

地上レーザスキャナを用いた 港湾構造物の出来形計測

2025年 3月

一般社団法人 海洋調査協会

説明にあたって(注意事項)

※ 以降の説明は、現時点での「地上レーザスキャナ」の利用についての一例を示したものであり、地上レーザスキャナやソフトウェアの使用方法、及び出来形管理に係る計測方法等を規定するものではありません。

目 次

1. 地上レーザスキャナの概要
2. 地上レーザ計測の作業手順
3. 地上レーザスキャナを用いた港湾構造物の出来形計測

目 次

1. 地上レーザスキャナの概要

2. 地上レーザ計測の作業手順

3. 地上レーザスキャナを用いた港湾構造物の出来形計測

地上レーザスキャナ(TLS; Terrestrial Laser Scanner)

三脚等に据え付けて固定し、測量対象となる構造物や地形、建物にレーザ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、三次元の点群を取得する機器である。

- ◆ 地上レーザースキャナによる計測技術は、航空測量に用いられるレーザ計測技術を、地上利用に応用した技術
- ◆ 直進する性質を持つレーザ光線を多数(1秒間に数万～100万回程度)対象物に向けて発射し、反射による戻り時間を計測することによって、対象物の高精度な3次元デジタル形状データを取得



地上レーザスキャナの種類

■精度、測定距離、測定点数、価格等の比較(例)

機種	精度 @10m距離内	最長測定距離	測定点数 (点/秒)	価格	備考
機種A	±5mm	800m	122,000	約4,000万円	長距離・中距離
機種B	±4mm	120m	50,000	約2,000万円	中距離・近距離(汎用型)
機種C	±3mm	120m	1,000,000	約2,000万円	中距離・近距離(汎用型)
機種D	±3mm	270m	1,000,000	約2,000万円	中距離・近距離(汎用型)
機種E	±3mm	60m	360,000	約250万円	軽量・小型



地上レーザ計測の特徴等

◆ 地上レーザ計測の特徴、メリット・デメリット

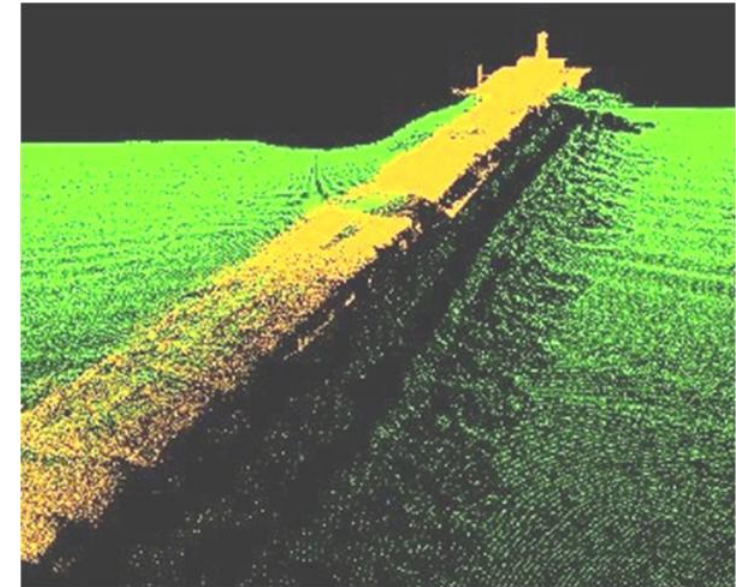
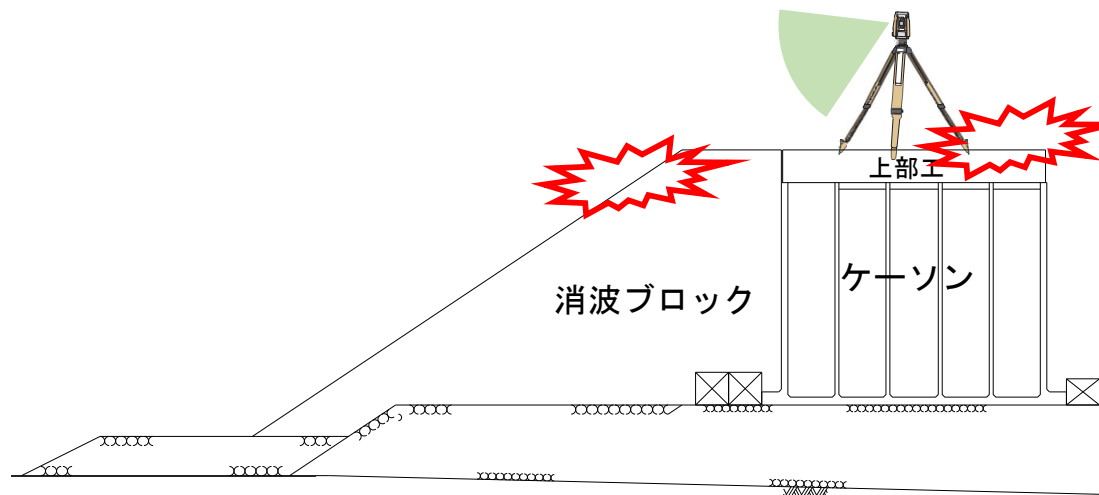
特徴等	<ul style="list-style-type: none">➤ 陸上部の構造の高さや形状について、一度に広範囲の詳細なデータ取得が可能である。➤ 位置座標に加え色(RGB)データの取得が可能である。 <p>【計測概要】</p> <ul style="list-style-type: none">● 測定範囲:300m● データの取得点間隔:6.3mm(機器より10mの位置)● 計測時間:約20分/回● 1日あたりの作業量:5～10箇所程度 <p>「海岸保全施設維持管理マニュアル」(令和2年6月 農林水産省 国土交通省)より引用</p>
メリット	<ul style="list-style-type: none">➤ 高精度で詳細なデータが取得できる。➤ 非接触での測量なので、危険な箇所に立入らずに測量が可能である。➤ 従来の実測に比べ、現地での作業・室内の測量計算の作業時間が短縮されるため、データ取得の効率化、工期短縮、コストの低減が可能である。➤ 定量的なデータであり、数量計算や変位量の算出が可能である。
デメリット	<ul style="list-style-type: none">➤ 初期導入費(2000万円程度)、維持管理費(年間80万円程度)が高額である。(※機器による)➤ 計測データの容量が大きいため、PCでの処理に支障をきたすことがある。➤ 黒いもの、鏡面、水面、透明なものに対しては計測出来ない。➤ 動くものに対しては正確なデータが取得出来ない。

港湾分野における地上レーザスキャナの活用

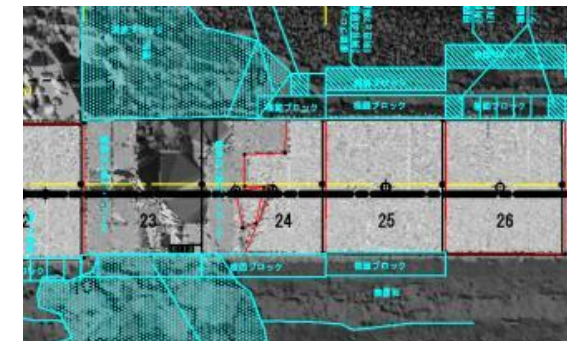
① 港湾施設の維持管理に係る点検診断

➤ 維持管理における点検診断には新技術の活用が推奨されている。

- ✓ 3次元データを用いた詳細定期点検診断
- ✓ 3次元データを用いた詳細臨時点検診断



防波堤の計測
地上レーザスキャナ(黄色) + マルチビーム(緑色)



3次元図を用いた変状図
(イメージ)

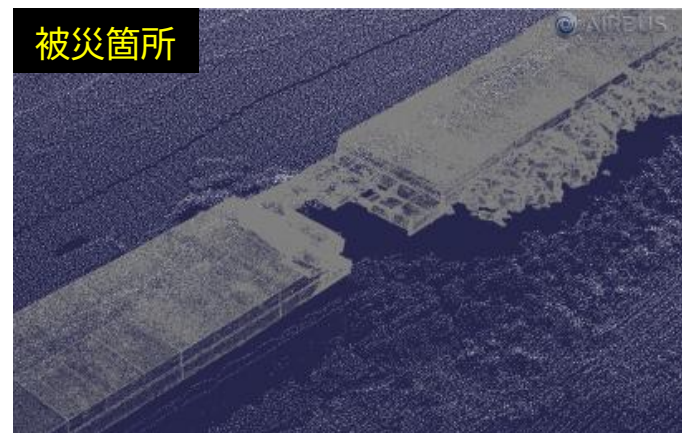
港湾分野における地上レーザスキャナの活用

② 災害対応

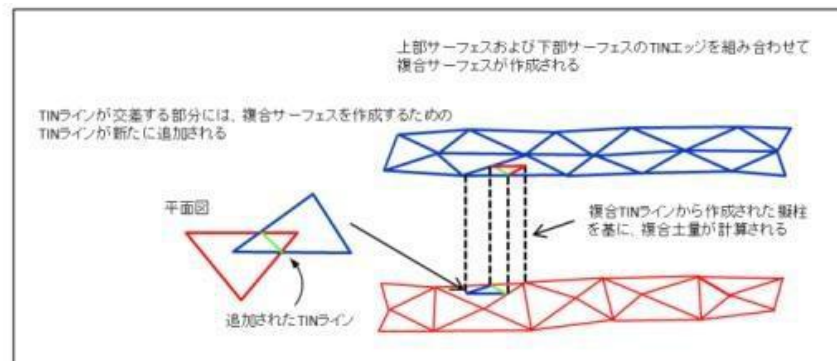
- ✓ 3次元データを用いた被災状況調査(一般・詳細臨時点検診断に準じる)
- ✓ 3次元データを用いた災害復旧設計に係る工事数量算出

■被災状況調査への活用

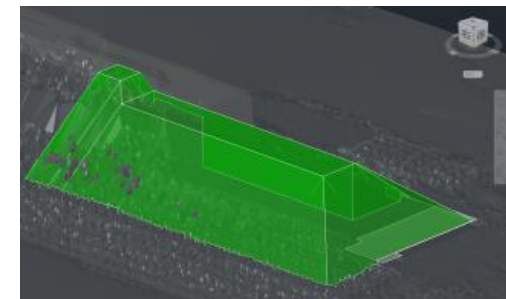
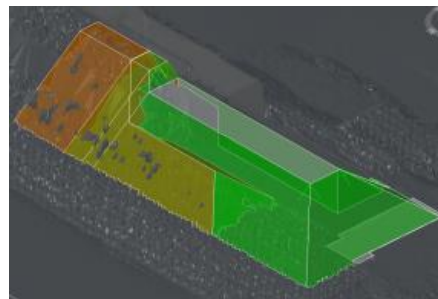
防波堤の被災箇所の3次元図
(下図はUAV+マルチビーム)



■工事数量の算出への活用



3次元計算の方法(プリズモイダル法)



現況3次元モデル
(被災後地形)

3次元設計モデル

災害復旧工事数量

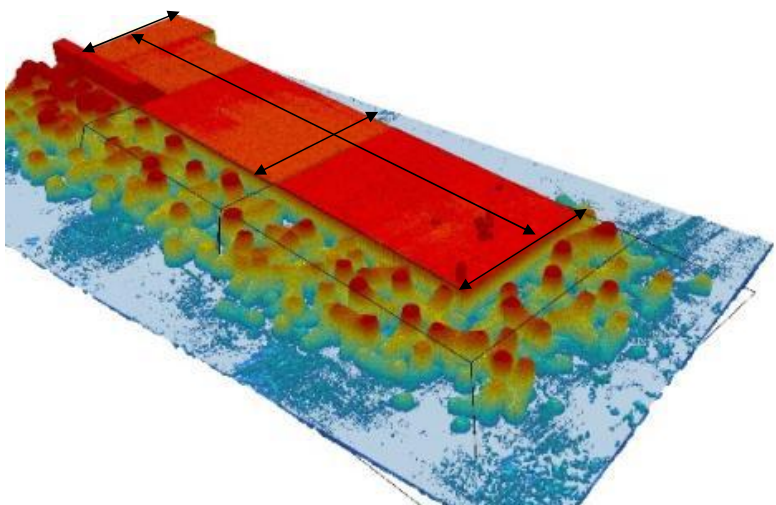
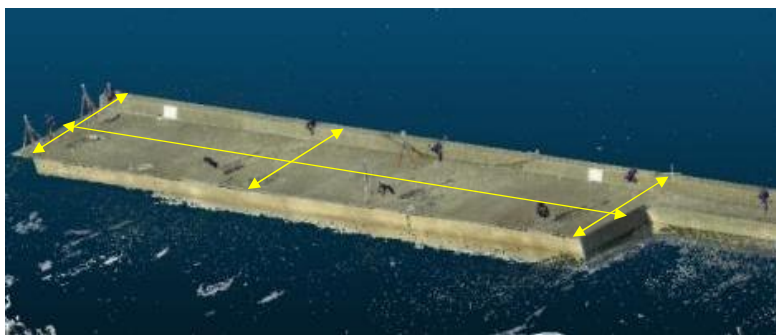
港湾分野における地上レーザスキャナの活用

③ 港湾工事の出来形管理への適用

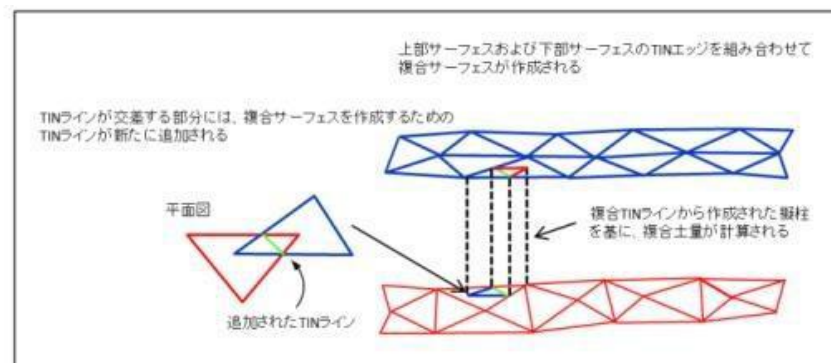
- ✓ 3次元データを用いた出来型管理
- ✓ 3次元データを用いた工事数量算出

■出来形管理への活用

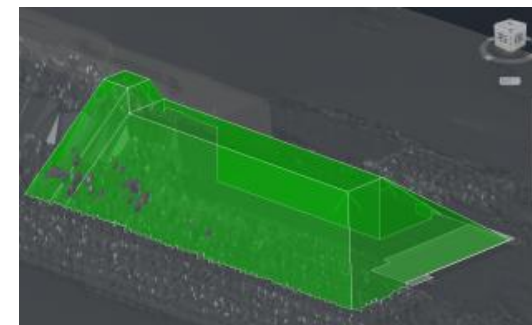
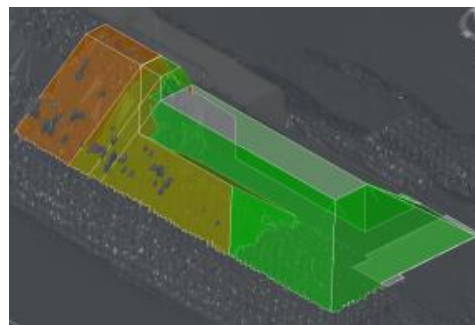
上部コンクリート打設に係る延長、幅の計測イメージ



■工事数量の算出への活用



3次元計算の方法(プリズモイダル法)



起工測量3次元モデル

3次元設計モデル

工事数量

目 次

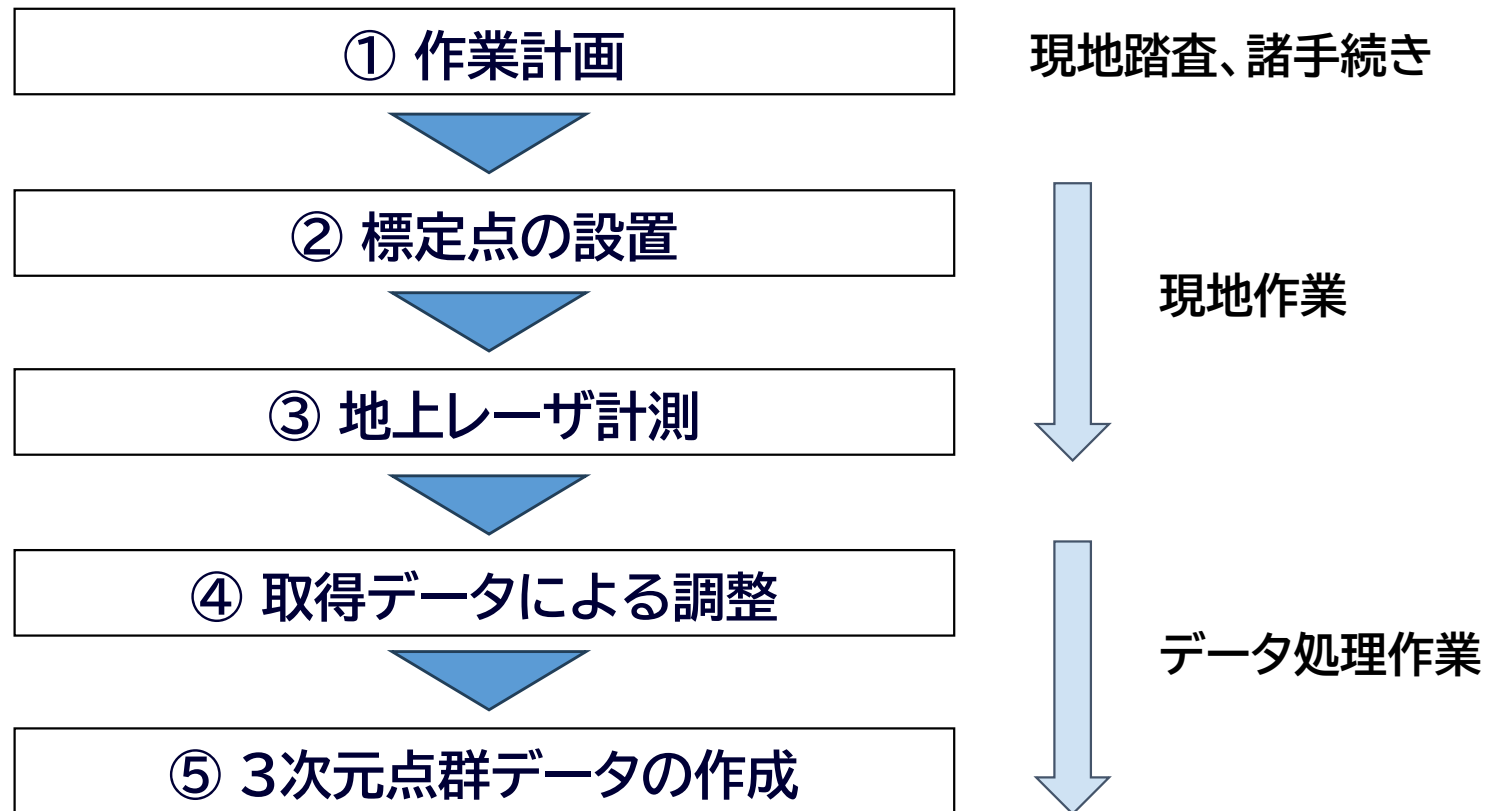
1. 地上レーザスキャナの概要
- 2. 地上レーザ計測の作業手順**
3. 地上レーザスキャナを用いた港湾構造物の出来形計測

地上レーザ計測に係る基準類、参考図書

2024年12月 現在

区分	図書の名称	記載箇所	内容
基準	作業規定の準則 (平成20年3月31日国土交通省告示第413号、一部改正令和5年3月31日国土交通省告示第 250号)	第4編第2章 地上レーザ測量	三次元点群測量の作業方法等を規定
	地上レーザ測量システムを用いた三次元点群合成マニュアル (令和6年3月 国土交通省国土地理院)	-	地上レーザスキャナを用いて計測範囲全体を計測した個別の点群データを合成処理することで得られる全体の点群データを、計測範囲全体の外側数か所に設置した標定点の座標に基づいて平面直角座標系に変換することで三次元点群データを得る方法を規定
	3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案) (令和6年3月版 国土交通省)	-	工事の出来形管理要領 地上レーザスキャナの適用工種、出来形管理の方法
参考図書	海岸保全施設維持管理マニュアル (令和2年6月 農林水産省 国土交通省)	参考資料-2 点検に関する技術の例	地上レーザスキャナの活用紹介
	BIM/CIM活用ガイドライン(案) (令和4年3月 国土交通省)	第1編共通編	地上レーザ測量の特徴、主な利用場面

地上レーザ計測による3次元点群データの作成の流れ



地上レーザ計測による三次元点群データ・出来形計測の流れ

■ 説明に使用した機器

使用機器		Focus Laser Scanner S70 (FARO社製)
	明瞭識別距離	122,000-488,000点/秒 @614m 976,000点/秒 @307m
	範囲誤差	±1mm
	角度誤差	垂直/水平に対し19秒角
	レーザー波長	Laser class 1
	重量	4.2kg(バッテリー含む)
	サイズ	230×183×103mm
点群データ処理ソフトウェア		Trimble RealWorks (Trimble社製)



FARO Focus Laser Scanner S70

作業計画

- 計測目的の把握
- 現地計測場所、計測時期の把握
- 必要な成果の把握
- 必要機材の選定・準備
- 使用する既設基準点情報の入手、なければ基準点設置の検討
- 事前の現地踏査
- 現地における事前調整、関係機関手続き(※)、周知
- 現地作業計画の立案、作業計画書の作成

※関係機関手続き

必要に応じて港湾管理者への作業申請、占用許可申請

■ 作業計画書の記載(例)

1. 使用機器

本業務は主に下記機器を使用して実施する。

地上レーザスキャナ

Leica 社製 RTC360

・性能：±1.0mm+10ppm

各種計測用 T S

TOPCON 社製 OS-105

・性能：± (2mm+2ppm×Distance)

各種計測用 GNSS

Trimble 社製 R10

データ解析ソフトウェア

Leica 社製 Cyclone Ver9.4.0

Leica 社製 Cyclone Register360

1.1. 地上レーザ計測

地上レーザスキャナによる地上レーザ計測を行います。計測に当たって以下の仕様を標準とする。

1. 使用機器

1-a 距離精度1.9mm@10m以下の性能。

1-b データ合成精度±10mm未満。

1-c 地上レーザスキャナでの計測位置と同位置からの内臓のCCD画像を取得し、点群データと合成表示が可能なものとする。

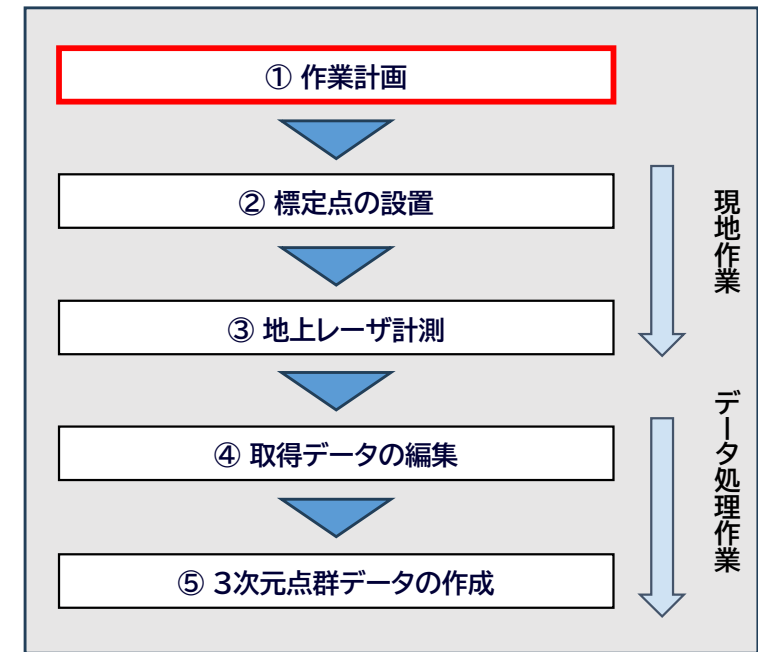
1-d 測点(点数/秒)は、1秒間に最大200万点の性能を有する機器とする。

2. 計測仕様

2-a レーザリフレクタは計測範囲に4点以上測設する。

2-b レーザリフレクタの中心座標はトータルステーションによる放射観測を実施する。

2-e 測量距離は0.45m以上100m以内とする。



標定点の設置（現地作業）

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(標定点)を設置する作業のことをいう。

- 標定点の設置を行い、標定点の位置の観測を行う。
- 標定点観測の基準点は、既設の点を用いることを基本とするが、既設の点がない場合には、GNSSスタティック観測などにより新たに基準点を設置する。



標定点の配点計画(例)



標定点(標識)の種類
球体ターゲット(スフィア)

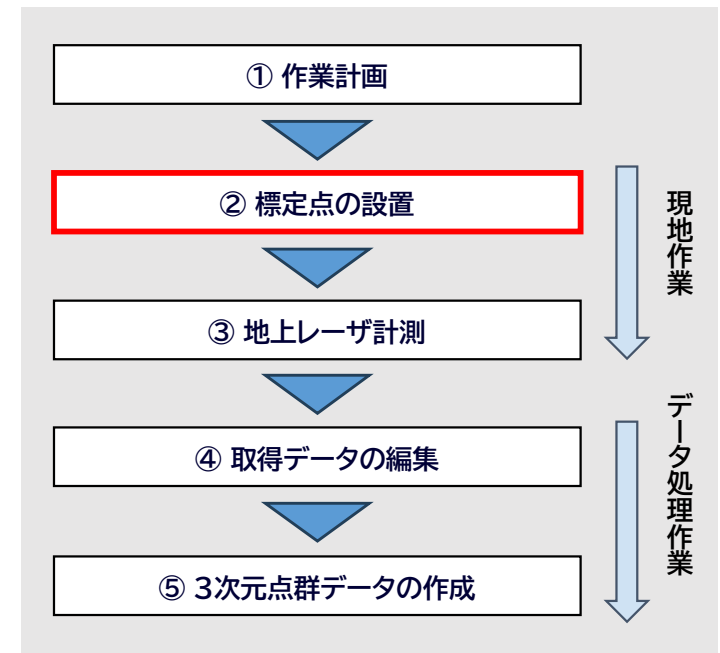


標定点(標識)の種類
白黒ターゲット

標定点の設置（現地作業）

■基準点の観測

GNSSスタティック観測状況(例)



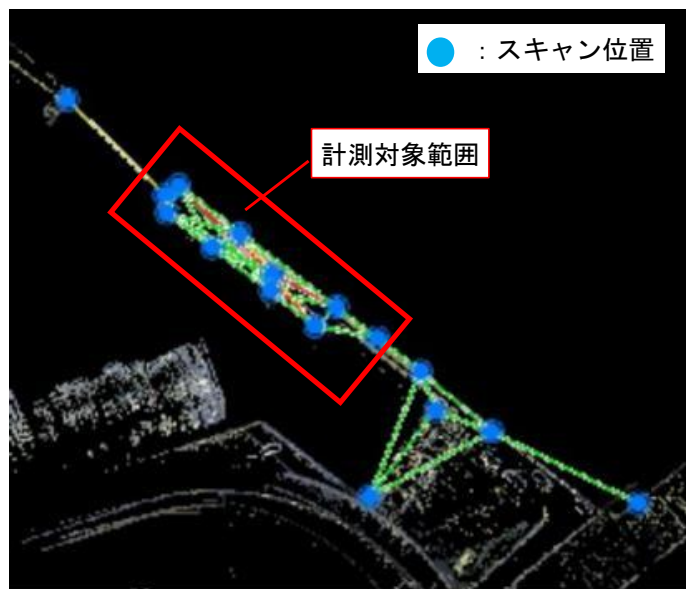
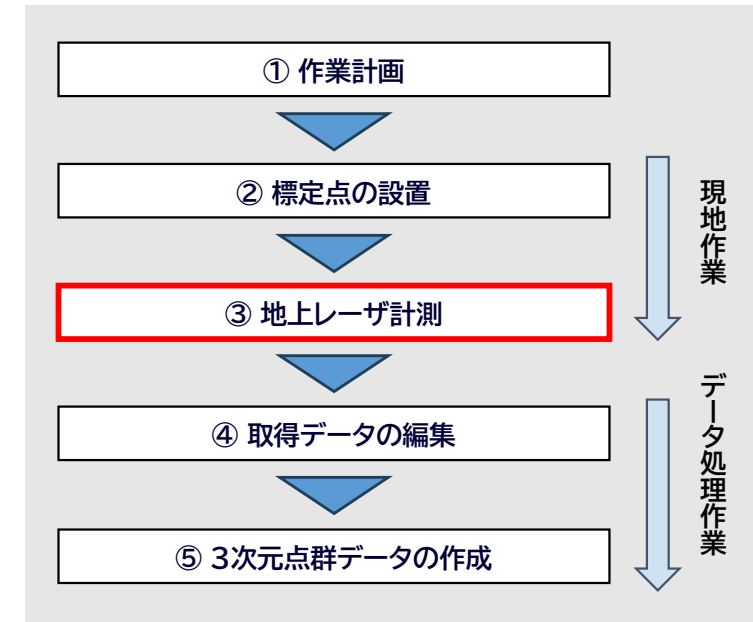
■標定点の位置観測

TSによる標定点(標識)を設置する位置の観測状況(例)



地上レーザ計測（現地作業）

- 計画した観測点において、地上レーザスキャナを設置し計測を行う。
- レーザスキャナ内蔵のカメラにて画像を取得する。



レーザスキャナの設置位置(例)



レーザスキャナ計測状況(例)

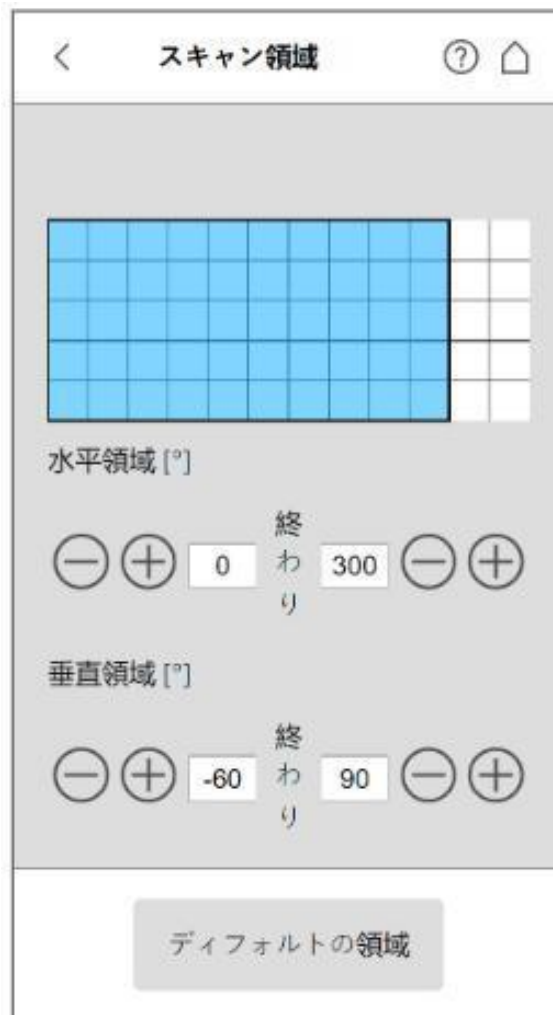


地上レーザ計測（現地作業）

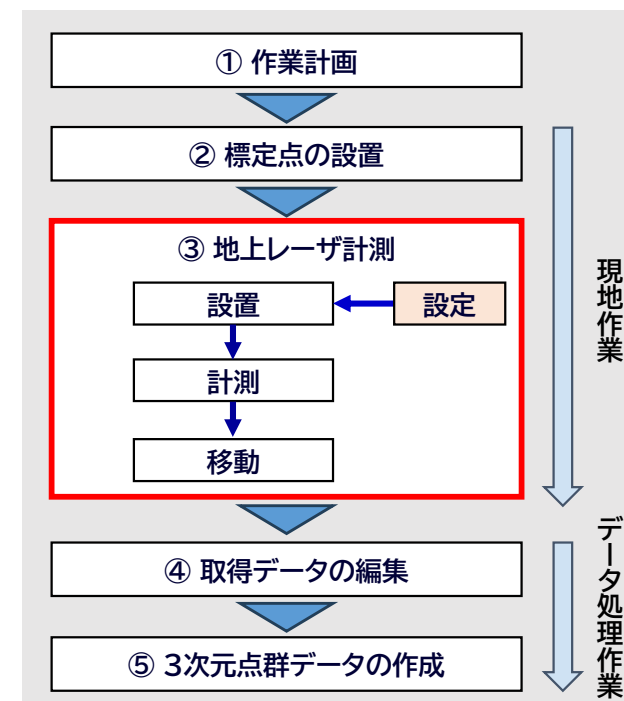
- スキャン範囲、解像度などの計測内容を設定する。



レーザスキャナの設定(例)
パラメーターの設定



レーザスキャナの設定(例)
水平・垂直方向の範囲設定

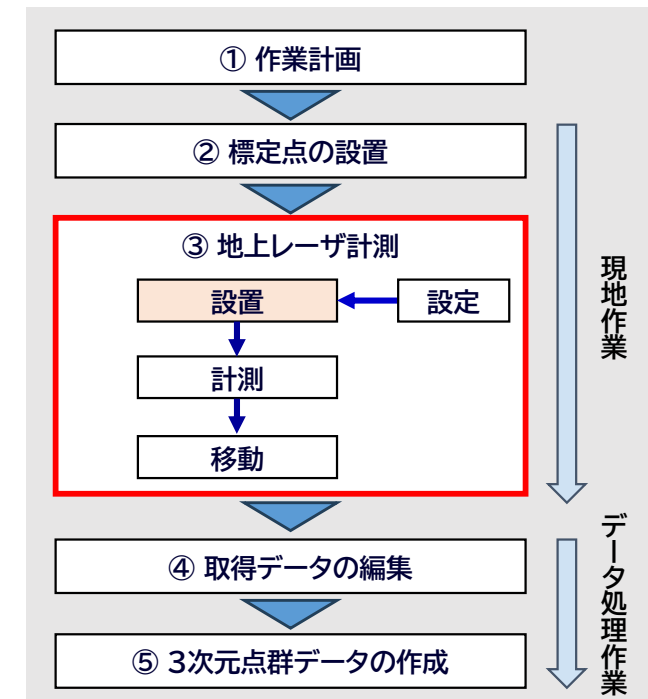


地上レーザ計測（現地作業）

- スキャナ本体を計測位置に設置する。



スキャナ本体の設置状況(例)



スキャナ本体の計測開始の操作状況(例)

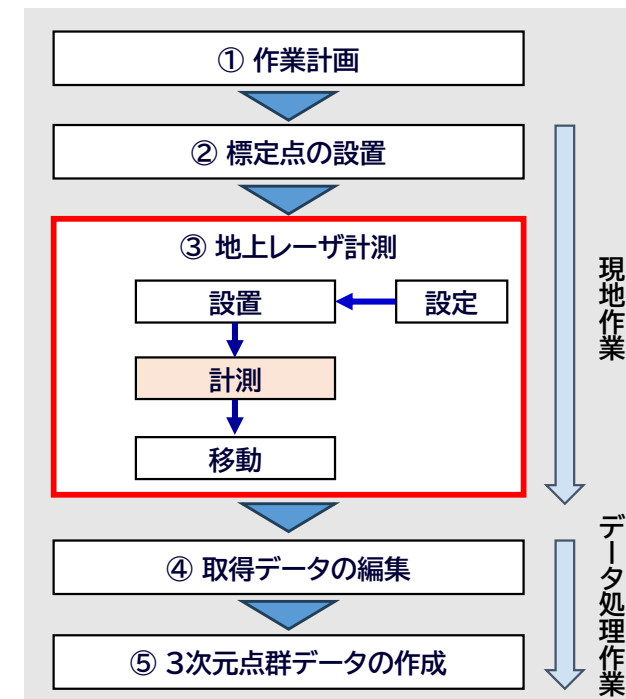
地上レーザ計測（現地作業）

- スキャナによる計測(スキャン)、カメラ撮影を行う。

スキャナー本体にて、スキャン開始のアイコンをクリックすると計測(スキャン)とカメラ撮影が開始される。



計測(スキャン)が開始されると右図の表示になる。



地上レーザ計測（現地作業）

- スキャナによる計測(スキャン)、カメラ撮影を行う。

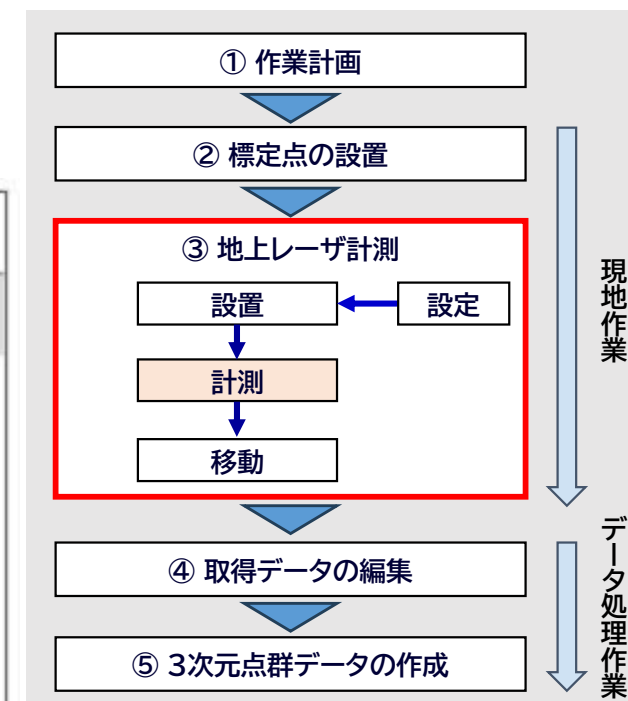


1回転目でスキャナによる計測(スキャン)
2回転目でカメラ撮影



スキャンのプレビュー画面(例)
データの確認

計測(スキャン)や撮影中は、
レーザ照射方向に立たないようにする。



カメラによる撮影画像(例)

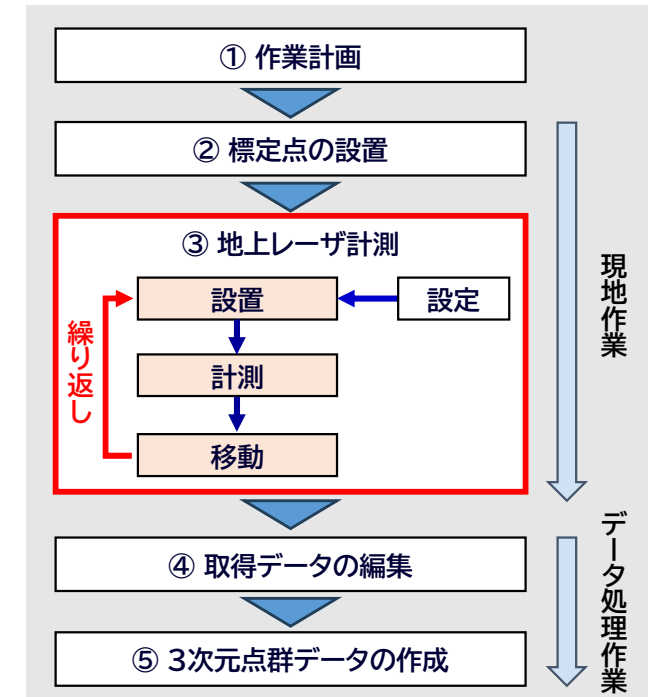
地上レーザ計測（現地作業）

- 観測点ごとに移動、設置、計測を繰り返す。



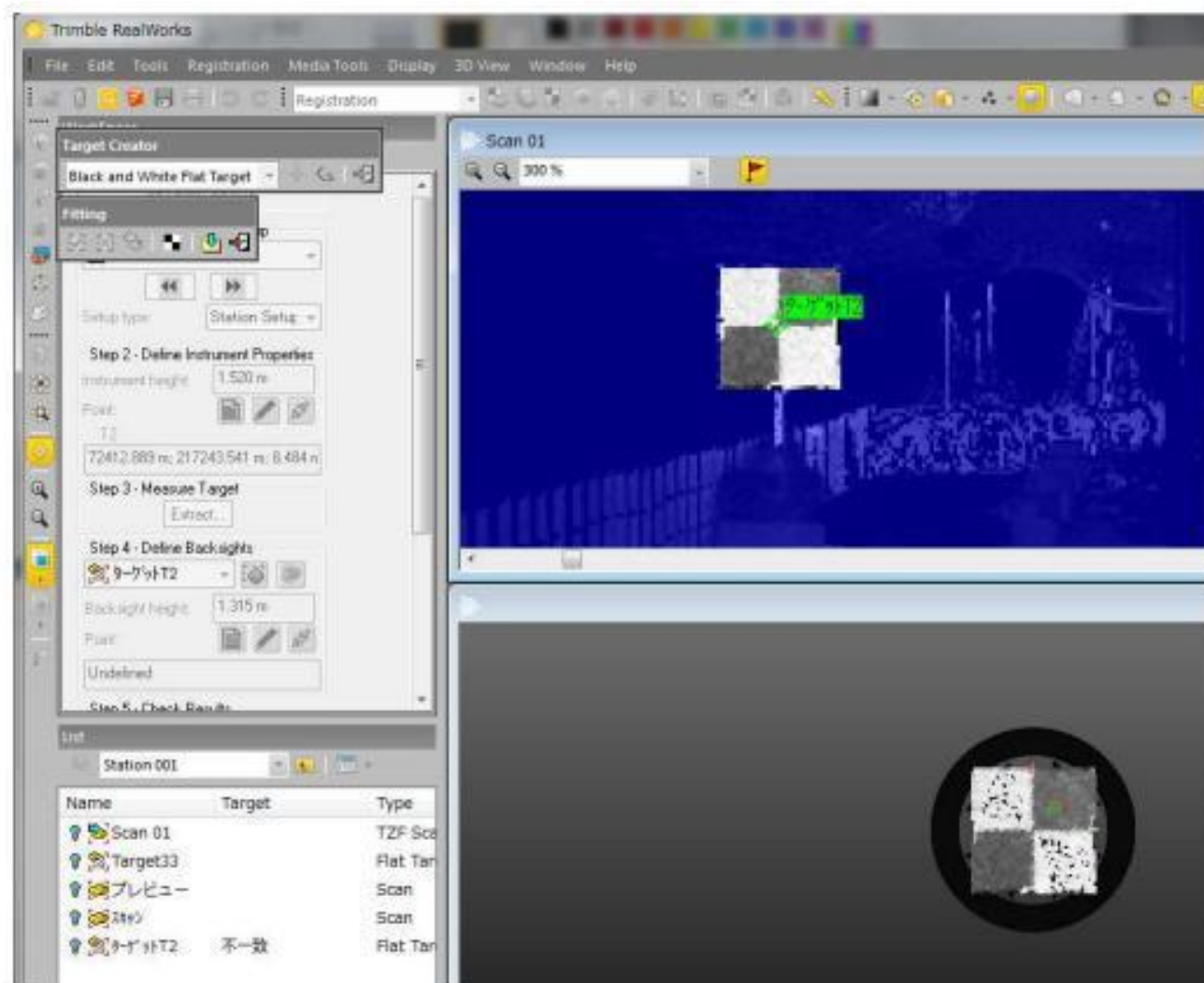
計画した次の設置箇所へ地上レーザースキャナを移動させ設置

次の地点で計測(スキャン)・カメラ撮影

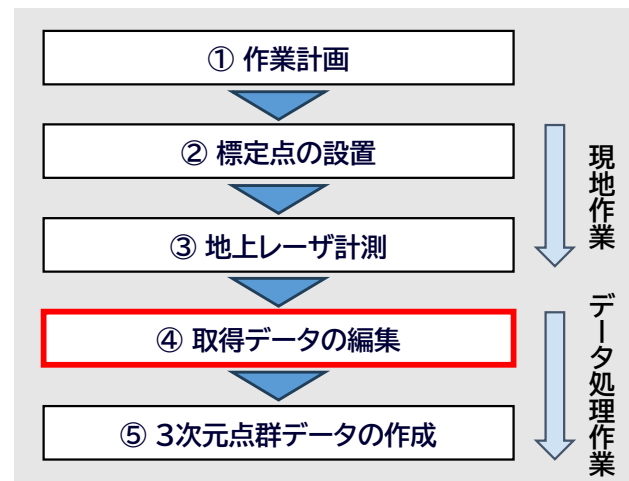


取得データの編集(データ処理作業)

- 点群データ処理ソフトウェアを用いて、取得したデータ(点群データや標定点座標)の統合や位置合わせを行う。



標定点による位置合わせ処理(例)
上記画像では、スフィアではなく、白黒ターゲットの例

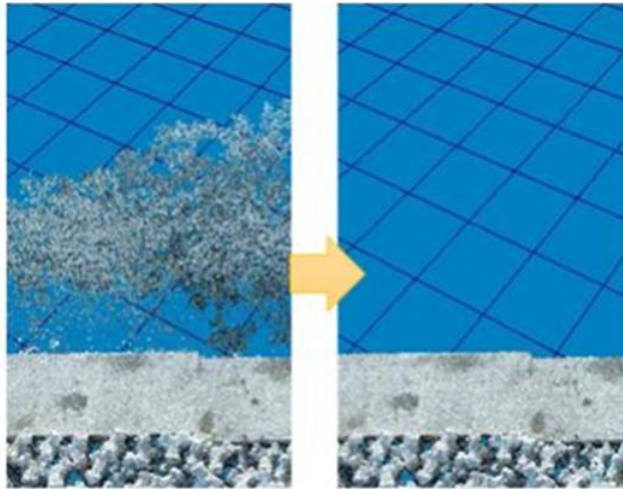


標定点の位置座標(例)

点名	X座標	Y座標	標高
2-1	104549.971	47818.627	6.157
2-2	104550.238	47796.191	6.151
2-3	104466.369	47793.459	6.117
2-4	104464.022	47818.457	5.207
2-5	104343.884	47813.018	5.263
2-6	104336.637	47787.97	4.66
2-7	104230.53	47789.138	4.861
2-8	104232.493	47816.907	5.243
2-10	104125.884	47796.118	5.252

3次元点群データの作成

- 専用のソフトウェアを用いてデータの統合や位置合わせの調整後にノイズ除去などの編集を行う。
- 3次元点群データを作成する。



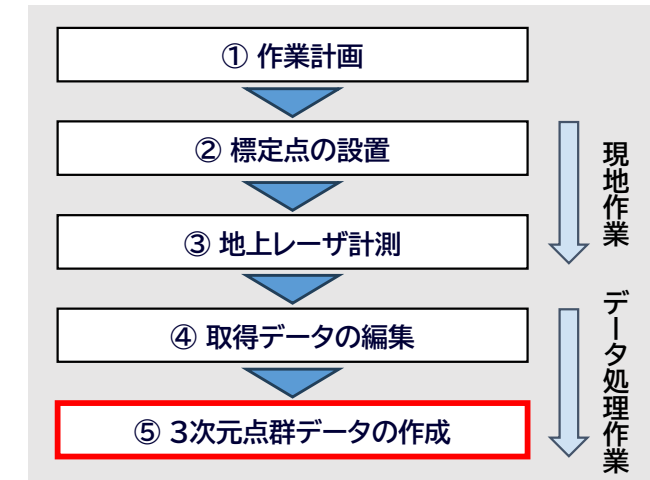
水面で取得された点群データを削除した例



ノイズ除去前の3次元点群データ(例)



ノイズ除去後の3次元点群データ(例)



目 次

1. 地上レーザスキャナの概要
2. 地上レーザ計測の作業手順
- 3. 地上レーザスキャナを用いた港湾構造物の出来形計測**



◆ 地上レーザスキャナによる出来形管理への適用の状況

地上レーザスキャナは、道路分野を中心に出来形管理への適用が標準化(※)されている。

一方、港湾工事においては、マルチビームソナーやUAVの活用が一部の工種で標準化されているものの、地上レーザスキャナについてはどの工種についても標準化がなされていない。

※「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」(令和6年3月版 国土交通省)を参照

◆ 地上レーザスキャナを用いた港湾構造物の出来形計測

そこで、港湾構造物を対象に地上レーザスキャナを用いた出来形計測を行い、道路分野等で標準化されている出来形管理(出来形の評価)の手法を用いて、天端幅や延長などの出来形管理に係る計測を行った。

出来形計測の対象

地上レーザ計測時期： 2023年10月



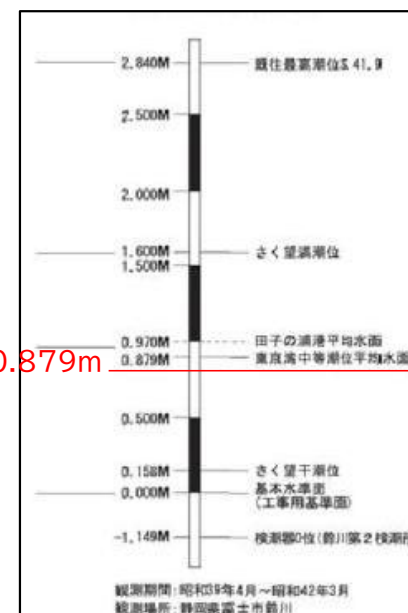
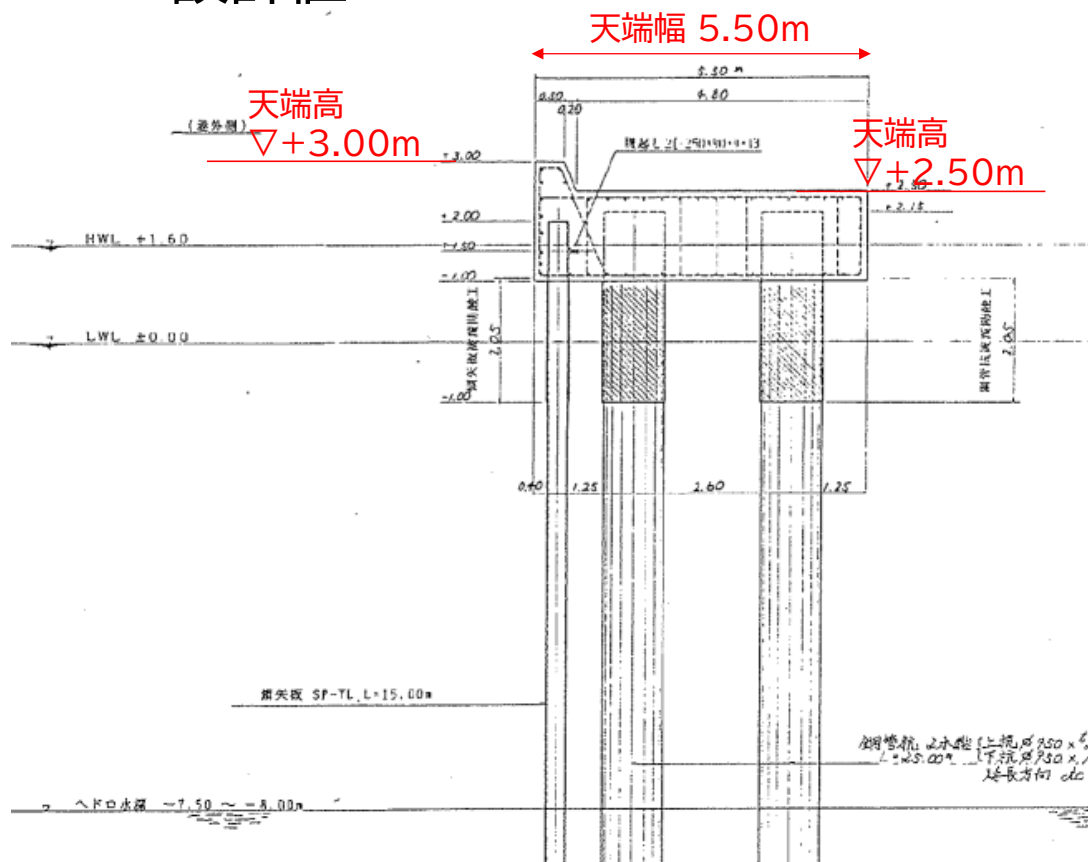
出来形計測の対象

区分	規模	備考
施設延長	約40m	試験対象の延長
天端幅	5.50m	
天端高	上部工(胸壁)	DL.+3.00m
	上部工(水叩き)	DL.+2.50m



設計値

防波堤(波除)B区間標準断面図 (鋼矢板棚杭式構造)



出来形計測の実施

➤ 使用機器

区分	機器名称	性能
地上レーザスキャナ	RTC360 (Leica社製)	$\pm 1.0\text{mm} + 10\text{ppm}$
トータルステーション	OS-105 (TOPCON社製)	$\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm} \times \text{Distance})$
GNSS	R10 (Trimble 社製)	-



地上レーザスキャナ



トータルステーション



レーザーリフレクタ (標定点)



GNSS

出来形計測の実施

➤ 地上レーザ計測、3次元点群データの作成

作業項目	作業内容
① 基準点の設置、 標定点（標識）設置・観測	・ 計測の基点として、GNSSスタティック観測により基準点を設置 ・ 標識として用いたレーザリフレクタを設置、設置位置の観測
② 地上レーザ計測	・ 対象施設の上部工上面全体を計測するため、複数の計測点を設けて計測
③ 取得データの編集・ 3次元点群データの作成	・ データ解析ソフトウェアにより取得データの編集、ノイズ処理 ・ 3次元点群データの作成



①基準点の設置

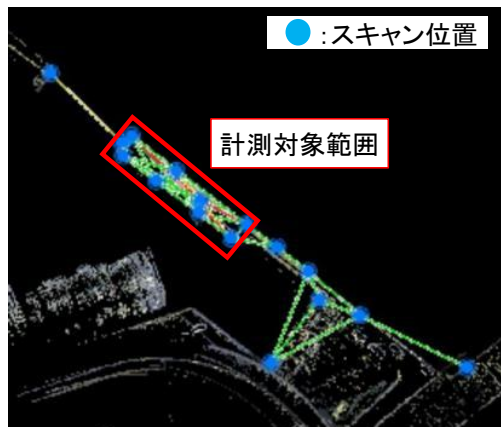


①標定点（レーザリフレクタ）の設置・観測



②計測（スキャン・撮影）

計測位置



③ 3次元点群データの作成（図は色付点群）

出来形計測の内容

地上レーザスキャナで取得した3次元点群データを用いて、既設の防波堤上部コンクリート(新設の上部コンクリートと見立てて)において、以下の出来形管理項目を計測した。

■ 計測項目

- ・ 天端高
- ・ 天端幅
- ・ 法線に対する出入

港湾工事 出来形管理基準 14.上部工 14-1上部コンクリート工 イ)防波堤

工 種	管理項目	測定方法	測定密度	測定単位	結果の整理方法	許容範囲	備 考
上部コンクリート工 イ)防波堤	天端高又は厚さ	レベル等により測定	天端面は1スパン4箇所以上 パレット頂部は1スパン2箇所以上	1cm	測定表を作成し提出	天端幅10m以下の場合は ±2cm 天端幅10mを超える場合は +5cm-2cm	様式・出来形14-1参照 天端高さ又は厚さの管理項目の選定は「特」による。 注)本体がケリンの場合 ケリン質量 2,000t未満 ±20cm 2,000t以上 ±30cm
	天端幅	スチールテープ等により測定	1スパン3箇所	1cm	測定表を作成し提出	天端幅10m以下の場合は ±3cm 天端幅10mを超える場合は +5cm-3cm	
	延長	スチールテープ等により測定	法線上	1cm	測定表を作成し提出	+規定しない -0	
	法線に対する出入	トランシット、スチールテープ等により測定	1スパン2箇所	1cm	測定表を作成し提出	±5cm 注) 又は「特」による	

出来形の計測方法

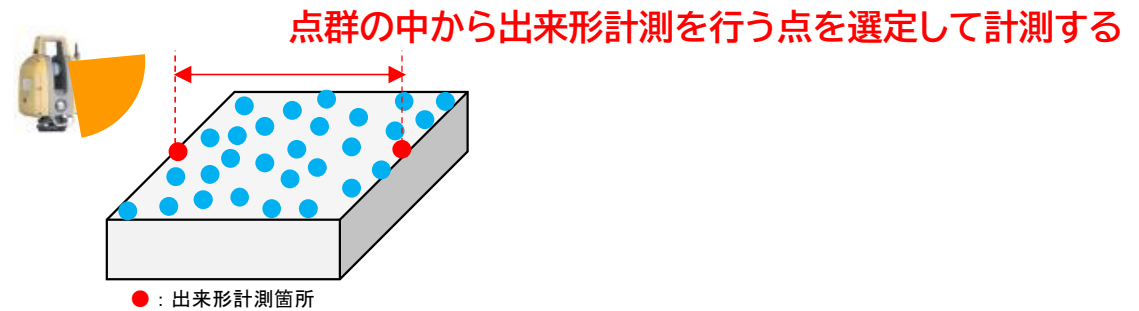
出来形の計測は、「3次元計測技術を用いた出来形管理基準要領(案)」の適用工種のうち、「**構造物工(橋脚・橋台)**」と同じ方法とした。

多点計測技術を用いる場合

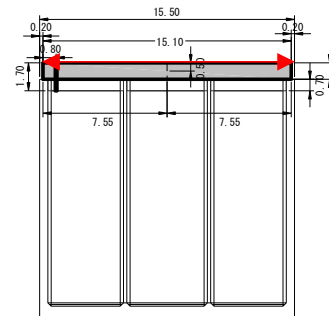
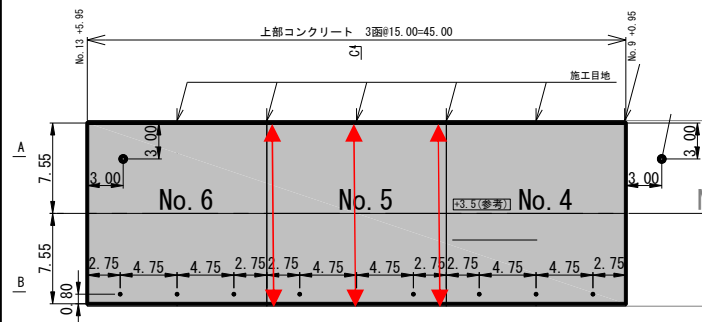
点群から出来形管理項目の端部座標を選び、寸法を算出する。



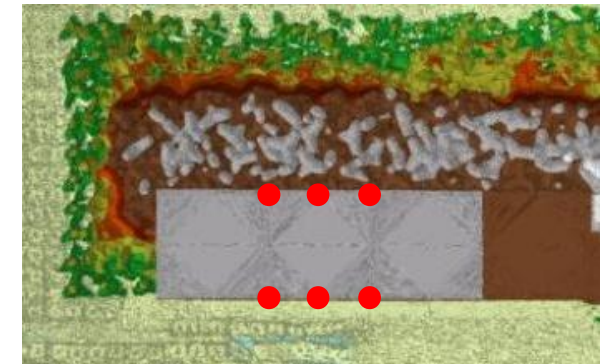
延長・天端幅・天端高・法線に対する出入を計測



【出来形管理項目の計測のイメージ】



【出来形計測位置】



【3次元データにおける座標計測】

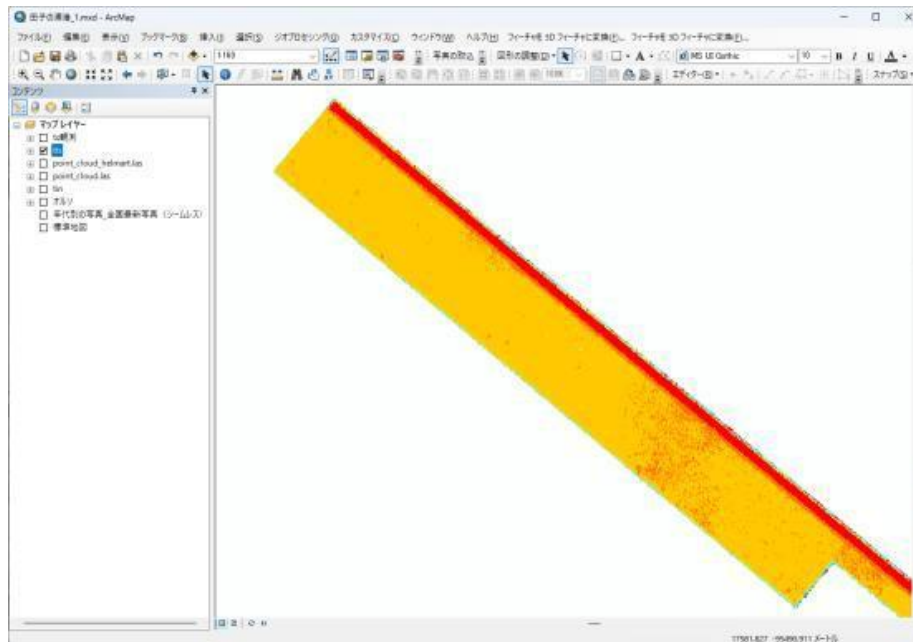
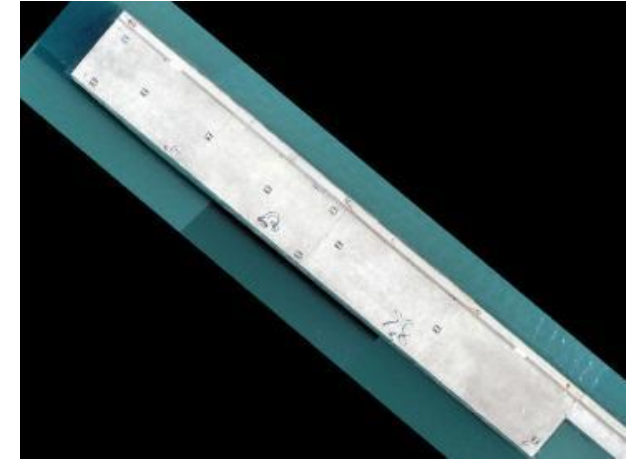
出来形の計測(例)

出来形管理項目の計測は、3DcadやGISなどの3次元点群を解析できるソフトウェアで行うことが出来る。

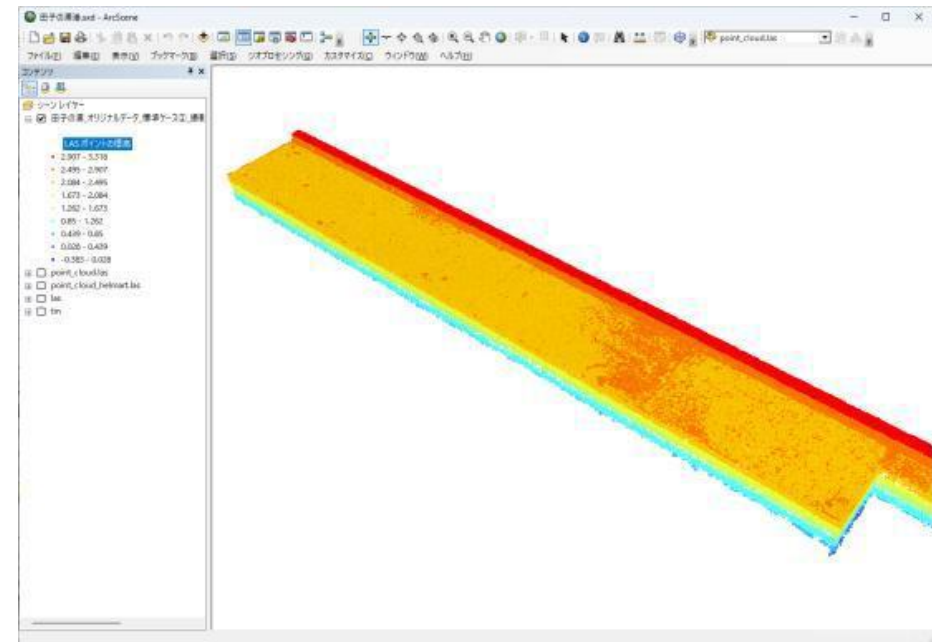
ここでは、**GISを用いた出来形管理項目の計測事例**を示す。

■ 出来形管理項目の計測に関するGISの機能(一部)

- ・ **3次元点群データの表示**
- ・ **点間距離の計測、天端高などの高さの計測**



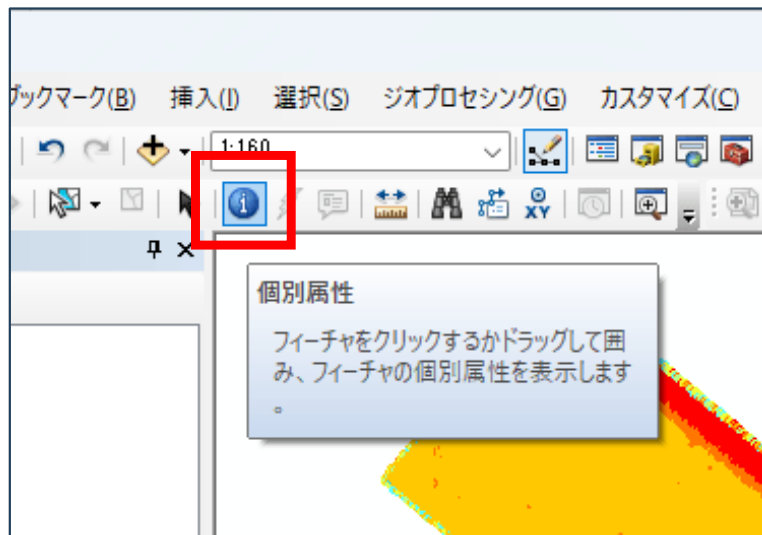
3次元点群データの2次元表示



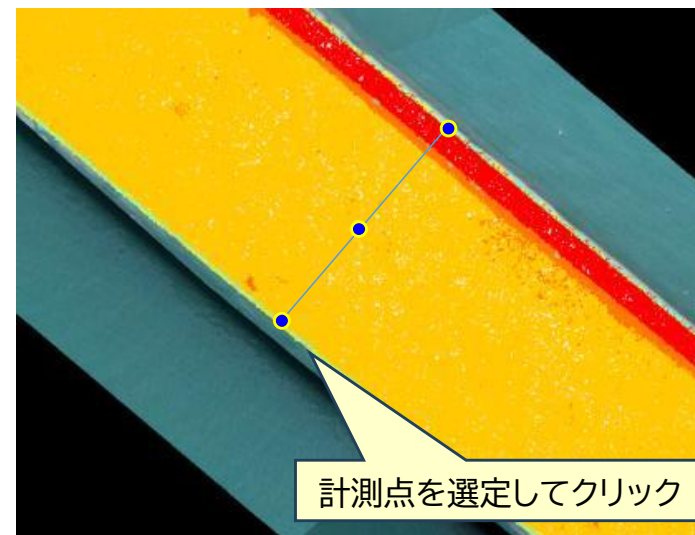
3次元点群データの3次元表示

出来形の計測(例)

■ GISを用いた『天端高』の計測例



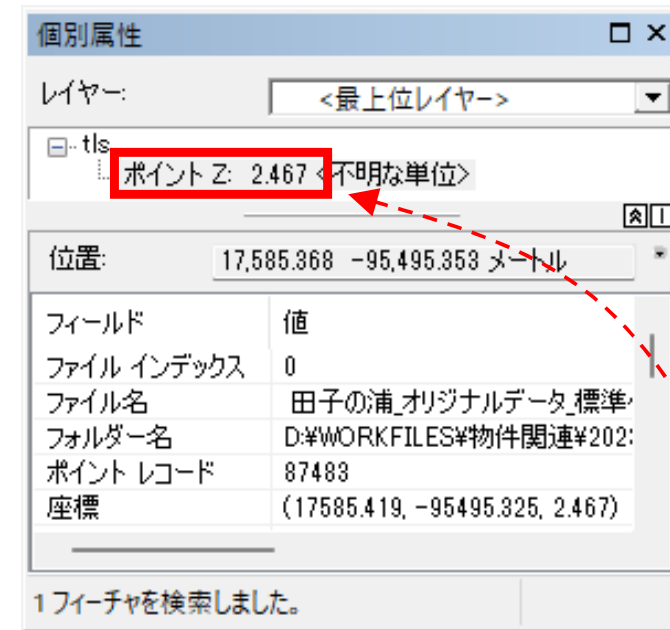
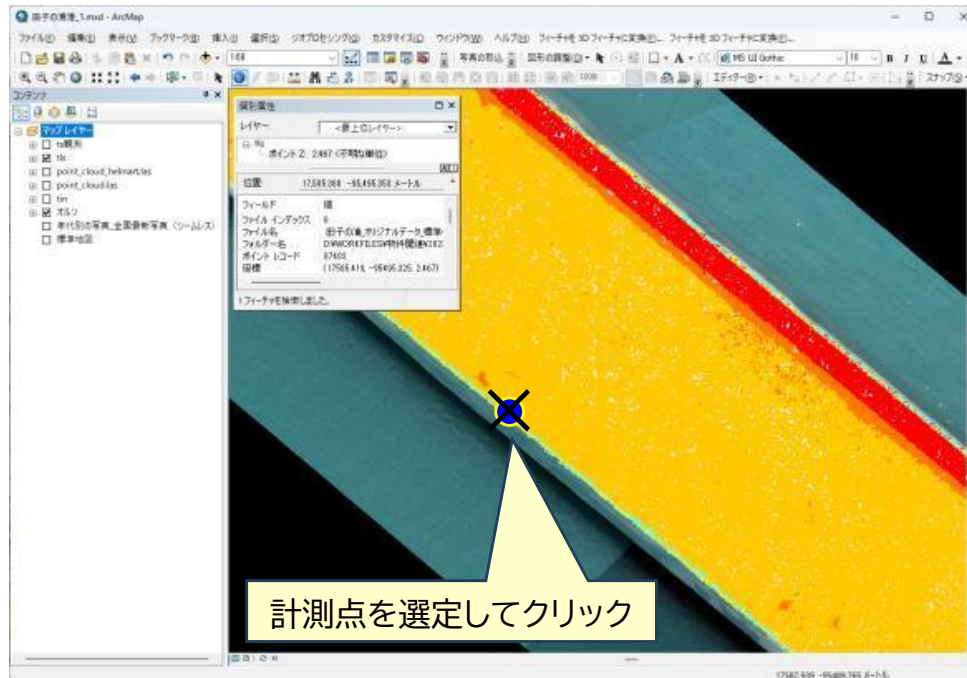
計測点の情報取得
(天端高計測に利用)



➤ 計測値は、計測すべき位置を含む周辺の複数の点群データの中から、出来形を評価する計測点を選定し、高さ情報を取得する。

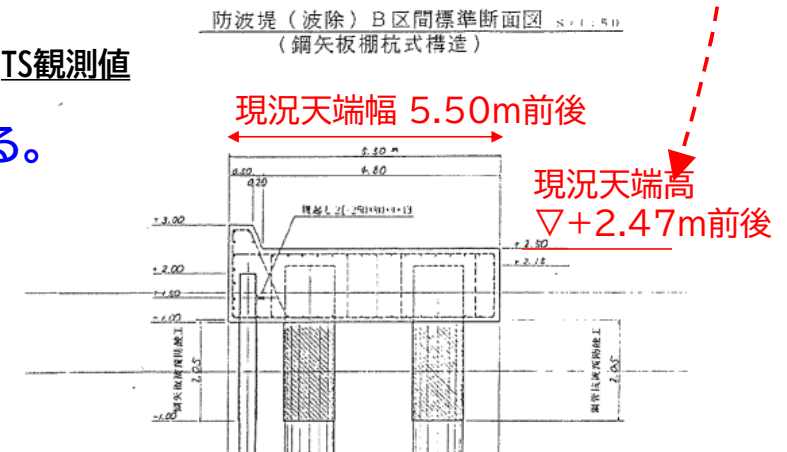
出来形の計測(例)

■ GISを用いた『天端高』の計測例



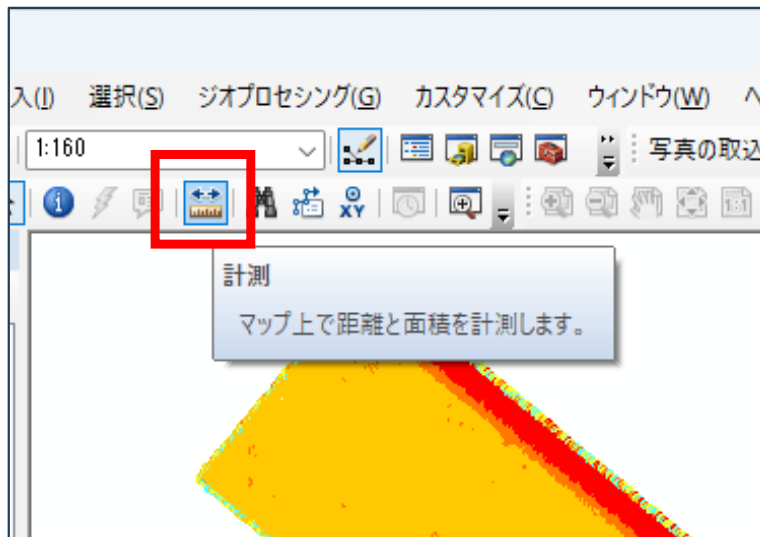
計測したい点をクリックするとすぐにその点の情報が表示される。

TS観測値



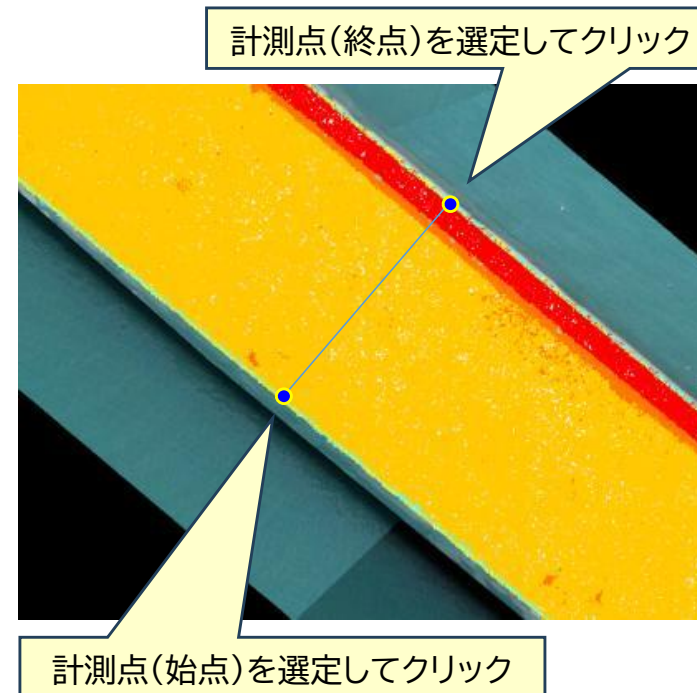
出来形の計測(例)

■ GISを用いた『天端幅』の計測例



距離計測の機能

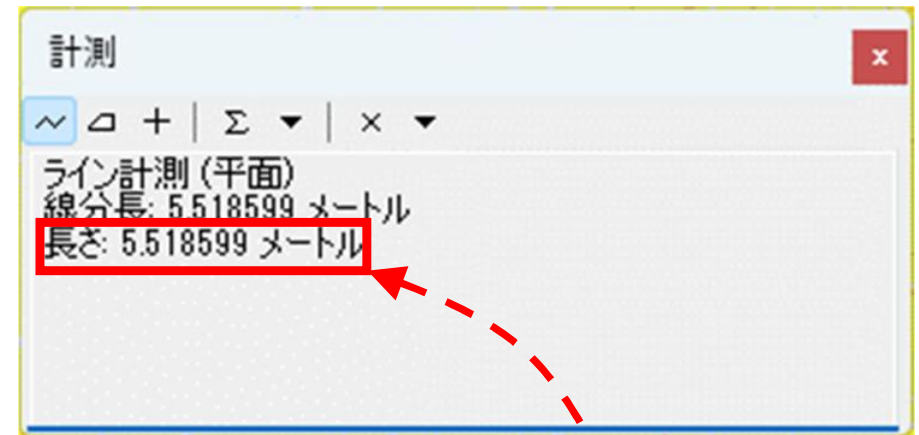
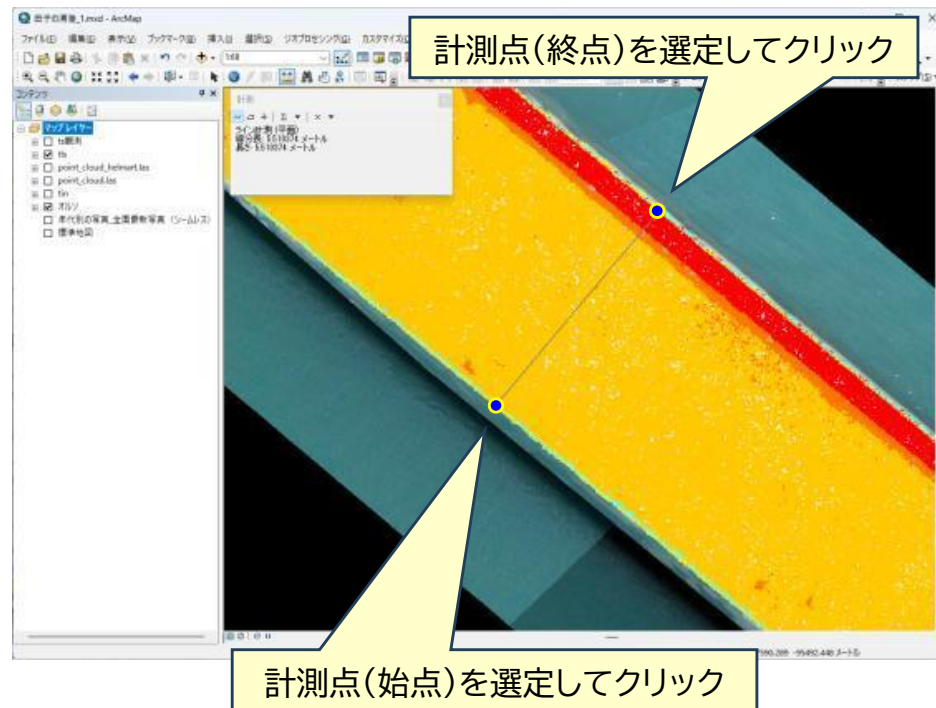
(天端幅、延長計測、法線に対する出入に利用)



- 計測値は、計測すべき位置を含む周辺の複数の点群データの中から、出来形を評価する計測点（始点、終点）を選定し、天端幅の情報を取得する。

出来形の計測(例)

■ GISを用いた『天端幅』の計測例

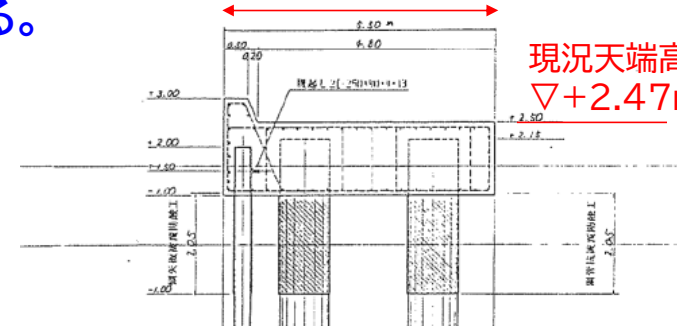


TS観測値

防波堤(波除)B区間標準断面図 (鋼矢板棚杭式構造) S-11-010

現況天端幅 5.51m前後

現況天端高
 $\nabla +2.47\text{m}$ 前後

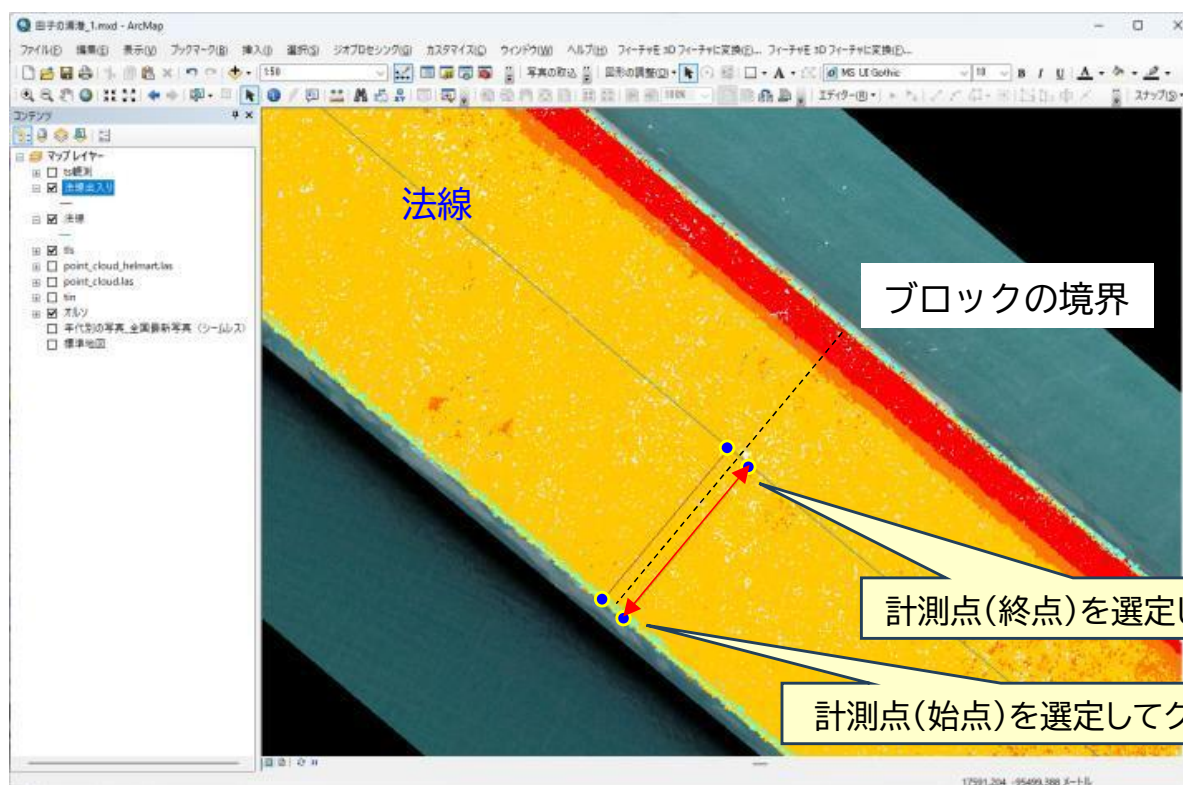
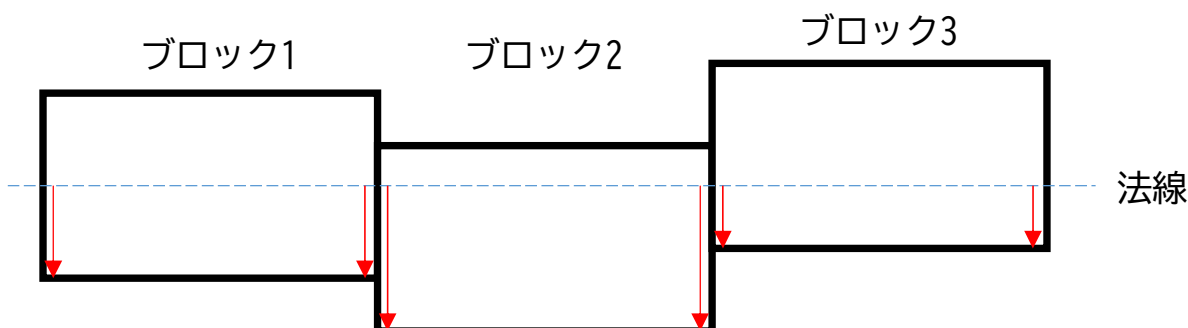


計測したい点をクリックするとすぐにその点の情報が表示される。

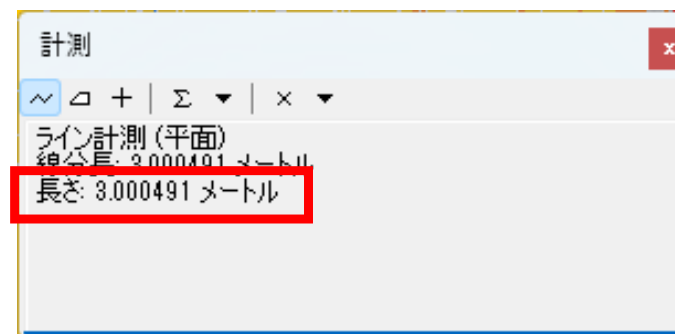
「延長」の計測の方法は、天端幅の計測方法と同じ。

出来形の計測(例)

■GISを用いた『法線の出入』の計測例



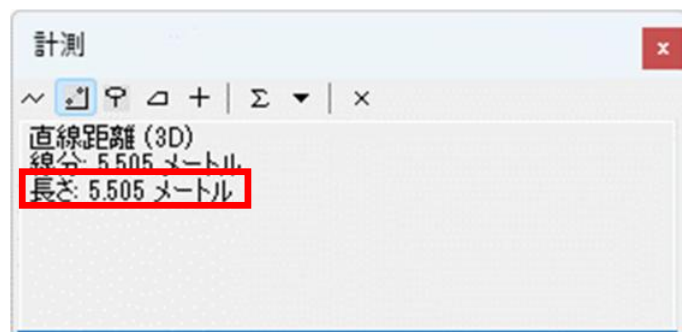
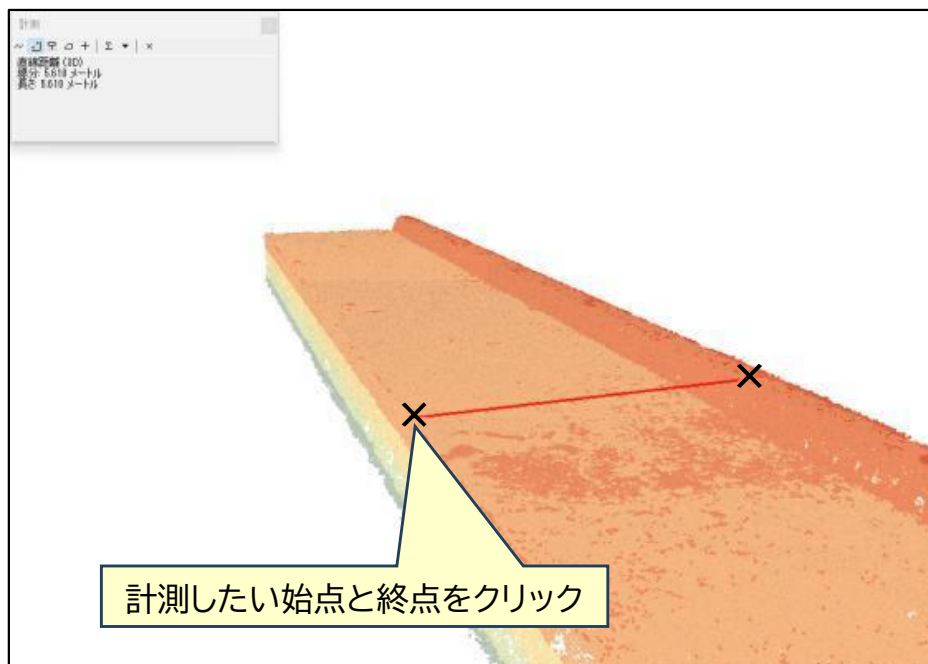
出入量を計算するため、法線から岸線までの距離を計測する。
計測方法は、天端幅の計測方法と同じ。



出来形の計測(例)

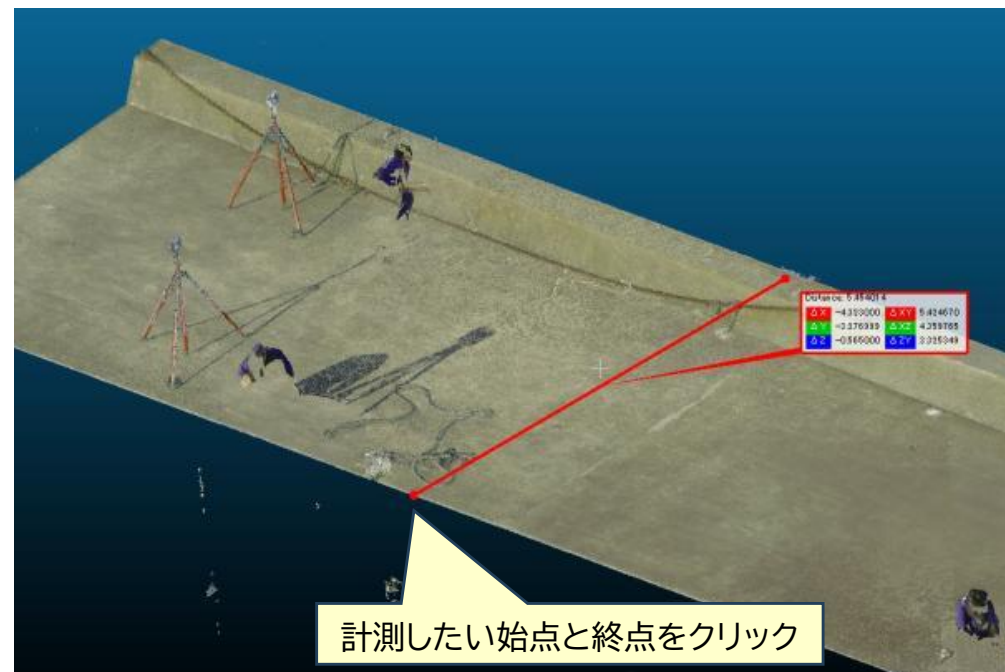
■ GISを用いた『天端幅』の計測例

3次元表示での計測例



■ 3次元表示ソフトを用いた『天端幅』の計測例

3次元表示での計測例



Distance: 5.506666			
ΔX	3.850000	ΔXY	5.484463
ΔY	3.906000	ΔXZ	3.881563
ΔZ	0.494000	ΔZY	3.937115

<参考> 地上レーザスキャナの計測イメージ【動画】

①標定点の設置



標定点となるポイントを設置します。