによる現地補測に近い）を行うことも考えられる。観測できたものは図化し易く、図化できないものとの区別が明確なため、確実に経済的でもある。ただし、地上レーザ観測とは別に現地へ行かなければならない。

【第33条（現地調査の実施） 解説】

写真は、地上レーザスキャナに装備されているカメラでも手持ちのカメラでも利用できるが、地物が判読できるように写されていなければならない。

観測方法は、観測対象物への要求精度や観測の対象となる地物等の配置等によって選択する。例えば、観測対象物の近辺に観測の基準とできる地物が2つ以上存在し、観測対象物を頂点とする狭角が90度前後であれば巻尺が利用できる。観測対象物の近辺に観測の基準となる地物が存在しない場合は、遠方の観測の基準となる地物からTS等を用いて観測する。

濃淡図とは、地上レーザ観測で得られた反射強度データを正射影に投影したもので、必要に応じて階調の補正を行う。

【第36条（要旨） 解説】

本条では、濃淡図を基図とし、断面図や陰影図を参照して図化することを規定している。ただし、等高線は状況に応じてオリジナルデータからの生成とし、それを基に景況を踏まえて、次の工程で数値編集が行われることもある。

【第37条（数値図化システム） 解説】

本条で規定する数値図化システムは、一般には三次元 CAD と呼ばれる。

歩道縁やガードレールといった立体的な地物は、反射強度の濃淡や標高差の陰影だけでは判読が困難な場合が多いとともに、三次元表示による判読では正確さに加えて効率性も悪くなるため、正確に描画するには平面と側面の両方で位置を確認できるようにしておく必要がある。そのためには、スクリーンモニターが複数の画面に分割できる必要がある。

【第38条（取得する座標値の位） 解説】

要求精度が、地図情報レベル 250 では 12.5cm、同 500 では 25cm であるとともに、観測点の間隔が放射方向では数 cm ともなるため、取得する座標値の位はセンチメートルとした。なお、準則で規定する数値地形図データファイルの仕様では、地図情報レベル 1000 以下の座標値の位はミリメートルと規定されているため、数値地形図データファイルへの格納時は、末尾に 0 を付けるなどして単位をそろえなければならない。

【第39条（細部数値図化） 解説】

細部数値図化で規定した項目は、図化者が濃淡図から目視にて描画するものである。一方、次条の地形図化で規定する等高線等で表す地形は、陰影図や標高点数値から目視あるいはシステムからの支援により描画する項目であり、細部数値図化する項目と地形図化する項目とは性質が異なるため、別々の条文として規定している。

【第40条（地形図化） 解説】

地形図化の基図とするオリジナルデータは、地表面以外の観測点が含まれることを踏まえて地形を描画する必要がある。

【第42条（標高点の観測） 解説】

第15条（地図情報レベルと観測条件）にしたがうと、地図情報レベル 500 の放射方向でも 50mm 間隔に観測点が存在することになり、ほとんどの場合、内挿が必要とは考えられない。また、作業地域としては水平な場所が想定されているため、近隣の観測点に置き換えても、地形測量に要求された標高点の精度は容易に満たせる。

第3編 地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成

第1章 概説

第1節 要旨

【第49条（要旨） 解説】

地上レーザスキャナで得られるデータは、入射角や入射角に伴うスポット形状、地上レーザスキャナからの距離による観測点間隔の拡大、放射方向と接線方向の観測点間隔の違い等、これまでの三次元点群データとは異なる特性を持っている。地上レーザスキャナを用いて作成した三次元点群データの利用にあたっては、これらの特性を踏まえる必要がある。また、用途にもよる

が、精密な高さが必要な場合は、水準測量を行うことが基本である。

地上レーザスキャナの詳細については、第26条の解説を参照されたい。

第2節 製品仕様書の記載事項

【第50条（製品仕様書） 解説】

点検測量や品質管理方法は、製品仕様書の中に記載される。

【第51条（三次元点群データの標高較差の許容範囲と観測条件） 解説】

三次元点群データの活用は、2種類の高さに分類できる。ひとつは、平均海面からの高さである標高。もうひとつは、ある基準面からの高さの変化である。前者の標高は航空レーザ測量等で整備され、洪水や砂防等の対策に興じられてきた。後者の高さは、災害時の流出土砂や土木工事時の切土・盛土量の算出に利用されようとしている。本条運用基準第1項で規定する三次元点群データの標高較差の許容範囲と観測条件は、後者の高さの変化を捉えるための精度を規定したものである。地上レーザスキャナの性能が理解できるような条件での値を規定し、実用時には地上レーザスキャナの特性と合わせて、運用基準第2項及び第3項のように観測対象に応じて基準を改め利用されることを想定している。

具体的には、地上レーザスキャナの器械高を1.5mとし、水平面で概ねレーザ光が良好に反射してくる50m先（入射角1.7度）が数mmで観測できることを基準とし、較差算出のための二回目の観測誤差及び安全率を考慮し、切りのいい数値として最小入射角2度までは標高の較差精度を10mm（標準偏差）で作成することと規定した。また、対象を水平面としていて高密度には点数を必要としないことから、間隔が広がる放射方向の観測点間隔を500mmとしている。これを基準に、さらに高精度の観測が期待できる近距離を最小入射角4度（地上レーザスキャナから約25m先）で標高の較差精度を5mm（標準偏差）で作成することと規定した。水平面では、入射角2度より小さく（地上レーザスキャナから50m以上に）なると、反射してくるレーザ光の割合が減少して利用しづらくなるが、上り斜面なら入射角が大きくなって観測条件が良いため、別途、標高較差の精度20mmを放射方向の観測点間隔1,000mmで作成することを規定している。観測点間隔は、地上レーザスキャナから対象とする地形までの距離にもよるが、一般的には1,000mm以内での観測は容易と考える。また、高密度な観測点間隔は三次元での可視化には有利であるが、本条では標高較差、いわゆる工量の変化を捉えることを想定して観測点間隔を規定していて、三次元の可視化ほどに密な間隔は必要としていないとしている。

なお、実際の観測条件では、石や岩があったり、草や木が生えていたりするとともに、その大きさや丈は、場所ごとにあるいは季節によって変わってくる。そのような観測条件を考慮して精度評価を行い、利用しなければならない。

【第52条（要旨） 解説】

地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成では、地上レーザスキャナを用いて観測した三次元観測データから地形を捉えられなかった点を除去して高密度な標高値の集合とする三次元点群データを作成するとともに、三次元点群データを用いて時系列に工事現場の路面や法面、あるいは地滑りや土砂崩れの変化を捉えることを目的としている（図13）。

また、この目的を実現するには、使用する標定点等は常に同じものを用いることが理想的となる。地上レーザスキャナの設置には、器械高がいつも同じになるような工夫が必要である。したがって、標定点の維持管理は非常に重要となるため、位置の選定と標定点の設置は慎重に行う必要がある。ただ、いろいろな条件の中で様々な工事が行われるため、現実的には標定点の維持管理が困難となる側面もある。このような場合は、近傍の基準点や水準点、あるいは工事の影響を受けない近傍に基準点や水準点を設置しておき、再度、標定点を行う必要がある。その際、標定点の高さは特に重要となるため、標定点の高さを数ミリメートルで再現できる水準測量（例えば1級水準測量）を行わなければならない。水準測量の方法は、水準点から標定点までの距離に依

じて異なってきた、距離が長いほど観測回数を増やすなどの工夫が必要となる。

地上レーザスキャナ

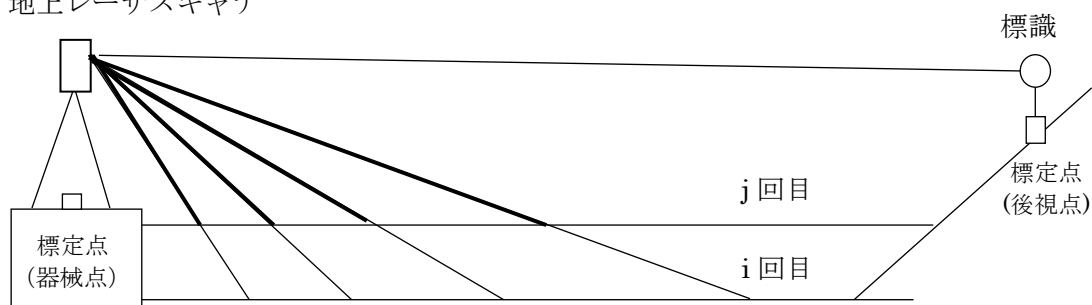


図 13 地形の変化観測のイメージ (—: i 回目、- -: j 回目)

【第 5 3 条 (工程別作業区分及び順序) 解説】

第 3 編第 2 章地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成では、各工程で作成されるデータは下表にしたがって呼ばれている。

工程	細部工程	作成されるデータの呼称
地上レーザ観測	地上レーザ観測	方向、距離、反射強度、または観測点 三次元観測データ (局地座標)
	選定	(なし)
	測地座標系への変換	オリジナルデータ
三次元点群データ編集	方法	グラウンドデータ
	構造化	構造化データ
三次元点群データファイルの作成	—	三次元点群データファイル

第 2 節 作業計画

【第 5 4 条 (要旨) 解説】

地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成では、時系列に地形の変化を捉えるため、毎回同一条件で、つまり毎回同じ器械点に設置し、毎回同じ後視点により標定し、観測できるように計画することが重要である。また、精度を高めるには、低いところから高いところに向けた観測が有効である (図 14)。地上レーザスキャナからの同じ水平距離でも、上り斜面の方が多くのレーザ光が当たり、観測点間隔が短くなる。また、スポット長径も短くなる。

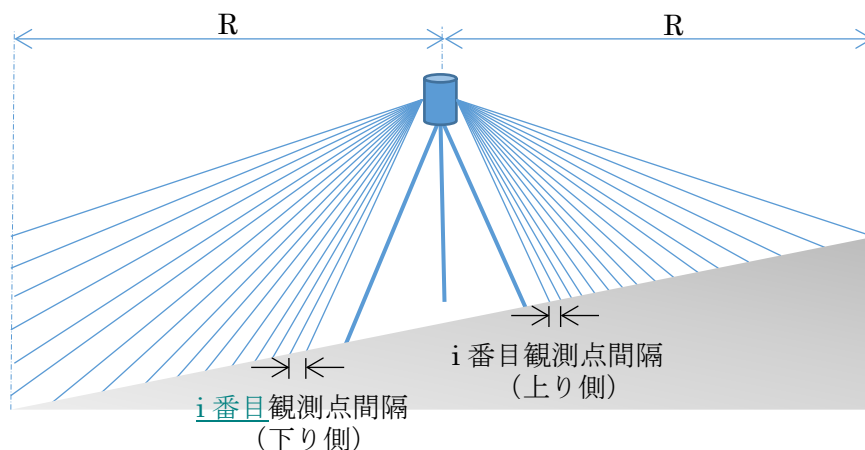


図 14 斜面観測における観測点間隔の違い

第3節 標定点の設置

【第55条（要旨） 解説】

厳密に測地座標系に整合させる必要がない場合には簡易的な方法で標定点を設置したり、局地的な変化を見たりする場合には局地的な基準となる点を設けたりすることが可能であり、必ずしも本節での規定にしたがう必要はない。また、最も観測条件が良くなる配置、レーザ光の入射角が大きくなるようにすることが望まれる。

【第56条（標定点の精度） 解説】

標定点の精度は、測地座標系の中で絶対的な位置関係を表す精度（第1項）と局地座標系の中での地物間の相対的な水平位置関係を表す精度（第2項、第3項）で規定した。

第1項及び第2項については、第20条の解説を参照されたい。

第3項の標定点間の標高の閉合差の許容範囲は、準則第2編第3章水準測量における簡易水準測量の点検の許容範囲（第69条第二号）に基づいて規定している。この規定では、水準測量の観測終了後の点検計算の許容範囲を示したものであり、地上レーザスキャナを用いた三次元点群データ作成における標定点の高さにも、これと同じ精度を求めている。第3項は、いわゆる観測精度の規定であり、地球上での絶対的な位置とは関連しない。

第4節 地上レーザ観測

【第61条（要旨） 解説】

三次元点群データ作成では、地形の形状を三次元点群データで捉える作業であるため、反射強度を使用する必要はない。

【第62条（地上レーザスキャナ） 解説】

本マニュアルでは、平坦面における時系列的な標高の変化を捉えることを第一義として規定し、この規定を基にその他の分野への利用へ応用されることを想定している。したがって本マニュアルで要求する地上レーザスキャナの性能は、第51条の規定を満たすものであり、水平な平坦面では地上レーザスキャナから50m程度の距離が観測限界となる。したがって本条の規定も、それを踏まえたものであり、その他の分野への利用にあたっては、規定と同様に地上レーザスキャナの性能も見直す必要がある。

【第63条（器械点と後視点の選定） 解説】

時系列な高さの変化を高精度に捉えるための最も重要な要素は、毎回、器械高（レーザ光の発振位置）を同じにすることである。そのためには器械点に三脚を常置しておくなど、地上レーザスキャナを堅ろうに整置できるように工夫する必要がある。

【第65条（方法） 解説】

三次元点群データからだけでは、観測点が地形を捉えているかが分からない場合があるため、ここで撮影した写真を参考にしながら三次元点群編集を行う。

写真は、地形以外のものが分かるように写しておけばよく、地上レーザスキャナに備えられたカメラでも手持ちのカメラでも良い。また、原則は地上レーザスキャナの位置から撮影するが、地形以外のものが分かり難ければ、分かりやすい場所から撮影することもある。

【第68条（測地座標系への変換） 解説】

地上レーザスキャナによる三次元点群データ作成では、時系列の地形変化（高さ）を捉えよう

とするものであるが、現状の技術水準では座標変換の精度は充分でないため、高精度な観測が求められる高さについては、毎回同じ器械高で地上レーザスキャナを設置することとした。これを容易に実現するためには、器械点に三脚を常置しておくなど、地上レーザスキャナを堅ろうに整置できるように工夫する必要がある。

器械点と後視点による方法では、本条文は適用されないが、器械点についても同様に堅ろうに整置できるように工夫する必要がある。

第6節 三次元点群データファイルの作成

【第70条（三次元点群データ編集システム） 解説】

三次元点群編集システムは、一般には CAD と呼ばれる。

【第71条（方法） 解説】

オリジナルデータを除去しなければならない範囲がまとまって存在する場合には、その範囲が特定できる資料を作成する必要がある。時系列解析を行う場合に、その範囲を考慮する必要がある。

オリジナルデータから地形以外からの反射してきた観測点を除去したものが、グラウンドデータとなる。

【第72条（構造化） 解説】

不整三角網は、不整三角形網や不規則三角網とも呼ばれ、英語では **Triangulated Irregular Network** と表現され、一般に **TIN**（ティン）と呼ばれることが多い。格子状に標高点を記録するグリッドとともに地形等を三次元モデルとして表現する代表的なデータ構造である。

不整三角網及びグリッドの構造化に使用するグラウンドデータの密度は、発注者との協議により決定する。なお、時系列的に土量等を算出していくのであれば、設定した観測間隔と同等である必要があるためである。

傾斜変換線は、尾根筋や谷筋、あるいは段差のある歩道の縁等をいい、ブレイクライン（BL）と呼ばれることもある。

構造化の方法は、グラウンドデータが高密度であればグリッド構造、その際対象が平坦であるいは等傾斜、傾斜変換を重視しないのであれば、グリッド間隔を広げることも考えられる。グラウンドデータが不均等であれば、不整三角網構造とし、その際、傾斜変換やオーバーハングを表現することも考えられる。

第7節 成果等の整理

【第74条（メタデータの作成） 解説】

メタデータとは、三次元点群データを管理するためのデータである。製品仕様書にしたがって作成する。

以上