

無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた
出来形管理要領（土工編）
（案）

令和2年3月

国土交通省

はじめに

情報化施工は、情報通信技術の適用により高効率・高精度な施工を実現するものであり、工事施工中においては、施工管理データの連続的な取得を可能とするものである。そのため、施工管理においては従来よりも多くの点で品質管理が可能となり、これまで以上の品質確保が期待される。

施工者においては、実施する施工管理にあつては、施工管理データの取得によりトレーサビリティが確保されるとともに、高精度の施工やデータ管理の簡略化・書類の作成に係る負荷の軽減等が可能となる。また、発注者においては、従来の監督職員による現場確認が施工管理データの数値チェック等で代替可能となるほか、検査職員による出来形・品質管理の規格値等の確認についても数値の自動チェックが今後可能となるなどの効果が期待される。

また、近年はレーザーで距離の測定を行えるトータルステーション以外にも、面的な広範囲の計測が容易なレーザースキャナー（以下、「LS」という。）技術や無人航空機を用いた写真測量についても利用が進んでいる。そこで、情報化施工の項目のひとつとして、無人航空機搭載型レーザースキャナー（以下「UAVレーザー」という）を利用した地形測量および出来形計測・出来高算出方法を整理した。この方法は、従来の巻尺、レベルあるいはTSを用いる方法に比べて、以下の優位性をもつ。

- (1) 比較的広範囲の地盤の形状を迅速に計測できるため、測量作業が大幅に効率化する。
- (2) 測量結果を3次元CADで処理することにより、鳥瞰図や縦断図・横断図など、ユーザの必要なデータが抽出できる。

一方、UAVレーザーを用いた計測では、従来の巻尺、レベルやTSによる計測に比べて以下の留意点がある。

- (1) 計測箇所をピンポイントに計測できない
- (2) 取得データの計測密度にばらつきがある。
- (3) 強風や雨などの天候により計測できない。
- (4) 航空法等の規制により利用できない地域がある。

本管理要領を用いた施工管理の実施にあたっては、本管理要領の主旨、記載内容をよく理解するとともに、実際の施工管理においては、機器の適切な調達および管理等を行うとともに、適切な施工管理の下で施工を行うものとする。

今後、現場のニーズや本技術の活用目的に対し、更なる機能の開発等技術的發展が実現されることが期待され、その場合、本管理要領も適宜内容を改善していくこととしている。

なお、本管理要領は発注者が行う監督・検査に関する要領と併せて作成しており、監督・検査については、「無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）」を参照していただきたい。

目 次

第1章	総則	1
1-1	目 的	1
1-2	適用の範囲	2
1-3	本管理要領に記載のない事項	3
1-4	用語の解説	4
1-5	施工計画書	10
1-6	監督職員による監督の実施項目	12
1-7	検査職員による検査の実施項目	13
第2章	UAVレーザーによる測定方法	14
2-1	機器構成	14
2-2	出来形管理用UAVレーザーの計測性能及び精度管理	16
2-3	点群処理ソフトウェア	17
2-4	3次元設計データ作成ソフトウェア	21
2-5	出来形帳票作成ソフトウェア	23
2-6	工事基準点の設置	25
第3章	UAVレーザーによる工事測量	26
3-1	起工測量	26
3-2	岩線計測	28
3-3	部分払い用出来高計測	29
第4章	UAVレーザーによる出来形管理	30
4-1	3次元設計データの作成	30
4-2	3次元設計データの確認	32
4-3	UAVレーザーによる出来形計測	34
4-4	UAVレーザーによる出来形計測箇所	46
第5章	出来形管理資料の作成	47
5-1	出来形管理資料の作成	47
5-2	数量算出	50
5-3	電子成果品の作成規定	52
第6章	管理基準及び規格値等	54
6-1	出来形管理基準及び規格値	54
6-2	品質管理及び出来形管理写真基準	56
	参考資料	57
	参考資料-1 参考文献	57
	参考資料-2 3次元設計データチェックシート	58
	2-1 道路土工	58
	2-2 河川土工	59
	参考資料-3 3次元設計データの照査結果資料の一例	60
	3-1 道路土工	60

3-2 河川土工.....	64
参考資料-4 UAVレーザーの精度確認試験実施手順書および試験結果報告書	68
参考資料-5 GNSSの精度確認試験実施手順書（案）	74

第1章 総則

1-1 目的

本管理要領は、無人航空機搭載型レーザースキャナー（以下、「UAVレーザー」という）を用いた出来形計測および出来形管理が、効率的かつ正確に実施されるために、以下の事項について明確化することを主な目的として策定したものである。

- 1) UAVレーザーを用いた出来形計測の基本的な取扱い方法や計測方法
- 2) 計測点群データの処理方法
- 3) 各工種における出来形管理の方法と具体的手順、出来形管理基準及び規格値

【解説】

本管理要領は、UAVレーザーを用いた出来形計測および出来形管理・出来高算出の方法を規定するものである。

UAVレーザーによる出来形計測は、被計測対象の地形を短時間かつ高密度に取得した出来形計測点群（3次元座標値）から、3次元CADや同様のソフトウェアを用いて、出来形を面的に把握、出来形数量などを容易に算出することが可能となり、従来の施工管理手間の大幅な削減と、詳細な地形や出来形の形状取得が可能で、従来の巻尺・レベルによる幅・長さの計測や、高さの計測は不要である。

以上のようにUAVレーザーおよび3次元データが扱えるソフトウェア等の利用効果は大きいですが、UAVレーザーは計測対象点を指定した計測が出来ないことや強風や降雨など天候によっては飛行計測できないこと、計測間隔が均一でないといった特徴、ソフトウェアを用いた大量の計測点群データの処理が必要なことから、従来の巻尺・レベルによる出来形管理の方法とは異なる出来形計測手順や管理基準を明確に示す必要がある。

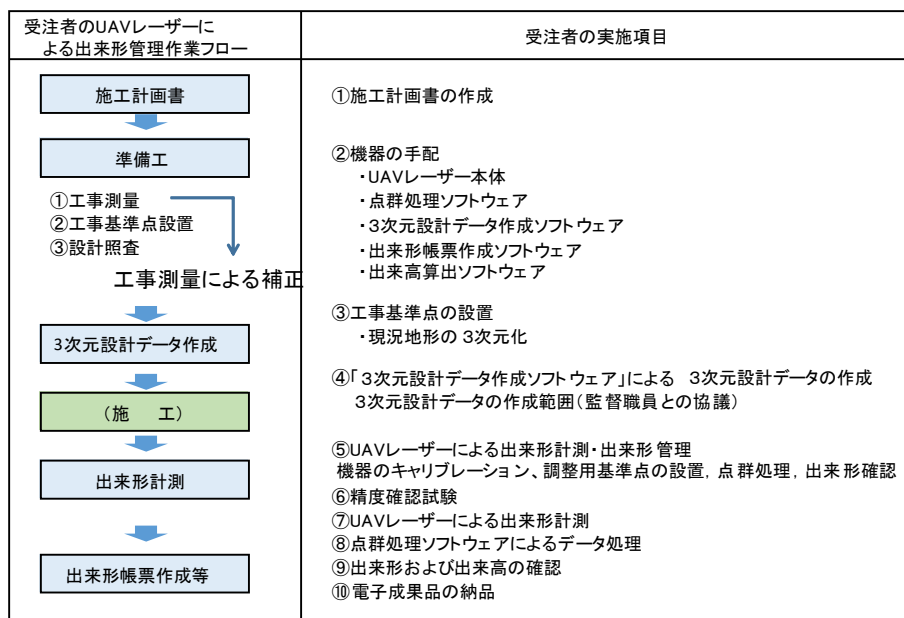


図 1-1 UAVレーザーによる計測の手順

1-2 適用の範囲

本管理要領は、受注者が行うUAVレーザーを用いた出来形計測および出来形管理に適用する。

【解説】

1) 測定方法

本管理要領では、UAVレーザー以外のTSやRTK-GNSS、TLS、空中写真測量(UAV)等による出来形の測定方法については対象外とする。

2) 適用工種

適用工種を現行の土木工事施工管理基準における分類で示すと、表 1-1 のとおりである。

表 1-1 適用工種区分

編	章	節	工種
共通編	土工	道路土工	掘削工
			路体盛土工 路床盛土工
		河川・海岸・ 砂防土工	掘削工
			盛土工

(土木工事施工管理基準の工種区分より)

3) 対象となる作業の範囲

本管理要領で示す作業の範囲は、図 1-2 の実線部分（施工計画、準備工の一部、出来形計測および完成検査準備、完成検査）である。しかし、UAVレーザーを用いた出来形の把握、出来高の確認は施工全体の工程管理や全体マネジメントに有効であり、図 1-2 の破線部分（工事測量・丁張り設置、施工）においても、作業の効率化が期待できる。作業の効率化は情報化施工の目的に合致するものであり、本管理要領はUAVレーザーを日々の出来形把握、出来高把握等の自主管理等に活用することを何ら妨げない。

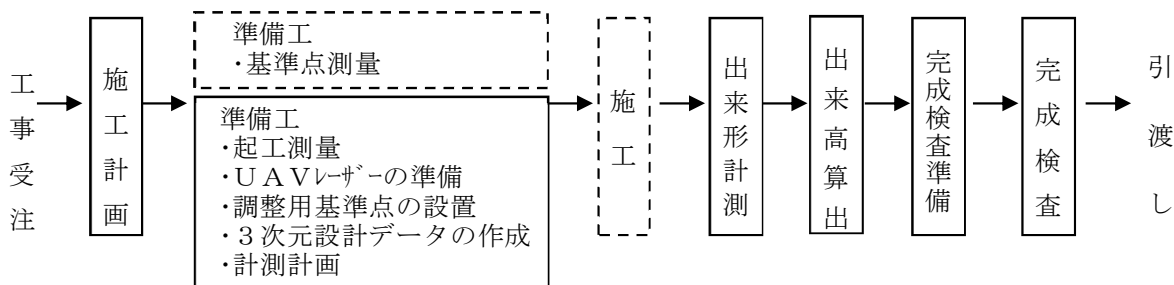


図 1-2 本管理要領の対象となる業務の範囲

1-3 本管理要領に記載のない事項

本管理要領に定められていない事項については、以下の基準によるものとする。

- 1) 「土木工事共通仕様書」(国土交通省各地方整備局)
- 2) 「土木工事施工管理基準及び規格値(案)」(国土交通省各地方整備局)
- 3) 「写真管理基準(案)」(国土交通省各地方整備局)
- 4) 「土木工事数量算出要領(案)」(国土交通省各地方整備局)
- 5) 「工事完成図書電子納品等要領」(国土交通省)
- 6) 「国土交通省 公共測量作業規程」(国土交通省)
- 7) 「無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)」(国土交通省)
- 8) 「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」(国土交通省)
- 9) 「公共測量におけるUAVの使用に関する安全基準(案)」(国土地理院 平成28年3月)

注1) 上記基準類の名称は各地方整備局で若干異なります。

注2) 「国土交通省 公共測量作業規程」(国土交通省)は、「作業規程の準則」を準用する。

【解説】

本管理要領は、「土木工事共通仕様書」、「土木工事施工管理基準及び規格値(案)」、「写真管理基準(案)」及び「土木工事数量算出要領(案)」で定められている基準に基づき、UAVレーザーを用いた出来形管理の実施方法、管理基準等を規定するものとして位置づける。本管理要領に記載のない事項については関連する基準類に従うものとする。

本管理要領で使用する用語を以下に解説する。

【UAV（無人航空機）】

UAV（無人航空機）は、人が搭乗することなく飛行できる航空機であり、自律制御あるいは、地上からの遠隔操作によって飛行することができる。無人航空機にデジタルカメラを搭載することで、空中写真測量に必要となる写真を空中から撮影することができる。

【UAVレーザー】

UAVレーザー測量システムはUAV上のGNSS、IMU及びレーザースキャナーによって構成される。その原理は、GNSSとIMUによりUAVの位置と姿勢を求め、レーザースキャナーにより左右にスキャンしながら地上までのレーザー光の反射方向と地上までの距離を計算し、これらの装置の関係付けと計測データの解析により3次元座標を解析するものである。

【LS】

レーザースキャナーの略。1台の機械で指定した範囲にレーザーを連続的に照射し、その反射波より対象物との相対位置（角度と距離）を面的に取得できる装置のことである。TSのようにターゲットを照準して計測を行わないため、特定の変化点や位置を選択して計測することができない場合が多い。

【TS】

トータルステーション（Total Station）の略。1台の機械で角度（鉛直角・水平角）と距離を同時に測定することができる電子式測距測角儀のことである。計測した角度と距離から未知点の座標計算を瞬時に行うことができ、計測データの記録および外部機器への出力ができる。標定点調整用基準点の座標取得、および実地検査に利用される。

【UAVレーザーを用いた出来形管理】

UAVレーザーを用いて被計測対象の3次元形状の取得を行うことで、出来形や数量を面的に算出、把握する管理方法である。

【3次元設計データ】

3次元設計データとは、道路中心線形又は法線（平面線形、縦断線形）、出来形横断面形状、工事基準点情報および利用する座標系情報など設計図書に規定されている工事目的物の形状とともに、それらをTINなどの面データで出力したものである。

【TIN】

TIN（不等三角網）とは、Triangular Irregular Networkの略。TINは、地形や出来形形状などの表面形状を3次元座標の変化点標高データで補間する最も一般的なデジタルデータ構造である。TINは、多くの点を3次元上の直線で繋いで三角形を構築するものである。TINは、構造物を形成する表面形状の3次元座標の変化点で構成される。

【3次元設計データ】

3次元設計データとは、道路中心線形または法線（平面線形、縦断線形）、出来形横断面形状、工事基準点情報及び利用する座標系情報など設計図書に規定されている工事目的物の形状とともに、それらをTINなどの面データで出力したものである。

【3次元設計データの構成要素】

3次元設計データの構成要素は、主に、平面線形、縦断線形、横断面形状であり、これらの構成要素は、設計成果の線形計算書、平面図、縦断図及び横断図から仕上がり形状を抜粋することで、必要な情報を取得することができる。3次元設計データは、これらの構成要素を用いて面的な補間計算を行い、TINで表現されたデータである。図に3次元設計データと作成するために必要な構成要素を示す。

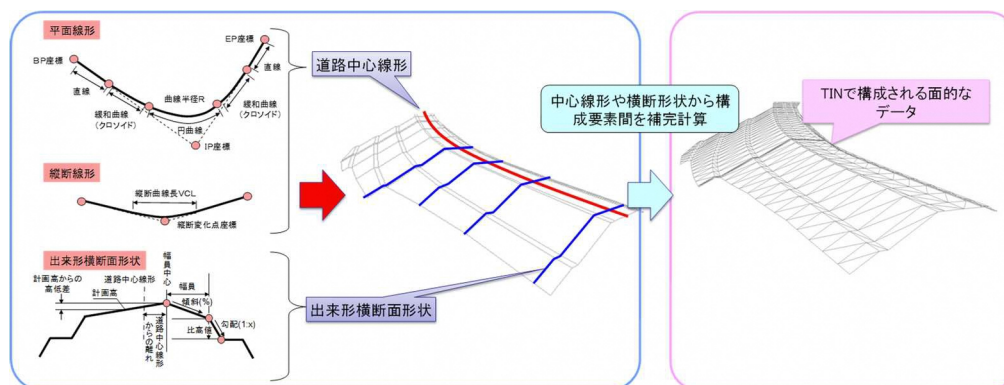


図 1-3 3次元設計データのイメージ (道路土工の場合)

【道路中心線形】

道路の基準となる線形のこと。平面線形と縦断線形で定義され、3次元設計データの構成要素の一つとなる。

【法線】

堤防、河道及び構造物等の平面的な位置を示す線のこと。平面線形と縦断線形で定義され、基本設計データの一要素となる。

【平面線形】

平面線形は、道路中心線形又は法線を構成する要素の1つで、道路中心線形又は法線の平面的な形状を表している。道路中心線形の場合、線形計算書に記載された幾何形状を表す数値データでモデル化している。平面線形の幾何要素は、道路中心線形の場合、直線、円曲線、緩和曲線(クロソイド)で構成され、それぞれ端部の平面座標、要素長、回転方向、曲線半径、クロソイドのパラメータで定義される。

【縦断線形】

縦断線形は、道路中心線形又は法線を構成する要素の1つで、道路中心線形又は法線の縦断的な形状を表している。縦断形状を表す数値データは縦断図に示されており、縦断線形の幾何要素は、道路中心線形の場合、縦断勾配変位点の起点からの距離と標高、勾配、縦断曲線長又は縦断曲線の半径で定義される。

【出来形横断面形状】

平面線形に直交する断面での、土工仕上がり、法面等の形状である。現行では、横断図として示されている。

【計測点群データ (ポイントファイル)】

UAVレーザーで計測した地形や地物を示す3次元座標値の計測点群データ。CSVやLAS(LASer file format)、Landxmlなどで出力される点群処理ソフトウェアなどでのデータ処理前のポイントのデータである。

【出来形評価用データ（ポイントファイル）】

UAVレーザーで計測した計測点群データから不要な点を削除し、さらに出来形管理基準を満たす点密度に調整したポイントデータである。専ら出来形の評価と出来形管理資料に供する。

【出来形計測データ（TINファイル）】

UAVレーザーで計測した計測点群データから不要な点を削除し、不等三角網の面の集合体として出来形地形としての面を構築したデータのことをいう。数量算出に利用する。

【起工測量計測データ（TINファイル）】

UAVレーザーで計測した計測点群データから不要な点を削除し、不等三角網の面の集合体として着工前の地形としての面を構築したデータのことをいう。数量算出に利用する。

【出来形管理資料】

3次元設計データと出来形評価用データを用いて、設計面と出来形評価用データの各ポイントの離れ等の出来形管理基準上の管理項目の計算結果（標高較差の平均値など）と出来形の良否の評価結果、および設計面と出来形評価用データの各ポイントの離れを表した分布図を整理した帳票、もしくは3次元モデルをいう。

【点群処理ソフトウェア】

UAVレーザーを用いて計測した3次元座標点群から樹木や草木、建設機械や仮設備等の不要な点を除外するソフトウェアである。また、整理した3次元座標の点群を、さらに出来形管理基準を満たす点密度に調整したポイントデータ、および当該点群にTINを配置し、3次元の出来形計測結果を出力するソフトウェアである。

【3次元設計データ作成ソフトウェア】

3次元設計データ作成ソフトウェアは、出来形管理や数量算出の基準となる設計形状を示す3次元設計データを作成、出力するソフトウェアである。

【出来形帳票作成ソフトウェア】

3次元設計データと出来形評価用データを入力することで、設計面と出来形評価用データの各ポイントの離れの算出と良否の判定が行える情報を提供するとともに、計測結果を出来形管理資料として出力することができる。

【出来高算出ソフトウェア】

起工測量結果と、3次元設計データ作成ソフトウェアで作成した3次元設計データ、あるいは点群処理ソフトウェアで算出した出来形結果を用いて出来高を算出するソフトウェアである。

【オリジナルデータ】

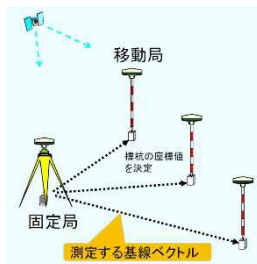
使用するソフトウェアから出力できるデータのことで、使用するソフトウェア独自のファイル形式あるいは、オープンなデータ交換形式となる。例えば、LandXMLは、2000年1月に米国にて公開された土木・測量業界におけるオープンなデータ交換形式である。

【GNSS（Global Navigation Satellite System／汎地球測位航法衛星システム）】

人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システムの総称。米国が運営するGPS以外にも、ロシアで開発運用しているGLONASS、ヨーロッパ連合で運用しているGalileo、日本の準天頂衛星（みちびき）も運用されている。

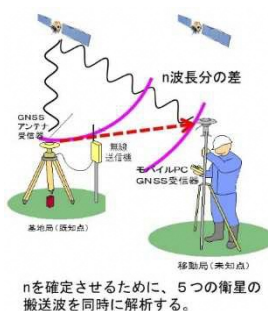
【キネマティック法】

キネマティック法とは、図のようにGNSS受信機を固定点に据付け（固定局）、他の1台を用いて他の観測点を移動（移動局）しながら、固定点と観測点の相対位置（基線ベクトル）を求める方法である。



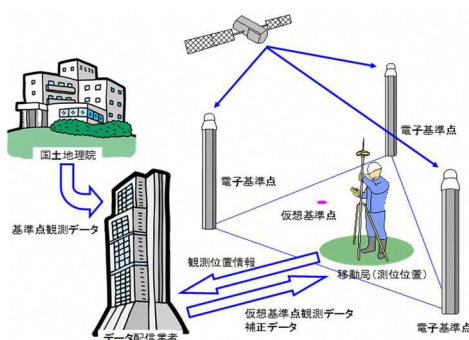
【RTK-GNSS】

RTKとは、リアルタイムキネマティックの略で、衛星測位から発信される搬送波を用いた計測手法である。既知点と移動局にGNSSのアンテナを設置し、既知点から移動局への基線ベクトル解析により、リアルタイムに移動局の座標を計算することができる。



【ネットワーク型RTK-GNSS】

ネットワーク型RTK-GNSSとは、3点以上の基準局（電子基準点）からのリアルタイムデータを利用し測位の補正を行う技術であり、基準局と移動局が離れていても、RTK法と同等の精度で観測できる。これにより、基準局と移動局間の距離の制限が無くなり、効率的に測量作業が行える。



【2周波GNSS】

GNSSの衛星から送信されてくる電波（搬送波）には、周波数の異なる2種類の電波（L1、L2）がある。L1、L2ともに受信し測位に用いることのできるGNSSを2周波GNSSと呼ぶ。

【IMU】

IMU（慣性計測装置）とは、Inertial Measurement Unit の略。三軸の傾きと加速度を計測することにより、計測器の相対的な位置情報と姿勢を計測するものである。

【工事基準点】

監督職員より指示された基準点を基に、受注者が施工及び施工管理のために現場及びその周辺に設置する基準点をいう。

【調整用基準点】

UAVレーザーで計測した相対形状を3次元座標に変換する際に用いる座標点である。基準点あるいは工事基準点と対応付けするために、基準点あるいは工事基準点からTS等によって測量する。標高調整用と水平調整用の2種類がある。標高調整用基準点は、z座標が既知であり、計測点群データの標高の調整に用いられる。また、水平調整用基準点は、x, y座標が既知であり、計測点群データの平面位置の調整に用いられる。x, y, z座標が特定できる物を用いることで、標高調整用基準点と水平調整用基準点を兼ねる事が出来る。x, y, z座標が特定できる物の例は以下のとおりである。

- ・直方体などの立体的な物で、角の位置を計測点群データから特定できる物。
- ・水平に設置した板状の物で、反射強度や色の違いにより中心点などの点の位置が計測点群データから特定できる物

【検証点】

UAVレーザーによって取得した位置座標の計測精度を確認するために必要となる位置座標を持つ点であり、基準点あるいは、工事基準点上といった既設点や、基準点及び工事基準点を用いて測量した座標値を用いる。UAVレーザーの計測精度を確認するために、検証点における計測結果と真値となる既知点あるいは測量した座標値を比較する。なお、検証点は、UAVレーザーの計測によって得られる位置座標の確認に利用するため、調整用基準点として利用してはならない。

【レーザー入射角】

UAVレーザーから発射されたレーザーと被計測対象の入射角を示す。レーザーの入射角が小さくなると計測精度が低下するなどの影響を及ぼす。また、計測距離が遠くなることによっても計測精度の低下を招く恐れがある。

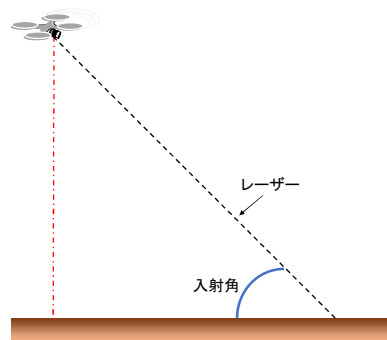


図 1-4 UAVレーザーの位置と計測面との入射角

【レーザー拡散角】

UAVレーザーに搭載されているLSから照射されるレーザービームは通常LS本体から離れる程ビームが拡散し、ビーム径が大きくなる。このレーザービームが大きくなる角度をレーザー拡散角という。

【有効計測角】

UAVレーザーによる計測では計測対象面に対するレーザーの入射角が小さくなるほど計測精度が低下する傾向がある。そのため、計測対象面に対するレーザーの入射角が一定以下となるときの計測値を除外し計測精度を保つ手法をとる。このとき計測値を除外しないレーザーの照射角度の範囲を有効計測角という。なお、有効計測角は本要領参考資料-4「UAVレーザーの精度確認試験実施手順書および試験結果報告書」に示す手順で確認する。

【有効計測幅】

計測対象面を水平な地表面とした場合の、有効計測角内のレーザーによって計測される横断方向の幅のこと。

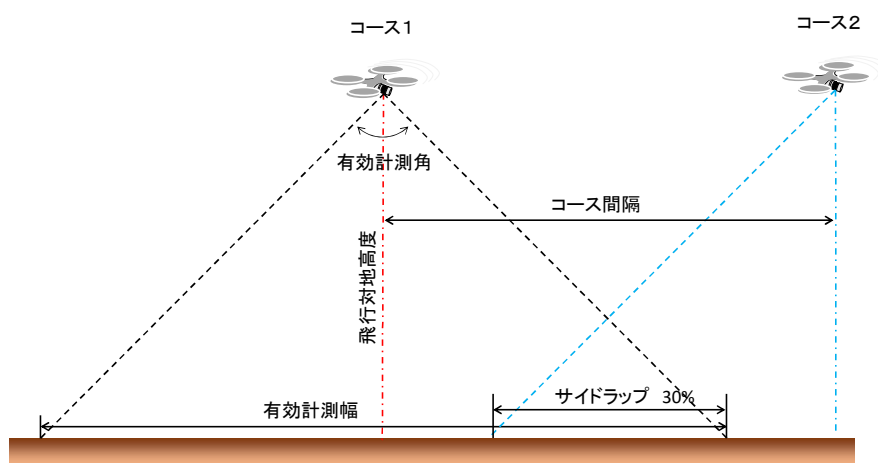


図 1-5 有効計測幅

【サイドラップ率】

UAVレーザーにて隣り合うコースを飛行して計測する場合、横断方向に重複して計測される範囲が生じるが、この重複する範囲をサイドラップと呼ぶ。また、サイドラップが1レーンの有効計測幅に占める割合をサイドラップ率とよぶ。

【レバーアーム】

UAVレーザーに搭載されているLS、GNSS、IMUの相対的配置のこと。

【ボアサイトキャリブレーション】

IMUの三軸(x軸, y軸, z軸)とLSの三軸との角度差を求める作業であり、LSにIMUを取りつけた場合、その都度実施する必要がある。

1-5 施工計画書

受注者は、施工計画書および添付資料に次の事項を記載しなければならない。

1) 適用工種

適用工種に該当する工種を記載する。適用工種は、「0 適用の範囲」を参照されたい。

2) 適用区域及び適用種別

本管理要領による、3次元計測範囲、出来形管理を行う範囲を記載する。

3) 出来形計測箇所、出来形管理基準及び規格値、出来形管理写真基準

契約上必要な出来形計測を実施する出来形管理箇所を記載する。また、該当する出来形管理基準及び規格値・出来形管理写真基準を記載する。

4) 使用機器・ソフトウェア

UAVレーザーの計測性能、機器構成及び利用するソフトウェアを記載する。

5) 飛行計画

UAVレーザーによる計測時の飛行経路、飛行高度、サイドラップ率、計測密度、有効計測角等を記載する。

【解説】

1) 適用工種

本管理要領による適用工種に該当している工種を記載する。

2) 適用区域及び適用種別

本管理要領により、3次元計測を行う範囲を明記する。また、平面図上に当該工事の土工範囲を示し、本管理要領による出来形管理範囲と「土木工事施工管理基準及び規格値」による出来形管理範囲を塗り分ける。

3次元計測範囲は土工部分を周囲に5m程度広げた範囲を基本とし、施工エリア全体としても良い。

3) 出来形計測箇所、出来形管理基準及び規格値・出来形管理写真基準

「設計図書」及び「出来形管理基準及び規格値」の測定基準に基づいた出来形計測箇所を記載する。自主管理するための任意の計測箇所については、記載不要である。

また、UAVレーザーを用いた出来形管理を行う範囲については、本管理要領に基づく出来形管理基準及び規格値、出来形管理写真基準を記載する。

4) 使用機器・ソフトウェア

UAVレーザーを用いた出来形管理を効率的かつ正確に実施するためには、必要な性能を有し適正に管理されたLS及び必要かつ確実な機能を有するソフトウェアを利用することが必要である。受注者は、施工計画書に使用する機器構成を記載すると共に、その機能・性能などを確認できる資料を添付する。

① 機器構成

受注者は、本管理要領を適用する出来形管理で利用する機器及びソフトウェアについて、施工計画書に記載する。

② UAVレーザー本体

受注者は、出来形管理用に利用するUAVレーザーに使用されているGNSS測量機が2周波GNSSであること。

- a. UAVレーザーの計測性能は使用しているIMU、LS、それらを統合する処理システム等により大きく異なる。また、計測精度に関する仕様の記載方法も標準化されていない。さらに、計測時の飛行対地高度等の計測条件により、計測精度が異なる。このため、本管理要領では、参考資料-4「UAVレーザーの精度確認試験実施手順書」に示す精度確認試験を実施し、所要の精度を満足する機器を確認試験と同等の計測条件にて、使用できることとする。
- b. 精度管理について、器械本体の動作やシステムに不具合が無いことを確認するために、計測実施時の12ヶ月以内に実施した参考資料-4「UAVレーザーの精度確認試験実施手順書」に示す精度確認試験結果を添付する。

③UAV（無人航空機）

受注者は、撮影計測計画を満足する揚重能力および飛行時間を確保できる機体を使用すること。また、航空機の高航行の安全確保のために、「無人航空機の飛行に関する許可の承認の審査要領」許可要件に準じた飛行マニュアルを施工計画書の添付資料として提出すること。UAVの保守点検を実施し、その有効期限内であることを示す記録を添付する。UAVの保守点検は、1年に1回以上。製造元等による点検を行うこととする。

④ソフトウェア

受注者は、本管理要領に対応する機能を有するソフトウェアであることを示すメーカーのカタログあるいはソフトウェア仕様書を、施工計画書の添付資料として提出する。

5) 飛行計画

受注者は、本管理要領により利用するUAVレーザーについては以下の項目に留意し、飛行計画を作成することとする。

- ・ 所定の予測精度が確保できる飛行経路及び飛行高度等の算出結果
(4-3 UAVレーザーによる出来形計測 参照)
- ・ 調整用基準点の概観及び設置位置、調整用基準点位置の測定方法を示した設置計画
- ・ 計測区域を完全にカバーするよう飛行コースを設定する。

1-6 監督職員による監督の実施項目

本管理要領を適用した、UAVレーザーによる出来形管理における監督職員の実施項目は、「無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)」の「5 監督職員の実施項目」による。

【解説】

監督職員は、本管理要領に記載されている内容を確認及び把握をするために立会し、又は資料等の提示を請求できるものとし、受注者はこれに協力しなければならない。

受注者は、監督職員による本管理要領に記載されている内容を確認、把握、及び立会する上で必要な準備、人員及び資機材等の提供並びに写真その他資料の整備をするものとする。

監督職員の実施項目は下記に示すとおりである。

- 1) 施工計画書の受理・記載事項の確認
- 2) 基準点の指示
- 3) 設計図書の3次元化の指示
- 4) 工事基準点等の設置状況の把握
- 5) 3次元設計データチェックシートの確認
- 6) 精度確認試験結果報告書の把握
- 7) 出来形管理状況の把握

1-7 検査職員による検査の実施項目

本管理要領を適用した、UAVレーザーによる出来形管理における検査職員の実施項目は、「無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)」の「6 検査職員の実施項目」による。

【解説】

本管理要領の実施に係る工事実施状況の検査では、施工計画書等の書類により監督職員との所定の手続きを経て、出来形管理を実施したかを検査する。

出来形の検査に関して、出来形管理資料の記載事項の検査を行う。

また、出来形数量の算出においても、本管理要領で算出された数量を用いて良いものとする。

受注者は、当該技術検査について、監督職員による監督の実施項目の規定を準用する。

検査職員の実施項目は下記に示すとおりである。

1) 出来形計測に係わる書面検査

- ・ UAVレーザーを用いた出来形管理に係わる施工計画書の記載内容
- ・ 設計図書の3次元化に係わる確認
- ・ UAVレーザーを用いた出来形管理に係わる工事基準点等の測量結果等
- ・ 3次元設計データチェックシートの確認
- ・ UAVレーザーを用いた出来形管理に係わる精度確認試験結果報告書の確認
- ・ UAVレーザーを用いた出来形管理に係わる「出来形管理図表」の確認
- ・ 品質管理及び出来形管理写真の確認
- ・ 電子成果品の確認

2) 出来形計測に係わる実地検査

- ・ 検査職員が任意に指定する箇所の出来形検査

第2章 UAVレーザーによる測定方法

2-1 機器構成

本管理要領で用いるUAVレーザーによる出来形管理のシステムは、以下の機器で構成される。

- 1) UAVレーザー
- 2) 点群処理ソフトウェア
- 3) 3次元設計データ作成ソフトウェア
- 4) 出来形帳票作成ソフトウェア
- 5) 出来高算出ソフトウェア

【解説】

図 2-1 にUAVレーザーを用いた出来形管理で利用する機器の標準的な構成を示す。

1) UAVレーザー

UAVレーザーは、UAV本体やUAVを操作するためのコントローラー、UAVに搭載するLS、IMU、GNSS等、飛行計測するための装置である。

2) 点群処理ソフトウェア

UAVレーザーで取得した複数回の3次元点群の結合や、3次元座標の点群から樹木や草木、建設機械や仮設備等の不要な点を除外するソフトウェアである。また、整理した3次元座標の点群にTIN（不等三角網）を配置し、3次元の出来形計測結果を出力するソフトウェアである。なお、ソフトウェアを動作するためのパソコンは、性能によっては、データ処理に膨大な時間を要する場合もあるため、ソフトウェアの推奨動作環境（CPU、GPU、メモリなど）に留意すること。

3) 3次元設計データ作成ソフトウェア

3次元設計データ作成ソフトウェアは、出来形管理や数量算出の基準となる設計形状を示す3次元設計データを作成・出力するソフトウェアである。

4) 出来形帳票作成ソフトウェア

3)で作成した3次元設計データと、2)で算出した出来形評価用データの各ポイントの離れを算出することで、出来形の良否判定が可能な出来形分布図などを作成するソフトウェアである。

5) 出来高算出ソフトウェア

別途計測した起工測量結果と、3)で作成した3次元設計データ、あるいは、2)で算出した出来形結果を用いて出来高を算出するソフトウェアである。

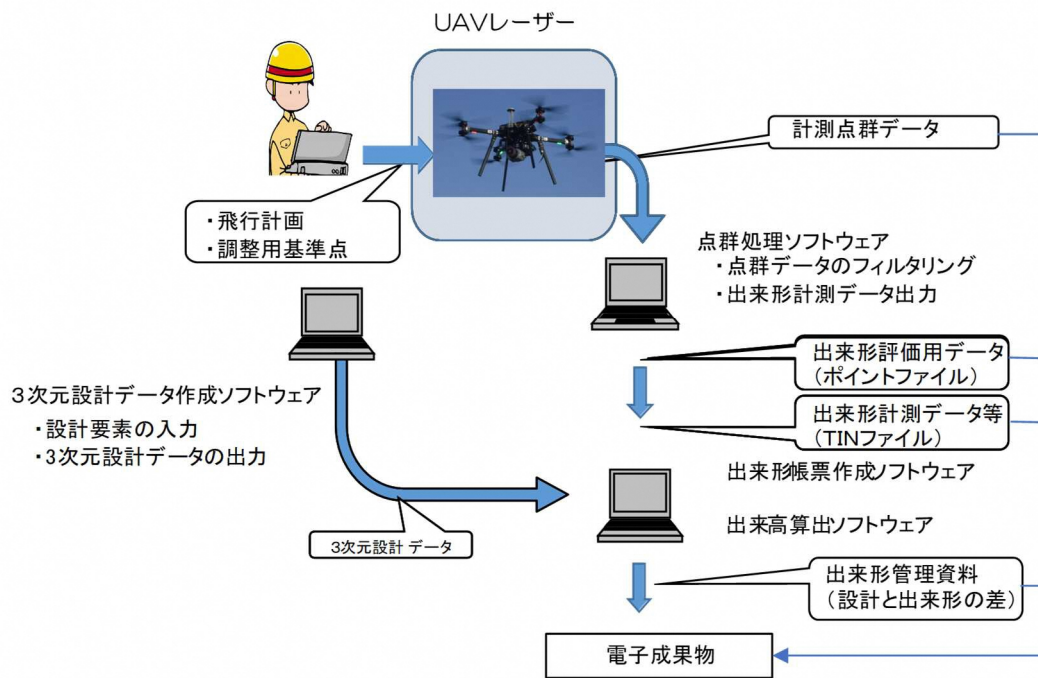


図 2-1 UAVレーザーによる出来形管理機器の構成例

2-2 出来形管理用UAVレーザーの計測性能及び精度管理

UAVレーザーによる出来形計測で利用するUAVレーザー本体は下記の測定精度と同等以上の性能を有し、適正な精度管理が行われている機器であること。受注者は、本管理要領に基づいて出来形管理を行う場合は、利用するUAVレーザーの性能について、監督職員に提出すること。以下に、出来形管理で利用するUAVレーザーに要求される性能基準を示す。

GNSS：2周波GNSSを使用していること

参考資料-4 UAVレーザーの精度確認試験実施手順書および試験結果報告書による確認を行うこと。

【解説】

1) 計測性能

UAVレーザーの計測性能は多様であることと、使用しているIMUやLSが高精度であるほど高価格となる傾向もあり、各現場の状況に併せて適用可能な機器を選定することが重要となる。また、LSの計測性能について、製造メーカーなどが発行するカタログなどで概ね確認することができるが、現状では定められた機器仕様の記述様式、機器検定手法がないことから、利用前に以下の確認を行うこととする。

- a. 既知点を用いた精度確認：受注者は、実際に計測に使用する機器を用い、実際に計測する際の条件と同等またはそれ以上の条件（対地飛行高度、点群密度、UAVレーザーの有効計測角度）にて計測を行い、コース間の再現性が要求精度以内であることを確認する。（詳細は参考資料-4 UAVレーザーの精度確認試験実施手順書および試験結果報告書 精度確認試験実施手順に記載）。受注者は、UAVレーザーを用いた出来形管理の実施前（12ヶ月以内）に上記の精度確認試験を実施し、その結果について、別添様式-2を用いて提出する。
- b. 事前確認の実施：a.の計測性能の確認は、当該現場の計測時に実施できるほか、上記と同様の手法で事前確認を実施しても良い。この場合は、出来形計測の実施前の12ヶ月以内に実施した確認結果を別添様式-2にて提出すること。

2) 精度管理

UAVレーザーを構成するLS、GNSS、IMU統合計算処理が適正に行われていることを確認する必要がある。現状では、公的な精度管理の仕組みが存在しないことから、4-3 UAVレーザーによる出来形計測 6)に示す、検証点を用いた確認により、測定精度が所定の精度以内（出来形管理の場合は±50mm）であることを確認する。

2-3 点群処理ソフトウェア

本管理要領で利用する点群処理ソフトウェアは、計測点群データから樹木や草木、仮設構造物などの出来形とは関係のない不要点を除外する機能や、3次元の出来形評価用データ及び出来形計測データを出力する機能を有していなければならない。

【解説】

UAVレーザーの特徴は、短時間に大量の3次元座標点群を測定することが可能な点である。しかし、取得される大量の点群には出来形管理には関係のない部分の地形や構造物、樹木や草木、建設機械や作業員、仮設構造物などの不要な点やノイズなどが含まれており、必要な計測データだけを抽出することが必要となる。不要点の排除にあたっては、不要な点のみを抽出し、本来の出来形データまで削除しないように配慮する必要がある。以下に本管理要領に基づくデータ処理の概念とデータ処理に必要な主な機能を示す。

1) 計測データの不要点削除

①対象範囲外のデータ削除

UAVレーザーの計測は取得範囲をランダムに計測するために、被計測対象物以外の構造物のデータを含んでいる。そこで、計測結果から不要な計測データを削除する作業を行う。

削除の方法は、点群処理ソフトウェアを用い、計測点群データの3次元的な鳥瞰図を見ながら、対象範囲外のデータかどうかを目視確認し、選択、削除する方法が一般的である。

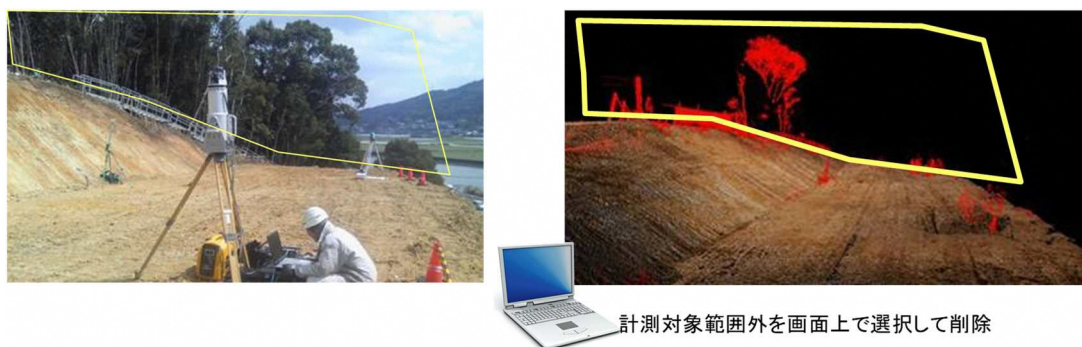


図 2-2 対象範囲外のデータ削除

②点群密度の変更（データの間引き）

UAVレーザーの特徴としては、近距離の計測結果は密となり遠距離では粗となる場合がある。すべての計測点群データを利用しても良いが、全てのデータを用いることでコンピュータの処理を著しく低下させてしまう場合は、類似の座標データから代表点を抽出して点群密度を減らす作業を行っても良い。

出来形計測データについては、1㎡あたり100点以上、数量算出に用いる岩線計測データ及び起工測量計測データについては、1㎡あたり4点以上、出来形評価用データとしては1㎡あたり1点以上の点密度が確保できる程度まで点群密度を減らして良い。密度の変更方法は、用途によって様々な手法が開発されているが、座標値を変更するような処理をとってはならない。例えば、平面範囲（例えば出来形評価の計測密度である1㎡以内で鉛直方向の最下点や中央値を抽出することはよいが、平均処理を行ってはならない（出来形評価用データで以下のグリッドデータ化による場合は除く）。

③グリッドデータ化

出来形評価用データとしては、点群密度の変更による方法の他に、内挿により格子状に加工することにより、1 m²あたり1点程度のデータとすることができる。この場合、以下の方式によることができる。

- ・計測対象面について1 m²（1 m×1 mの平面正方形）以内のグリッドを設定し、グリッドの中央あるいは格子点に評価点(x, y)を設置する。評価点の標高値は、評価点を中心とする1 m²以内の実計測点と設計面との差の最頻値または差の平均値を、設計値に加算した値を用いる。

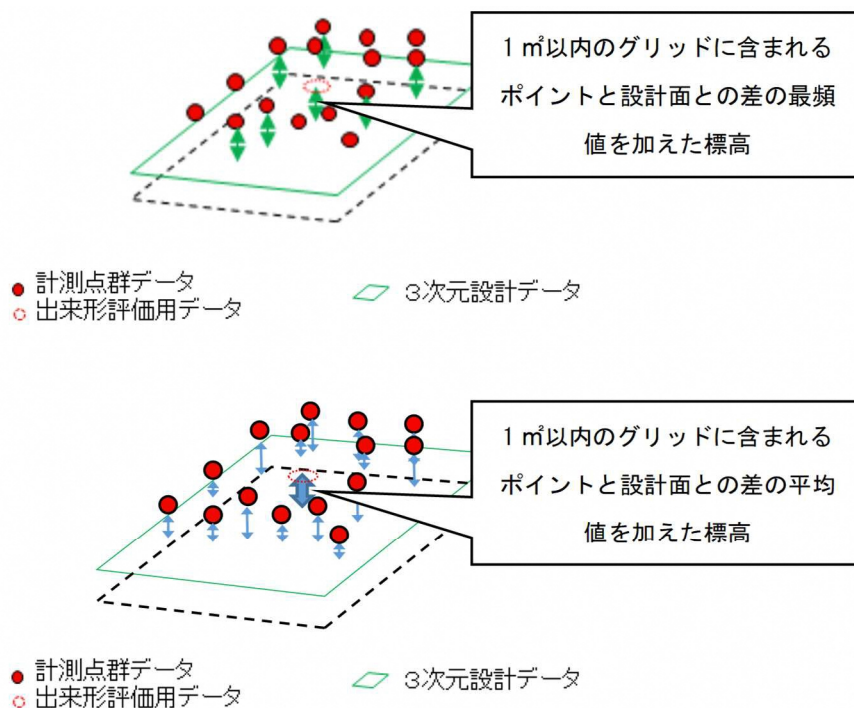


図 2-3 グリッドデータ化のイメージ

あるいは、以下を用いることもできる。

- ・最近隣法

グリッド点から最も近い点の標高値を採用

- ・平均法

内挿するグリッドからある検索範囲内にある計測点群データの標高の平均値を標高値として採用。このとき検索範囲はグリッド格子間隔の2倍程度を限度とする。

- ・T I N法

計測点群データから発生させたT I Nを用いて、平面座標として内挿するグリッドが含まれる三角形上の標高値を採用

- ・逆距離加重法

計測点群データ各点から一定距離内の各点群に対し、グリッドまでの距離に応じた重みを付けて内挿する方法。一定距離については、はグリッド格子間隔の2倍程度を限度とする。

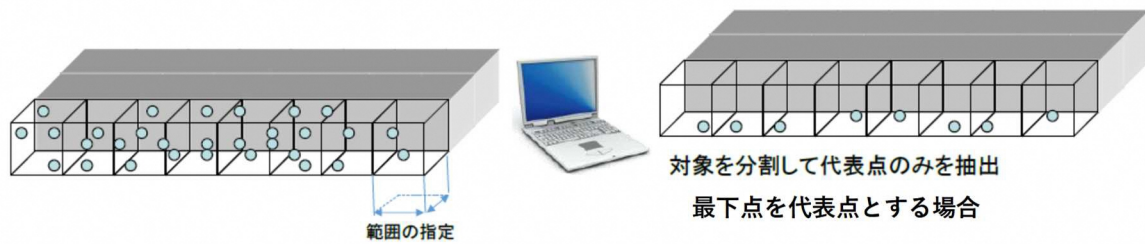


図 2-4 点群データの密度を均一にする方法 (例)

2) 計測点群データの合成

現場での計測結果が複数ある場合にひとつの計測点群データとして取りまとめる。複数スキヤンのまとめ方については、大きく2つの方法がある。

①各スキヤンで個別の3次元座標に変換した結果をひとつの点群に合成

各スキヤンで調整用基準点や基準点等を利用して3次元座標へ変換しておき、単純に計測点座標群を合成する。

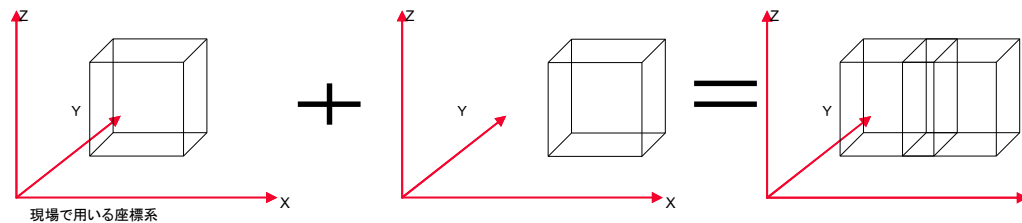


図 2-5 現場座標系に変換された結果を合成する方法

②複数スキヤン内の特徴点を用いて合成を行ったのちに3次元座標に変換

複数のスキヤンで共通に取得されている特徴点や調整用基準点を基準に点群を合成する手法である。各スキヤンから同じ特徴点を抽出してマッチングさせる。この手法では、特徴点の抽出時のずれや計測誤差により、合成時のゆがみなどが生じる場合などもあることから実施時には注意が必要である（合成時の誤差や偏差について、各ソフトウェアで解析する機能などがあるので参照する）。

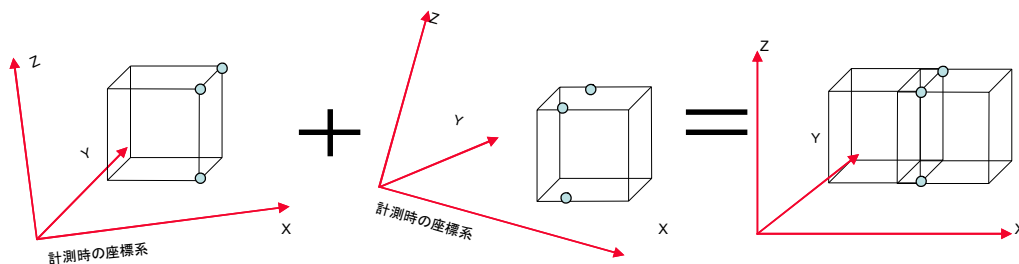


図 2-6 複数のスキヤンに含まれる調整用基準点を基準に合成する方法

3) 面データ（出来形計測データ、起工測量計測データ）の作成

計測点群データの不要点削除が終了した点群を対象にT I N（不等三角網）を配置し、地形や出来形の面データを作成する。自動でT I Nを配置した場合に、現場の出来形形状と異なる場合は、T I Nの結合方法を手動で変更しても良い。

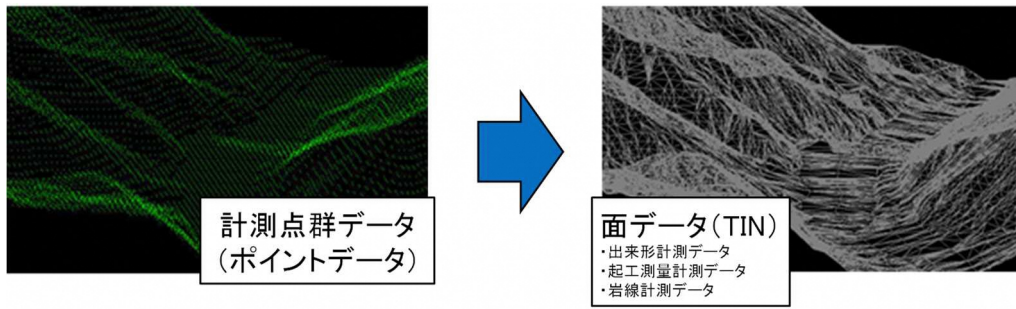


図 2-7 計測点群データをT I Nデータに変換する方法

2-4 3次元設計データ作成ソフトウェア

3次元設計データ作成ソフトウェアは、出来形管理や数量算出の基準となる設計形状を示す3次元設計データを作成・出力することができ、以下の機能を有することとする。

- 1) 3次元設計データ等の要素読込（入力）機能
- 2) 3次元設計データ等の確認機能
- 3) 設計面データの作成機能
- 4) 3次元設計データの作成機能
- 5) 座標系の変換機能
- 6) 3次元設計データの出力機能

【解説】

面的な出来形管理および数量算出を実現するためには、基準となる3次元設計データを作成でき、作成した設計データと設計図面との照合確認が可能な3次元設計データ作成ソフトウェアが必要となる。ここでいう3次元設計データは、中心線形データ、横断形状データ、及び構造物を形成する表面形状の3次元座標の変化点で構成される「T I Nデータ」で表現される。

1) 3次元設計データ等の要素読込（入力）機能

①座標系の選択機能

3次元設計データの座標系を選択する機能。

②平面線形の読込（入力）機能

設計図面に示される法線の平面線形を読込（入力）できる機能。なお、線形の幾何要素は、直線区間（開始点、終了点）と曲線区間（開始点、I P点、終了点）等で定義される。

③縦断線形の読込（入力）機能

設計図面に示される法線の縦断線形を読込（入力）できる機能。なお、線形の幾何要素は、縦断勾配変化点の累加距離、標高、縦断曲線長（または縦断曲線半径）で定義される。

④横断形状の読込（入力）機能

設計図面に示される横断形状を読込（入力）できる機能。なお、横断形状の幾何要素は、中心線形（平面線形）を基準に、センターからの離れ距離（起点からの終点に向け右側を+、左側を-）と勾配（あるいは比高）などで定義される。

⑤現況地形データの読込（入力）機能

起工測量で得られた計測点群データあるいは面データを読込（入力）できる機能。

2) 3次元設計データ等の確認機能

上記1) で読み込んだ（入力した）中心線形データ（平面線形データ、縦断線形データ）、横断形状データと出力する3次元設計データを重畳し、同一性を確認するために入力値比較や3次元表示が確認できる機能。

3) 設計面データの作成機能

上記1) で読み込んだ（入力した）3次元設計データの幾何要素から設計の面データを作成する機能。本管理要領でいう面データは、T I N（不等辺三角網）データとする。

4) 3次元設計データの作成機能

上記3)で読み込んだ設計面データと起工測量データに基づく、3次元設計データを作成する機能。

5) 座標系の変換機能

3次元設計データを、上記1)で選択した座標系に変換する機能。

6) 3次元設計データの出力機能

上記4)～5)で作成・変換した3次元設計データを LandXML 形式や使用するソフトウェア等のオリジナルデータで出力する機能。

2-5 出来形帳票作成ソフトウェア

本管理要領で利用する出来形帳票作成ソフトウェアは、取得した出来形評価用データと3次元設計データの面データとの離れを算出し、出来形管理基準上の管理項目の計算結果（標高較差の平均値等）と出来形の良否の評価結果、及び設計形状の比較による出来形の良否判定が可能な出来形分布図を出力する機能を有していなければならない。

【解説】

3次元のポイントデータによる出来形評価用データと3次元設計データを重ねて表示することで出来形の良否判定を行う。特に、UAVレーザーによる計測では、法肩や法尻などの変化点を特定した計測ができないことから、従来の幅員や法長、端部の基準高さという管理項目での良否判定法では比較できない。このことから、3次元設計面と出来形評価用データの各ポイントとの離れ（標高較差あるいは水平較差）により出来形の良否判定を行う。出来形管理基準上の管理項目の計算結果（標高較差の平均値等）と出来形の良否の評価結果、及び設計面と出来形評価用データの各ポイントの離れを評価範囲の平面図上にプロットした分布図を整理した帳票（出来形管理図表）、もしくは属性情報として出来形管理基準上の管理項目の計算結果を表示できる3次元モデルのビューアファイルを出来形管理資料として出力する。

1) 出来形管理基準上の管理項目の計算結果の出力

- ① 3次元設計データから管理を行うべき範囲（平場、天端、法面（小段含む）の部位別）を抽出する。
- ② 部位別に3次元設計データと出来形評価用データの各ポイントとの離れ（標高較差あるいは水平較差）を計算し、平均値、最大値、最小値、データ数、評価面積及び棄却点数を出力する。標高較差は、各ポイントの標高値と、平面座標と同じ設計面上の設計標高値との差分として算出し、水平較差は、当該ポイントを含み、かつ「法面や構造物の位置をコントロールする線形」に直交する平面上で設計面の横断を見たとき、当該ポイントと同一標高値の横断上の点との距離として算出する。

ここで「法面や構造物の位置をコントロールする線形」とは、道路中心、幅員中心、堤防法線、並びに法肩や法尻及び道路端部を結ぶ線形のことをいう。

- ③ 「5-1 出来形管理資料の作成」にある出来形管理図表の様式を満足する項目を表形式で印刷、または3次元モデルの属性情報として表示する。

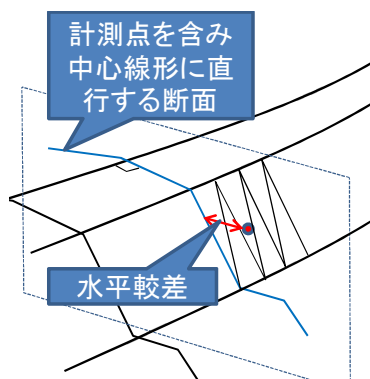


図 2-8 水平較差の算出ロジックのイメージ

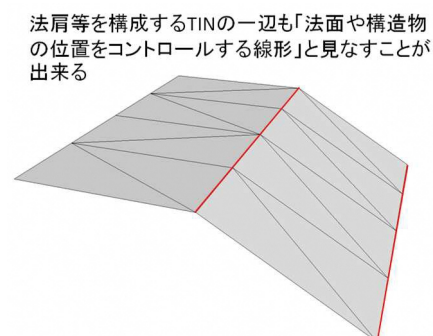


図 2-9 位置をコントロールする線形

2-6 工事基準点の設置

本管理要領に基づく出来形管理で利用する工事基準点は、監督職員に指示を受けた基準点を使用して設置する。

出来形管理で利用する工事基準点の設置にあたっては、国土交通省公共測量作業規程に基づいて実施し、測量成果、設置状況と配置箇所を監督職員に提出して使用する。

【解説】

UAVレーザーによる出来形管理では、現場に設置された工事基準点を用いて3次元座標値への変換を行う。このため、出来形の計測精度を確保するためには、現場内に4級基準点又は、3級水準点と同等以上として設置した工事基準点の精度管理が重要である。工事基準点の精度は、「国土交通省公共測量作業規程」の路線測量を参考にし、これに準じた。

工事基準点の設置に際し、受注者は、監督職員から指示を受けた基準点を使用することとする。なお、監督職員から受注者に指示した4級基準点及び3級水準点（山間部では4級水準点を用いても良い）、もしくはこれと同等以上のものは、国土地理院が管理していなくても基準点として扱う。

工事基準点の設置時の留意点としては、UAVレーザーの調整用基準点を効率的に計測できる位置にTSが設置可能なように工事基準点を複数設置しておくことが有効である。また、本管理要領に基づく出来形管理では出来形計測精度の確保を目的に、調整用基準点を計測する場合は基準点からTSまでの距離、調整用基準点からTSまでの計測距離（斜距離）についての制限を、3級TSを利用する場合は100m以内（2級TSは150m）とする（TS等光波方式を用いた出来形管理要領より引用）。

第3章 UAVレーザーによる工事測量

3-1 起工測量

1) 起工測量の実施

受注者は、設計照査のために地盤の地形測量を実施する。計測密度は 1 m^2 あたり4点以上とする。なお、起工測量時のその他の実施事項については、「4-3 UAVレーザーによる出来形計測」を準用するものとし、「6) 精度確認 b. コース間標高値の点検」の重複コースごとの標高値の較差の平均値は $\pm 100\text{mm}$ 以内であればよい。また、「2) 調整用基準点、検証点の設置・計測」の調整用基準点及び検証点の設置、計測方法については当該規定によらなくてもよいものとし、6) 精度確認 d. 3次元計測データの精度確認」の x, y, z のそれぞれの成分の差は $\pm 100\text{mm}$ 以内であればよい。

2) 起工測量計測データの作成

受注者は、UAVレーザーで計測した現況地形の計測点群データから不要な点を削除し、TINで表現される起工測量計測データを作成する。データ処理方法は、「2-3 点群処理ソフトウェア」の手順を参照されたい。

【解説】

本管理要領では、着工前の現場形状を把握するための起工測量を面的な地形計測が可能なLSを用いて実施する。面的なデータを使用した設計照査を実施する際は、当該工事の設計形状を示す3次元設計データについて、監督職員との協議を行い、設計図書として位置付ける。

1) 起工測量の実施

起工測量時の測定精度は、 $\pm 100\text{mm}$ 以内とし、計測密度は 1 m^2 あたり4点以上とする。また、調整用基準点は4級基準点および3級水準点（山間部では4級水準点相当）と同等の測量方法により計測する。その他の実施事項および作業上の留意点については、「4-3 UAVレーザーによる出来形計測」を参照されたい。また、調整用基準点、検証点の設置の計測についてはGNSSローバーの利用も可能とするが、この計測精度が起工測量全体の精度に影響するため、参考資料-5 GNSSの精度確認試験実施手順書（案）を参考に平面座標 $\pm 20\text{mm}$ 以内、標高差 $\pm 30\text{mm}$ 以内であることを確認する。

2) 起工測量計測データの作成

受注者は、計測した点群座標の不要点削除が終了した計測点群データを対象にTINを配置し、起工測量計測データを作成する。自動でTINを配置した場合に、現場の地形と異なる場合は、TINの結合方法を手動で変更してもよい。また、管理断面間隔より狭い範囲においては、点群座標が存在しない場合は、数量算出において平均断面法と同等の計算結果が得られるようにTINで補間してもよいものとする。

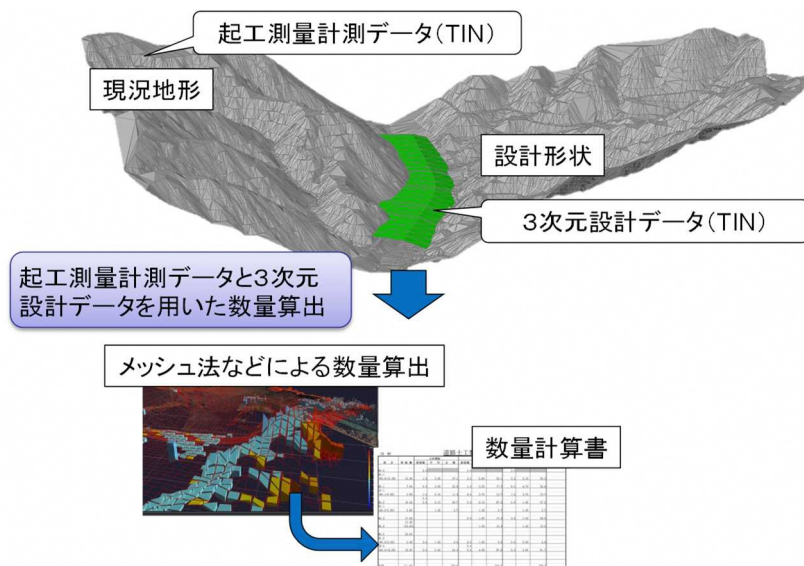


図 3-1 設計照査のための数量算出イメージ

3-2 岩線計測

UAVレーザーでは岩線を判別できるオルソ画像や色つき点群が計測できないため、岩線計測は適用対象外とする。

3-3 部分払い用出来高計測

1) 部分払い出来高計測の実施

受注者は、出来高部分払い方式を選択した場合で、簡便な数量算出方法としてUAVレーザーによる地形測量を利用できる。この場合、出来高計測の実施事項は「4-3 UAVレーザーによる出来形計測」を準用することを基本とするが、簡便な数量算出方法として、計測に基づく算出値を100%計上しない場合、「6) 精度確認 b. コース間標高値の点検」の重複コースごとの標高値の較差の平均値は±200mm 以内であればよい。また、2)の標定点及び検証点の設置、計測方法については当該規定によらなくてもよいものとし、6) 精度確認 d. 3次元計測データの精度確認」のx, y, zのそれぞれの成分の差は±200mm 以内であればよい。

計測密度は1 m²あたり4点以上とする。このときの部分払い出来高算出結果については、算出値の9割を上限に計上してもよいこととする。

【解説】

出来高部分払いについては、精度を落として算出数量を控除してでも、簡便な方法を望む意見があり、精度確認方法のみ規定することとした。算出値の9割の根拠はH27実験値による。

1) 部分払い出来高計測の実施

部分払い出来高計測の実施時の測定精度は、x, y, zそれぞれ200mm 以内とし、計測密度は1 m²あたり4点以上とする。なお、その他の作業方法と作業上の留意点については、「4-3 UAVレーザーによる出来形計測」を参照されたい。また、調整用基準点、検証点の設置の計測についてはGNSSローバーの利用も可能とするが、この計測精度が起工測量全体の精度に影響するため、参考資料-5 GNS Sの精度確認試験実施手順書(案)を参考に平面座標±20mm 以内、標高差±30mm 以内であることを確認する。

第4章 UAVレーザーによる出来形管理

4-1 3次元設計データの作成

受注者は、発注者から貸与された設計図書（平面図、縦断図、横断図等）や線形計算書等を基に3次元設計データを作成する。

【解説】

受注者は、出来形管理で利用する工事基準点、平面線形、縦断線形、出来形横断面形状の設定を行い、出来形評価用データとの比較が可能な3次元設計データの作成を行う。以下に、3次元設計データ作成時の留意事項を示す。

1) 準備資料

3次元設計データの作成に必要な準備資料は、設計図書の平面図、縦断図、横断図等と線形計算書等である。準備資料の記載内容に3次元設計データの作成において不足等がある場合は、監督職員に報告し資料提供を依頼する。また、隣接する他工事との調整も必要に応じて行うこと。

2) 3次元設計データの作成範囲

3次元設計データの作成範囲は、工事起点から工事終点及びその外縁に線形要素の起終点がある場合はその範囲までとし、横断方向は構築物と地形との接点までの範囲とする。設計照査段階で取得した現況地形が発注図に含まれる現況地形と異なる場合、及び余盛りや法面保護堤（盛土法肩部に法面の雨水侵食防止のために構築する小堤）等を実施する場合については、監督職員との協議を行い、その結果を3次元設計データの作成に反映させる。

3) 3次元設計データの要素データ作成

3次元設計データの作成は、設計図書（平面図、縦断図、横断図）と線形計算書に示される情報から幾何形状の要素（要素の始点や終点の座標・半径・クロソイドパラメータ・縦断曲線長、横断形状等）を読み取って、作成する。

出来形横断面形状の作成は、UAVレーザー計測を実施する範囲で全ての管理断面及び断面変化点（拡幅などの開始・終了断面や切土から盛土への変更する断面）について作成する。3次元設計データの作成にあたっては、設計図書を基に作成したデータが出来形の良否判定の基準となる事から、当該工事の設計形状を示すデータについて、監督職員の承諾なしに変更・修正を加えてはならない。

4) 3次元設計データ（T I N）の作成

入力した要素データを基に面的な3次元設計データ（T I N）を作成する。T I Nは3角の平面の集合体であるため、曲線部では管理断面の間を細かい断面に分割して3次元設計データ化する必要がある。このため、線形の曲線区間においては必要に応じて横断形状を作成した後にT I Nを設定する（例えば、間隔5 m毎の横断形状を作成した後にT I Nを設定する）。

5) 地形情報

UAVレーザー等による起工測量結果を3次元設計データ作成ソフトウェアに読み込み、作成した3次元設計デー

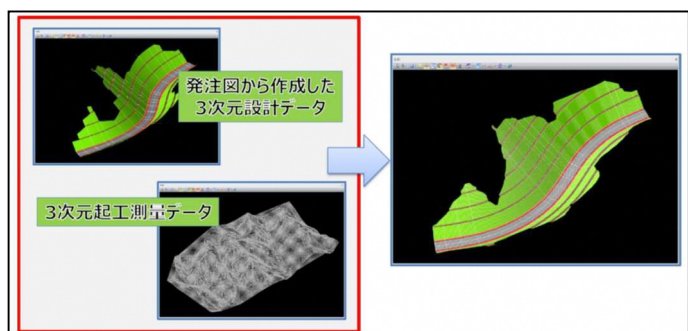


図 4-1 3次元データの重畳イメージ

タと重畳し比較した上で、盛土及び切土と地形の擦付け部分が発注図に含まれる現況地形と異なる場合については、監督職員との協議を行い、その結果を3次元設計データの作成に反映させる。

6) 数量算出

作成した3次元設計データは、契約図書として位置付けられるものであるため、数量を再計算しておく必要がある。3次元設計データに基づく数量計算結果が当初数量と変更があった場合は、設計変更の対象となる。工事数量の算出方法は「5-2 数量算出」を参照のこと

7) 設計変更について

設計変更で設計形状に変更があった場合は、その都度、3次元設計データを編集し変更を行う。このとき、最新の3次元設計データの変更理由、変更内容、変更後の基本設計データファイル名は確実に管理しておくこと。

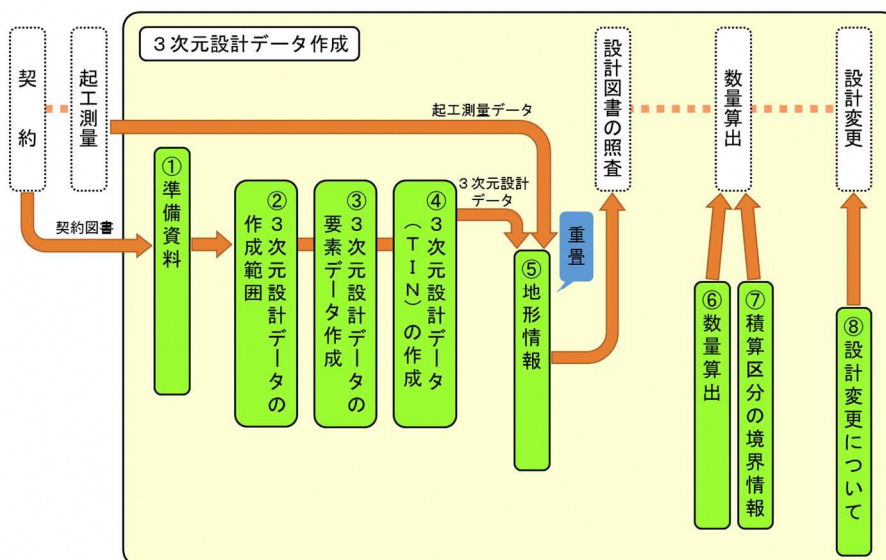


図 4-2 3次元データの流れ

4-2 3次元設計データの確認

受注者は、3次元設計データの作成後に、3次元設計データの以下の1)～5)の情報について、設計図書（平面図、縦断図、横断図等）や線形計算書等と照合するとともに、監督職員に3次元設計データチェックシートを提出する。また、設計図書を基に作成した3次元設計データが出来形の良否判定の基準となることから、監督職員との協議を行い、作成した3次元設計データを設計図書として位置付ける。

- 1) 工事基準点
- 2) 平面線形
- 3) 縦断線形
- 4) 出来形横断面形状
- 5) 3次元設計データ

【解説】

3次元設計データの間違ひは出来形管理に致命的な影響を与えるので、受注者は3次元設計データが設計図書と照合しているかの確認を必ず行うこと。

3次元設計データの照合とは、3次元設計データが設計図書を基に正しく作成されているものであることを確認することである。3次元設計データと設計図書の照合結果については、本管理要領のチェックシートおよび照査結果資料（道路工事においては線形計算書、河川工事においては法線の中心点座標リスト、その他共通の資料として平面図、縦断図、横断図のチェック入り）（参考資料-2、参考資料-3 参照）に記載する。

また、受注者は、前述の資料の他、3次元設計データと設計図書との照合のための資料を整備・保管するとともに、監督職員から3次元設計データのチェックシートを確認するための資料請求があった場合は、確認できる資料を提示するものとする。

さらに、設計変更等で設計図書に変更が生じた場合は、3次元設計データを変更し、確認資料を作成する。

確認項目を以下に示す。照合は、設計図書と3次元設計データ作成ソフトウェアの入力画面の数値又は出力図面と対比して行う。

1) 工事基準点

工事基準点は、名称、座標を事前に監督職員に提出している工事基準点の測量結果と対比し、確認する。

2) 平面線形

平面線形は、線形の起終点、各測点及び変化点（線形主要点）の平面座標と曲線要素について、平面図及び線形計算書と対比し、確認する。

3) 縦断線形

縦断線形は、線形の起終点、各測点及び変化点の標高と曲線要素について、縦断図と対比し、確認する。

4) 出来形横断面形状

出来形横断面形状は、出来形形状の幅（小段幅も含む）、基準高、法長を対比し、確認する。設計図書に含まれる全ての横断図について対比を行うこと。確認方法は、ソフトウェア画面上で対比し、設計図書の寸法記載箇所にチェックを記入する方法や、3次元設計データから横断図を作成し、設計図書と重ね合わせて確認する方法等を用いて実施する。

5) 3次元設計データ

UAVレーザーを用いた出来形管理の該当区間の3次元設計データの入力要素（工事基準点、中心線形データや横断形状データ）と3次元設計データ（T I N）を重畳し、同一性が確認可能な3次元表示した図を提出する。

4-3 UAVレーザーによる出来形計測

受注者は、UAVレーザーを用いて、出来形計測を行う。

1) 飛行計画

UAVレーザーは、IMU、LSの性能に応じて精度が左右されるため、事前確認により要求精度を確保できる範囲で、飛行計画を立案する。

2) 調整用基準点、検証点の設置・計測

UAVレーザーによる計測結果の水平位置、標高の調整するために調整用基準点と精度確認用の検証点を設置する。調整用基準点・検証点は、平坦で明瞭な地点を選定し工事基準点からTSを用いて計測を行う。また、調整用基準点はUAVレーザーによる出来形計測中は動かないように固定すること。

3) 地上固定局の設置

UAVレーザーは、LSの位置をキネマティック法で求めるために必要な地上固定局を設置するものとする。地上固定局は、電子基準点、仮想点、施工現場へ設置した基準局を使用するものとする。また、地上固定局のデータ取得間隔は1秒1エポックとする。

4) UAVレーザーシステムの確認

UAVレーザーを構成するGNSS、IMU、LSのキャリブレーション等を行う

5) UAVレーザー計測の実施

UAVレーザー計測の実施にあたっては、航空法に基づく「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」の許可要件に準じた飛行マニュアルを作成し、マニュアルに沿って安全に留意して行うこととする。出来形計測は、計測対象範囲内で1m²あたり100点以上の計測点を得られる設定及び「2-2 出来形管理用UAVレーザーの計測性能及び精度管理」で確認した計測性能を満足できる設定条件の範囲内とする。

6) 精度確認

5)で作成した計測点群データ上の検証点の座標と、上記2)により計測した検証点の座標を比較し、x、y、zそれぞれ±50mm以内であることを確認する。

【解説】

UAVレーザーによる計測は、GNSS、IMU、LSの組み合わせによる3次元データ計測となるため、複合的な要因により計測精度が決まる。GNSSの性能は、衛星の捕捉状況、機体のノイズ成分の影響により精度が低下する恐れがある。IMUの性能はレーザー発射時の姿勢角に影響し、レーザー計測データ端部の精度低下の原因となる。ロール、ピッチ成分は主に標高精度に影響し、ヘディング成分は、水平精度に影響する。また、LSは、ビームの拡散角の大きさが測距精度に影響する。このような精度低下の要因に留意した上で計測計画の立案することが重要となる。

1) 飛行計画

本要領の参考資料-4「UAVレーザーの精度確認試験実施手順書および試験結果報告書」に示す手順により、用途別に定められた所要の精度が得られることが確認されたのと同じ計測諸元にて計測を実施することとする。また、UAVレーザーで使用するGNSS、IMU、LSの性能に応じて計測諸元を作成し飛行計画を立案する。

計測諸元

・飛行対地高度	(m)
・飛行速度	(m/秒)
・レーザー拡散角	(mrad)
・IMUの精度(ロール角)	(度)
・IMUの精度(ピッチ角)	(度)
・IMUの精度(ヘディング角)	(度)
・スキャン回転数	(回転/秒) ポリゴンミラーの回転数
・レーザー発光回数	(回数)
・有効計測角	(度)
・有効計測幅	(m)
・コース間隔	(m)
・計測点間隔(進行方向、横断方向)	(cm)

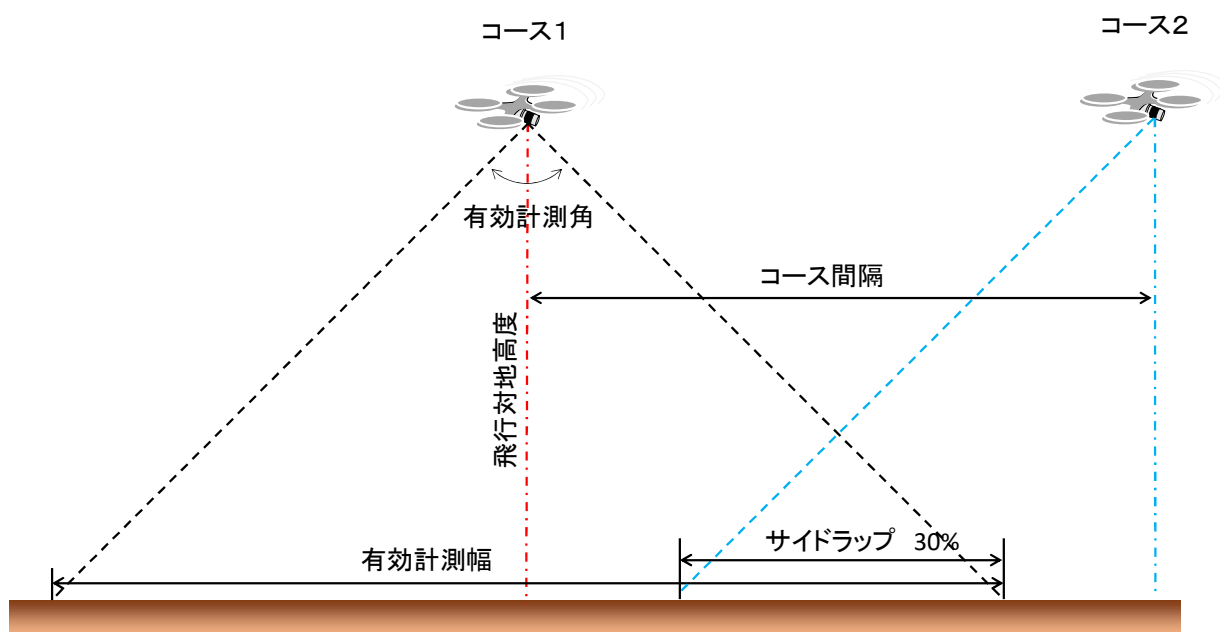


図 4-3 計測諸元

飛行対地高度は、飛行空域の状況、IMUとLSの性能により決定する。

計測データの相対的な精度の確保と計測データが欠測しないよう、必ず隣接するコースに重なりがあるように、飛行計画を立案する。また、飛行計画上のサイドラップ率が30%以上となる飛行計画を立案する。

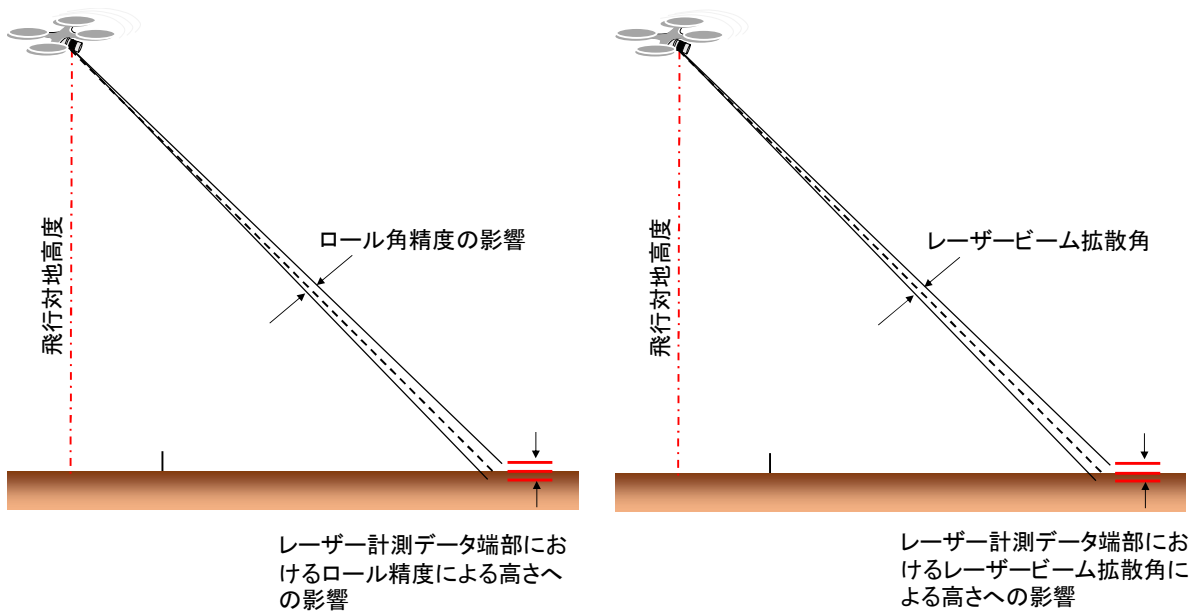


図 4-4 ロール角度およびレーザー拡散角が予測精度に与える影響

飛行対地高度の決定は、IMU、LS の性能を考慮し有効計測角、有効計測幅を決定し、要求精度 > 予測精度となるよう十分留意すること。

飛行速度は、計測点密度に影響するため、LS の性能により決定する。

LS の性能が、レーザー発光回数 10 万点/秒、スキャン回転数 50 回転/秒、飛行速度 4 m/秒、飛行対地高度 30 m の場合、計測点密度は、進行方向で 8cm (4 m ÷ 50 回転)、横断方向で 12.5cm (下図参照) となる。

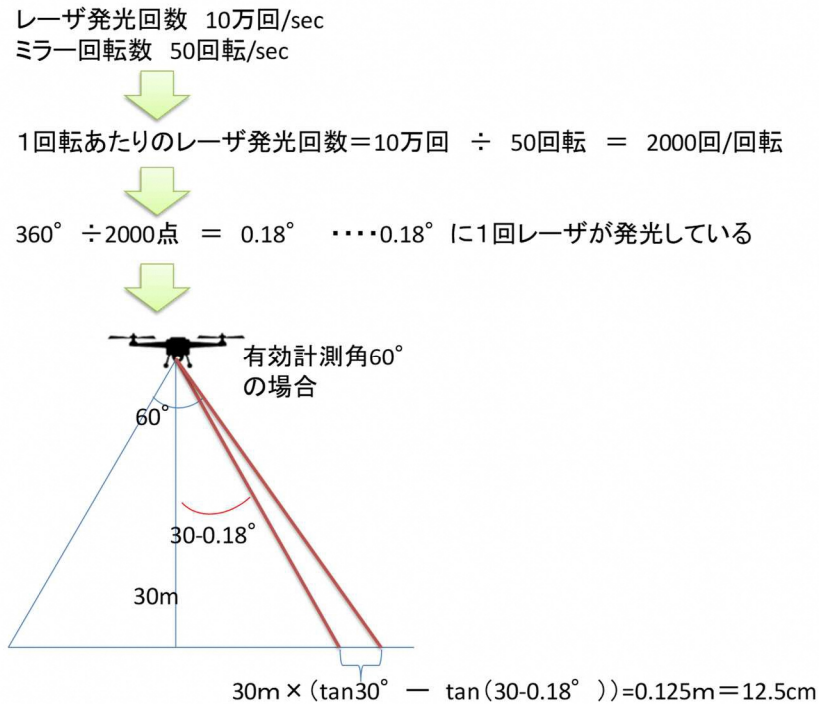


図 4-5 計測点密度 (横断方向) の計算方法の一例

飛行中は、機体の揺れによる計測点密度の粗密が生じる恐れがあるため、要求される計測点密度を十分満足するよう留意して飛行速度を決定すること。

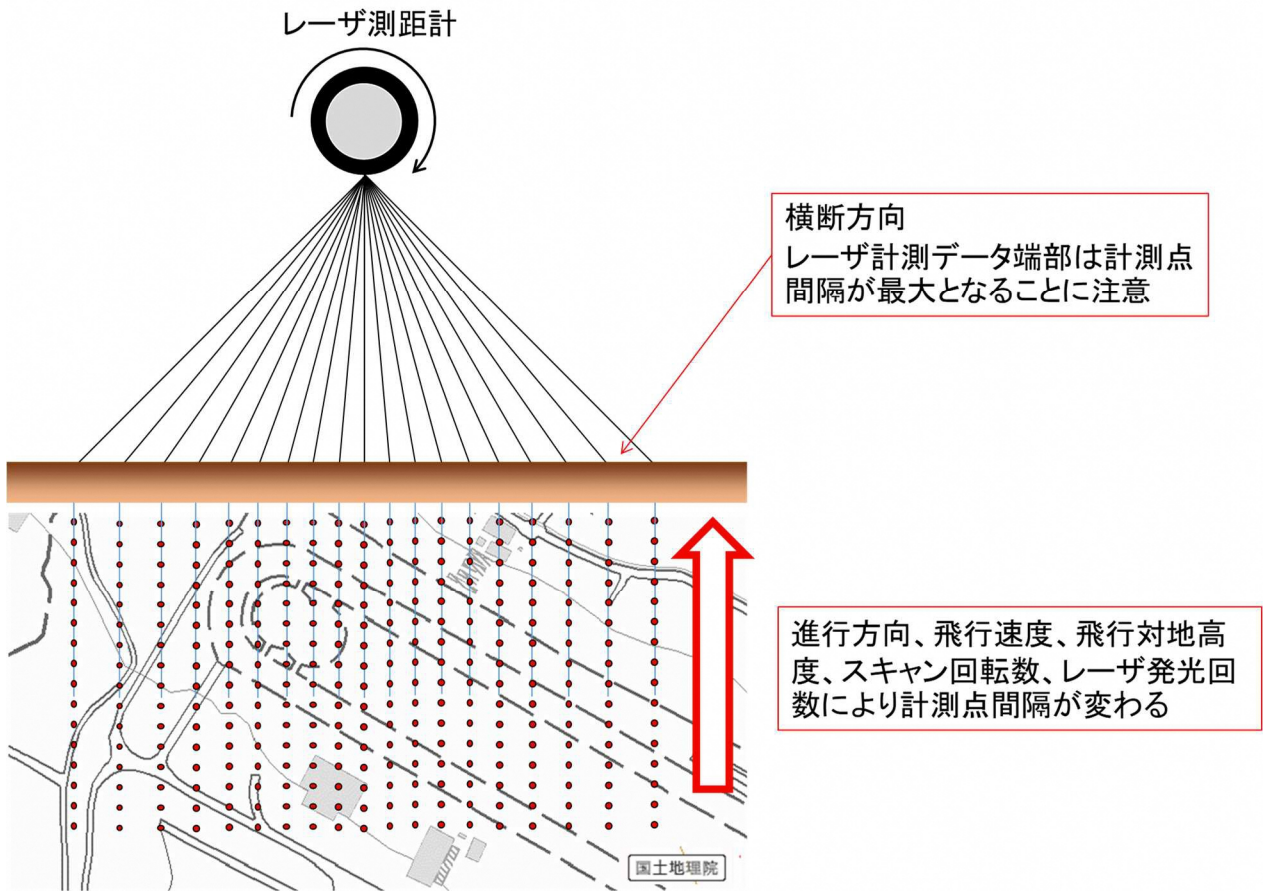


図 4-6 計測点密度

2) 調整用基準点・検証点の設置・計測・検証点の配置を図に追記

調整用基準点は、面積 (km²) を 0.25 で割った値に 1 を足した値とし、最低 4 点設置するものとし、計測対象箇所四隅に配置することを標準とする。また、調整用基準点の計測は TS を用いて実施し、TS から基準点および調整用基準点までの距離が 100m 以下 (3 級 TS の場合) あるいは 150m 以下 (2 級 TS の場合) とする。同様に鉛直高さおよび水平位置の検証点は、それぞれ最低 1 点以上、調整用基準点の設置位置から概ね等距離となる位置に設置するものとし、計測方法は調整用基準点と同等とする。

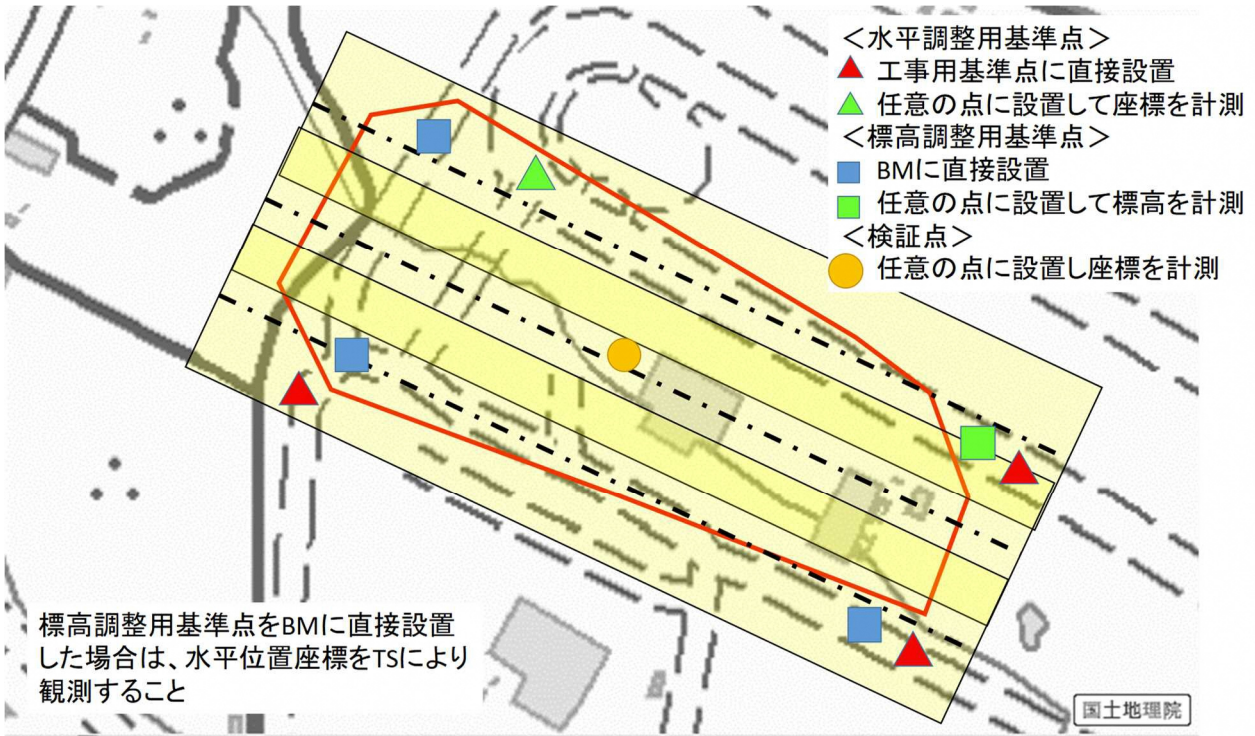
ただし、工事基準点、BM、KBM へ直接設置できる場合は、この限りではない。

標高調整用基準点は、平坦で明瞭な地点を選定し計測点密度と同一半径の円又はおおむね 2 倍の辺長の正方形で作成した標識を水平に設置する。

水平調整用基準点は、地上から突出した直方体、球体、板、などの任意の形状で、水平位置 (真値及び計測結果) が特定できるものを設置する。標識の大きさは LS の性能に留意して決定すること。

この他、x, y, z 座標が特定できる物 (既存の構造物の角など、既存の明瞭な地物で、計測点群データから x, y, z 座標が特定できるもの) を用いることで、標高調整用基準点・検証点と水平調整用基準点・検証点を兼ねる事が出来る。調整用基準点、検証点の配置図は、任意の様式で施工

者が作成、補完し、監督職員の求めに応じて提出できるようにすることとする。



標高調整用基準点の一例 水平調整用基準点の一例



- ・ 調整用基準点の形状は任意であり、計測点群データから座標が特定できるものを用いる
- ・ x,y,z座標が特定できる物を用いることで、標高調整用基準点と水平調整用基準点を兼ねる事が出来る。

図 4-7 調整用基準点の設置

3) 地上固定局の設置

UAVレーザにおいて、LSの位置は、GNSS測位（衛星測位）「キネマティック法」による測位演算で求める。キネマティック法は、現場でリアルタイムに測位演算する「RTK法」と後処理で測位演算する「後処理キネマティック法」に分類される。

キネマティック法は、高精度に位置を算出するために地上固定局を設置し、飛行中のUAVに搭載されたGNSSと同時観測する必要がある。地上固定局は、施工現場の近傍に設置されている電子基準点や仮想点、施工現場内に設置された基準局を使用することができる。

「RTK法」は、地上固定局の観測データを無線装置によりUAVへリアルタイムに転送する必要がある。「後処理キネマティック法」は、配信事業者からダウンロードした観測ファイルまたは、施工現場内に設置した基準局の観測データファイルとUAVレーザの観測データを用いて解析を行う。

4) UAVレーザシステムの確認

a. 事前確認

GNSS、IMU、LSの取り付け位置のオフセット量（レバーアーム）を計測し記録する。ボアサイトキャリブレーションにより、IMU、LSの取り付け角を計測し記録する。この確認は、GNSS、IMU、LS相互の位置関係が変わる可能性のある組み立て作業等を行った場合に実施する。

b. 計測前の準備

GNSSは、後処理解析で十分な精度（キネマティック解析によるFIX状態）が確保できるよう初期化を行う。

IMUは、ロール角、ピッチ角、ヘディング角の精度が収束するようメーカー推奨の初期化を行う。

5) UAVレーザ計測の実施

出来形計測のための飛行は飛行計画に基づき実施する。また、IMUの精度が低下しないよう一定方向、等速度で飛行し、旋回は十分な半径で飛行する。

6) 精度確認

a. 最適軌跡解析

最適軌跡解析をGNSS観測データ及びIMU観測データを用いて、Loosely Coupled方式またはTightly Coupled方式で行う。Loosely Coupled方式は、まずGNSS衛星を利用したキネマティック解析により機体の3次元位置を特定し、IMUのデータを反映して最適軌跡解析を行うプロセスを経る。Loosely Coupled方式のキネマティック解析時にはGNSS衛星のが5個以上必要となり、5個以下になると著しく精度が低下することに留意すること。Tightly Coupled方式はキネマティック解析と最適軌跡解析を同時に行う手法であり、GNSS衛星の衛星数が一時的に不足しても、解析処理は一定の精度を維持できることが特徴である。

b. コース間標高値の点検

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。

- ① 点検箇所数は、各コース間重複部分に2箇所以上設置するものとする。
- ② 点検箇所の配置は、計測対象範囲内に偏り無く配置するよう努めるものとするが、各コースの起点側に1点、終点付近に1点の配置としてもよい。
- ③ 植生のある場所、線状地域等の地形条件で平坦な場所が無い場合は配置及び点数を変更することができる。
- ④ 点検箇所の標高値は、平坦で明瞭な地点を選定し、計測点密度と同一半径の円又はおおむね2倍辺長の正方形内の計測データを平均したものとする。
- ⑤ 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。
- ⑥ 重複コースごとの標高値の較差の平均値は±50mm以内とする。

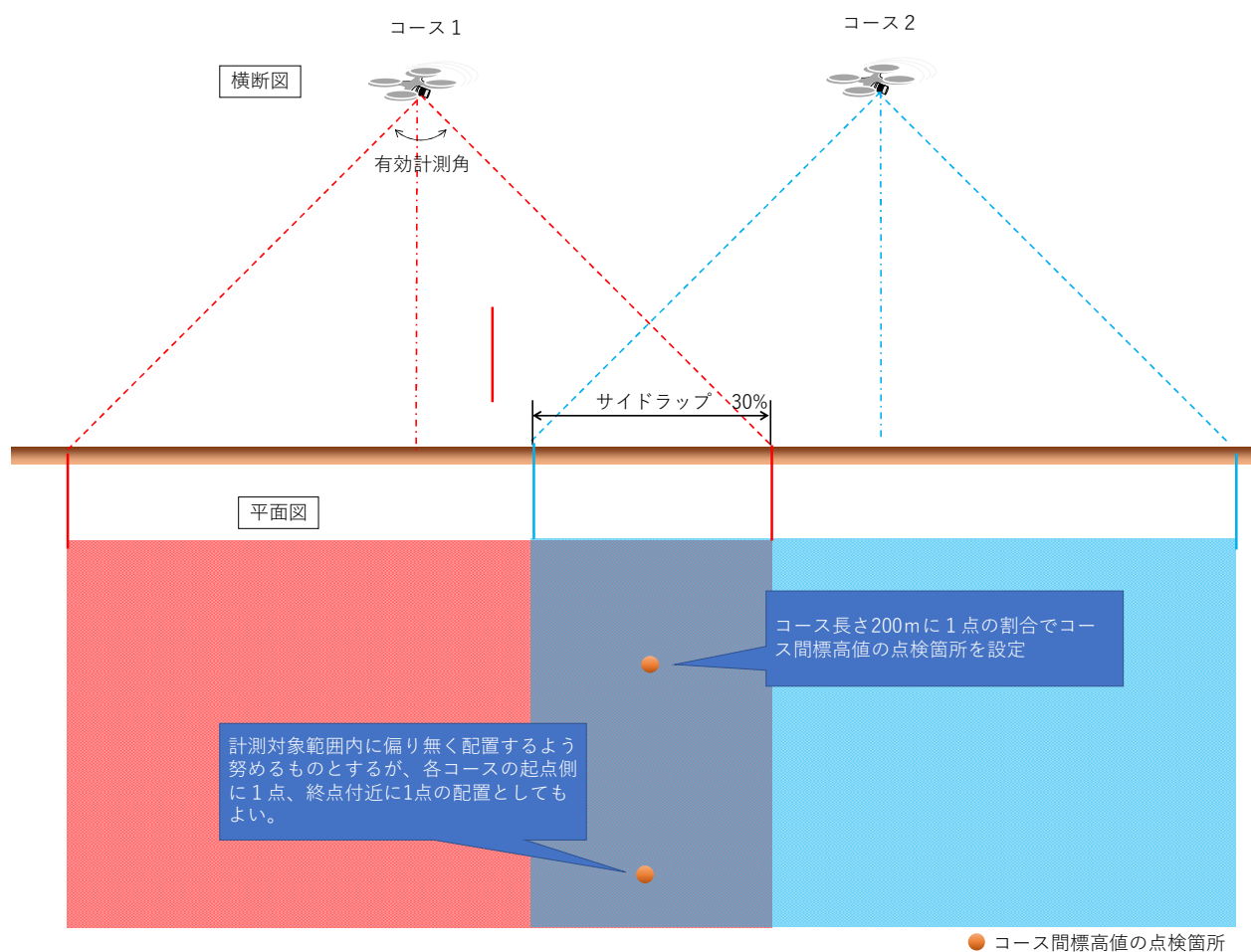


図 4-8 コース間標高値の点検

c. 三次元計測データの調整

三次元計測データの調整は以下の方法により行うものとする。

- ① 調整用基準点と比較する三次元計測データは、所定の格子間隔と同一半径の円又は2倍辺長の正方形内の計測データを平均したものとする。
- ② すべての調整用基準点において三次元計測データの平均値との較差を、水平位置、標高について求め、その平均値との標準偏差等を求めるものとする。
- ③ 各調整用基準点における点検の結果、水平位置、標高の較差の平均値の絶対値が 50mm 以上又はRMS誤差が 50mm 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。
- ④ すべての調整用基準点での点検の結果、水平位置、標高の較差の平均値の絶対値が 50mm 以上の場合で、標高調整用基準点の較差の傾向が作業地域全体で同じ場合は、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り補正を行う。また、水平調整用基準点の較差の傾向が、作業地域全体で同じ水平方向にシフトしている場合は、水平方向に一律シフトの平行移動および回転により補正を行う。
- ⑤ 上記④の補正を行った後、再び上記③の点検を実施し、結果を次に示す調整用基準点調査票にとりまとめる。監督職員から提出の請求があった場合は速やかに提出するものとする。

調整用基準点検証精度管理表(標高)

地区名		〇〇地区					作業者	〇〇 〇〇	
							点検者	〇〇 〇〇	
番号	点名	調整用基準点の標高	調整用基準点の計測点群データの平均標高	較差 △H	番号	点名	調整用基準点の標高	調整用基準点の計測点群データの平均標高	較差 △H
1	G1	28.48	58.48	0.00	11				
2	G2	28.43	28.43	0.00	12				
3	G3	20.3	20.30	0.00	13				
4	G4	20.41	20.42	0.01	14				
5					15				
6					16				
7					17				
8					18				
9					19				
10					20				

	データ数	平均値(m)	最大値(m)	最小値(m)	最大値 - 最小値	標準偏差: $\sqrt{\frac{\sum(\Delta H)^2}{n-1}}$
計測範囲全域の 水準との差	4	0	0.01	0	0.01	0.01

図 4-9 鉛直調整用基準点調査票の様式

調整用基準点検証精度管理表(水平位置)

地区名		〇〇地区				作業者	〇〇〇〇	
						点検者	〇〇〇〇	
番号	点名	調整用基準点の水平座標		3次元計測データによる調整用基準点の水平座標		調整用基準点の3次元計測データの差		
		X座標 (①)	Y座標 (②)	X座標 (③)	Y座標 (④)	ΔX (⑤=③-①)	ΔY (⑥=④-②)	ΔXY ($\sqrt{⑤^2+⑥^2}$)
1	G1	56.247	1024.313	56.26	1024.322	0.010	0.009	0.013
2	G2	97.231	1342.213	97.24	1342.226	0.006	0.013	0.014
3	G3	123.143	1399.74	123.15	1399.755	0.011	0.011	0.016
4	G4	239.46	1011.473	239.46	1011.475	0.000	0.002	0.002
5								
6								
7								
8								
9								
10								

	データ数	平均値(m)	最大値(m)	最小値(m)	最大値 - 最小値	標準偏差 $\sqrt{\frac{\sum(\Delta X)^2}{n-1}}$
計測範囲全域の ΔX の差	4	0.007	0.011	0.000	0.011	0.009

	データ数	平均値(m)	最大値(m)	最小値(m)	最大値 - 最小値	標準偏差 $\sqrt{\frac{\sum(\Delta Y)^2}{n-1}}$
計測範囲全域の ΔY の差	4	0.009	0.013	0.002	0.011	0.011

	データ数	平均値(m)	最大値(m)	最小値(m)	最大値 - 最小値	標準偏差 $\sqrt{\frac{\sum(\Delta XY)^2}{n-1}}$
計測範囲全域の ΔXY の差	4	0.011	0.016	0.002	0.014	0.015

図 4-10 水平調整用基準点調査票の様式

d. 三次元計測データの精度確認

調整した計測点群データから検証点の座標をもとめ、別途計測した検証点の標高及び水平位置座標値との差を算出する。x、y、zのそれぞれの成分の差は±50mm以内であること。確認結果は、次図に示す様式で整理し提出する。

点検測量結果精度管理表(検証点・標高)

地区名		〇〇地区		作業者	〇〇〇〇
				点検者	〇〇〇〇
番号	点名	点検測量成果の標高	3次元計測データの平均標高	較差 ΔH	合否 出来形計測で±50mm以内 起工測量で±100mm以内 出来高計測で±200mm以内
1	K1	28.531	28.533	0.002	合格
2	K2	28.512	28.515	0.003	合格
3	K3	22.314	22.318	0.004	合格
4	K4	24.921	24.931	0.010	合格
5					
6					
7					
8					
較差の平均				0.005	
較差の標準偏差				0.007	

点検測量結果精度管理表(検証点・水平)

地区名		〇〇地区				作業者	〇〇〇〇		
						点検者	〇〇〇〇		
番号	点名	検証点の計測座標		3次元計測データによる調整用基準点の水平座標		検証点の計測座標と3次元計測データによる調整用基準点の較差と合否			
		X座標 (①)	Y座標 (②)	X座標 (③)	Y座標 (④)	ΔX (③-①)	合否	ΔY (④-②)	合否
1	G1	56.247	1024.313	56.26	1024.322	0.010	合格	0.009	合格
2	G2	97.231	1342.213	97.24	1342.226	0.006	合格	0.013	合格
3	G3	123.143	1399.74	123.15	1399.755	0.011	合格	0.011	合格
4	G4	239.46	1011.473	239.46	1011.475	0.000	合格	0.002	合格
5									
6									
7									
8									
較差の平均						0.007		0.009	
較差の標準偏差						0.009		0.011	

図 4-1-1 検証点における測定精度の確認結果

7) 出来形計測の留意点

UAVレーザーの計測では、計測対象範囲に作業員や仮設構造物、建設機械などが配置されている場合は、地形面のデータが取得できない。このため、可能な限り出来形の地形面が露出している状況での計測を行う。また、次のような条件では適正な計測が行えないので十分気をつけること。

- ・雨や霧、雪などレーザーが乱反射してしまう様な気象
- ・計測対象範囲とレーザー光の入射角が極端に低下する場合
- ・強風などで土埃などが大量に舞っている場合
- ・草や木などで地面が覆われている場所
- ・UAVレーザー計測で利用するレーザークラスに応じた使用上の対策を講じるとともに、飛行等を含む安全性に十分考慮すること。
- ・衛星の配置や受信状態が悪いと高精度な計測が行えない場合があるため、事前に衛星の配置状況等を確認すること。

4-4 UAVレーザーによる出来形計測箇所

UAVレーザーによる出来形管理における出来形計測箇所は、下図に示すとおりとし、法肩、法尻から水平方向にそれぞれ±50mm以内に存在する計測点は評価から外しても良い。計測範囲は、3次元設計データに記述されている管理断面の始点から終点とし、全ての範囲で1m²に100点以上の出来形座標値を取得すること。

3次元データによる出来形管理において、土工部の法肩、法尻や変化点又は現地地形等の摺り合わせが必要な箇所など土木工事施工管理基準（出来形管理基準及び規格値）によらない場合は、監督職員と協議のうえ、対象外とすることができる。

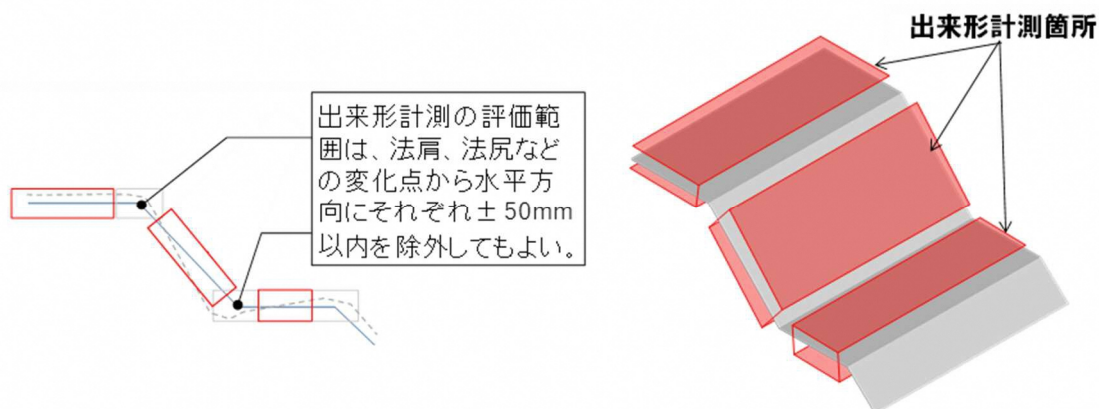


図 4-12 出来形計測箇所

【解説】

上図に示すとおり、UAVレーザーによる出来形管理で計測する3次元座標は、平場面、天端面、法面（小段含む）の全ての範囲で3次元座標値を取得し、出来形計測データを作成する。

また、法面の小段部に、側溝工などの構造物が設置されるなど土工面が露出していない場合、小段部の出来形管理は省略しても良い。このとき小段を挟んだ両側の法面は連続とみなしてもよいし、別の法面として評価しても良い。

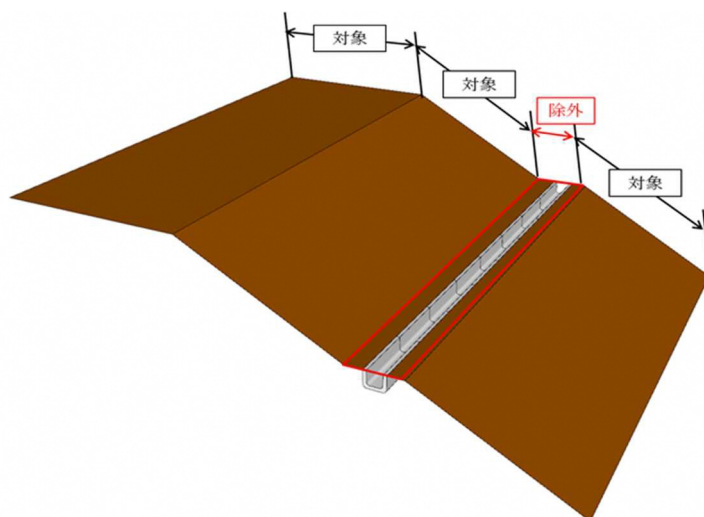


図 4-13 構造物が設置されている小段

第5章 出来形管理資料の作成

5-1 出来形管理資料の作成

受注者は、3次元設計データと出来形評価用データを用いて、本管理要領で定める以下の出来形管理資料を作成する。作成した出来形管理資料は監督職員に提出すること。

1) 出来形管理図表

3次元設計データと出来形評価用データを用いて、設計面と出来形評価用データの各ポイントとの離れ等の出来形管理基準上の管理項目の計算結果（標高較差の平均値等）と出来形の良否の評価結果、及び設計面と出来形評価用データの各ポイントの離れを表した分布図を整理した帳票、もしくは属性情報として出来形管理基準上の管理項目の計算結果を表示できる3次元モデルのビューワーファイルを作成する。出来形確認箇所（平場、天端、法面（小段含む））ごとに作成する。

【解説】

出来形管理資料とは、出来形管理基準の管理項目に対する測定結果をとりまとめたものであり、作成例を図に示す。受注者は、出来形管理資料を「出来形帳票作成ソフトウェア」により作成すること。「出来形帳票作成ソフトウェア」は、本管理要領が対象とする工種について本管理要領で定める帳票を自動作成、保存、印刷ができるものとする。

1) 出来形管理図表

3次元設計面と出来形評価用データの各ポイントとの離れ（標高較差あるいは水平較差）により出来形の良否判定を行う。出来形管理基準上の管理項目の計算結果（標高較差あるいは水平較差の平均値及び最大較差等）と出来形の良否の評価結果、及び設計面と出来形評価用データの各ポイントの離れを評価範囲の平面上にプロットした分布図を明示したものであること。

出来形管理基準上の管理項目から出来形の良否を評価する情報として、

- ・平均値（算出結果と規格値（当該部位の平均値に対する規格値）及び良否評価結果）：棄却点を除く平均値
- ・最大値（算出結果と規格値（当該部位の個々の計測値に対する規格値）及び良否評価結果）：棄却点を除く最大
- ・最小値（算出結果と規格値（当該部位の個々の計測値に対する規格値）及び良否評価結果）：棄却点を除く最小
- ・データ数（算出結果と規格値（計測密度下限値と評価面積から計算）及び良否評価結果）：棄却点を含む全データ数
- ・評価面積
- ・棄却点数（規格値を外れたデータ個数と規格値（データ数の0.3%以内）及び良否結果）：全棄却点数

を表形式で整理する。良否評価結果については、規格値を外れている場合は「異常値有」等の表現にて明示する。また、出来形が不合格の場合については、不合格の内容が各項目で確認できる様、棄却点も含め表示すること。

出来形確認箇所（平場、天端、法面（小段含む））ごとに作成する。分布図が具備すべき情報としては、以下のとおりとする。

- ・離れの計算結果の規格値に対する割合示すヒートマップとして-100%～+100%の範囲で出

来形評価用データのポイント毎に結果示す色をプロットするとともに、色の凡例を明示

- ・ ±50%の前後、±80%の前後が区別出来るように別の色で明示
- ・ 規格値の範囲外については、-100%～+100%の範囲とは別の色で明示
- ・ 発注者の求めに応じて規格値の 50%以内に収まっている計測点の個数、規格値の 80%以内に収まっている計測点の個数について図中の任意の箇所に明示できることが望ましい。標高較差は、各ポイントの標高値と、平面座標と同じ設計面上の設計標高値との差分として算出し、水平較差は、当該ポイントを含み、かつ「法面や構造物の位置をコントロールする線形」に直交する平面上で設計面の横断を見たとき、当該ポイントと同一標高値の横断上の点との距離として算出する。ここで「法面や構造物の位置をコントロールする線形」とは、道路中心、幅員中心、堤防法線、並びに法肩や法尻及び道路端部を結ぶ線形のことをいう。

電子検査において、属性情報により本様式の表示内容を満足するビューワー付き 3次元モデル・規格値が正負いずれかしか設定されていない工種についても、正負を逆転した側にも規格値が存在するものとして表示することが望ましい。ファイルによる納品に代えることもできる。いずれの場合も、従来の出来形管理図表（様式 31）の提出に代えることができる。

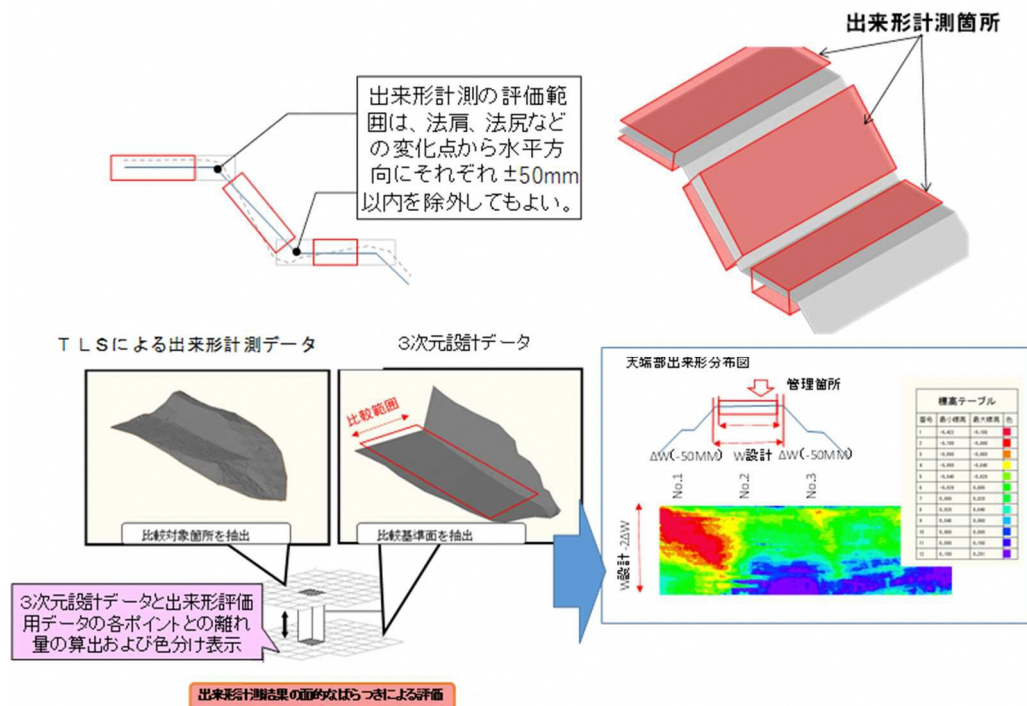


図 5 - 1 出来形管理図表 作成の流れ

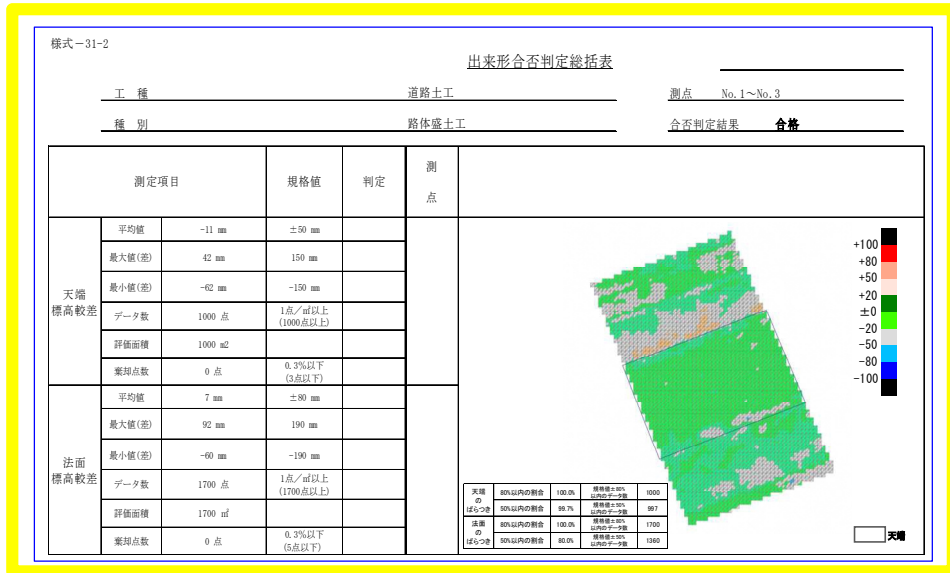


図 5-2 出来形管理図表 作成例 (合格の場合)

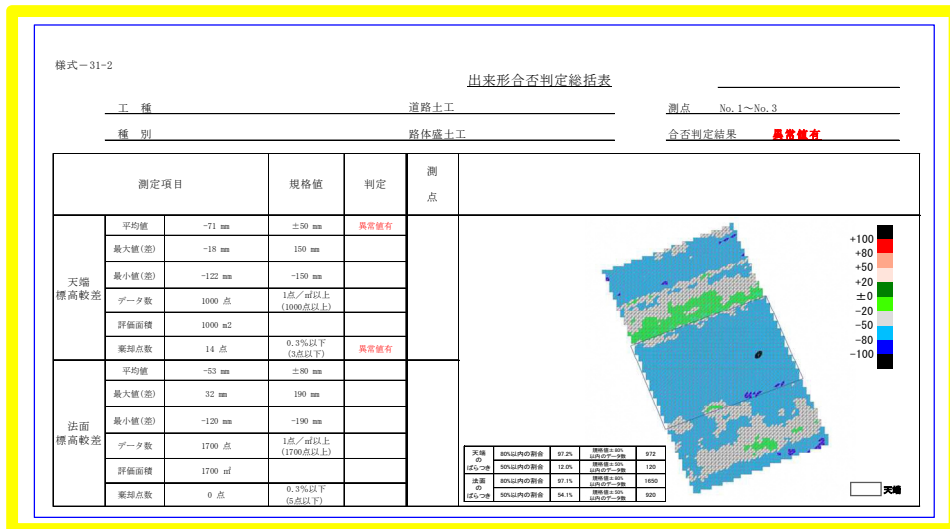


図 5-3 出来形管理図表 作成例 (異常値有の場合)

5-2 数量算出

出来形計測と同位置において、施工前あるいは事前の地形データがUAVレーザー等で計測されており、契約条件として認められている場合は、UAVレーザーによる出来形計測結果を用いて出来形数量の算出を行うことができる。

【解説】

受注者は、UAVレーザーによる計測点群データを基に平均断面法または、3次元CADソフトウェア等を用いた方式により数量算出を行うことができる。

数量計算方法については、監督職員と協議を行うこととし、3次元設計データや出来形計測データ等の面データから3次元CADソフトウェア等を用いた方式による主な体積算出方法は以下を標準とする。

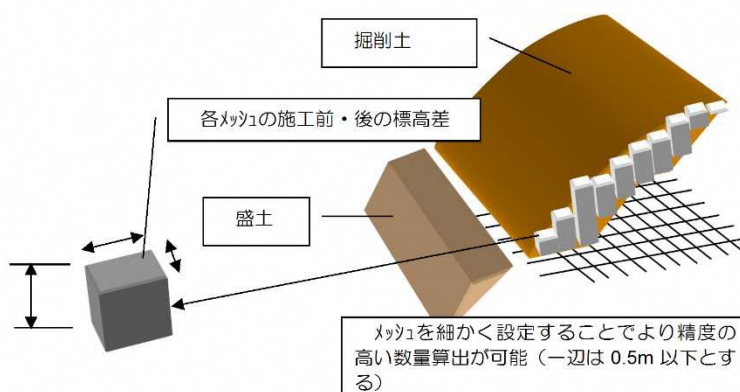


図 5-4 点高法による数量算出の条件と適用イメージ

① 点高法

現況地形や出来形測量結果等の（出来形計測データ、起工測量計測データ）からなる2つの面に重ね合わせたメッシュ（等間隔）交点で標高を算出し、標高差にメッシュ間隔の面積を乗じたものを総和したもの。メッシュ間隔は0.5m以内とし、標高差の算出としては、以下の方法が挙げられる。

- ・ 四点平均法：メッシュ交点の四隅の標高差を平均する方法（下図のとおり）
- ・ 1点法：メッシュ交点を中心とする辺長がメッシュ間隔の正方形を底面とし、当該メッシュ交点の標高差を乗じて算出する方法

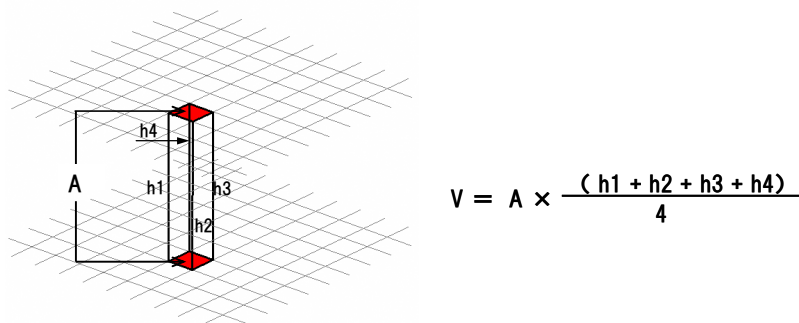


図 5-5 点高法による数量算出

② TIN分割等を用いた求積

現況地形や出来形計測結果等（出来形計測データ、起工測量計測データ、岩線計測データ）からそれぞれの面データとしてTINからなる面データを作成したうえで、ある一定の標高値にてDL面（標高基準面）を設定し、各TINの水平面積と、TINを構成する各点からDL面までの高低差を求めて三角形毎に平均し、その平均高低差と平面積を乗じた体積を総和したものである。

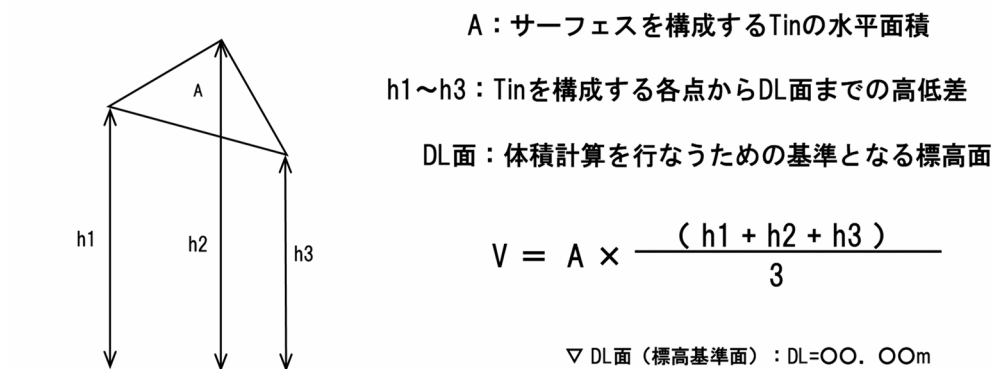


図 5-6 TIN分割等を用いた求積による数量算出

③ プリズモイダル法

現況地形や出来形計測結果等（出来形計測データ、起工測量計測データ、岩線計測データ）からそれぞれの面データとしてTINからなる面データを作成し、面データのポイントの位置を互いの面データに投影し、各面データは本来の自身が持つポイントと相手のポイントを合わせたポイント位置により新たな三角網が形成され、この三角網の結節点の位置での標高差に基づき複合した面データの標高を計算する。面データの各TINを構成する点をそれぞれの面データに投影すると、各面データに同じ水平位置で標高の異なる点を作成される。その作成された点で再度面データを構築し、三角形水平面積と高低差を乗じた体積を総和したものの。

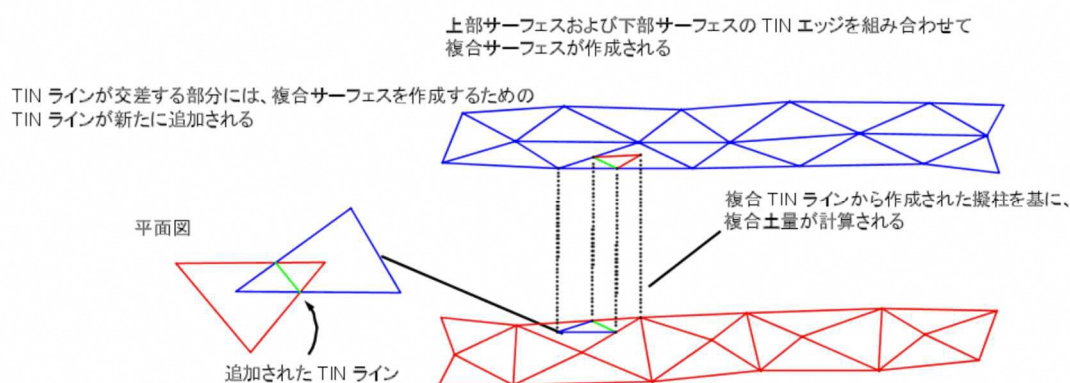


図 5-7 プリズモイダル法による数量算出

5-3 電子成果品の作成規定

本管理要領に基づいて作成する電子成果品は、以下のとおり。

- ・ 3次元設計データ (LandXML 等のオリジナルデータ (T I N))
- ・ 出来形管理資料 (出来形管理図表 (P D F) または、ビューワー付き 3次元データ)
- ・ U A V レーザーによる出来形評価用データ (CSV、LAS、LandXML 等のポイントファイル)
- ・ U A V レーザーによる出来形計測データ (LandXML 等のオリジナルデータ (T I N))
- ・ U A V レーザーによる計測点群データ (CSV、LAS、LandXML 等のポイントファイル)
- ・ 工事基準点および調整用基準点データ (CSV、LandXML、SIMA 等のポイントファイル)

電子成果品は、「工事完成図書の電子納品等要領」で定める「ICON」フォルダに格納する。

格納するファイル名は、U A V レーザーを用いた出来形管理資料が特定できるように記入する。

【解説】

本管理要領の電子成果品の作成規定は、「工事完成図書の電子納品等要領」の規定の範囲内で定めている。本管理要領で規定する以外の事項は、「工事完成図書の電子納品等要領」による。

1) ファイル名の命名

本管理要領に基づいて作成した電子成果品が特定できるようにするため、次の規定に従い格納すること。

① I C O N フォルダに工種 (土工) を示した「E W」のサブフォルダを作成する。

②①の下層に計測機器の名称を記したサブフォルダを作成し格納する。

③サブフォルダの名称は、表 5-1 に示す計測機器に記載の文字列を利用すること。

④格納するファイル名は、表 5-1 に示す命名規則に従うこと。

⑤-1 欠測補間として他の計測機器で計測したデータを合成した場合は、合成したデータのファイル名は、主となる計測機器の名称を用い、②で作成した主となる計測機器の名称を記したサブフォルダへ格納する。

⑤-2 合成前の各計測機器の計測データは、それぞれの計測機器名称を記した各サブフォルダを、②で作成した主となる計測機器の名称を記したサブフォルダへ別途作成し、格納する。

参考として、図 5-8 に T S を欠測補間に用いた場合のフォルダ構成例を示す。

⑥設計変更等で設計図書に変更が生じた場合は、3次元設計データを変更するが、当初の3次元設計データと、変更後の3次元設計データを全て納品すること。

⑦整理番号は、ファイル番号をより詳細に区分する必要がある場合に使用するが、通常は0でよい。

⑧出来形管理資料をビューワー付き3次元データで納品する場合で、ビューワーとデータが複数のファイルで構成される場合は、全てを ZIP 方式により圧縮し、拡張子を「ZIP」として、次表の命名規則に従い納品すること。

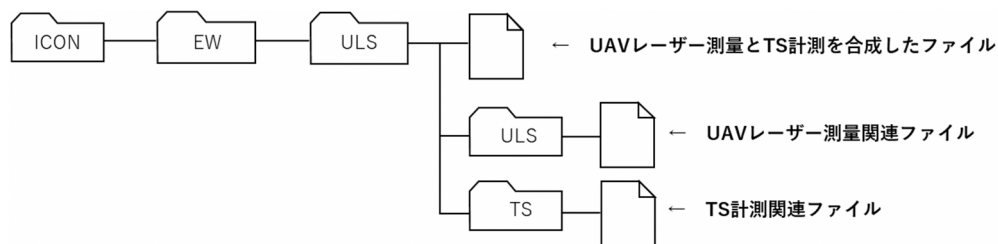


図 5-8 UAVレーザー測量を主としTSにて欠測補間した場合のフォルダ構成例

表 5-1 ファイルの命名規則

計測機器	整理番号	図面種類	番号	改訂履歴	内容	記入例
ULS	0	DR	001 ~	0~Z	・3次元設計データ (LandXML等のオリジナルデータ (T I N))	ULS0DR001Z. 拡張子
ULS	0	CH	001 ~	-	・出来形管理資料 (出来形管理図表 (PDF) または、ビューワー付き3次元データ)	ULS0CH001. 拡張子
ULS	0	IN	001 ~	-	・UAVレーザーによる出来形評価用データ (CSV、LAS、LandXML等のポイントファイル)	ULS0IN001. 拡張子
ULS	0	EG	001 ~	-	・UAVレーザーによる起工測量計測データ (LandXML等のオリジナルデータ (T I N))	ULS0EG001. 拡張子
ULS	0	AS	001 ~	-	・UAVレーザーによる出来形計測データ (LandXML等のオリジナルデータ (T I N))	ULS0AS001. 拡張子
ULS	0	GR	001 ~	-	・UAVレーザーによる計測点群データ (CSV、LAS、LandXML等のポイントファイル)	ULS0GR001. 拡張子
ULS	0	PO	001 ~	-	・工事基準点、調整用基準点および検証点の座標データ (CSV、LandXML、SIMA等のポイントファイル)	ULS0P0001. 拡張子

2) データ形式

航空レーザー測量製品仕様書応用スキーマによると、データレコード構成の記述順は以下のとおりとなる。

ファイル構造 : Idn, xn, yn, zn, An

Idn : ID 番号 (Id)

xn : 計測点座標値 (x)・・・本管理要領では m 単位で mm まで記載

yn : 計測点座標値 (y)・・・本管理要領では m 単位で mm まで記載

zn : 標高値 (z)・・・本管理要領では m 単位で mm まで記載

An : 地表面属性値 (A)・・・メッシュデータの場合のみ、格子間隔内に起工測量または出来形または出来高の計測データが存在する場合は 1, しない場合は 0 を記載

3) データ内容及び構造、参照系を示した文書

2)について 記述順を変える場合や、レコード構成を省略する場合は、地理空間データ製品仕様書作成マニュアルに沿って作成された航空レーザー測量製品仕様書応用スキーマを参考に、データレコード構成を説明する文書を PDF で作成すること。

4) 数量算出

数量算出に利用した場合は、以下についても電子成果品として提出すること。

- ・起工測量時の計測点群データ (CSV、LandXML、LAS ファイル等のポイントファイル)
- ・起工測量計測データ (LandXML ファイル等の T I Nファイル)

第6章 管理基準及び規格値等

6-1 出来形管理基準及び規格値

本管理要領に基づく出来形管理基準及び規格値は、「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」に定められたものとし、測定値はすべて規格値を満足しなくてはならない。

【解説】

1) 測定箇所

測定箇所は、現行の土木工事施工管理基準に定められた基準高、法長、幅とは異なり、平場面、天端面、法面（小段含む）の全面の標高較差または、水平較差とする。掘削工の法面の場合、勾配が1割より緩い場合は標高較差で管理するのが望ましい。

法肩、法尻から水平方向にそれぞれ±50mm以内に存在する計測点は標高較差の評価から除く。同様に鉛直方向に±50mm以内にある計測点は水平較差の評価から除く。

また、法面の小段部に、側溝工などの構造物が設置されるなど土工面が露出していない場合、小段部の出来形管理は、小段部に設置する工種の出来形管理基準及び規格値によることができる。

2) 測定値算出

①標高較差の測定値を算出する方法

標高較差は、3次元設計データの設計面と出来形評価用データの各ポイントとの鉛直方向の離れを用い、平均値や個々の計測値の最大値、最小値を算出し、平場面、天端面、法面（小段含む）の全面で規格値との比較・判定を行う。

②水平較差の測定値を算出する方法

水平較差は、3次元設計データの設計面と出来形評価用データの各ポイントとの水平方向の離れを用い、平均値や個々の計測値の最大値、最小値を算出し、法面（小段含む）の全面で規格値との比較・判定を行う。

3) 規格値

規格値は、「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」の「1-2-3-2-2 掘削工（面管理の場合）」、「1-2-3-3-2 盛土工（面管理の場合）」あるいは、「1-2-4-2-2 掘削工（面管理の場合）」、「1-2-4-3-2 路体盛土工（面管理の場合）」、「1-2-4-4-2 路床盛土工（面管理の場合）」に記載されているものを利用することとする。出来形管理基準及び規格値に示される「個々の計測値」は、すべての測定値が規格値を満足しなくてはならない。本管理要領におけるすべての測定値が規格値を満足するとは、出来形評価用データのうち、99.7%が「個々の計測値」の規格値を満たすものをいう。

また、一連の評価範囲において規格値が変わる場合は、評価区間を分割するか、あるいは、規格値の条件の最も厳しい値を採用することとする。

なお、上記「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」の「1-2-3-2-2 掘削工（面管理の場合）」、「1-2-3-3-2 盛土工（面管理の場合）」あるいは、「1-2-4-2-2 掘削工（面管理の場合）」、「1-2-4-3-2 路体盛土工（面管理の場合）」、「1-2-4-4-2 路床盛土工（面管理の場合）」に示す基準を適用できない場合は、「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」の「1-2-3-2-1 掘削工」、「1-2-3-3-1 盛土工」あるいは、「1-2-4-2-1 掘削工」、「1-2-4-3-1 路体盛土工」、「1-2-4-4-1 路床盛土工」に示される出来形管理基準及び規格値によ

ることができる。

4) 測定基準

現行の土木工事施工管理基準の測定基準には「施工延長 40mにつき 1 箇所、延長 40m以下のものは 1 施工箇所に 2 箇所」と定められているが、UAVレーザーを用いた出来形管理の場合、平場面、天端面、法面（小段含む）全面で計測したデータがあることから、測定基準を「平場面、天端面、法面（小段含む）の全面（ 1 m^2 （平面投影面積）あたり 1 点以上）」とし、面的により確な出来形管理を行うものである。

6-2 品質管理及び出来形管理写真基準

本管理要領に関する工事写真の撮影は以下の要領で行う。

1) 写真管理項目（撮影項目、撮影頻度[時期]、提出頻度）

工事写真の撮影管理項目は、「写真管理基準(案)」による。

2) 撮影方法

空中写真測量（UAV）で撮影した写真の納品をもって、写真撮影に代えることとする。

【解説】

1) 撮影項目

本管理要領を用いた施工管理の実施にあたっては、法長、幅の撮影項目については、空中写真測量（UAV）で撮影した写真を納品することで、現行の「写真管理基準(案)」で求められる写真に代えることができる。なお、空中写真測量（UAV）で撮影した写真は、「5-3 電子成果品の作成規定」に示す「ICON」フォルダに格納されるものとする。

参考として、図 6-1 に写真撮影例を示す。



図 6-1 写真撮影例

参考資料

参考資料－1 参考文献

- 1) 「土木工事共通仕様書」(国土交通省各地方整備局)
- 2) 「土木工事施工管理基準及び規格値(案)」(国土交通省各地方整備局)
- 3) 「写真管理基準(案)」(国土交通省各地方整備局)
- 4) 「土木工事数量算出要領(案)」(国土交通省各地方整備局)
- 5) 「工事完成図書の子納品等要領」(国土交通省)
- 6) 「国土交通省 公共測量作業規程」(国土交通省)
- 7) 「無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)」
(国土交通省)

参考資料－2 3次元設計データチェックシート

2－1 道路土工

(様式－1)

令和 年 月 日

工 事 名 : _____

受 注 者 名 : _____

作 成 者 : _____ 印

3次元設計データチェックシート

項目	対象	内容	チェック結果
1) 基準点及び 工事基準点	全点	・ 監督職員の指示した基準点を使用しているか？	
		・ 工事基準点の名称は正しいか？	
		・ 座標は正しいか？	
2) 平面線形	全延長	・ 起終点の座標は正しいか？	
		・ 変化点（線形主要点）の座標は正しいか？	
		・ 曲線要素の種別・数値は正しいか？	
		・ 各測点の座標は正しいか？	
3) 縦断線形	全延長	・ 線形起終点の測点、標高は正しいか？	
		・ 縦断変化点の測点、標高は正しいか？	
		・ 曲線要素は正しいか？	
4) 出来形横断面 形状	全延長	・ 作成した出来形横断面形状の測点、数は適切か？	
		・ 基準高、幅、法長は正しいか？	
5) 3次元設計 データ	全延長	・ 入力した2)～4)の幾何形状と出力する3次元設計データは同一となっているか？	

※ 1 各チェック項目について、チェック結果欄に“○”と記すこと。

※ 2 受注者が監督職員に様式－1を提出した後、監督職員から様式－1を確認するための資料の請求があった場合は、受注者は以下の資料等を速やかに提示するものとする。

- ・ 工事基準点リスト（チェック入り）
- ・ 線形計算書（チェック入り）
- ・ 平面図（チェック入り）
- ・ 縦断図（チェック入り）
- ・ 横断図（チェック入り）
- ・ 3次元ビュー（ソフトウェアによる表示あるいは印刷物）

※ 添付資料については、上記以外にわかりやすいものがある場合は、これに替えることができる。

(様式-1)

令和 年 月 日

工事名： _____

受注者名： _____

作成者： _____ 印

3次元設計データチェックシート

項目	対象	内容	チェック結果
1) 基準点及び 工事基準点	全点	・ 監督職員の指示した基準点を使用しているか？	
		・ 工事基準点の名称は正しいか？	
		・ 座標は正しいか？	
2) 平面線形	全延長	・ 起終点の座標は正しいか？	
		・ 変化点（線形主要点）の座標は正しいか？	
		・ 曲線要素の種別・数値は正しいか？	
		・ 各測点の座標は正しいか？	
3) 縦断線形	全延長	・ 線形起終点の測点、標高は正しいか？	
		・ 縦断変化点の測点、標高は正しいか？	
		・ 曲線要素は正しいか？	
4) 出来形横断面 形状	全延長	・ 作成した出来形横断面形状の測点、数は適切か？	
		・ 基準高、幅、法長は正しいか？	
5) 3次元設計 データ	全延長	・ 入力した2)～4)の幾何形状と出力する3次元設計データは同一となっているか？	

※ 1 各チェック項目について、チェック結果欄に“○”と記すこと。

※ 2 受注者が監督職員に様式-1を提出した後、監督職員から様式-1を確認するための資料の請求があった場合は、受注者は以下の資料等を速やかに提示するものとする。

- ・ 工事基準点リスト（チェック入り）
- ・ 法線の中心点座標リスト
- ・ 平面図（チェック入り）
- ・ 縦断図（チェック入り）
- ・ 横断図（チェック入り）
- ・ 3次元ビュー（ソフトウェアによる表示あるいは印刷物）

※ 添付資料については、上記以外にわかりやすいものがある場合は、これに替えることができる。

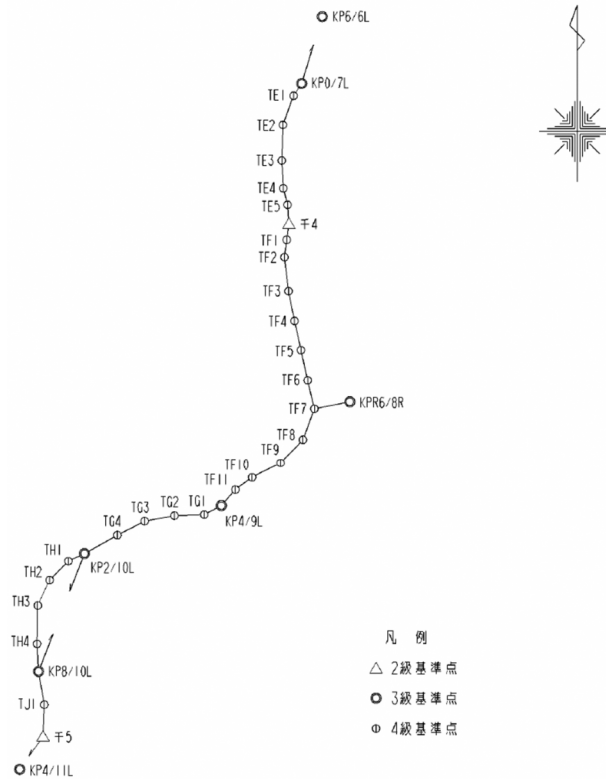
参考資料-3 3次元設計データの照査結果資料の一例

3-1 道路土工

- ・工事基準点リスト (チェック入り)

4級基準点網図

S=1:25000



基準点成果表

世界測地系

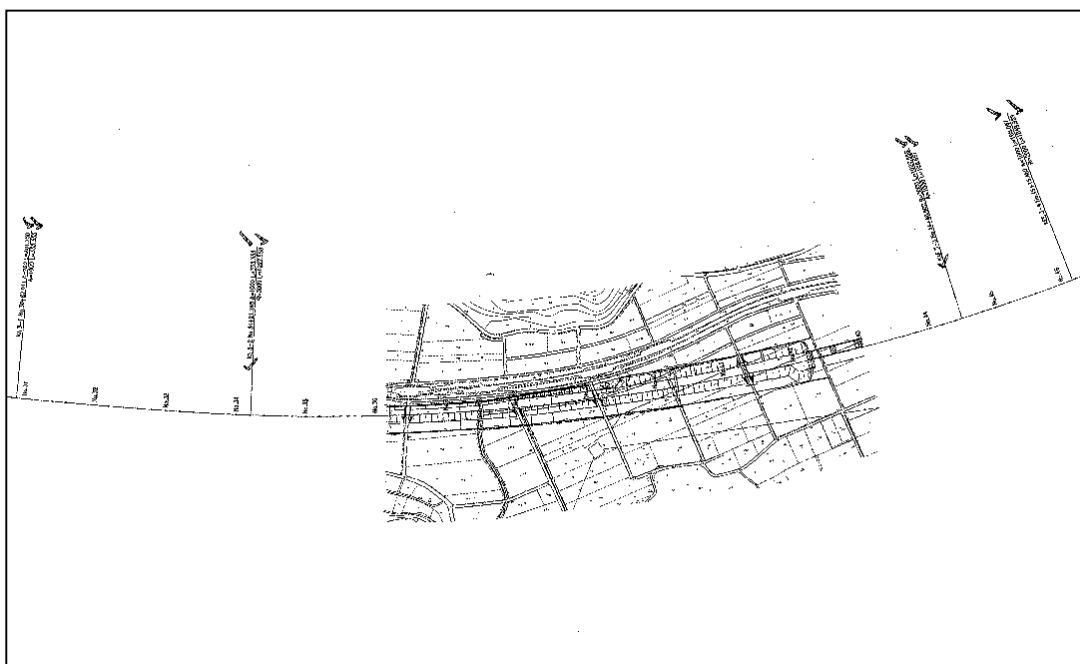
測点名	X座標	Y座標	備考	測点名	X座標	Y座標	備考
千4 ✓	-103592.645 ✓	-53971.965 ✓	2級基準点	TF4 ✓	-104073.411 ✓	-53943.604 ✓	4級基準点
千5 ✓	-106133.790 ✓	-55192.361 ✓	〃	TF5 ✓	-104222.811 ✓	-53911.981 ✓	〃
KP6/6L ✓	-102566.552 ✓	-53805.858 ✓	3級基準点	TF6 ✓	-104371.743 ✓	-53878.598 ✓	〃
KP0/7L ✓	-102897.874 ✓	-53908.500 ✓	〃	TF7 ✓	-104511.791 ✓	-53845.280 ✓	〃
KP6/8R ✓	-104477.348 ✓	-53669.206 ✓	〃	TF8 ✓	-104665.056 ✓	-53902.104 ✓	〃
KP4/9L ✓	-104993.148 ✓	-54307.238 ✓	〃	TF9 ✓	-104780.424 ✓	-54013.042 ✓	〃
KP2/10L ✓	-105230.181 ✓	-54987.389 ✓	〃	TF10 ✓	-104853.023 ✓	-54154.538 ✓	〃
KP8/10L ✓	-105811.653 ✓	-55214.489 ✓	〃	TF11 ✓	-104914.141 ✓	-54238.118 ✓	〃
KP4/11L ✓	-106294.412 ✓	-55308.723 ✓	〃	TG1 ✓	-105038.052 ✓	-54392.649 ✓	〃
TE1 ✓	-102958.485 ✓	-53948.860 ✓	4級基準点	TG2 ✓	-105043.204 ✓	-54539.888 ✓	〃
TE2 ✓	-103102.553 ✓	-54001.759 ✓	〃	TG3 ✓	-105069.858 ✓	-54688.396 ✓	〃
TE3 ✓	-103279.147 ✓	-54006.884 ✓	〃	TG4 ✓	-105138.964 ✓	-54823.046 ✓	〃
TE4 ✓	-103416.596 ✓	-53999.420 ✓	〃	TH1 ✓	-105267.033 ✓	-55067.216 ✓	〃
TE5 ✓	-103497.830 ✓	-53978.296 ✓	〃	TH2 ✓	-105361.017 ✓	-55160.314 ✓	〃
TF1 ✓	-103671.867 ✓	-53983.149 ✓	〃	TH3 ✓	-105486.259 ✓	-55218.934 ✓	〃
TF2 ✓	-103757.779 ✓	-53993.677 ✓	〃	TH4 ✓	-105675.217 ✓	-55221.966 ✓	〃
TF3 ✓	-103925.787 ✓	-53973.651 ✓	〃	TJ1 ✓	-105975.513 ✓	-55186.171 ✓	〃

・線形計算書 (チェック入り) (例)

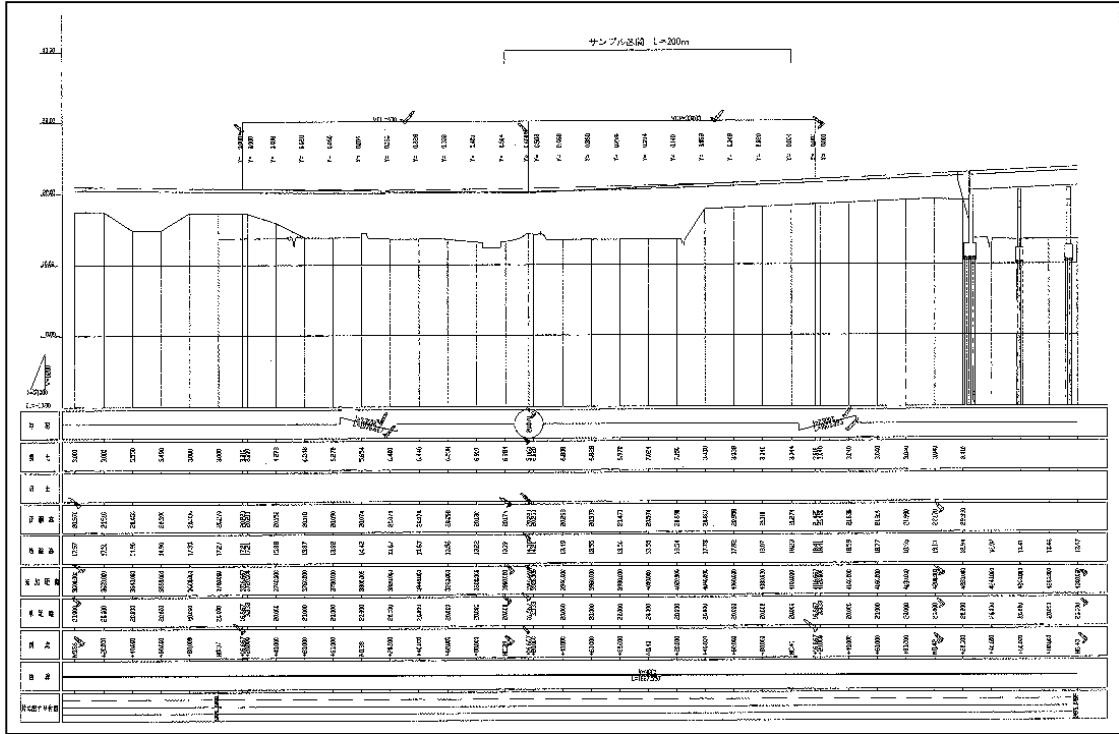
線形計算書

要素番号	1	直線						
BP	: X = -87,422.0000	Y = 42,916.0000	方向角 = 357° 19' 14.6661"	測点 0 + 0.0000				
BC1	: X = -87,400.5562	Y = 42,914.9965	要素長 = 21.4672	測点 1 + 1.4672				
要素番号	2	円(左曲がり)						
BC1	: X = -87,400.5562	Y = 42,914.9965	方向角 = 357° 19' 14.6661"	測点 1 + 1.4672				
EC1	: X = -87,378.1512	Y = 42,876.2809	方向角 = 258° 36' 16.6569"	測点 3 + 2.8173				
IP	: X = -87,372.6270	Y = 42,913.6895	IA = 98° 42' 58.0092"					
S.P	: X = -87,382.7562	Y = 42,905.7863	要素長 = 41.3501					
M	: X = -87,401.6781	Y = 42,891.0228						
R	= 24.0000	L = 41.3501	C = 36.4221	IA = 98° 42' 58.0092"				
TL	= 27.9598	SL = 12.8477						
要素番号	3	直線						
EC1	: X = -87,378.1512	Y = 42,876.2809	方向角 = 258° 36' 16.6569"	測点 3 + 2.8173				
BC2	: X = -87,386.2592	Y = 42,846.0530	要素長 = 41.0369	測点 5 + 3.8542				
要素番号	4	円(右曲がり)						
BC2	: X = -87,386.2592	Y = 42,846.0530	方向角 = 258° 36' 16.6569"	測点 5 + 3.8542				
EC2	: X = -87,365.8523	Y = 42,816.4520	方向角 = 350° 33' 36.7373"	測点 7 + 3.9774				
IP	: X = -87,391.3702	Y = 42,820.6947	IA = 91° 57' 20.0805"					
S.P	: X = -87,382.3348	Y = 42,826.9237	要素長 = 40.1232					
M	: X = -87,361.7520	Y = 42,841.1135						
R	= 25.0000	L = 40.1232	C = 35.9535	IA = 91° 57' 20.0805"				
TL	= 25.8682	SL = 10.9745						
要素番号	5	直線						
EC2	: X = -87,365.8523	Y = 42,816.4520	方向角 = 350° 33' 36.7373"	測点 7 + 3.9774				
BC3	: X = -87,363.8225	Y = 42,816.1146	要素長 = 2.0576	測点 7 + 6.0350				

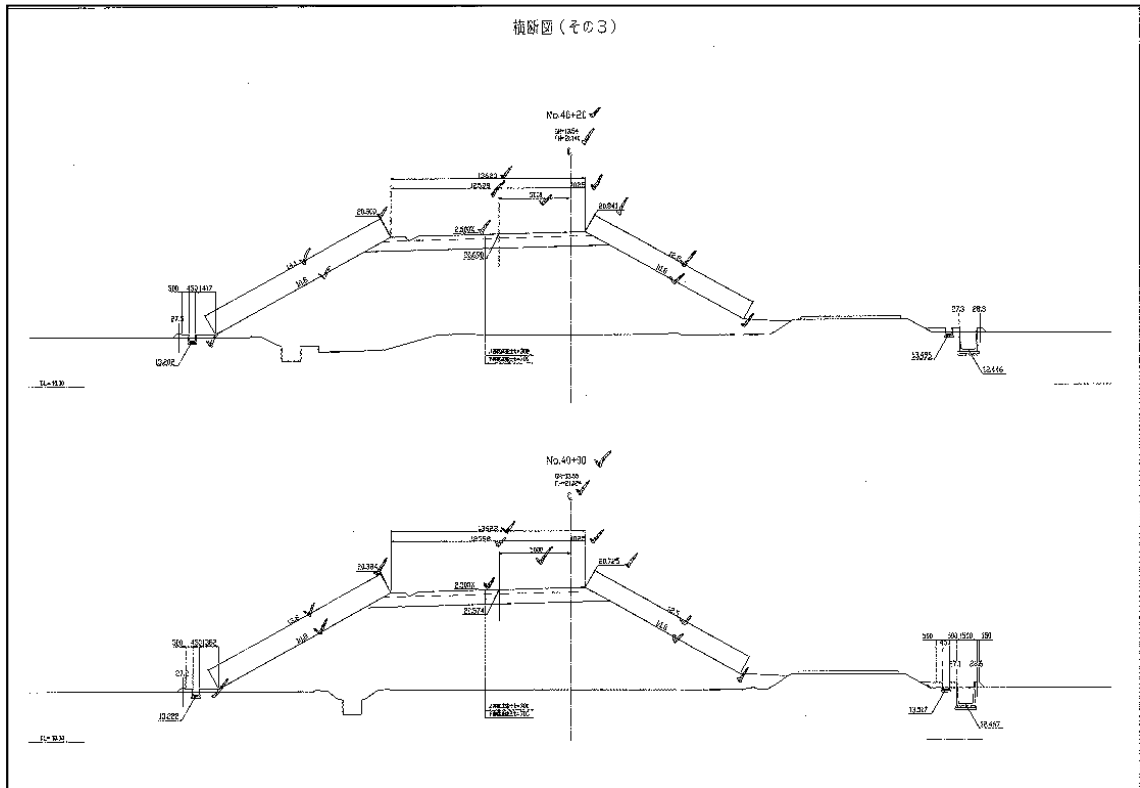
・平面図 (チェック入り) (例)



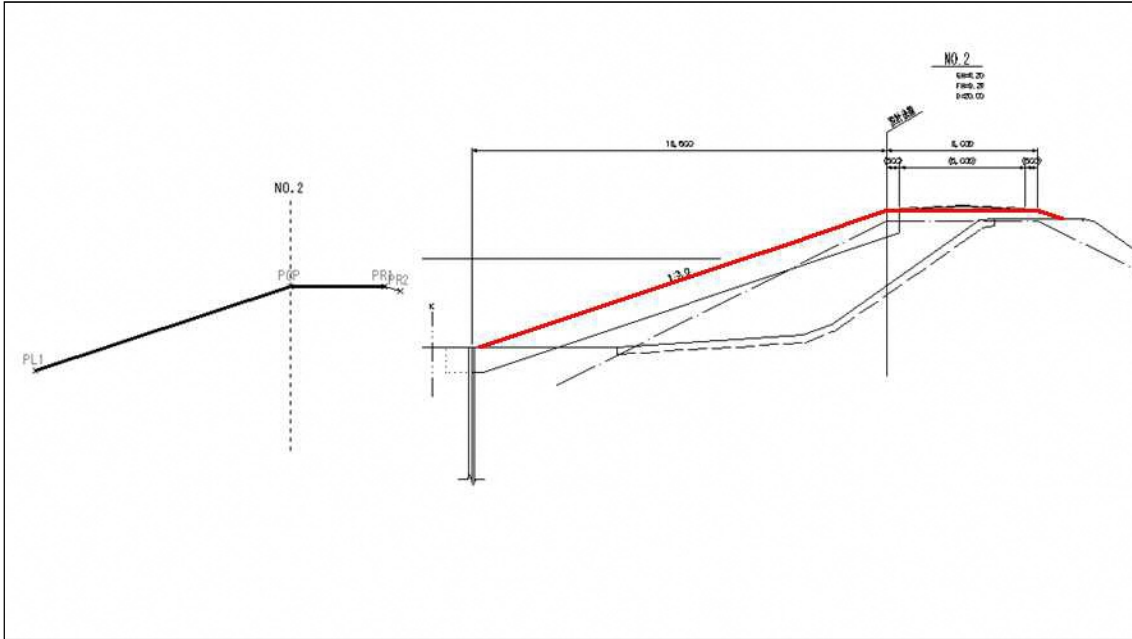
・縦断面図 (チェック入り) (例)



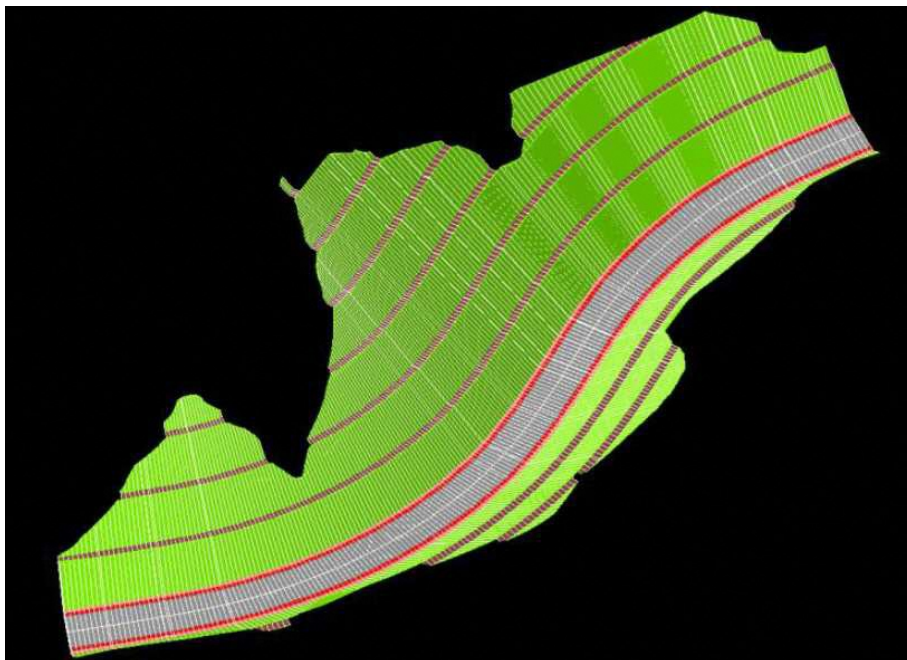
・横断面図 (チェック入り) (例)



- ・ 横断図（重ね合わせ機能の利用）（例）



- ・ 3次元ビュー（ソフトウェアによる表示あるいは印刷物）（例）



3-2 河川土工

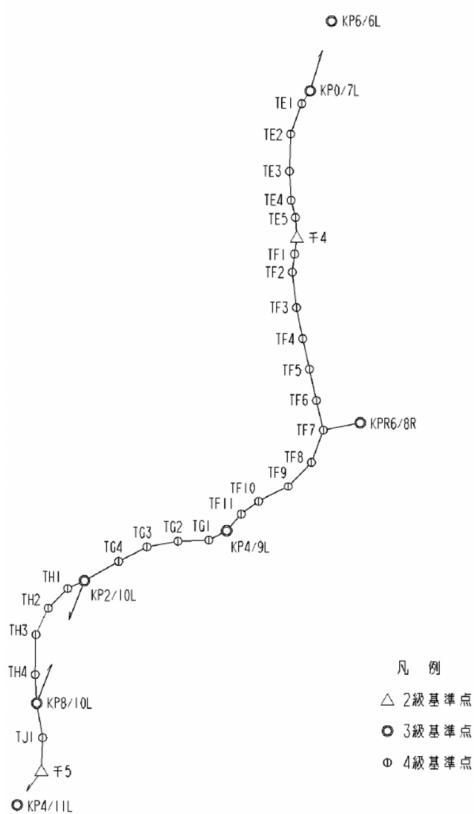
・工事基準点リスト (チェック入り)

基準点成果表

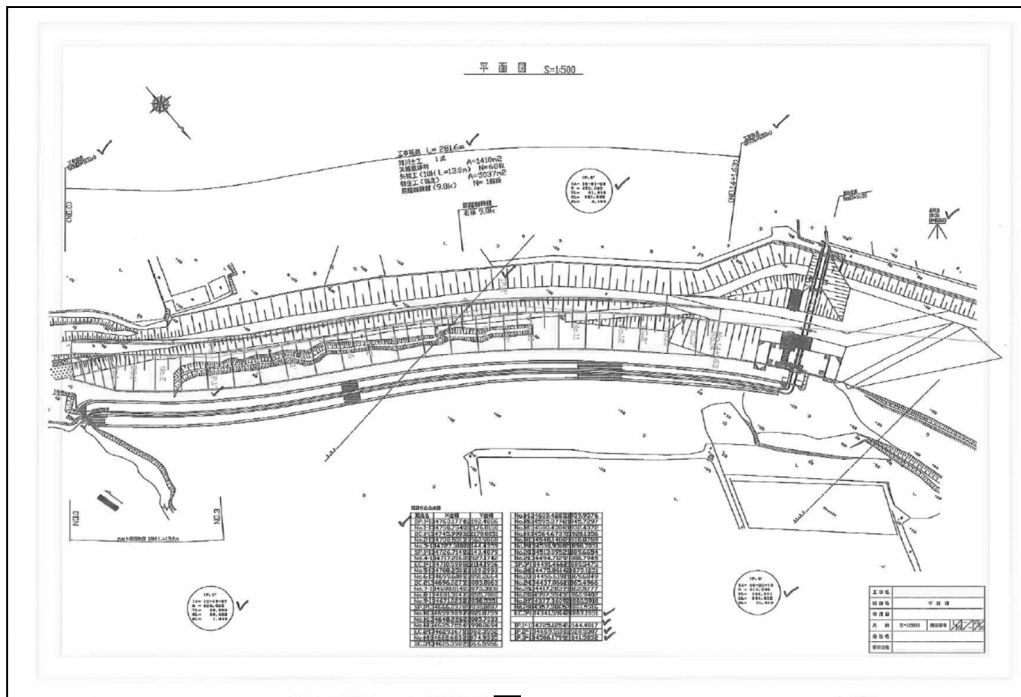
				世界測地系			
測点名	X 座標	Y 座標	備考	測点名	X 座標	Y 座標	備考
千4 ✓	-103592.645 ✓	-53971.965 ✓	2級基準点	TF4 ✓	-104073.411 ✓	-53943.604 ✓	4級基準点
千5 ✓	-106133.790 ✓	-55192.361 ✓	〃	TF5 ✓	-104222.811 ✓	-53911.981 ✓	〃
KP6/6L ✓	-102566.552 ✓	-53805.858 ✓	3級基準点	TF6 ✓	-104371.743 ✓	-53878.598 ✓	〃
KP0/7L ✓	-102897.874 ✓	-53908.500 ✓	〃	TF7 ✓	-104511.791 ✓	-53845.280 ✓	〃
KP6/8R ✓	-104477.348 ✓	-53669.206 ✓	〃	TF8 ✓	-104665.056 ✓	-53902.104 ✓	〃
KP4/9L ✓	-104993.148 ✓	-54307.238 ✓	〃	TF9 ✓	-104780.424 ✓	-54013.042 ✓	〃
KP2/10L ✓	-105230.181 ✓	-54987.389 ✓	〃	TF10 ✓	-104853.023 ✓	-54154.538 ✓	〃
KP8/10L ✓	-105811.653 ✓	-55214.489 ✓	〃	TF11 ✓	-104914.141 ✓	-54238.118 ✓	〃
KP4/11L ✓	-106294.412 ✓	-55308.723 ✓	〃	TG1 ✓	-105038.052 ✓	-54392.649 ✓	〃
TE1 ✓	-102958.485 ✓	-53948.860 ✓	4級基準点	TG2 ✓	-105043.204 ✓	-54539.888 ✓	〃
TE2 ✓	-103102.553 ✓	-54001.759 ✓	〃	TG3 ✓	-105069.858 ✓	-54688.396 ✓	〃
TE3 ✓	-103279.147 ✓	-54006.884 ✓	〃	TG4 ✓	-105138.964 ✓	-54823.046 ✓	〃
TE4 ✓	-103416.596 ✓	-53999.420 ✓	〃	TH1 ✓	-105267.033 ✓	-55067.216 ✓	〃
TE5 ✓	-103497.830 ✓	-53978.296 ✓	〃	TH2 ✓	-105361.017 ✓	-55160.314 ✓	〃
TF1 ✓	-103671.867 ✓	-53983.149 ✓	〃	TH3 ✓	-105486.259 ✓	-55218.934 ✓	〃
TF2 ✓	-103757.779 ✓	-53993.677 ✓	〃	TH4 ✓	-105675.217 ✓	-55221.966 ✓	〃
TF3 ✓	-103925.787 ✓	-53973.651 ✓	〃	TJ1 ✓	-105975.513 ✓	-55186.171 ✓	〃

4級基準点網図

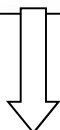
S=1:25000



・平面図（チェック入り）（例）



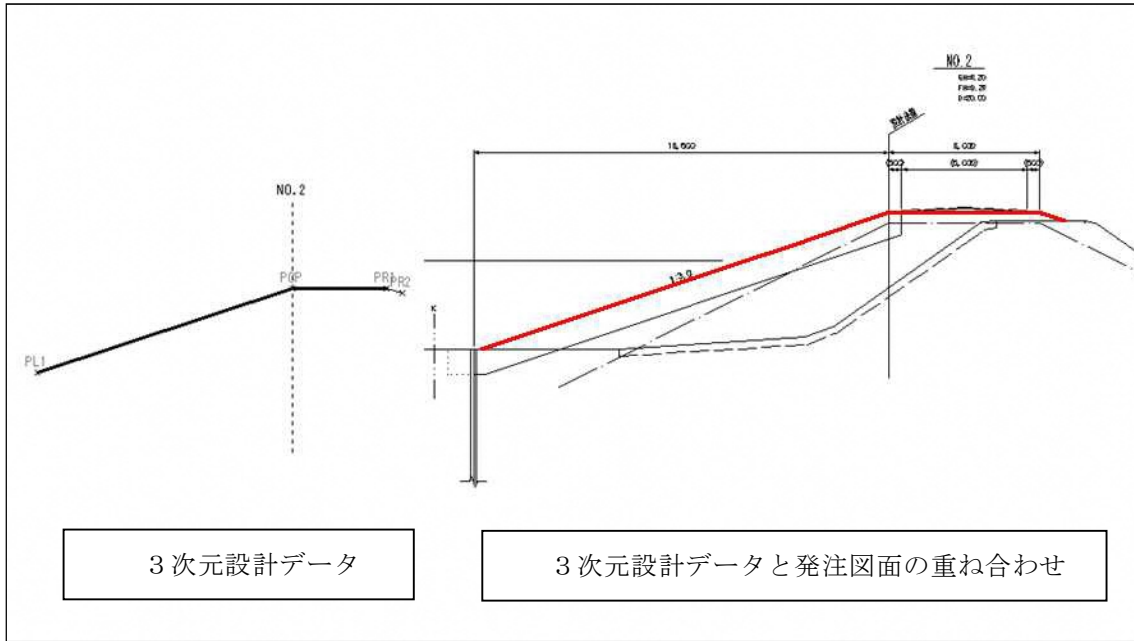
※法線の中心点座標リスト部分を拡大
（チェック入り）（例）



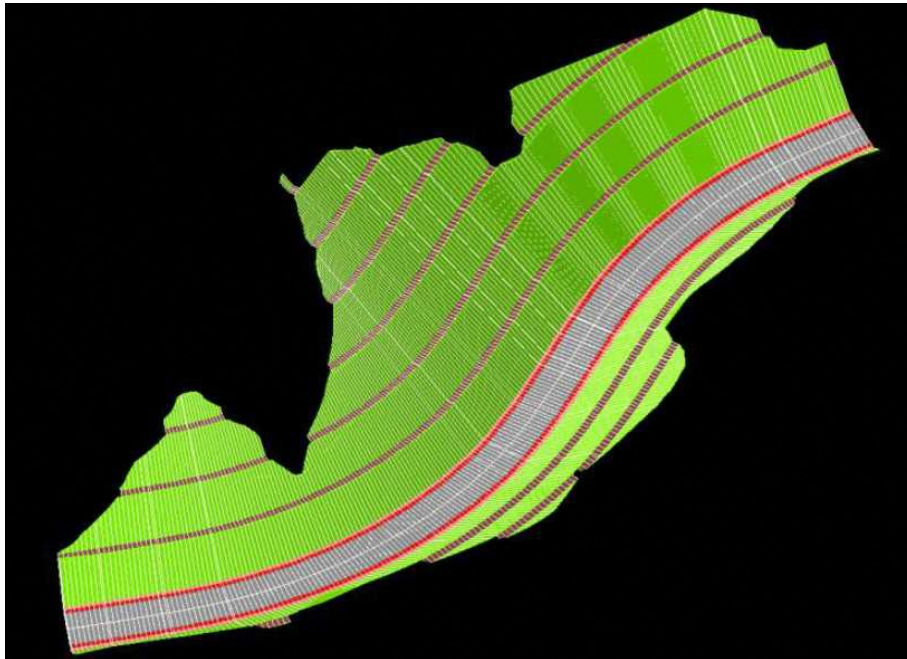
設計中心点座標

測点名	X座標	Y座標
✓ BP.1'	-134763.1774	22192.4886
No.1	-134750.7540	22176.8150
BC.1'	-134745.9903	22170.8051
No.2	-134738.5313	22160.9868
No.3	-134727.3100	22144.4359
SP.1'	-134726.7149	22143.4879
No.4	-134717.2162	22127.1742
EC.1'	-134710.5988	22114.1956
No.5	-134708.2503	22109.2993
No.6	-134699.6009	22091.2664
BC.2'	-134696.0275	22083.8163
No.7	-134690.8140	22073.3008
No.8	-134681.3047	22055.7080
No.9	-134671.0232	22038.5551
SP.2'	-134666.0378	22030.8187
No.10	-134659.9897	22021.8759
No.11	-134648.2260	22005.7033
No.12	-134635.7554	21990.0694
EC.2'	-134629.1675	21982.3552
No.13	-134622.6833	21974.9335
BC.3'	-134615.3987	21966.5956
No.14	-134609.4285	21959.9576
No.15	-134595.3776	21945.7297
No.16	-134580.4386	21932.4372
No.17	-134564.6737	21920.1356
No.18	-134548.1486	21908.8759
No.19	-134530.9318	21898.7051
No.20	-134513.0952	21889.6654
No.21	-134494.7129	21881.7945
SP.3'	-134491.4661	21880.5475
No.22	-134475.8614	21875.1251
No.23	-134456.6191	21869.6849
No.24	-134437.0661	21865.4966
No.25	-134417.2837	21862.5777
No.26	-134397.3543	21860.9402
No.27	-134377.3609	21860.5910
No.28	-134357.3865	21861.5316
EC.3'	-134341.5914	21863.1951
IP.1'	-134725.1254	22144.4817
IP.2'	-134669.5100	22028.5307
IP.3'	-134506.1799	21841.5852

- ・ 横断図（重ね合わせ機能の利用）（例）



- ・ 3次元ビュー（ソフトウェアによる表示あるいは印刷物）（例）



UAVレーザの計測性能および測定精度を確認するために、現場に設置した水平位置検証点、標高検証点を使用しシステム性能および精度確認試験を行う。

【再現性についての要求精度】

出来形計測に利用する場合	水平較差	±50mm 以内
	標高較差	±50mm 以内
起工測量に利用する場合	水平較差	±100mm 以内
	標高較差	±100mm 以内
出来高計測に利用する場合	水平較差	±200mm 以内
	標高較差	±200mm 以内

【解説】

UAVレーザはGNSSやIMUとLS等を組合せた技術であり、各システムの複合的な組合せによりその性能や精度に違いが存在する。これらの技術から得られる計測点群データは座標としては調整用基準点により位置、回転、高さは補正される。このことから、性能確認および精度確認として形状の検証を主な目的として作成している。

受注者は、利用する機器の特徴を十分に把握した上で、UAVレーザで計測を行う最大距離付近(精度面で最も不利となる位置や範囲)およびそれ以上離れた位置でサイドラップ(30%)の中央付近に水平位置検証点、標高検証点を設置する。UAVレーザを用いてサイドラップ30%での計測を行い、計測結果から得られる水平位置検証点、標高検証点の2回(往路・復路各1回)の計測値の水平較差、標高較差を確認し、用途別に定められた再現性についての要求精度以内であることを確認する。

UAVレーザーの精度確認試験実施手順書（案）

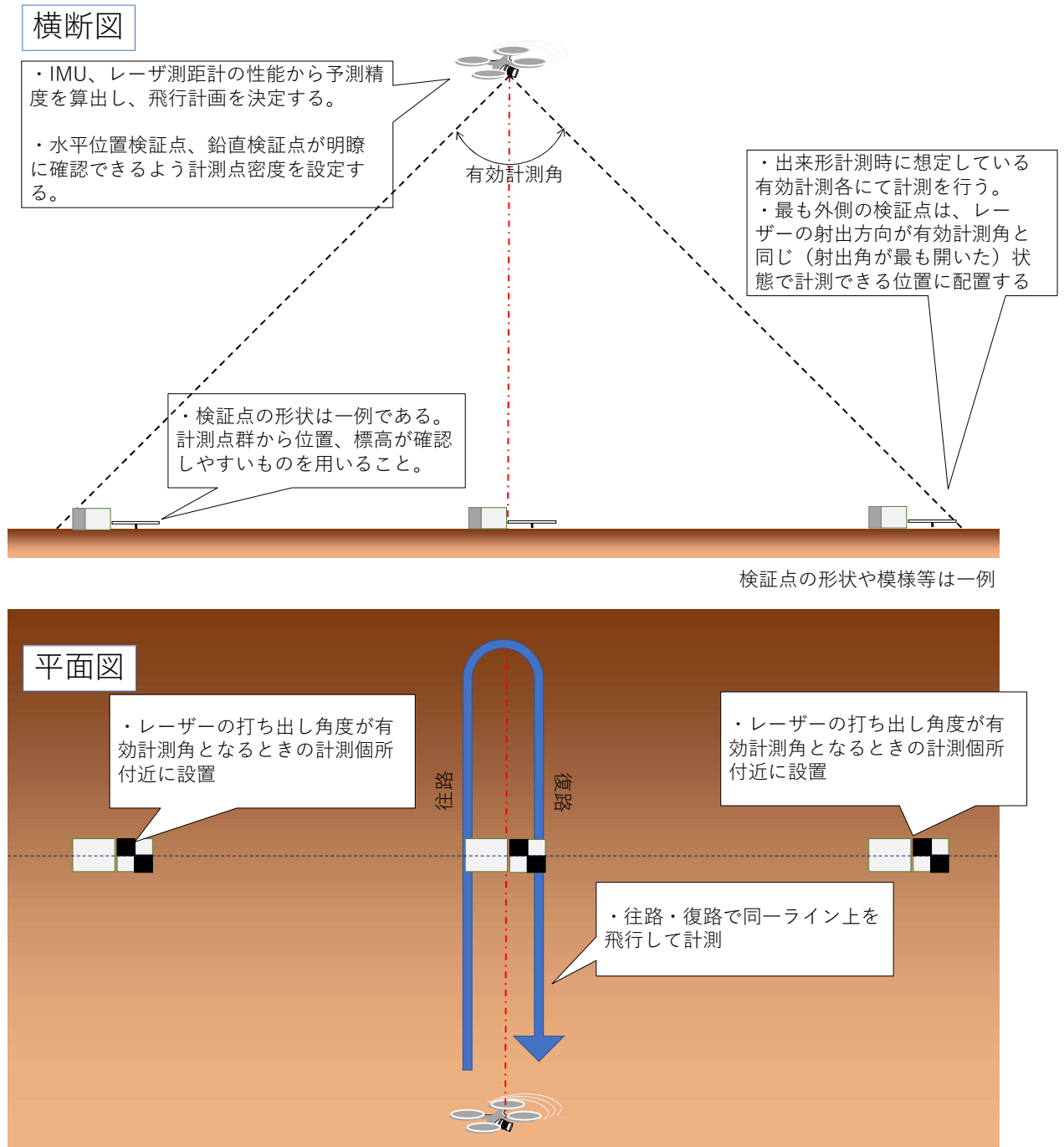
1. 実施時期

利用前の精度確認は、現場の計測と同時に行うことも可能であるが、利用前にその精度確認試験を行うことが望ましい。現時点においては、UAVレーザー本体に関する定期点検の必要性などが規定されていないため、暫定案として利用前12ヶ月以内に精度確認試験を実施することとする。ただし、メンテナンス等によりIMUとLSを分離した場合は、組立後に精度確認試験を実施することとする。

2. 実施方法

飛行コースと直交する横断方向に水平位置検証点、標高検証点を3箇所以上設置する。設置位置は飛行コース直下に1箇所、出来形計測時に想定している有効計測角でレーザーが射出される位置付近に1箇所ずつ設置する。検証点として x, y, z 座標が特定できる物を用いることで、水平位置検証点と標高検証点を兼ねる事が出来る。また、既存の建造物の角など、既存の明瞭な地物で、計測点群データから x, y, z 座標が特定できるものがあれば、水平位置検証点、標高検証点として用いてもよい。

計測は同じ飛行コース上を往路方向と復路方向の各1回飛行して行う。



図一 4-1 UAVレーザと検証点の設置例（検証点を複数設置できる場合）

検証点を飛行コースと直交する横断方向に複数個設置できない場合は、次図に示すように、1か所の検証点に対して、レーザの射出角度が有効計測角、鉛直下方、その中間となるように、検証点に対する飛行コースの横断方向離隔を変化させて往路、復路の計測を行ってもよい。

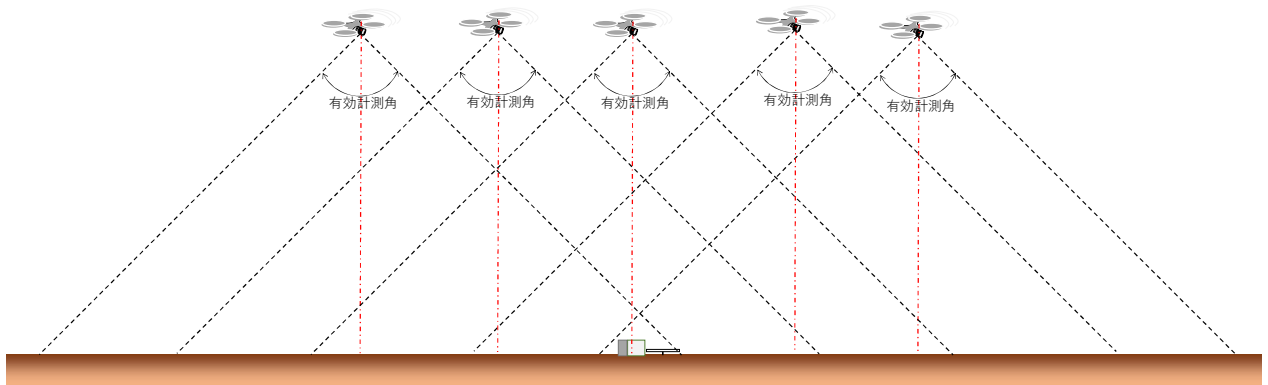


図- 4-2 UAVレーザーと検証点の設置例（検証点を1箇所しか設置できない場合）

3. 検証点の座標算出

検証点を往路方向と復路方向の各1回飛行して、標高検証点、水平位置検証点を計測し、往路、復路の標高検証点のZ座標、水平位置検証点のX,Y座標の較差を算出する。解析は、本要領「4-3 UAVレーザーによる出来形計測 6)精度確認」に示す要領で実施するが、最適軌跡解析は往路と復路で分割せず、一連の軌跡として解析する。

4. 評価基準

往路と復路で計測した標高検証点および水平位置検証点の x, y, z 座標を比較して較差を算出し、較差が次表の基準を満足していることを確認する。実現場における有効計測角や飛行対地高度、飛行速度、スキャン回転数、レーザー発行回数等の計測諸元は、本確認試験で設定したものと同様に設定する。

表- 4-1 精度確認試験での精度確認基準

比較方法	用途と精度確認基準	備考
水平座標較差	出来形計測：50mm 以内 起工測量：100mm 以内 出来高計測：200mm 以内	精度確認基準を満足する最大計測角を確認し、これを有効計測角とする。
標高較差	出来形計測：50mm 以内 起工測量：100mm 以内 出来高計測：200mm 以内	

5. 実施結果の記録

精度確認の実施結果を記録・提出する。

(様式-2)

精度確認試験結果報告書

計測実施日：令和2年2月18日

機器の所有者・試験者あるいは精度管理担当者：(株) UAVレーザー測量

精度 太郎 印

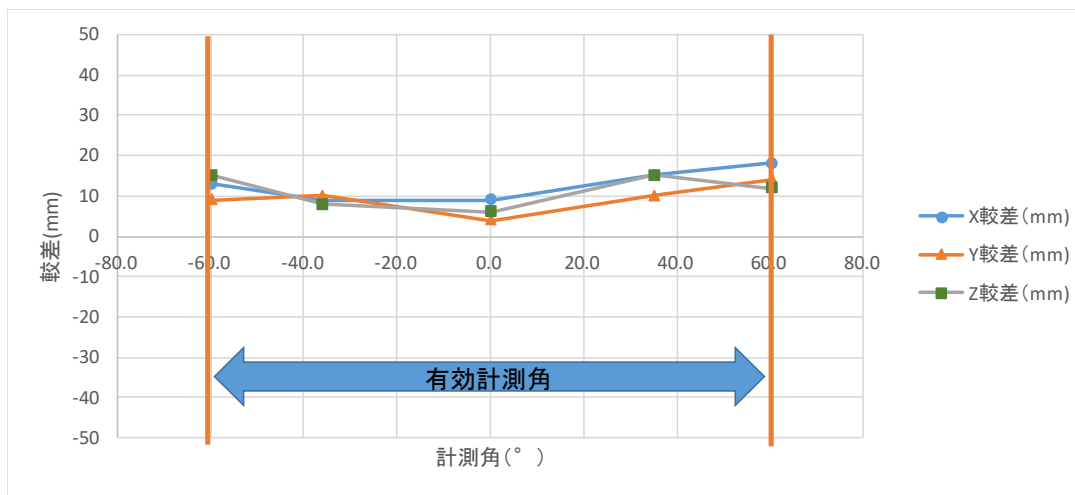
<p>精度確認の対象機器</p> <p>メーカー：(株)ABC社</p> <p>測定装置名称：TOKI</p> <p>測定装置の製造番号：ABCK0001</p>	<p>写真</p> 
<p>検証機器（検証点を計測する測定機器）</p> <p>2級トータルステーション GPT0000</p>	<p>写真</p>
<p>測定記録</p> <p>測定期日：令和2年2月18日</p> <p>測定条件：天候 晴れ</p> <p> 気温 8℃</p> <p>測定場所：(株) UAVレーザー測量</p> <p> 社内 資材ヤードにて</p>	<p>写真</p> 
<p>精度確認方法</p> <p>■ 標高検証点との標高較差 ■ 水平位置検証点との座標較差</p> <p>標高検証点</p>  <p>水平位置検証点</p> 	

・精度確認試験結果（詳細）

① 検証点の計測結果

飛行対地高度：30m

水平位置検証点								標高検証点				
点名	計測角(°)	往路		復路		往路と復路の較差		点名	計測角(°)	往路	復路	往路と復路の較差
		① X座標(m)	② Y座標(m)	③ X座標(m)	④ Y座標(m)	①-③ X較差(mm)	②-④ Y較差(mm)			⑤ Z座標(m)	⑥ Z座標(m)	⑤-⑥ Z較差(mm)
KH01	60.0	48439.327	-39217.745	48439.309	-39217.759	18	14	KV01	60.0	18.424	18.412	12
KH02	35.0	48440.284	-39247.068	48440.269	-39247.078	15	10	KV02	35.0	18.454	18.439	15
KH03	0.0	48441.010	-39269.496	48441.001	-39269.500	9	4	KV03	0.0	18.446	18.440	6
KH04	-36.0	48441.754	-39292.109	48441.745	-39292.119	9	10	KV04	-36.0	18.427	18.419	8
KH05	-60.0	48442.892	-39326.975	48442.879	-39326.984	13	9	KV05	-60.0	18.561	18.546	15



② 較差の確認（測定精度）

UAVレーザの計測結果による計測点座標 — 検証点座標

飛行対地高度 30m

有効計測角 60度 以内 ; 合格 (基準値 50mm 以内)

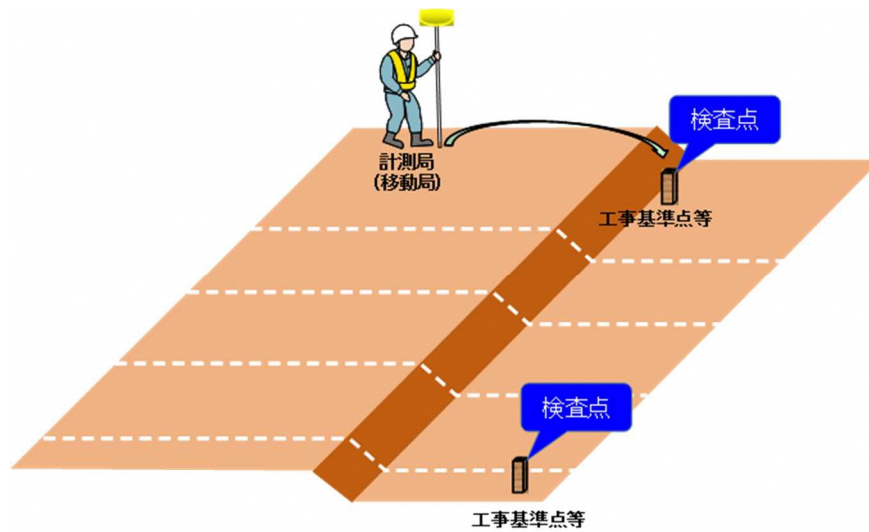
GNSSの精度確認試験実施手順書（案）

1. 実施時期

GNSSの精度確認は、現場の計測と同時に実施することも可能であるが、利用までにその精度確認試験を行うことが望ましい。

2. 実施方法

現場内の2箇所以上の既知点を利用し、GNSSによる計測結果から得られる既知点の座標を計測する。



図－ 5－ 1 精度確認の実施方法

3. 検査点の検測

真値となる検査点は、基準点あるいは、工事基準上などの既知点の座標値や、基準点及び工事基準点を用いて測量した座標値を利用する。

4. 評価基準

計測結果を既知点などの真値と比較し、その差が適正であることを確認する。

表－ 5－ 1 精度確認試験での精度確認基準

比較方法	精度確認基準	備考
各座標値の較差	平面座標 ±20mm 以内	現場内 2 箇所程度
	標高差 ±30mm 以内	

5. 実施結果の記録

精度確認の実施結果を記録・提出する。

(様式 - 3)

精度確認試験結果報告書

計測実施日：令和2年2月18日

機器の所有者・試験者あるいは精度管理担当者：(株)〇〇測量

精度 太郎 印

精度確認の対象機器 メーカー：(株)ABC社 測定装置名称：GNSS2000 測定装置の製造番号：R00891	写真
検証機器（真値を計測する測定機器） <input checked="" type="checkbox"/> TS：3級TS以上 <input type="checkbox"/> 機種名（級別〇級）	写真
測定記録 測定期日：令和2年2月18日 測定条件：天候 晴れ 気温 8℃ 測定場所：(株)〇〇測量 現場内にて	写真
精度確認方法 ■既知点の各座標の較差	

・精度確認試験結果（詳細）

① 真値の計測結果



計測方法：既知点 or TS による座標値計測

真値とする検証点の位置座標			
	X	Y	Z
1 点目	44044.720	-11987.655	17.890
2 点目	44060.797	-11993.390	17.530

② GNSS による計測結果



RTK 法またはネットワーク RTK 法で測定した位置座標			
	X'	Y'	Z'
1 点目	44044.700	-11987.644	17.870
2 点目	44060.778	-11993.385	17.521

③ 差の確認（測定精度）

GNSS による計測結果 (X', Y', Z') — 真値とする検証点の座標値 (X, Y, Z)

既知点の座標間較差			
	ΔX	ΔY	ΔZ
1 点目	-0.020	-0.011	-0.020
2 点目	-0.019	-0.005	-0.009

X成分（最大） = -0.020m (-20mm) ; 合格（基準値±20mm 以内）

Y成分（最大） = -0.011m (-11mm) ; 合格（基準値±20mm 以内）

Z成分（最大） = -0.020m (-20mm) ; 合格（基準値±30mm 以内）

第 3 版

77