

レーザー scanner を用いた
出来形管理の試行要領（案）
（トンネル編）

平成 29 年 3 月

国土交通省

はじめに

ICTの適用により、工事施工中の施工管理データの連続的な取得等、従来よりも多くの点での品質管理が可能となることで、これまで以上の品質確保が期待される。

施工者が実施する施工管理においては、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他、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、今後可能となる等の効果が期待される。

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、ICTの活用項目のひとつとして、LSを利用したトンネル覆工コンクリートの出来形計測・出来形管理方法を整理した。この方法は、従来の巻尺、レベルを用いる方法に比べて、以下の効果をもつ。

- (1) 高さ計測に必要な高所作業車等が不要となり、計測作業が効率化するとともに、安全性も向上する。
- (2) 測量結果を3次元CADで処理することにより、面的な管理が可能となるとともに、任意断面の出来形確認など、受発注者双方に必要なデータを抽出することが可能となる。

また、LSで計測した出来形データを維持管理段階に受け渡し、供用後の計測調査と比較を行うことで、地震、偏土圧等の外力作用時において変位程度を把握する等の活用が期待できる。

一方、LSを用いた計測では、従来の巻尺、レベル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。

本要領は、上記の効果、留意点及びこれまでの現場の検証結果を踏まえ、LSを用いたトンネル工事の試行を実施し、現行の断面管理を前提とした出来形管理、監督・検査への効果的な活用方法を整理することと、将来的な面的管理の活用を見据えた検討を進めていくことを目的としている。

このような目的を踏まえ、本要領では、LSを用いた出来形管理の試行を実施するうえで必要となる計測機器、点群処理ソフトウェアの調達、計測準備、計測方法、出来形管理方法、検証方法等の内容を記載した。

また、本要領は発注者が行う監督・検査に関する試行要領と併せて作成しており、監督・検査については、「レーザースキャナーを用いた出来形管理の試行に係る監督・検査要領（案）（トンネル編）」を参照していただきたい。

目 次

第1編 本編	1
第1章 総則	1
1-1 目 的	1
1-2 適用の範囲	2
1-3 本要領に記載のない事項	4
1-4 施工計画書	5
1-5 監督職員による監督の実施項目	7
第2章 LSによる測定方法	8
2-1 機器構成	8
2-2 出来形管理用LS本体の計測性能及び精度管理	10
2-3 点群処理ソフトウェア	11
2-4 点群データの座標処理ソフトウェア	12
2-5 出来形評価ソフトウェア	13
2-6 工事基準点の設置	14
第3章 LSによる出来形管理	15
3-1 LSによる出来形計測	15
3-2 LSによる出来形計測箇所	18
3-3 LSによる点群データ処理と出来形帳票作成	19
第4章 出来形管理資料の作成	22
4-1 電子成果品の作成	22
第5章 管理基準及び規格値等	23
5-1 出来形管理基準及び規格値	23
第2編 参考資料	24
第1章 これまでの現場検証結果	24
第2章 LSの精度確認試験実施手順書および試験結果報告書	25

第1編 本編

第1章 総則

1-1 目的

本要領は、トンネルの覆工コンクリートの出来形計測および出来形管理の試行において、レーザースキャナー（以下、「LS」という）を用いた計測手法が、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) LS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) 出来形管理の方法と具体的手順

【解説】

本要領は、LSを用いた出来形計測および出来形管理の試行の実施に必要な事項を記載したものである。

LSによる出来形計測は、被計測対象構造物の形状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、任意の断面での出来形を把握することが可能となり、従来の巻尺・レベルによる幅・長さの計測や、高所作業車等を用いた高さの計測は不要である。

以上のようにLS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、LSは計測対象点を指定した計測が出来ないことや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方法を明確に示す必要がある。

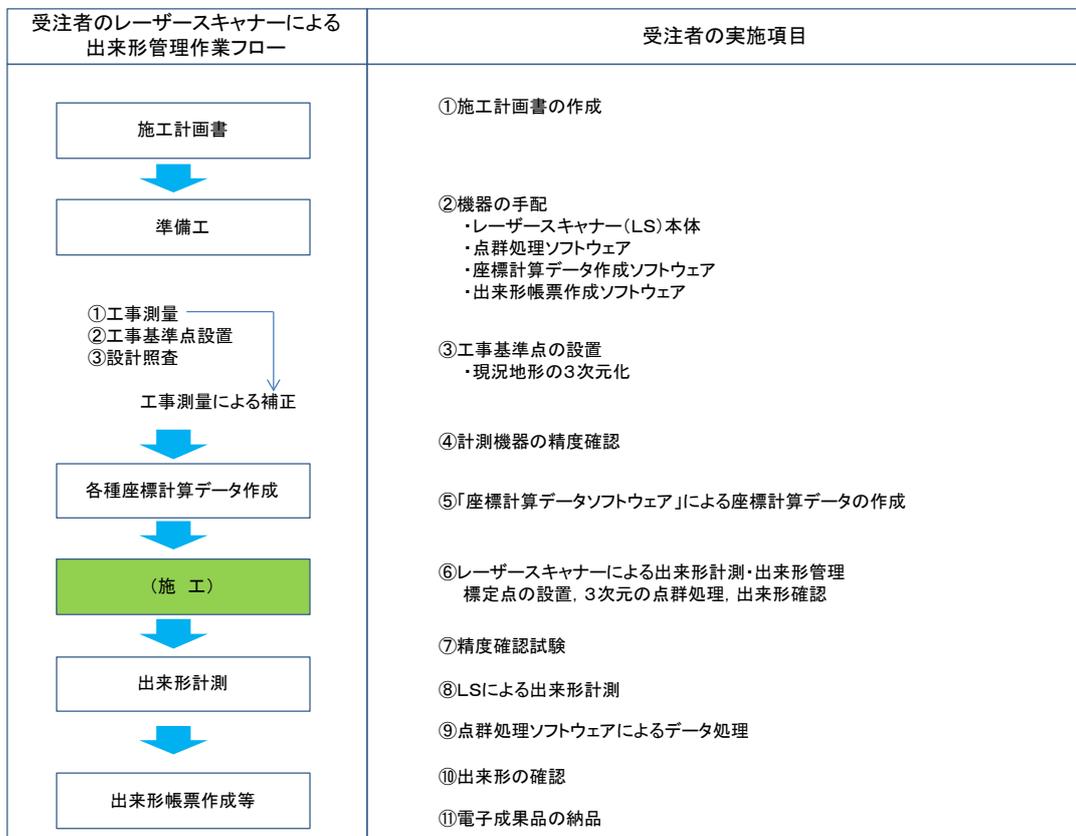


図 1 LSによる計測の手順

1-2 適用の範囲

本要領は、受注者が行うLSを用いた出来形計測および出来形管理の試行に適用する。

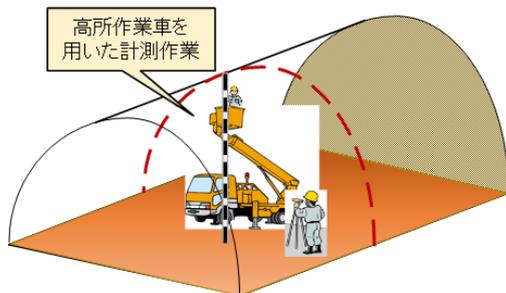
【解説】

1) 適用の範囲

本要領では、現行の覆工コンクリートの出来形管理に対し、LSを用いた出来形計測方法について試行することを目的とする。

トンネルの覆工コンクリートにおいて、LSを用いた計測方法を検討することで、現行の断面管理におけるテープ、標尺、高所作業車等を用いた計測方法（図2）に対し、計測作業の効率化、安全性向上を目指すものである。（図3）

また、将来的な検討として、3次元設計データとLSにより計測した面的データを比較することで、構造物全体の出来形確認を可能とするともに、監督検査業務の効率化等を目指している。



- ・テープ、巻き尺等により、幅、高さ、厚さ等を計測
- ・高さ計測に高所作業車が必要となり、計測箇所毎の移動に手間を要するとともに、安全対策も必要となる。

図2 現行の計測方法

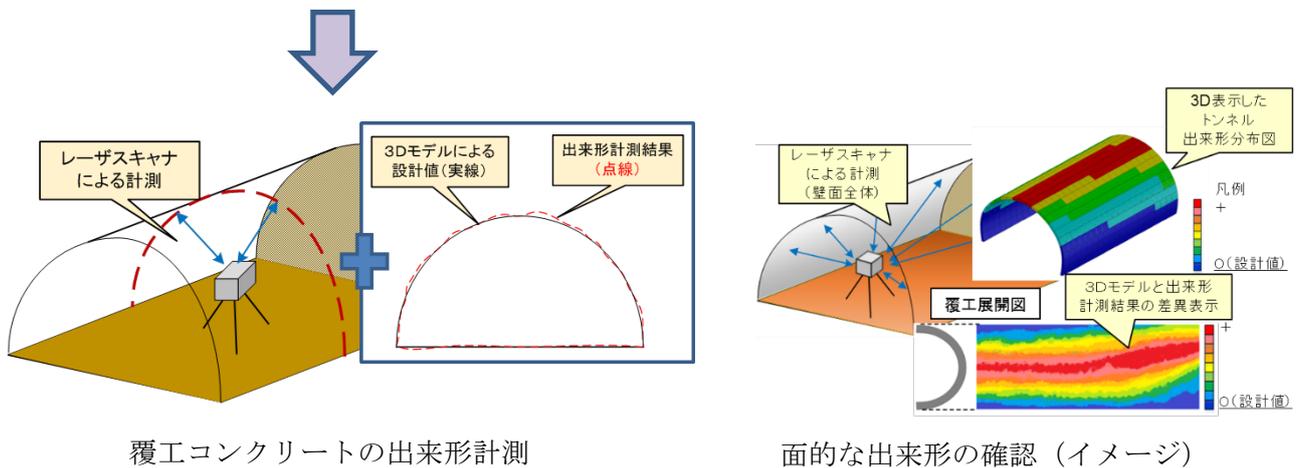


図3 LSを用いた出来形計測方法の追加

2) 対象となる作業の範囲

本要領で示す作業の範囲は、**図 4** の実線部分（施工計画、準備工の一部、出来形計測）である。

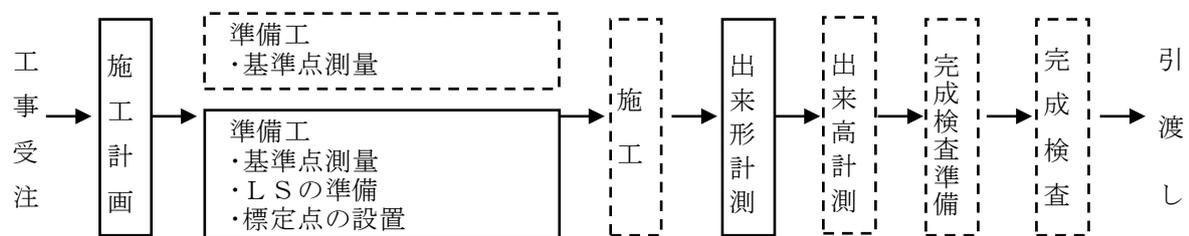


図 4 本管理要領の対象となる業務の範囲

1-3 本要領に記載のない事項

本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」(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) 「レーザースキャナーを用いた出来形管理の試行に係る監督・検査要領(案)(トンネル編)」(国土交通省)

注1) 上記基準類の名称は各地方整備局で若干異なる。

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」、「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、LSを用いた出来形管理の実施方法、管理基準等を検証するものとして位置づける。本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。

1-4 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する。

1) 適用工種

編	章	節	工種
道路編	NATM	覆工	覆工コンクリート

2) 適用範囲

本要領による、3次元計測範囲、出来形管理の試行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

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を記載する。

4) 使用機器・ソフトウェア

LS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) 検証方法

LSを用いた出来形計測結果の精度の検証、出来形管理方法等に関する検証方法について、記載する。

【解説】

1) 適用工種

表 1 適用工種

編	章	節	工種
道路編	NATM	覆工	覆工コンクリート

2) 適用範囲

試行する適用範囲は、覆工コンクリートの内空（幅、高さ）及び厚さを対象とする。

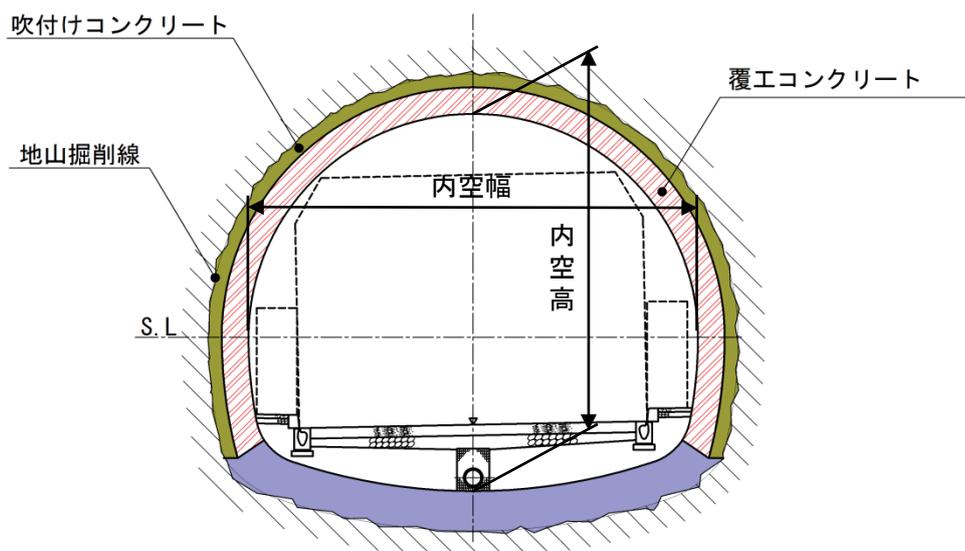


図 5 3次元計測による出来形管理の適用範囲

3) 出来形計測箇所、出来形管理基準及び規格値

「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、LSを用いた出来形管理を行う範囲については、本要領に基づく出来形管理基準及び規格値を記載する。

4) 使用機器・ソフトウェア

LS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。

②LS本体

受注者は、出来形管理用に利用するLS本体が下記と同等以上の計測性能を有し、適正な精度管理が行われていることを、施工計画書の添付資料として提出する。

測定精度：計測範囲内で±5mm以内・・・別添様式－1による精度確認試験を行うこと。

- a. LSの計測性能は近距離限定の機器、長距離計測対応の機器など多岐にわたる。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。このため、本要領では、「第2編参考資料」の「第1章 これまでの現場検証結果」及び現場の制約条件を踏まえ、計測範囲内で±5mm以内の機器を利用できることとし、精度について現場での精度確認試験により確認することとした。精度確認については、別添様式－1に示す現場精度確認を実施し、その記録を提出する。
- b. 精度管理について、機器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、LSを製造するメーカーが推奨する定期点検を実施し、その有効期限内であることを示す記録を添付する。

③ソフトウェア

受注者は、本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) 検証方法

LSを用いた出来形計測結果の精度検証として、「3－3 LSによる点群データ処理と出来形帳票作成」に記載する出来形管理方法とともに、利用するLSの性能、精度検証で用いるTS（ノンプリズム方式）、スタッフ、レベル等の計測方法、検証範囲、検証頻度等について、記載する。

1-5 監督職員による監督の実施項目

本要領を適用した、LSによる出来形管理における監督職員の実施項目は、「レーザースキャナーを用いた出来形管理の試行に係る監督・検査要領（案）（トンネル編）」の「4 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) 工事基準点等の設置状況の把握
- 4) 精度確認試験結果報告書の把握
- 5) 出来形管理状況の把握

第2章 LSによる測定方法

2-1 機器構成

本要領で用いるLS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) LS本体
- 2) 点群処理ソフトウェア
- 3) 点群データの座標処理ソフトウェア
- 4) 出来形評価ソフトウェア（出来形帳票作成を含む）

【解説】

図6にLS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) LS本体

LS本体は、現場の面的な出来形座標を取得する装置で、LS本体から計測対象の相対的な位置を取得する技術である。観測した点群を3次元座標として変換するためには計測範囲内に既知座標（標定点）を3点以上設置する（TSと同様に本体の位置を事前に確定できる方法等の場合は標定点が不要である）。

2) 点群処理ソフトウェア

LS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、建設機械や仮設備（風管、仮設照明）等の不要な点を除外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) 点群データの座標処理ソフトウェア

相対座標を絶対座標に変換するソフトウェアである。

4) 出来形評価ソフトウェア

3)で絶対座標に変換された点群データによる、出来形を評価するために必要な内空（幅、高さ）、厚さを計算し、設計値と比較して評価するための出来形管理帳票等を出力するソフトウェアである。

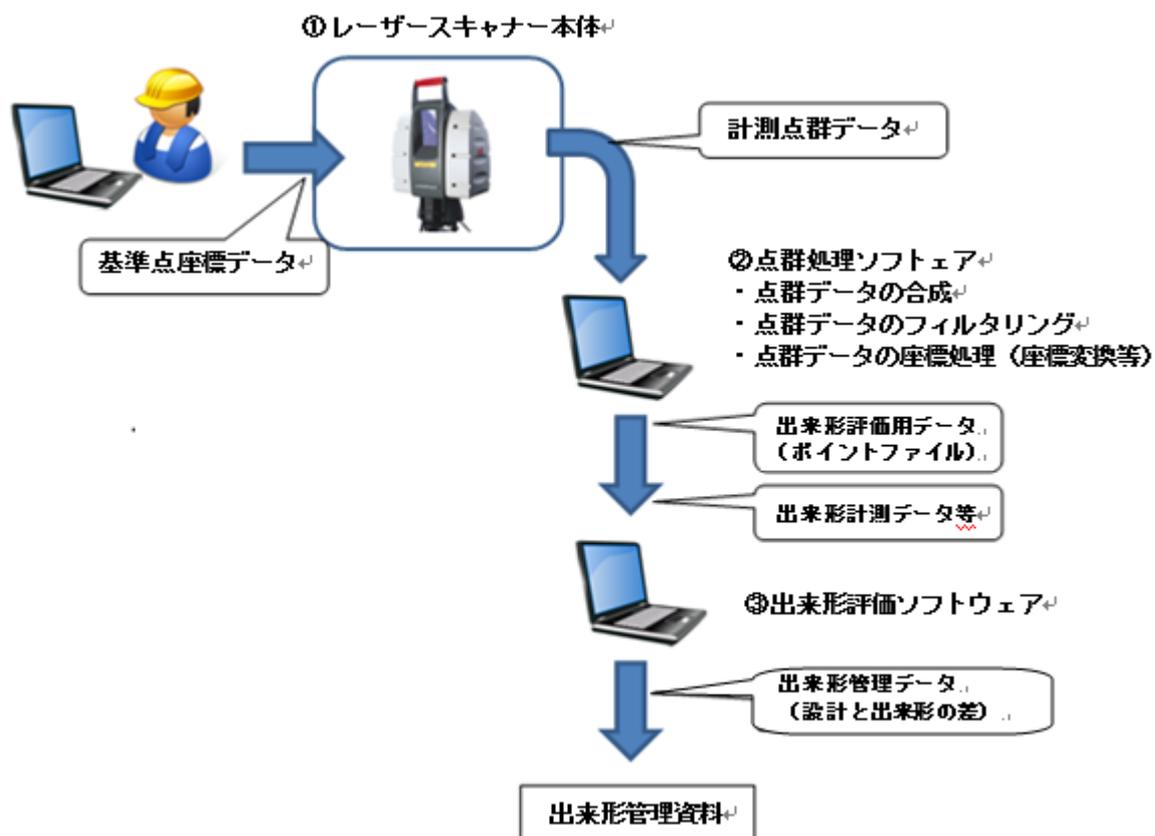


図 6 LSによる出来形管理機器の構成例

2-2 出来形管理用LS本体の計測性能及び精度管理

LSによる出来形計測で試行を行うLS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、本要領に基づいて出来形管理で試行を行う場合は、利用するLS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LSに要求される性能基準を示す。

測定範囲内で精度：±5mm以内

(カタログ記載に加え、第2編 第2章 LS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現場確認を行うこと。)

【解説】

1) 計測性能

LSの計測性能は多様であることと、長距離タイプ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、実際に利用する機器の計測最大距離の範囲に既知点を2箇所（10m以上離れた箇所）以上に配置し、既知点の距離とLSによる計測結果から求められる点間距離との差が±5mm以内であることを確認する（詳細は第2編 第2章 LS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、LSを用いた出来形管理の実施前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-1を用いて提出すること。
- b. 事前確認の実施：a.の現場での計測性能の確認以外に、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6ヶ月以内に実施した確認結果を別添様式-1にて提出すること。

2) 精度管理

LSの精度管理が適正に行われていることを確認する書類を提出する。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製造メーカーによる機器の作動点検等の記録を提出する。点検の頻度は、メーカーの推奨期間内であること。

2-3 点群処理ソフトウェア

本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仮設構造物、重機械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】

LS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建設機械や作業員、仮設構造物（風管、仮設照明、電気通信ケーブル等）などの不要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。そのため、計測前に計測エリアにおける障害物をできるだけ除去することが望まれる。高さ、幅の計測における不要点の排除にあたっては、不要点のみを削除し、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

LS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。

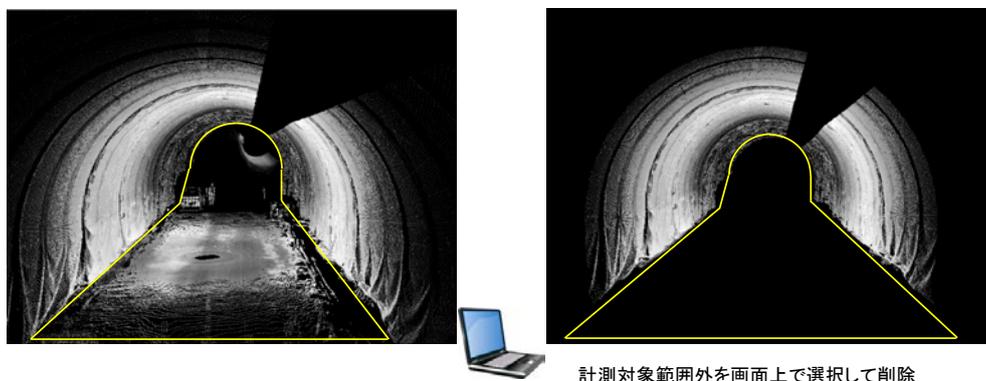


図 7 対象範囲外のデータ削除（例）

2-4 点群データの座標処理ソフトウェア

本要領で利用する点群データの座標変換処理ソフトウェアは、フィルタリング処理等を行った後の点群データの保有する相対座標値を絶対座標値に座標変換する機能を有していなければならない。

【解説】

フィルタリング処理等を行った後の点群データは、相対座標値を保有する。そのため、出来形の評価を行うために、絶対座標値に座標変換する必要がある。

1) 点群密度の変更（データの間引き）

LS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。また、これらの計測結果を組み合わせた結果では計測結果の重複や点群密度のバラツキがある。すべての計測点群データを利用しても良いが、すべてのデータを用いることでコンピュータの処理に時間がかかる場合は、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、これまでの現場検証結果より10m先で0.01m²当たり50点以上、出来形評価用データとしては、取得した点群データから必要に応じて仮設物等のフィルタリング処理後、5%程度の間引きを行って抽出処理を行う方法がある。

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。

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。複数スキャンのまとめ方については、以下の方法がある。

①各スキャンで個別の3次元座標に変換した結果をひとつの点群に合成

各スキャンで標定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。

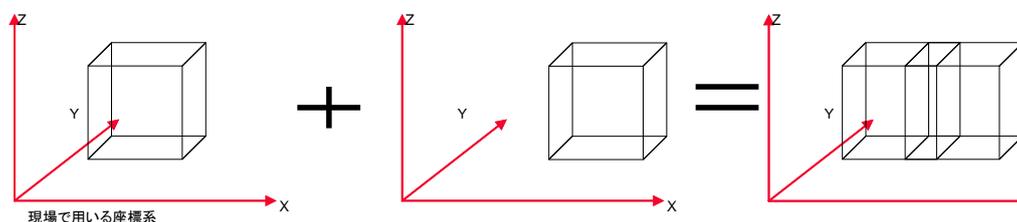


図8 絶対座標系に変換された結果を合成する方法

2-5 出来形評価ソフトウェア

本要領で利用する出来形帳票作成ソフトウェアは、フィルタリング処理等を行った後に相対座標値を絶対座標値に座標変換された点群データから、出来形（内空（幅、高さ）、厚さを評価するのに必要な内空（幅、高さ）、厚さを計算し、出来形管理資料として出力する機能を有しなければならない。

【解説】

必要に応じてフィルタリング処理を行った後の点群データは相対座標値を有するため、相対座標値を絶対座標値に変換する処理が必要となる。絶対座標値に変換された点群データの中から出来形（内空（幅、高さ）、厚さを評価するのに必要な点群を抽出し、そのデータをもとに内空（幅、高さ）、厚さを計算し、出来形管理資料として出力する機能を有しなければならない。

2-6 工事基準点の設置

本要領に基づく出来形管理で利用する工事基準点は、監督職員から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】

LS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、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、LSの標定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、標定点を計測する場合は基準点からTSまでの距離、標定点から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を用いた出来形管理要領より引用）。

第3章 LSによる出来形管理

3-1 LSによる出来形計測

受注者は、LSを設置し、出来形計測を行う。

1) LSの設置

LSをトンネル中心付近に設置し、仮設備、資機材等が、幅、高さ計測の支障にならないようにする。風管設備が上空に位置する場合は、拱頂が視準可能な位置までLSをトンネル中心より横移動する。

2) 標定点の設置・計測

標定点を用いてLSによる計測結果を3次元座標へ変換、あるいは複数回の計測結果について標定点を用いて合成する場合は、標定点を設置する。標定点は工事基準点からTSを用いて計測を行う。また、標定点はLSによる出来形計測中は動かないように固定すること。

3) LS計測の実施

出来形計測は、計測対象範囲内において±5mm以内の精度を確保可能な計測密度を設定し計測を行う。また、1回の計測距離は、2-2で実施した精度確認の距離範囲内とする。

【解説】

LSによる計測では、対象物とLSの位置関係により計測精度に違いが生じる。このため、精度の高い計測結果を得るためには精度の低下要因となる計測条件を可能な限り排除する計測計画が重要となる。

1) LSの設置

LSの設置・計測に係わる留意点を以下に示す。

- LSをトンネル中心付近に設置し、仮設備、資機材、工事用車両等が幅、高さ計測の支障にならないように事前に撤去した状態であること。
- 風管設備も全て撤去された状態での計測が望ましいが、風管設備が上空に位置する場合は、拱頂が視準可能な位置までLSをトンネル中心より横移動する。
- なお、LSの1回当たりの計測は、精度確認を行った範囲内とする。(目安として約10mから15m程度)。

2) 標定点の設置・計測

標定点は、計測対象箇所最外周部に3箇所以上配置する。また、標定点の計測はTSを用いて実施し、TSから基準点および標定点までの距離が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。

ただし、LS本体にTSと同様に標定点の計測による後方交会法による位置決め機能を有している場合は、標定点を設置せず計測しても良い。

LSで計測された点群データは、絶対座標値を保有するため、出来形管理を行うためには、絶対座標に変換する必要がある。そのため、TSで標定点の計測を行った後（図中②）、LSで同標定点の計測を行う（図中③）。

なお、使用するLSがTS機能を保有し、絶対座標値も同時計測可能な場合は、この限りでない。

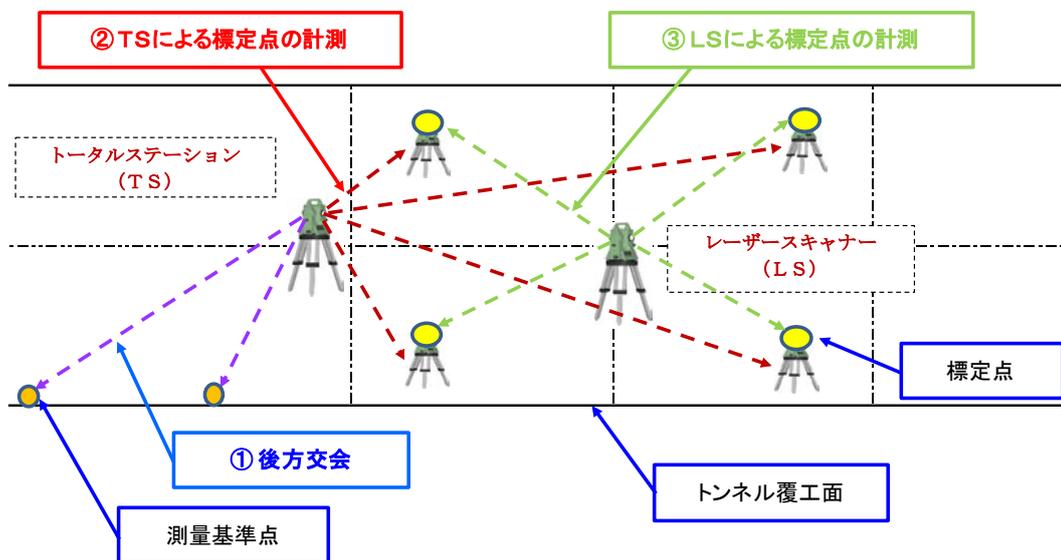


図 9 LSと標定点の配置（例）



図 10 LS計測状況

3) L S 計測の実施

①計測密度設定の留意点

出来形計測にあたって、L S と計測対象範囲の位置関係を事前に確認し、計測対象範囲で±5 mm 以内の精度を確保可能な計測密度を設定する。

なお、「第2編参考資料」の「第1章 これまでの現場検証結果」における内空（幅、高さ）の計測では、10m先で0.01m²当たり50点程度の計測密度を設定することで、±5 mm 以内の精度が確認されているので参考にされたい。

また、計測密度を不用意に上げると計測時間が増加し、作業効率だけでなく、計測後の点群処理作業効率が悪化する懸念があるため、試行においては計測精度とともに、計測時間、点群処理作業等の全体を考慮した密度設定等に留意すること。

②測定時の留意点

L S の計測では、計測対象範囲に作業員や仮設構造物（風管、仮設照明、電気通信ケーブル等）、建設機械などが配置されている場合は、吹付けコンクリートや覆工コンクリート面等のデータが取得できない。このため、可能な限り出来形の覆工面等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。

- ・トンネル内の地下水湧水などが多量発生している場合、レーザーが乱反射してしまう様な計測箇所環境
- ・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
- ・粉じんが大量に舞っている場合
- ・車両、重機、施設物などで計測箇所が覆われている場合（風管、仮設照明等で覆われている箇所は、データを補完して対応する）
- ・L S 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、安全性に十分考慮すること。
- ・切羽近くや工事車両、重機の通行に伴い、大きな振動が発生している場合
- ・計測時間を考慮して、現場作業の障害とならないような配慮を行うことが望ましい。
- ・計測範囲内の路面には、できるだけ仮設備、資機材等を置かないことが望ましい。

3-2 LSによる出来形計測箇所

試行において、LSを用いて出来形計測し、計測結果の精度検証等を実施する箇所は、下図に示すとおり、トンネルの内空（幅、高さ）、覆工コンクリートの厚さを対象とする。

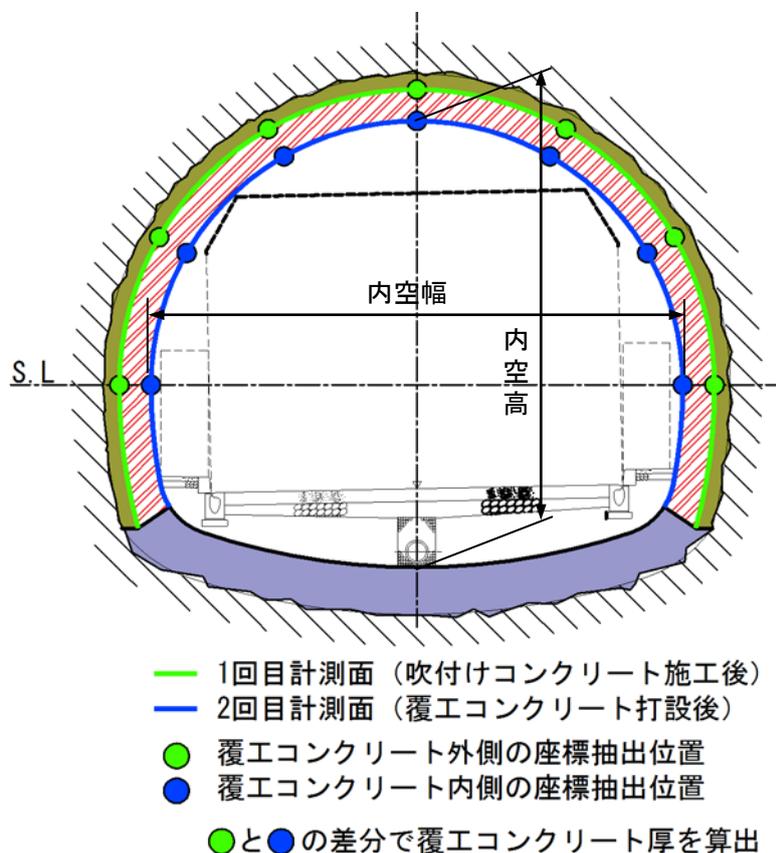


図 11 出来形計測箇所

【解説】

・吹付けコンクリート施工後、覆工コンクリート打設後の各々を計測し、内空（幅、高さ）と、覆工コンクリートの厚さを算出する。

*留意点

S Lから下のインバートまでの計測は、インバート施工後の埋め戻し等の工程と現場条件を考慮し、LS計測を行うか、これまでどおり、レベル計測等を行うかを判断し、インバート中心の基準高を計測する。

3-3 LSによる点群データ処理と出来形帳票作成

本要領で利用する出来形帳票作成ソフトウェアは、フィルタリング処理等が行われ、絶対座標値に座標変換された点群データから、出来形管理資料を出力する機能が必要である。

なお、試行において、検証する出来形管理方法は下記に示すとおりとする。

①現行の断面管理に必要な出来形管理

出来形管理に必要な各断面のSL位置（左右）とSL中心位置、その真上の拱頂位置を抽出し、内空（幅、高さ）、覆工コンクリート厚さを計算し、出来形管理資料として出力。

②面的管理（想定される機能要件）

計測範囲における点群データから、内空（幅、高さ）、覆工コンクリートの厚さの各点群の平均値、個々値を計算し、数値及びヒートマップ等の表示にて出力。

【解説】

LSによる出来形評価用データと設計データを比較することで出来形の良否判定を行う。

内空（幅、高さ）、覆工コンクリートの厚さを算出するために、フィルタリング処理等が行われ、絶対座標値に座標変換された点群データから、出来形管理資料を出力する機能が必要である。

なお、②面的管理に必要な機能要件は、試行による検証結果を踏まえ、整理していくこととなるが、ICT土工における面的基準を参考に、平均値、個々値の計算、出力等を要件として記載した。

また、①現行の断面管理に必要な出来形管理等について、これまでの現場の検証における計算方法、出力方法の事例を以下に示す。

出来形計測に必要な40m間隔の抽出、各断面のSL位置（左右）の抽出、SL中心位置とその真上の拱頂位置の抽出を行い、内空（幅、高さ）を計算し、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（内空（幅、高さ））の計算結果の出力

①座標変換を行った点群データから、出来形計測に必要な40m間隔の計測断面線を中心に前後・奥行き方向に、5cm範囲の点群データを抽出する。

なお、点群データの抽出は、トンネルの平面線形と縦断線形を考慮しなければならない。

②①の点群データの範囲から、該当断面の設計データのSL位置（左右）、SL中心位置と、その真上の拱頂位置に相当する位置から最も近い2点を抽出する。

③左右のSLに最も近い点群の各2点の各座標値（X, Y, Z）の加重平均値を計算する。その左右の加重平均座標値の距離より、幅を計算する。

④SL中心と拱頂位置に最も近い点群の各2点を抽出し、各座標値（X, Y, Z）の加重平均値を計算する。その上下の加重平均座標値の距離より、SLより上の高さを計算する。

なお、2点を抽出する際には、SLを跨ぎかつ計測断面線を跨いだ最も近い2点を抽出することが望ましい。上記の2条件を同時に満足することができない場合は、SLを跨ぐ2点を優先する。

図 12 は、トンネルにおける L S 計測を行った結果の L S 出来形管理帳票（イメージ）を示す。

青線は、ある計測断面における L S による計測値（点群）データを繋いだ断面図、緑色は、設計値による断面図を示す。

図中の断面における 7 点の数字は、現行の計測点（7 点）における L S による厚さを示す。

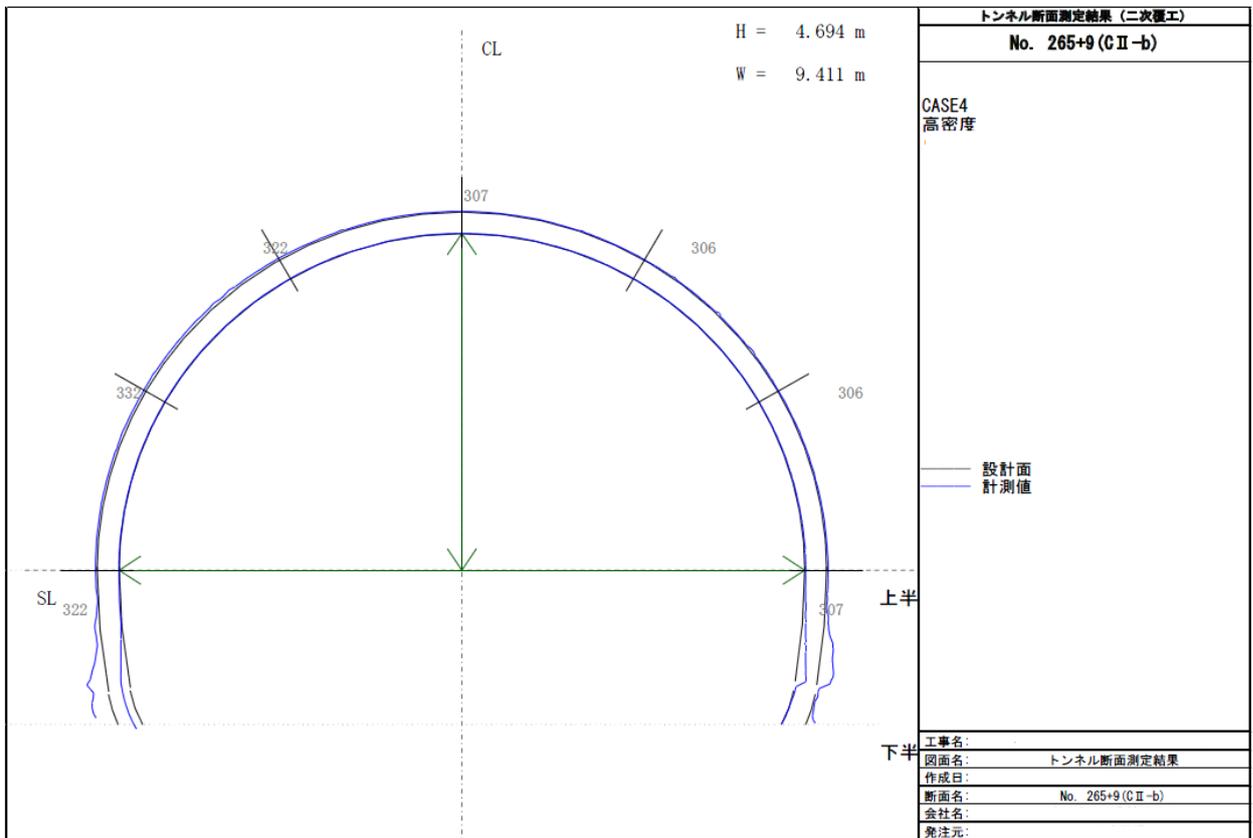


図 12 L S 出来形管理帳票（イメージ）

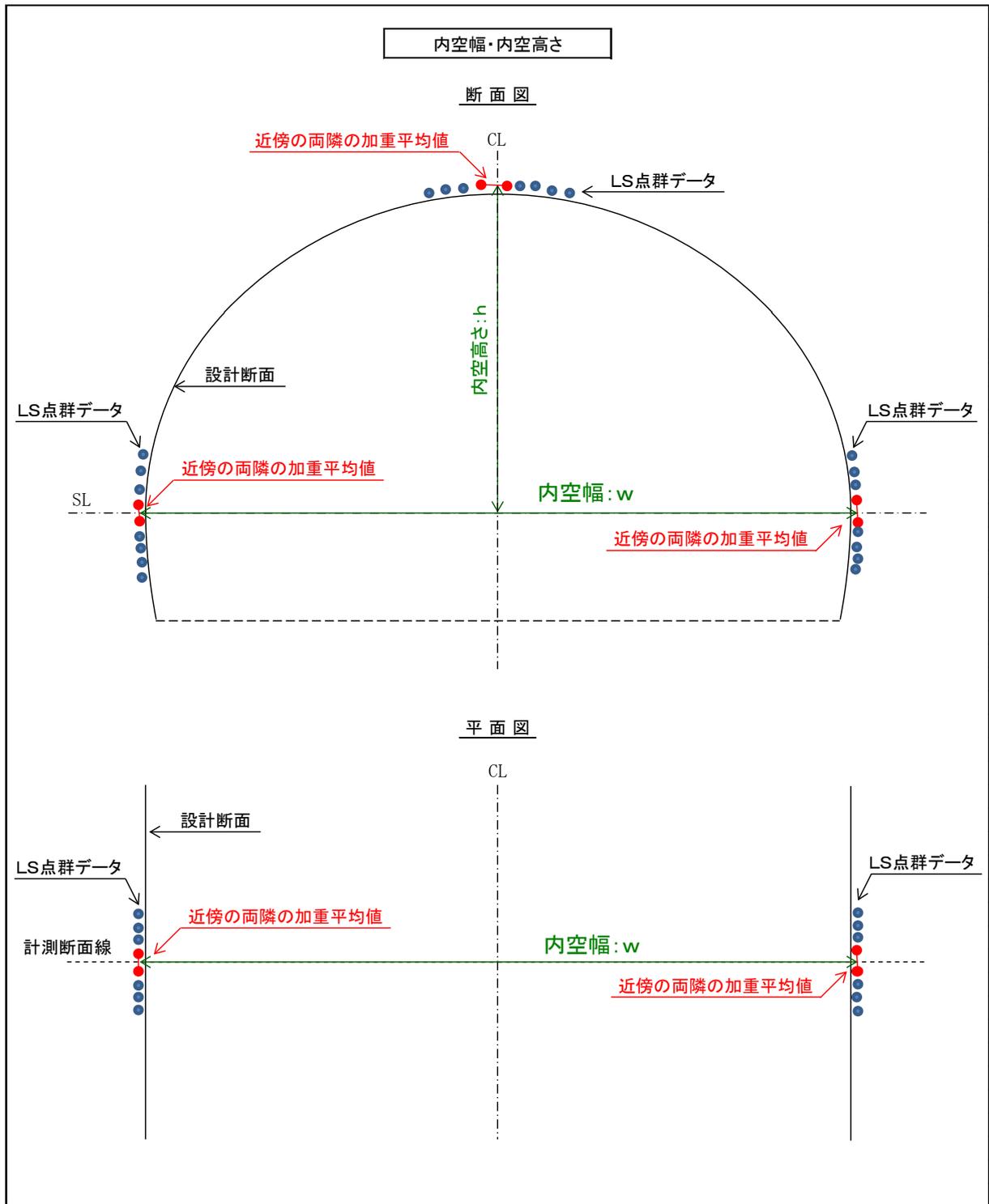


図 13 近接 2 点抽出方法 (イメージ)

第4章 出来形管理資料の作成

4-1 電子成果品の作成

本要領に基づく試行を実施後、作成する電子成果品は、以下のとおり。

- ・ 出来形管理資料（出来形管理図表（PDF））
- ・ L Sによる計測点群データ（CSV等のポイントファイル）
- ・ 工事基準点および標定点データ（CSV等のポイントファイル）
- ・ 検証結果の報告書（PDF等）

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

格納するファイル名は、L S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。

L S計測の点群データについては、必要に応じて仮設物等のフィルタリング処理を行い、絶対座標に変換した点群データを提出する。

第5章 管理基準及び規格値等

5-1 出来形管理基準及び規格値

現行の断面管理を前提としたLSを用いた出来形管理の試行において、規格値は現行の土木工事施工管理基準（案）H28年3月 国土交通省によるものとする。

出来形管理基準及び規格値は下表のとおりとし、測定値はすべて規格値を満足しなくてはならない。

表 2 出来形管理基準及び規格値

工種	測定項目	規格値	測定基準	測定箇所
覆工コンクリート	基準高▽（拱頂）	±50	注1、注2	
	幅w（全幅）	-50		
	高さh（内法）	-50		
	厚さt	設計値以上		
	延長L	—		

注1：基準高、幅、高さは、施工40mにつき1ヶ所。

注2：厚さ

- (イ) コンクリート打設前の巻立空間を1打設長の終点を図に示す各点で測定。中間部はコンクリート打設口で測定。
- (ロ) コンクリート打設後、覆工コンクリートについて1打設長の端面（施工継手の位置）において、図に示す各点の巻厚測定を行う。
- (ハ) 検測孔による巻厚の測定は図の(1)は40mに1ヶ所、(2)～(3)は100mに1ヶ所の割合で行う。
 なお、トンネル延長が100m以下のものについては、1トンネル当たり2ヶ所以上の検測孔による測定を行う。
 ただし、以下の場合には、左記の規格値は適用除外とする。
- ・良好な地山における岩又は吹付コンクリートの部分的な突出で、設計覆工厚の3分の1以下のもの。
 - ・なお、変形が収束しているものに限る。
 - ・異常土圧による覆工厚不足で、形枠の据付け時には安定が確認されかつ別途構造的に覆工の安全が確認されている場合。
 - ・鋼アーチ支保工、ロックボルトの突出。

第2編 参考資料

第1章 これまでの現場検証結果

(1) L Sの計測精度

T S（ノンプリズム方式）の測定結果と比較し、計測精度を検証。

表3 L Sの計測精度

計測対象	計測範囲	T Sとの比較 (T S - L S)	
		L S高密度*	L S低密度*
覆工コン厚さ	L Sから10m内	概ね0～±10mm	概ね0～±15mm
	L Sから10m超	概ね0～±15mm	概ね0～±15mm
内空 幅・ 高さ	L Sから10m内	概ね0～±5mm	概ね0～±5mm
	L Sから10m超	概ね0～±10mm	概ね0～±10mm

* L S高密度：10m先の点間距離が6mm程度（0.01㎡当たり100点程度）

L S低密度：10m先の点間距離が12mm程度（0.01㎡当たり50点程度）

<考察>

○凹凸が無い覆工コンクリートの計測は、計測距離10m内でT Sと±5mm以内の精度が確認できた。

⇒明かり部で事前に実施した精度確認試験結果(L=約10mで±3mm～±5mm)の精度と同等。

⇒他の施工者事例で10～20m程度を計測範囲としている事例もあり、又、計測会社からも今回程度の計測範囲が、精度確保に妥当な距離との見解を得ている。

○厚さの計測精度が、内空（幅・高さ）に比べて低くなり、ばらつく傾向に対し考えられる原因として下記が考えられる。

- ・吹付けコンクリート施工後の計測、覆工コンクリート打設後の計測の計2回を実施するため、2回分の計測精度（T Sとの比較）の影響を受ける。
- ・吹付けコンクリート面の凹凸の影響を受ける。

T Sで計測した点とL S計測点（点群から抽出した2点加重平均点）とのズレの影響

(2) 現場の計測作業

表4 L S計測時間

	L S高密度	L S低密度
1回計測当たり所要時間	10分程度	5分程度

・上記計測時間に、基準点測量、標定点計測等の事前作業として、20分程度を要する。

・2回目以降は、L S移動と標定点計測（両方で5分程度）を実施後、計測を繰り返す。

(3) 点群処理等の作業

計測した点群データを持ち帰って、フィルタリング、間引き、計測断面の抽出等に所要する時間は、20mの延長で2時間程度。厚さを算出する場合は、2倍の4時間程度。

第2章 LSの精度確認試験実施手順書および試験結果報告書

現場におけるLSの測定精度を確認するために、現場に設置した2箇所以上の既知点を使用し、既知点間の距離Lを比較し精度確認試験を行う。

【測定精度】

標定点間距離L ±5mm 以内

【解説】

受注者は、利用する機器の特徴を十分に把握した上で、**図14**のようにLSで計測を行う計測最大距離の範囲に10m以上離れた2つ以上の既知点を設置する。

受注者は、設置した2箇所以上の既知点間の距離を計測（TSで座標を計測し距離を求めても良い）した結果と、LSを用いて計測した結果から得られる2点間の距離を比較し±5mm以内であることを確認する。

既知点とLSの位置関係は、LSの回転軸と平行にならない位置に配置すること。

既知点の点間距離の較差 既知点の点間距離 L(TS) - 既知点の点間距離 L(LS) = ±5mm 以内

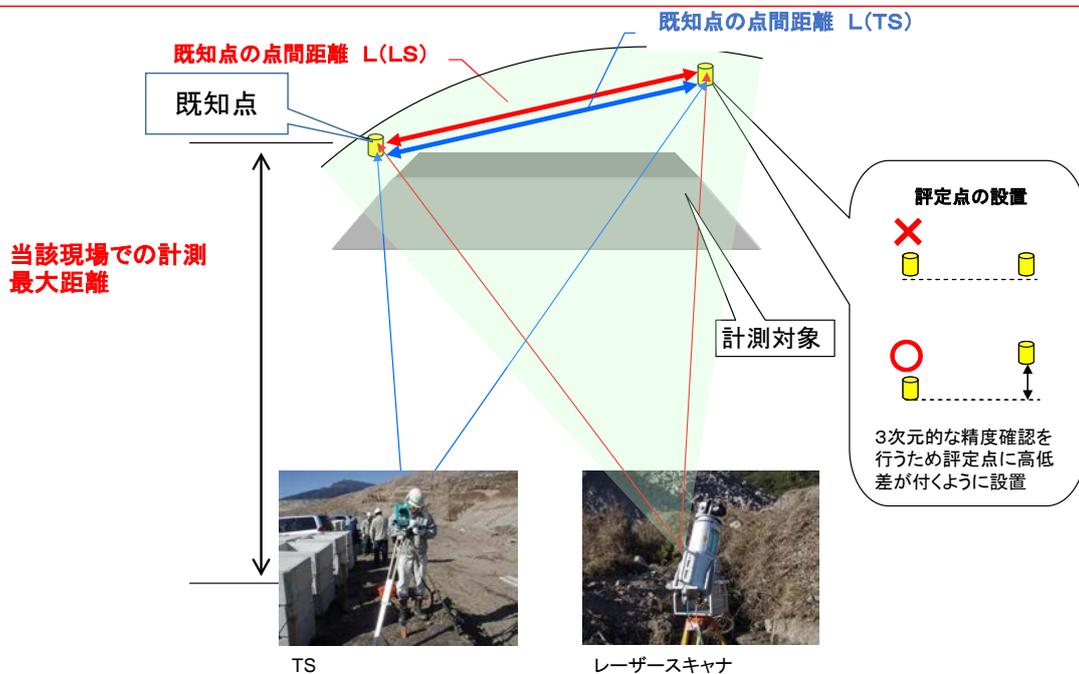


図14 精度確認試験の配置イメージ図

LS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する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、LS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6ヶ月以内に精度確認試験を実施することとする。

2. 実施方法

①現場での実施方法

計測機器本体から被計測対象の最大計測距離以上となる位置に2箇所以上の既知点を設置し、LSによる計測結果から得られる既知点の点間距離を計測する。

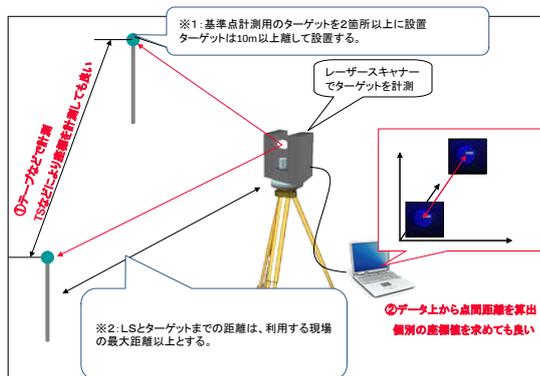


図 15 LSと既知点の設置

②事前の実施方法

上記と同様の手法を用いて、事前に精度確認を行うことも可能である。この場合、利用する現場条件を特定できないことから、計測機器の仕様に応じて、計測予定距離以上の距離に既知点を設置し、その精度が±5mm以内であることを確認する。

3. 検査点の検測

設置した検査点（基準点）をTSあるいはテープで計測する。

4. 評価基準

計測結果を従来手法による計測結果と比較し、その差が適正であることを確認する。

表 5 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
点間距離	±5mm 以下	既知点は出来形計測で利用する最大計測距離以上の位置に配置する。 検査点は 10m 以上の離隔を確保する。

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-1)

精度確認試験結果報告書

計測実施日：平成21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)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：LS420</p> <p>測定装置の製造番号：R00891</p>	<p>写真</p> 
<p>検証機器（標定点を計測する測定機器）</p> <p>■テープ：JIS1種1級（ガラス繊維製巻尺）</p> <p> ■〇〇製 商品名：〇〇</p> <p>□TS：3級TS以上</p> <p>□SS製 〇〇（2級）</p>	<p>写真</p> 
<p>測定記録</p> <p>測定期日：平成21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)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>■既知点の座標間距離</p>	

図 16 機器の動作状況と精度確認結果の事例

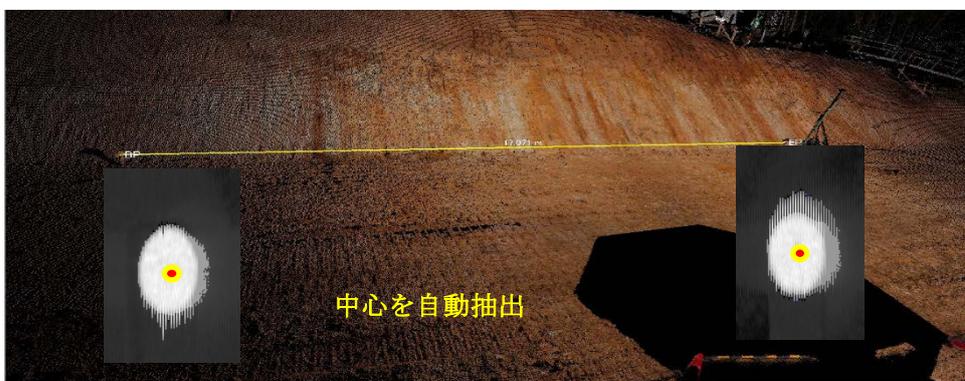
・精度確認試験結果（詳細）

①テープによる検査点の確認



計測方法：(テープ) or TSによる座標間距離 or TSによる座標値計測
計測結果：17.070m

②LSによる確認



3DLSによる既知点の点間距離 (L')				
	X	Y	Z	点間距離
1点目	44044.700	-11987.621	17.870	17.071m
2点目	44060.775	-11993.355	17.502	

③差の確認（測定精度）

レーザースキャナーの計測結果による点間距離 (L') — テープによる実測距離 (L)
17.071m - 17.070m = 0.001m (1mm) ; 合格 (基準値 5mm 以内)

図 17 機器の動作状況と精度確認結果の事例