

インフラ維持管理における既設構造物の3次元 点群データ計測及びモデル作成の手引き

令和4年4月

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM)
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT)

まえがき

国土交通省では平成 28 年に生産性革命プロジェクトを開始し、プロジェクトの一つとして調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までの全ての建設生産プロセスで ICT 等を活用する i-Construction（アイ・コンストラクション）を推進している。

i-Construction のトップランナー施策の一つとして位置づけられた「ICT（Information and Communication Technology：情報通信技術）の全面的な活用」については、平成 28 年 3 月に土工への 3 次元データの活用に必要な新たな基準類を整備し、建設現場への導入が進められている。

土工以外への工種への施策の展開を進めるとともに、調査・測量から設計、施工・検査、維持管理・更新までの建設生産プロセスにおいて ICT の全面的な活用を推進する必要があるとの認識のもと、必要な基準類を整備するため、平成 29 年度から「ICT の全面的な活用による建設生産性向上に関する研究」（以下「ICT 総プロ」という。）が立ち上げられた。

ICT 総プロは、令和元年度に所定の成果を挙げ終了した。ICT 総プロの成果のうち、ICT を活用した基準類策定の一環として、「インフラ維持管理における既存構造物の 3 次元点群データ計測及びモデル作成の手引き（以下、「本手引き」という。）」を作成した。

【改定履歴】

基準・要領名称	年月	備考
インフラ維持管理における既存構造物の 3 次元点群データ計測及びモデル作成の手引き	令和 4 年 4 月	初版発行

社会資本マネジメント研究センター

社会資本情報基盤研究室

Research Center for Infrastructure Management

Information Platform Division

目 次

1 用語と定義	1
2 作業フロー	3
3 計測方法概要	4
4 計測方法選定	5
5 3次元モデル作成方法選定	6
6 点群計測手順	9
6-1 TLS の場合	9
6-1-1 機器例	9
6-1-2 作業計画	9
6-1-3 現地踏査	10
6-1-4 標定点の設置	10
6-1-5 地上レーザ観測	10
6-1-6 地上レーザ観測後の確認	10
6-2 SLAM 機器の場合	11
6-2-1 機器例	11
6-2-2 作業計画	11
6-2-3 現地踏査	12
6-2-4 標定点の設置	12
6-2-5 レーザ観測	12
6-2-6 レーザ観測後の確認	13
7 3次元モデル作成方法	14
7-1 複数の計測結果の結合手順	14
7-2 標定点による座標付け	14
7-3 対象構造物及び各部位の切り出し	14
7-4 フィルタリング	14
7-5 モデル作成	17
7-6 モデル作成例	22

1 用語の定義

表 1 用語と定義

用語	定義
点群データ	コンピュータで扱う点の集合のこと。空間データであれば 3 次元であり、直交座標 (x, y, z) で表現されることが多い。
3次元モデル	コンピュータの演算によって 3 次元空間内の仮想的な立体物を 2 次元である平面上の情報に変換することで奥行きのある立体感を生んだ画像を作る手法。ここでは、3 次元 TIN データによって構成されたデータのこと。3 次元モデルは、3DCG という 3 次元コンピュータグラフィックスで作られており、英語では、Three-dimensional computer graphics の略語。
BIM/CIM	測量・調査、設計段階から 3 次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理・更新の各段階においても 3 次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図るものである。 「BIM/CIMポータルサイト」より
詳細度	3 次元モデル作成時の作りこみレベル。プロセスごとに図面の縮尺が変わるように、3 次元モデルに求められる詳細度を共有するためのルール。LOD や Level Of Detail とも表現される。 詳細度 100 対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。 詳細度 200 対象の構造形式が分かる程度のモデル。 詳細度 300 付属物等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。 詳細度 400 詳細度 300 に加えて、付属物、接続構造等の細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。 詳細度 500 対象の現実の形状を表現したモデル。 「土木分野におけるモデル詳細度 標準（案）」平成 29 年 2 月社会基盤情報標準化委員会 特別委員会より
構造物（橋梁）の詳細度	詳細度 100 橋梁の配置が分かる程度の矩形形状もしくは線状のモデル。 詳細度 200 対象橋梁の構造形式が分かる程度のモデル。上部工においては一般的なスパン比等で主桁形状を定める。モデル化対象は主構造程度で部材厚の情報は持たない。下部工は地形との高さ関係から概ねの規模を想定してモデル化する。 詳細度 300 計算結果を基に主構造をモデル化する。主構造は鋼鈑桁であれば床版、主桁、横桁、横構、対傾構を指す。また、添接板等の接続部形状はここでモデル化する。下部工は外形形状および配置を正確にモデル化。 詳細度 400 桁に対してリブや吊り金具といった部材や接続部の添接板の形状と配置をモデル化する。また、主な付属物（ジョイントや支承）の配置と外形を含めてモデル化する。接続部構造（ボルトはキャラクター等で表現）、床版配筋や下部工の配筋をモデル化する。さらに、各付属物の形状と配置を正確にモデル化する。下部工は配筋モデルを作成すると共に、付属物の配置とそれに伴う開口等の下部工の外形変化を追加する。 詳細度 500 対象の現実の形状を表現したモデル。 「土木分野におけるモデル詳細度 標準（案）」平成 29 年 2 月社会基盤情報標準化委員会 特別委員会より

用語	定義
フィルタリング	点群データに対して、特定のルールに従い、点群データのクラス分けを行い、目的のクラスのみを残す処理のことを言う。間引きを行うフィルタリングやノイズカットを行うフィルタリングなどがある。
サーフェス	3次元モデルを構成する面（頂点と頂点を結ぶ線、線で覆われる）のことを言う。作成する面は厚みが0であり、質量を持たないものであるが、表面積の算出は可能である。 サーフェスとして、TINが使用されることが多い。
エッジ	2つの面が交差する部分や面の端の部分のことを言う。3次元モデルの場合でも同じであり、3次元モデルを構成する面の端の部分と言う。
ソリッド	立体の形状をデータとして表現する方式の一つであり、対象を中身の詰まった物体として表現したものを言う。
3次元CAD	紙で行っていた2次元図面をコンピュータ上で3次元に拡張したものを言う。仮想の3次元空間上に、縦・横・奥行きのある立体的な形状を作っていく仕組みである。
TIN	Triangulated Irregular Networkの略で、物理的形状を表現し、X、Y、Zの3次元情報を持った点と線が、重複のない三角形の集まりとして配列された三角形網のことを言う。
SLAM	自己位置推定と環境地図作成を同時に行うことを言う。正式名称は、Simultaneous Localization and Mapping。各種センサーなどで取得した周辺環境の情報から、自己位置の推定と地図の作成を同時に行うこと。また、そのための仕組みやシステム。
FPN：Feature Pyramid Network	物体検出手法の一つ。スケールの違う物体の特徴量をピラミッド型の階層に構造化する。
YOLOv3: You only look once version 3	リアルタイムオブジェクト検出アルゴリズムを指す。 このアルゴリズムでは、従来の検出アルゴリズムとは異なり、物体検出ウィンドウをスライドさせる仕組みを用いず、オブジェクトを検出することができる。
ResNet：Residual Network	残差を用いたネットワークを指す。このアルゴリズムでは、ある層において最適な出力を学習するのではなく、層の入力を参照した残差を学習する。これにより、深い学習が可能となり、より高度で複雑な特徴の学習を可能にする。
AI 判定モデル	与えた教師データからアルゴリズムに基づいて作られるものであり、入力されたデータに対して、学習したアルゴリズムに基づいて処理を行い、処理結果のデータを出力するためのものである。
AI 教師データ	判定モデルを作成する際に使用するデータであり、正解を認識できるように整備されたデータを言う。判定モデルの作成の際には、正解とともにデータが使用される。
AI 検証データ	判定モデルを検証する際に使用するデータであり、正解を認識できるように整備されたデータを言う。判定モデルの検証の際には、データのみが使用され、判定モデルから出力されてきた結果と正解を比較することで、判定モデルの精度を計るものである。
MMS	Mobile Mapping System（モバイルマッピングシステム）の略 3次元レーザスキャナとカメラによって、道路を走行した際に、道路周辺の3次元点群データと画像を取得する移動計測車両を用いた計測システムである。
TLS	Terrestrial Laser Scanner（地上レーザスキャナ）の略 レーザを器体に対して前方（放射方向）に一定角度で連続的に照射するとともに、同時に器体を一定角度で回転させることにより同心円状（接線方向）に照射位置が並ぶようにして距離を観測する機器で、三次元の点座標として出力される。平坦面であれば同心円状に地上レーザスキャナを原点とする距離と方向で観測する。 「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）」より

用語	定義
ハンディレーザスキャナ	人が手で持つ、あるいは体に取り付けて、歩いて計測できる機器。レーザスキャナ等の機器を搭載し GNSS や IMU との同期を取ることで、3 次元点群データを取得するシステムである。
ハンディ SLAM	人が歩いて計測できる機器であり、レーザスキャナ等の機器を搭載し IMU との同期を取ることで、GNSS がなくとも結合された 3 次元点群データを取得するシステムである。
UAV レーザスキャナ	ドローンにレーザスキャナ等の機器を搭載し GNSS や IMU との同期を取ることで、3 次元点群データを取得するシステムである。
UAV-SLAM	ドローンにレーザスキャナ等の機器を搭載し IMU との同期を取ることで、GNSS がなくとも結合された 3 次元点群データを取得するシステムである。
UAV-写真	ドローンにカメラを搭載し、上空から多数写真を撮影し、解析にて 3 次元形状を復元する仕組みである。

2 作業フロー

点群計測から 3 次元モデル作成までの手順を図 1 に示し、次項で具体的な手順方法を整理した。

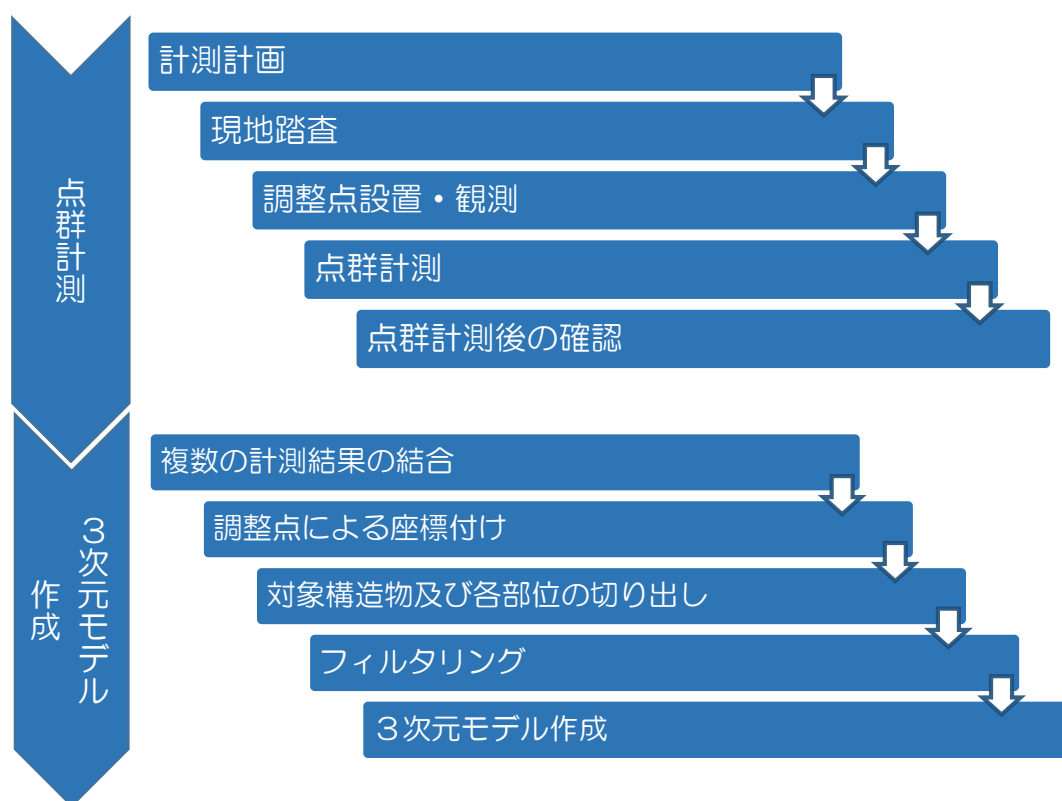


図 1 点群計測から 3 次元モデル作成までの手順フロー（参考）

3 計測方法概要

各計測方法の一般的な機能と諸元を、表 2 に示す。

表 2 諸元の比較

	MMS	TLS	ハンディ レーザ スキャナ	ハンディ SLAM	UAV- レーザ	UAV- SLAM	UAV- 写真
GNSS 搭載	○	△	△	△	○	○	○
カメラ 搭載	○	○	△	△	△	△	○
レーザ 搭載	○	○	○	○	○	○	×
公共測量	○	○	×	×	○	×	○
反射強度 点群出力	○	○	○	○	○	○	×
色付き 点群出力	○	○	△	△	△	△	○
モデル 出力	×	×	×	×	×	×	○
スキャナ 精度	0.2mm～	0.2mm～	数 cm～	数 cm～	数 cm～	数 cm～	—
位置精度	数 cm～	数 mm～	5cm 程度～	5cm 程度～	5cm 程度～	5cm 程度～	5cm 程度～
スキャナ 計測距離	100m～ 300m 程度	100m～ 数 km 程度	100m 程度	100m 程度	100m 程度	100m 程度	—

○：対応している。

△：機器によっては、対応していないものもある。

×：対応していない。

4 計測方法選定

既存構造物を計測する場合は表 3 を参考に、構造物の種類や計測環境に応じて計測機器や方法を選定する。

表 3 各計測機器の適用性

構造物	部位	種別	環境	MMS	TLS	ハンディ レーザ スキャナ	ハンディ SLAM	UAV- レーザ	UAV- SLAM	UAV- 写真
橋梁	上部工 路面	鋼橋 コンクリ ート橋	歩道 あり	○	△	△	△	△	△	△
			歩道 なし	○	×	×	×	△	△	△
	上部工 路面 以外	鋼橋	跨道橋	△	○	○	○	△	△	△
			跨線橋	×	△	△	△	×	×	×
			河川を 跨ぐ	×	×	△	△	△	△	△
		コンクリ ート橋	跨道橋	○	○	○	○	△	△	△
			跨線橋	×	△	△	△	×	×	×
			河川を 跨ぐ	×	×	△	△	△	△	△
	橋台	鋼橋 コンクリ ート橋	跨道橋	△	○	○	○	△	△	△
			跨線橋	×	○	○	○	△	△	△
			河川を 跨ぐ	×	△	△	△	△	△	△
	橋脚	鋼橋 コンクリ ート橋	跨道橋	△	△	△	△	△	△	△
			跨線橋	×	×	×	×	×	×	×
			河川を 跨ぐ	×	×	△	△	△	△	△
トンネル	—	—	歩道あ り	○	△	△	△	△	△	×
			歩道な し	○	×	×	×	×	×	×

○：多くの場合、計測が可能である。

△：場合によっては、計測が可能である。TLS で計測する場合は、広い範囲を計測するには多くの箇所での計測が必要となり、求められる精度と効率性を考慮した検討が必要である。歩行型計測器で河川を跨ぐ橋梁を対象に計測する場合は、ボートを使用しての計測の検討が必要である。UAV で計測する場合は、DID 地区の確認含め、飛行の可否判断が必要である。

×

5 3次元モデル作成方法選定

3次元モデル作成の各手法の概要を以下に示す。また、各手法の特徴を表4に示す。

(1) ソリッド法

点群データの横断面を連続的に表示した際の変化点において輪郭線を入力し、変化がない連続された範囲を押し出しによって立体化することでモデルを作成する方法

(2) TIN サーフェス法

(ア) エッジ抽出法

点群データより平面を探し、その内の平面2つが交わる線をエッジとして入力し、複数のエッジで面を構成することでモデルを作成する方法

(イ) サーフェス抽出法

近い点同士を結んで自動的に立体構造物の TIN モデルを生成する機能を使用した方法
機能搭載ソフトウェア例：PointFuse (<https://pointfuse.com/>)

(ウ) 断面抽出法

点群データの横断面を連続的に表示した際の変化点において輪郭線を入力し、隣接の輪郭線同士を結ぶことでモデルを作成する方法

表 4 各手法の特徴

手法		同一断面 連続	同一断面 不連続	エッジ 表現	曲面	メリット	デメリット
ソリッド法		○	×	○	△	同一断面が連続する場合には、最も適する方法である。	連続はしていても断面の変化が多い場合には、断面作成の数が膨大になり適さない。
TIN サーフェス法	エッジ 抽出法	△	○	○	△	構造が複雑な場合にも対応することができる。他の抽出法が対応できない場合は、エッジ抽出法と言えるようなオールラウンダー的な手法である。	平面を構成する点群データに厚みが生じている場合には、どのように平面を定義するのかを判断しなければならない等、作業難易度が高い。
	サーフェス 抽出法	△	△	×	○	数多くの面でのモデルとなるため、他の方法と比べて、曲面の表現がしやすい。	エッジが表現しづらいため、エッジが数多くあるような複雑な構造には向かない。
	断面 抽出法	○	×	○	△	同一断面が連続する場合には、適する方法である。	作業難易度が高く、構造が複雑な場合には、断面表示の回数が多くなり、時間がかかる。

橋梁及びトンネルの3次元モデル作成において、適用性が高いと考えられる手法を選定するためのフロー（案）を図 2 として提案する。

ただし、本フロー（案）は、少数の試行結果からの作成案であるため、適用性は橋梁やトンネルのみを対象としており、限定的である。今後、試行を増やすことで対象範囲を広げる必要がある。

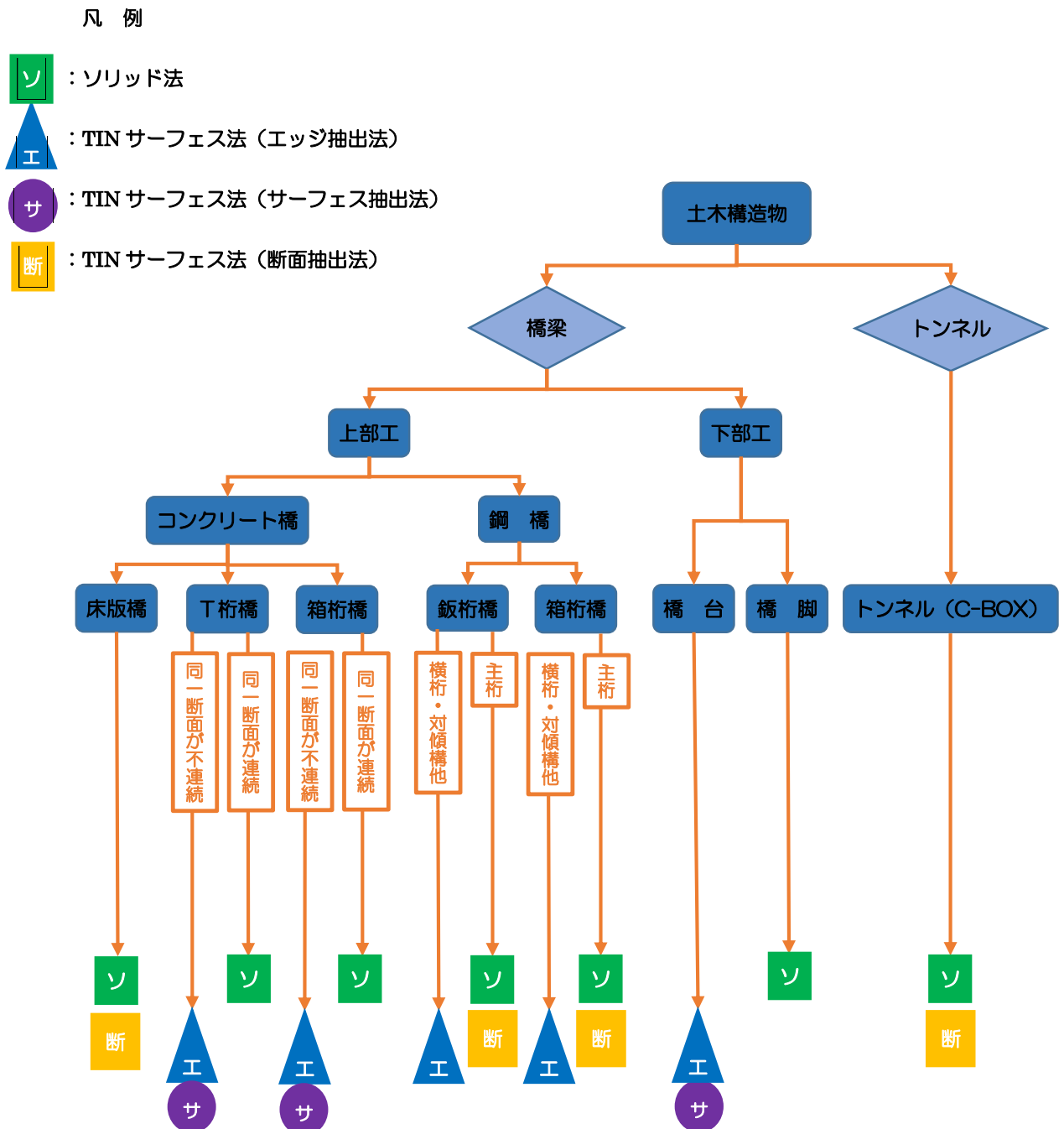


図 2 3次元モデル作成時の手法選定フロー（案）

フロー（案）にて示したモデル抽出方法の適用性に関して、その詳細を表 5 に示す。

表 5 各構造物における適用性

構造物名	部 位	抽出手法	適 用 性
コンクリート橋	床版橋	ソリッド 断 (断面)	単純な断面が連続する橋種であるためソリッド法が有効。
	T 桁橋	同一断面連続 ソリッド	比較的単純な断面が連続する主桁にはソリッド法が有効。横桁など縦断方向に対して断面が変化したり複雑な構造であるものはエッジ抽出法が有効で、更に局面が多かったり、複雑な表面形状のものはサーフェス法適用も可。
		同一断面不連続 エッジ サーフェス (サーフェス)	
	箱桁橋	同一断面連続 ソリッド	主桁は T 桁橋と同様にソリッド法が有効。桁端部などは主桁に比べ複雑な構造であるためエッジ抽出法が有効で、更に局面が多く存在するなど、複雑な表面形状のものはサーフェス法適用も可。
		同一断面不連続 エッジ サーフェス (サーフェス)	
鋼橋	鈑桁橋	主桁 ソリッド 断 (断面)	比較的単純な断面が連続する主桁にはソリッド法が有効。横桁などの比較的複雑で薄い部材の箇所はエッジ抽出法が有効。
		横桁・対傾構他 エッジ	
	箱桁橋	主桁 ソリッド 断 (断面)	主桁は鈑桁橋と同様にソリッド法が有効。桁端部や鋼製床版などの比較的複雑で薄い部材の箇所はエッジ抽出法が有効。
		横桁・対傾構他 エッジ	
下部工	橋台	エッジ サーフェス (サーフェス)	胸壁や橋座・翼壁など比較的複雑な部位を有し、断面押し出しが困難な場合が多い場合、エッジ抽出法が有効で、更に局面が多く存在するなど、複雑な表面形状のものはサーフェス法適用も可。
	橋脚	ソリッド	比較的単純な形状で、厚み変化が一般的な構造物であるため、ソリッド法が有効。
その他	トンネル (C-BOX)	ソリッド 断 (断面)	同一断面が連続する構造物であるためソリッド法が有効。



ソ : ソリッド法



サ : TIN サーフェス法 (サーフェス抽出法)



エ : TIN サーフェス法 (エッジ抽出法)



断 : TIN サーフェス法 (断面抽出法)

6 点群計測手順

6-1 TLS の場合

TLS を用いた点群データ取得のための計測手順を以下に示す。

6-1-1 機器例

対象となる TLS の例として、以下のものがある。

【機器詳細】



機器名称：Z+F Imager5016

重 量：7.3 Kg

寸 法：328×258×150(mm)

測定距離：0.3～365m

計測精度：1mm 以下

測定点数：約100 万点/秒

水平視野：360°

垂直視野：320°

図 3 TLS の一例

6-1-2 作業計画

(1) 機器性能の確認

- ・ スキャナを取り付け方向と走査断面数、走査角度、測定可能距離の確認が必要である。
- ・ 走査線を大きな範囲で遮るような計測位置を避ける。
- ・ 複数回の計測データをどのように結合することができるのかを確認する。具体的には、周辺の点群形状特徴での結合のみで良いのか、白球のようなターゲットが必要なのかを事前に確認する。
- ・ 点群密度と計測時間及び点群精度の設定の事前確認が必要である。

(2) 対象構造物の特性の確認

- ・ 橋梁の主桁・横桁等に囲まれているような狭あい空間や、トンネルやボックスカルバートのような同一形状が連続する空間は、レーザ光の届く範囲が制限される。そのため、計測回数を多く設定する必要がある。

(3) 作業計画の立案

- ・ 鈑桁や T 桁のような部材は、多方向から計測するなど、点群から構造が把握できるよう注意する。このような場合には、複数回の計測が必要である。
- ・ 複数回の計測を行う場合は計測データの結合が必要であるため、結合条件を満たすよう計測位置の選定を行う。
- ・ 計測時間（例として 1 分）に対しての平均的な計測点数及びデータ容量を確認することで、点群

データの計測時間・計測点数・データ容量の想定をする。

6-1-3 現地踏査

(1) 確認事項

- ・ 計測に適している場所の選定をする。
- ・ 標定点の設置が可能な場所を確認する。
- ・ その他、計測中に問題が生じる可能性がある場所がないかの確認を行う。

(2) 留意事項

- ・ 標定点の設置位置は、標定点同士の位置関係と共に計測位置との位置関係も確認する。具体的には、レーザ光を遮る障害物がない場所、かつ点群データでの標定点の視認に必要な点群密度を十分に確保できる距離内の場所に設置する必要がある。
- ・ 可能であれば、設置場所等の写真撮影することが望ましい。

6-1-4 標定点の設置

(1) 設置に関して

- ・ 標定点は、計測後の点群から判別できる大きさや形及び配置が必要である。標定点は反射強度で判断するため、確実に計測できる位置に設置する。

6-1-5 地上レーザ観測

(1) 計測中の確認

- ・ 点群データのノイズを少しでも減らすため、計測機器の走査線が届かない場所に人員を配置する。
- ・ 鉋桁やＴ桁のような構造が複雑な部材は、その構造が把握できる様、重点的に計測を行う。
- ・ 計測にかかった時間を記録する。

(2) 標定点の観測に関して

- ・ 解析時に混乱しないよう、判りやすい順番での観測が望ましい。(端から等)

6-1-6 地上レーザ観測後の確認

(1) 点群データ

- ・ 計測したデータに関して、以下の事項を確認する。想定と異なる場合には再計測を行う。
 - 計測時間
 - 計測された点群データの計測点数
 - 計測された点群データのデータ容量
 - 点群データの計測範囲

6-2 SLAM 機器の場合

ハンディ SLAM や UAV-SLAM を用いた点群データ取得のための計測手順を以下に示す。

6-2-1 機器例

対象となる SLAM 機器の例として、以下のものがある。

【機器詳細】



機器名称：STENCIL2

重 量：1.6 Kg（センサー含む）

寸 法：110×141×162(mm)

測定距離：1～100m

計測精度：±3cm

測定点数：約 30 万点/秒

水平視野：360°

図 4 ハンディ SLAM の一例

【機器詳細】



機器名称：HOVERMAP100-1

重 量：2.0 Kg（センサー含む）

寸 法：215×155×200(mm)

測定距離：1～100m

計測精度：±3cm

測定点数：約 30 万点/秒

水平視野：360°

図 5 UAV-SLAM 計測例

6-2-2 作業計画

（１）機器性能の確認

- ・ スキャナを取り付け方向と走査断面数、走査角度、測定可能距離の確認が必要である。
- ・ 走査線を大きな範囲で遮るような計測方法を避ける。
- ・ 周辺に自己位置が特定できる構造物の存在が必要である。特に、垂直平面が存在する構造物が望ましい。

（２）対象構造物の特性の確認

- ・ 橋梁の主桁・横桁等に囲まれているような狭あい空間や、トンネルやボックスカルバートのよう

な同一形状が連続する空間は、レーザ光の届く範囲が制限される。特に狭あい空間を計測可能な位置は限定されることが多いため、それらの位置を通る作業計画が必要である。

- ・ 橋梁の主桁のような薄い形状のものは、表と裏の点群が薄い断面上に混在するため、誤差が生まれやすい形状である。

(3) 作業計画の立案

- ・ 鈑桁や T 桁のような部材は、多方向から計測するなど、点群から構造が把握できるよう注意する。このような場合には、複数回に計測を分けることが望ましい。
- ・ 複数回の計測を行う場合、3 点以上の標定点が計測できるよう計測ルートや標定点設置位置を決定する。
- ・ 計測時間（例として 1 分）に対しての平均的な計測点数及びデータ容量を確認することで、点群データの計測時間・計測点数・データ容量の想定をする。
- ・ 計測時間（例として 1 分）に対しての平均的なデータ容量を確認することで、動画の計測時間・データ容量の想定をする。

6-2-3 現地踏査

(1) 確認事項

- ・ 計測の開始・終了に適している場所の選定をする。（UAV 離発着など）
- ・ 標定点の設置が可能な場所を確認する。
- ・ その他、計測中に問題が生じる可能性がある場所がないかの確認を行う。

(2) 留意事項

- ・ 標定点の設置位置は、標定点同士の位置関係と共に計測ルートとの位置関係も確認する。具体的には、レーザ光を遮る障害物がない場所、かつ点群データでの標定点の視認に必要な点群密度を十分に確保できる距離内の場所に設置する必要がある。
- ・ 可能であれば、写真だけでなく、動画も撮影することが望ましい。

6-2-4 標定点の設置

(1) 設置に関して

- ・ 標定点は、計測後の点群から判別できる大きさや形及び配置が必要である。標定点は反射強度で判断するため、確実に計測できる位置に設置する。

6-2-5 レーザ観測

(1) 計測中の確認

- ・ 計測状況をタブレット画面などで視認し、SLAM の成立を常に確認する。また、自己位置の横ずれの発生や、突如、計画外ルートへの移動等、自己位置の軌跡が連続的にならない場合には、SLAM が成立できていないと判断し、計測中止や後処理など対応を検討する。
- ・ 鈑桁や T 桁のような構造が複雑な部材は、その構造が把握できる様、重点的に計測を行う。
- ・ 計測にかかった時間を記録する。

(2) 標定点の観測に関して

- 解析時に混乱しないよう、判りやすい順番での観測が望ましい。(端からや右回り等)

6-2-6 レーザ観測後の確認

(1) 点群データ

- 計測したデータに関して、以下の事項を確認する。想定と異なる場合には再計測を行う。
 - 計測時間
 - 計測された点群データの計測点数
 - 計測された点群データのデータ容量
 - 点群データの計測範囲

(2) 動画

- 計測したデータに関して、以下の事項を確認する。想定と異なる場合には再計測を行う。
 - 計測時間
 - 計測された動画のデータ容量
 - 対象構造物の撮影可否

7 3次元モデル作成方法

取得した点群データによる3次元モデル作成のための手順を以下に示す。

7-1 複数の計測結果の結合手順

(1) 結合方法

- ・ 標定点同士の対応指定によって、結合する。
- ・ 結合が困難な場合は、点群形状での結合も可能である。ただし、この場合は、結合後の点群間の距離を確認し、計測精度を満たす結合かを確認する。

7-2 標定点による座標付け

(1) 事前準備

- ・ 標定点の座標を参考にして、座標付け前の点群をおおよその位置にあらかじめ移動させてくる。

(2) 座標付け

- ・ 予め設置し、対象構造物と同時に計測した標定点に対して座標付けを行い、計測データ全体に座標付けを行う。
- ・ 座標付けの際は、精度管理において他の標定点と比較して、相対的に精度の悪い標定点は使用しない。

7-3 対象構造物及び各部位の切り出し

(1) 切り出し方法

- ・ 取得データの対象となる構造物以外の植生や周囲の地形等の点群データを削除する。
- ・ 橋梁は、下部工と上部工に分割し、さらに下部工は1基ずつのデータに分割する。
- ・ トンネルは、モデル化に係る部分以外の周辺地形や構造物の点群データを削除する。

7-4 フィルタリング

(1) フィルタリングの種類

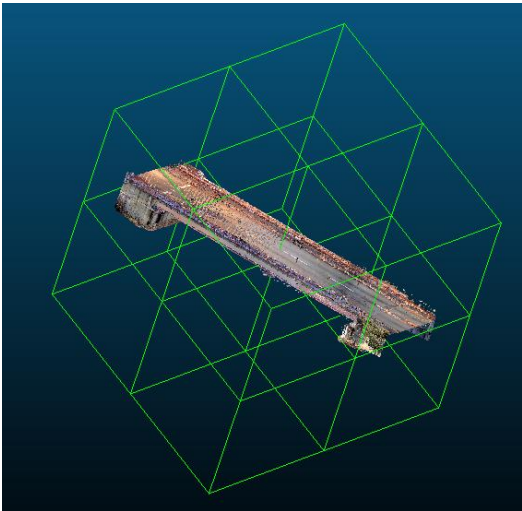
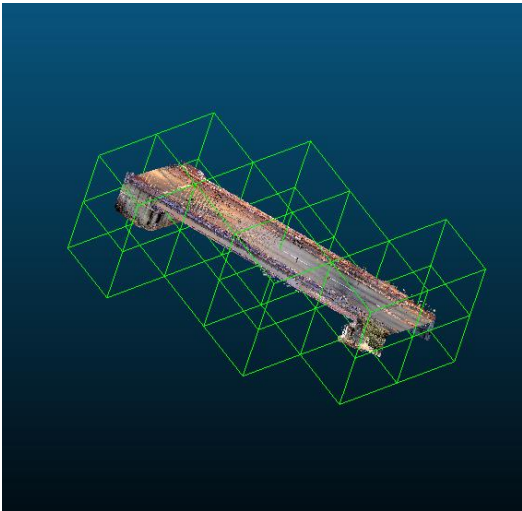
切り出した各点群データの容量が大きく、使用するソフトウェアや端末に負担がかかり作業が困難となる場合は、フィルタリングによる点群の間引きが必要となる。フィルタリングには表 6 に示す 3 つの方法を設定したが、それぞれ、処理後の点群データに差異が生じる。よって、フィルタリング方法の選定は、処理後の点群データでの部位判別が可能で、且つ、コンピュータでの処理に支障とならないデータ容量とすることが望ましい。そのため、複数の方法で処理をした点群データを比較検証して選定することが必要となる。

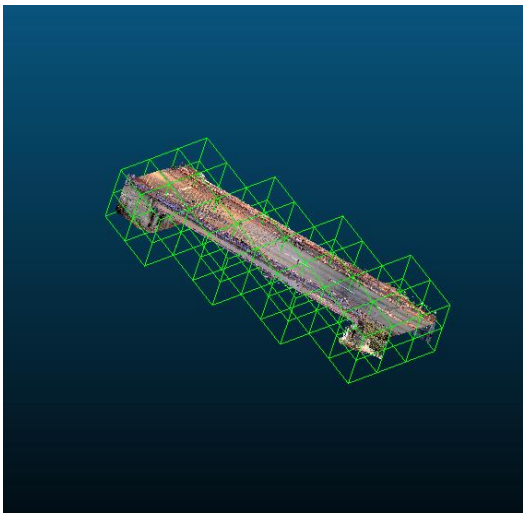
(2) 曲率を活用したフィルタリング

(ア) 点群の各点に対して、Normal change rate (曲率標準変化率) を算出する。この際、どのくらいの近傍点を参照するかは、点群の実際の点間隔を考慮にいれて、平面として認識したい範囲の適切な距離を数値で指定する。この距離が大きくなるとそれだけ多くの近傍点を参照して計算することになるので、より時間がかかることとなる。

(イ)上記の値の最小（平面）と最大（曲面）に対して、広めの点群間隔（0.05m 等）と狭めの点群間隔（0.01m 等）を指定しての距離指定でのフィルタリングを行う。

表 6 フィルタリングのパターン一覧

名 称	形式	概要
space	一様	個々の点間距離を計算し、一定距離以内の点が存在しないように間引きする（距離指定）
octree	一様	octree のセルごとに中心に一番近い点を採用する（レベル指定） データ全体を 8 つの同一立方体（各座標軸の方向に分割したもの）に分割した状態がレベル 1 である。また、上位レベルの各セルをさらに 8 つの同一立方体に分割したものが次レベルとなる。 レベル 1  レベル 2 

名 称	形式	概要
		 レベル3
random	非一様	ランダムに点を採用する（点数指定）
space (curvature)	非一様	サーフェスとなる面上にある点から他の点群との曲率を計算し、平面を構成する点は点間隔の距離を大きくなるように間引き、曲面を構成する点は点間隔の距離を小さくなるよう（パラメータ：曲率計算の近傍範囲、曲率計算値への間引き距離指定） 計算方法は次の3つの方法がある。 Mean・・・平均曲率、推定した主曲率（最大値を k_1、最小値を k_2）の平均 $(k_1 + k_2)/2$ Gaussian・・・ガウス曲率、推定した主曲率（最大値を k_1、最小値を k_2）の積 $k_1 \cdot k_2$ Normal change rate・・・曲率標準変化率、単位接線ベクトルの変化率の大きさ

7-5 モデル作成

(1) ソリッド法の手順

(ア)上部構造の主桁の方向を基準とし、それに対して点群データの横断面を随時表示し、断面形状に変化がある箇所を探す（斜橋などの場合には、横桁の方向を断面方向とする。また、対傾構などによって随時変化がある場合、あるいは長い距離に渡って変化がない場合には、適宜、断面表示をする）

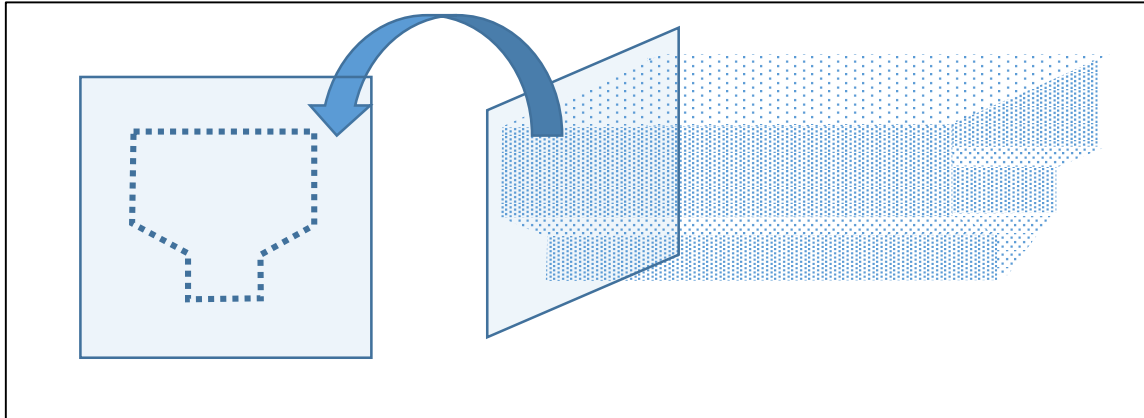


図 6 ソリッド法の断面表示

(イ)断面形状に変化がない範囲の端の箇所にて輪郭線を入力する



図 7 ソリッド法の輪郭線入力

(ウ)断面形状に変化がない範囲にて、輪郭線を押し出すことで立体化を行う

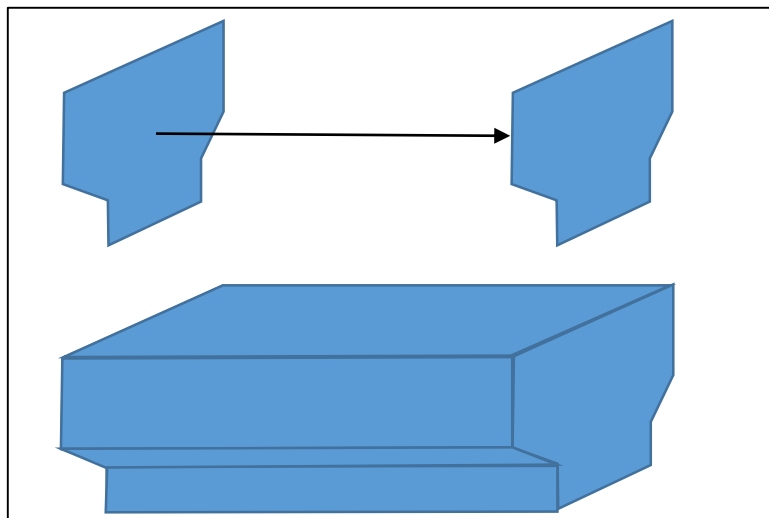


図 8 ソリッド法の立体化

- (工)上記の立体化された部分をソリッドとして入力し、上部構造・下部構造をそれぞれ1つの3次元モデルとして作成する
- (オ)上部構造には「カンバー」や「縦断曲線線形」などが存在するため、基準となる基線を決める際は基線を見極める必要がある

(2) TIN サーフェス法（エッジ抽出法）の手順

- (ア)点群データから平面を探す

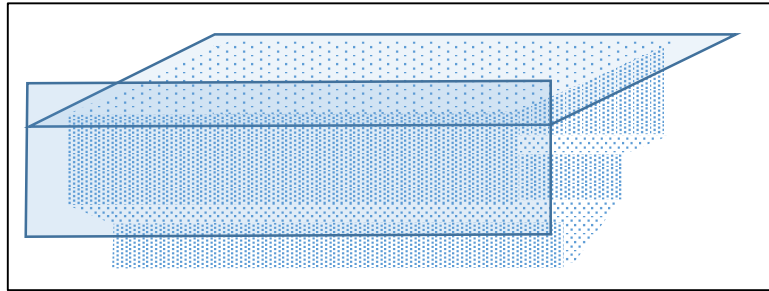


図 9 TIN サーフェス法（エッジ抽出法）の平面探索

- (イ)探した平面の内、2つの隣り合う平面の交線となるエッジを、随時、入力する

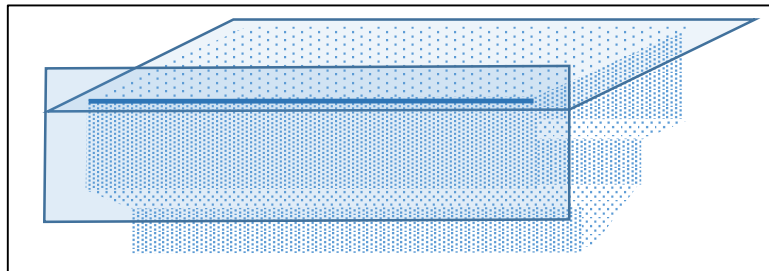


図 10 TIN サーフェス法（エッジ抽出法）のエッジ入力

- (ウ)エッジにて構成された面をサーフェスとして入力する

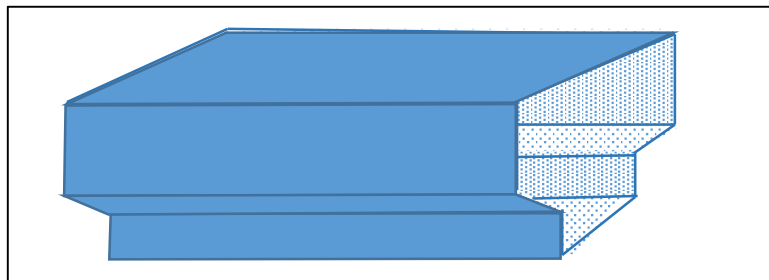


図 11 TIN サーフェス法（エッジ抽出法）の面入力

- (エ)サーフェスが足りない部分を補完し、上部構造・下部構造をそれぞれ1つの3次元モデルとして作成する

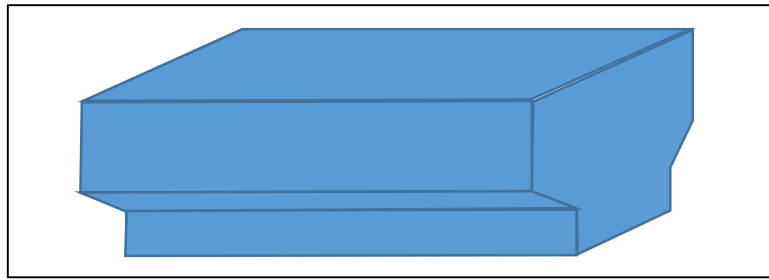


図 12 TIN サーフェス法（エッジ抽出法）の 3 次元モデルへの補完

（3）TIN サーフェス法（サーフェス抽出法）の手順

（ア）サーフェスの抽出を行う

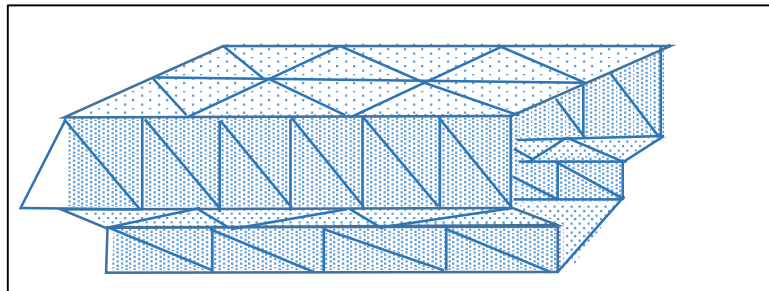


図 13 TIN サーフェス法（サーフェス抽出法）のサーフェス抽出

（イ）サーフェスが余分に生成されている箇所等は、手動にて修正を行う

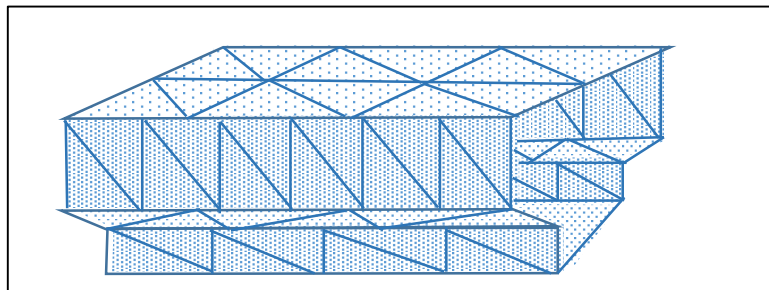


図 14 TIN サーフェス法（サーフェス抽出法）の手動修正

（ウ）サーフェスが足りない部分を補完し、上部構造・下部構造をそれぞれ 1 つの 3 次元モデルとして作成する

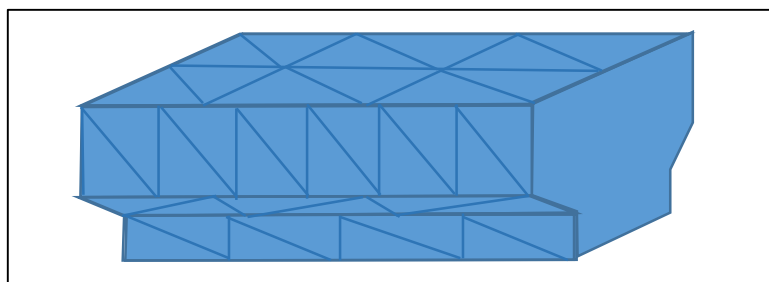


図 15 TIN サーフェス法（サーフェス抽出法）の 3 次元モデルへの補完

（4）TIN サーフェス法（断面抽出法）の手順

(ア)上部構造の主桁の方向を基準とし、それに対して点群データの横断面を随時表示し、断面形状に変化がある箇所を探す（斜橋などの場合には、横桁の方向を断面方向とする。また、対傾構などによって随時変化がある場合、あるいは長い距離に渡って変化がない場合には、適宜、断面表示をする）

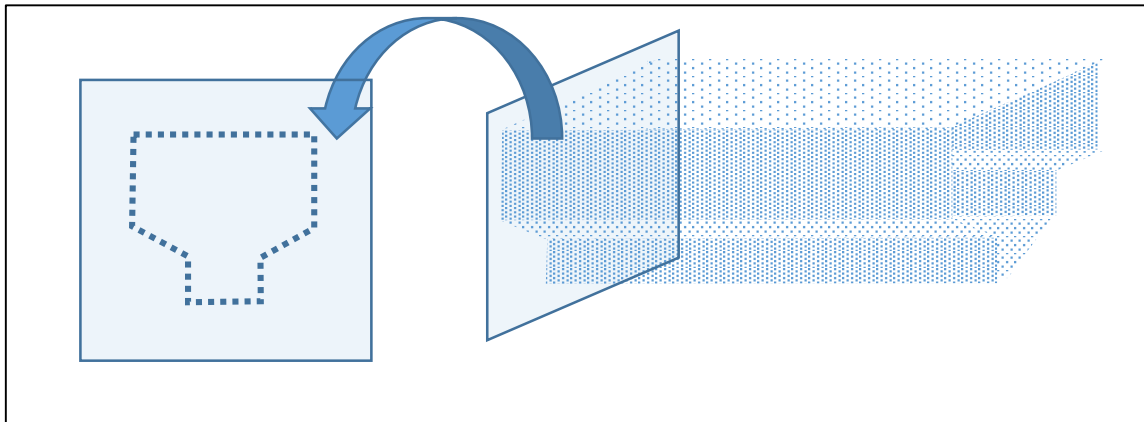


図 16 TIN サーフェス法（断面抽出法）の断面表示

(イ)断面形状に変化がある箇所の変化前後の輪郭線を入力する

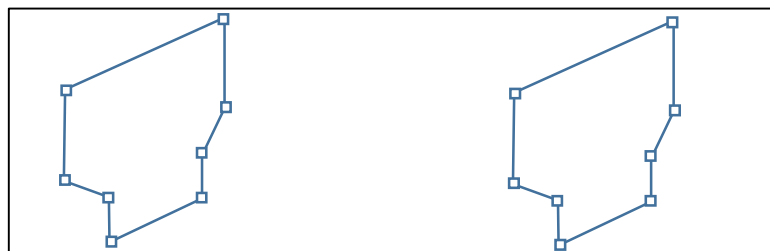


図 17 TIN サーフェス法（断面抽出法）の輪郭線入力

(ウ)隣接した2つの輪郭線の構成点の内、同じ角や部位として対応する箇所の点同士を結ぶ線を入力する

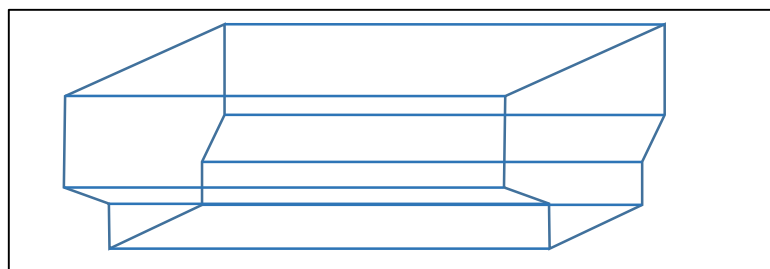


図 18 TIN サーフェス法（断面抽出法）の2つの輪郭線に対して対応点の結線

(エ)上記の入力線及び輪郭線にて構成された面をサーフェスとして入力する

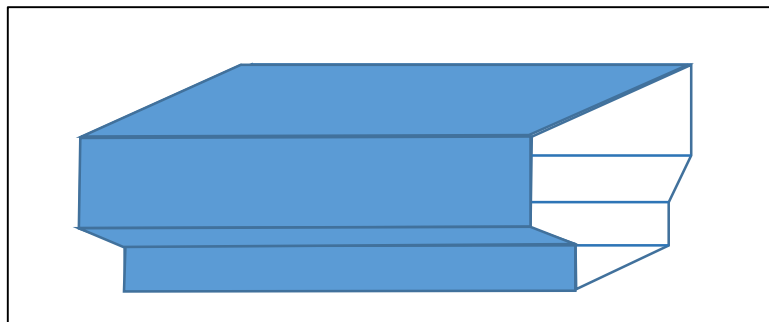


図 19 TIN サーフェス法（断面抽出法）の面入力

(オ)サーフェスが足りない部分を補完し、上部構造・下部構造をそれぞれ 1 つの 3 次元モデルとして作成する

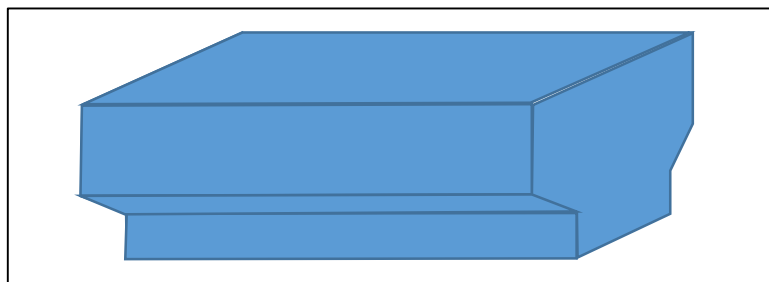


図 20 TIN サーフェス法（断面抽出法）の 3 次元モデルへの補完

(カ)上部構造には「カンバー」や「縦断曲線線形」などが存在するため、基準となる基線を決
定する際は基線を見極める必要がある

7-6 モデル作成例

(1) 使用ソフトウェア

株式会社ベントレー・システムズによって開発された 3 次元 CAD システムである以下のソフトウェアを使用した。別会社から提供されている有料拡張パッケージ Terrasolid を使用することにより、簡易に点群データを扱うことが可能となる。

MicroStation CONNECT Edition

(<https://www.bentley.com/ja/products/brands/microstation>)

(2) 使用 PC

実験に使用した PC のスペックを表 7 に示す。

表 7 使用 PC のスペック

OS	Windows 10 64bit
CPU	Intel Core i7 11700 2.5GHz
メモリ	64GB
GPU	GeForce RTX 3060 Ti

(3) ソリッド法の作成例

(ア)上部構造の主桁の方向を基準とし、それに対して点群データの横断面を随時表示し、断面形状に変化がある箇所を探す（斜橋などの場合には、横桁の方向を断面方向とする。また、対傾構などによって随時変化がある場合、あるいは長い距離に渡って変化がない場合には、適宜、断面表示をする）

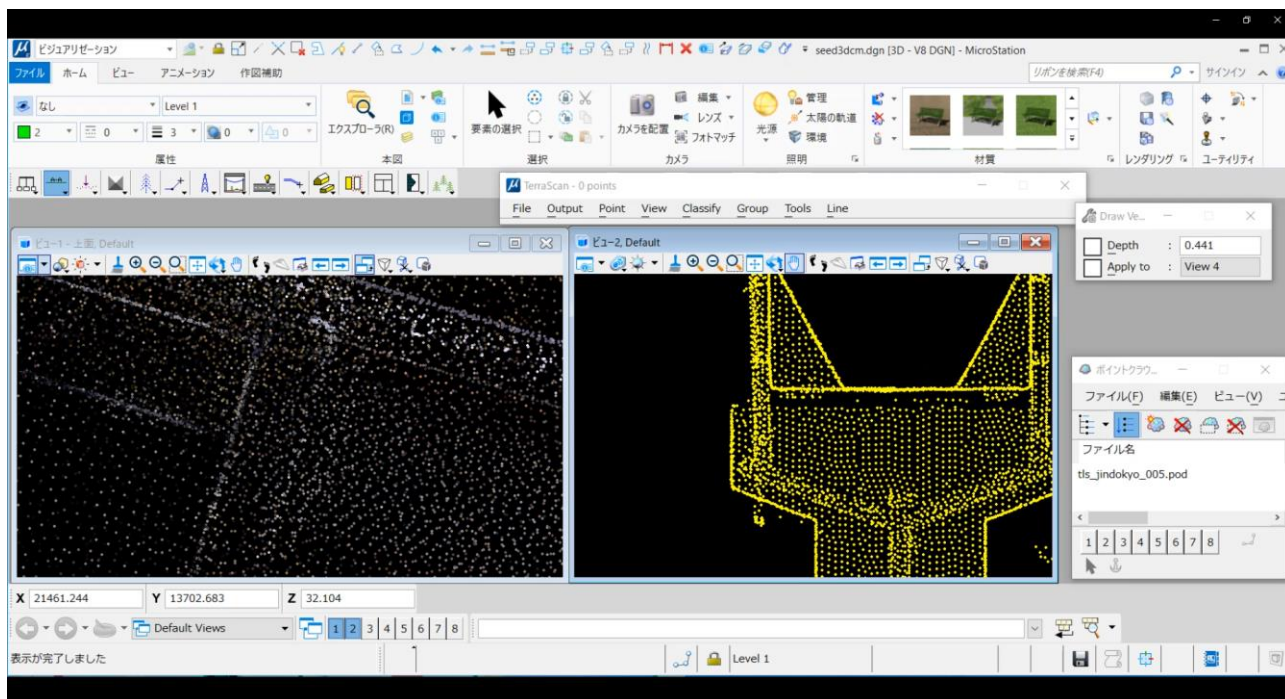


図 21 ソリッド法の断面表示

(イ)断面形状に変化がない範囲の端の箇所にて輪郭線を入力する

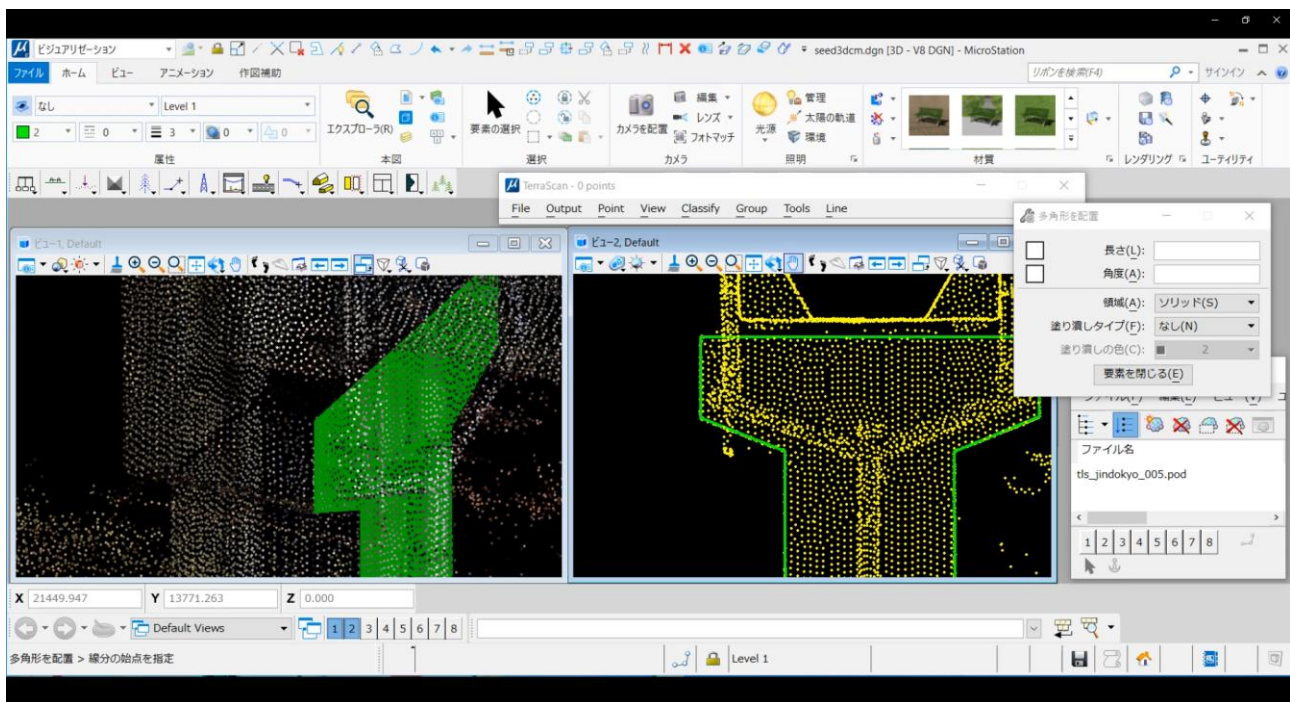


図 22 ソリッド法の輪郭線入力

(ウ)断面形状に変化がない範囲にて、輪郭線を押し出すことで立体化を行う

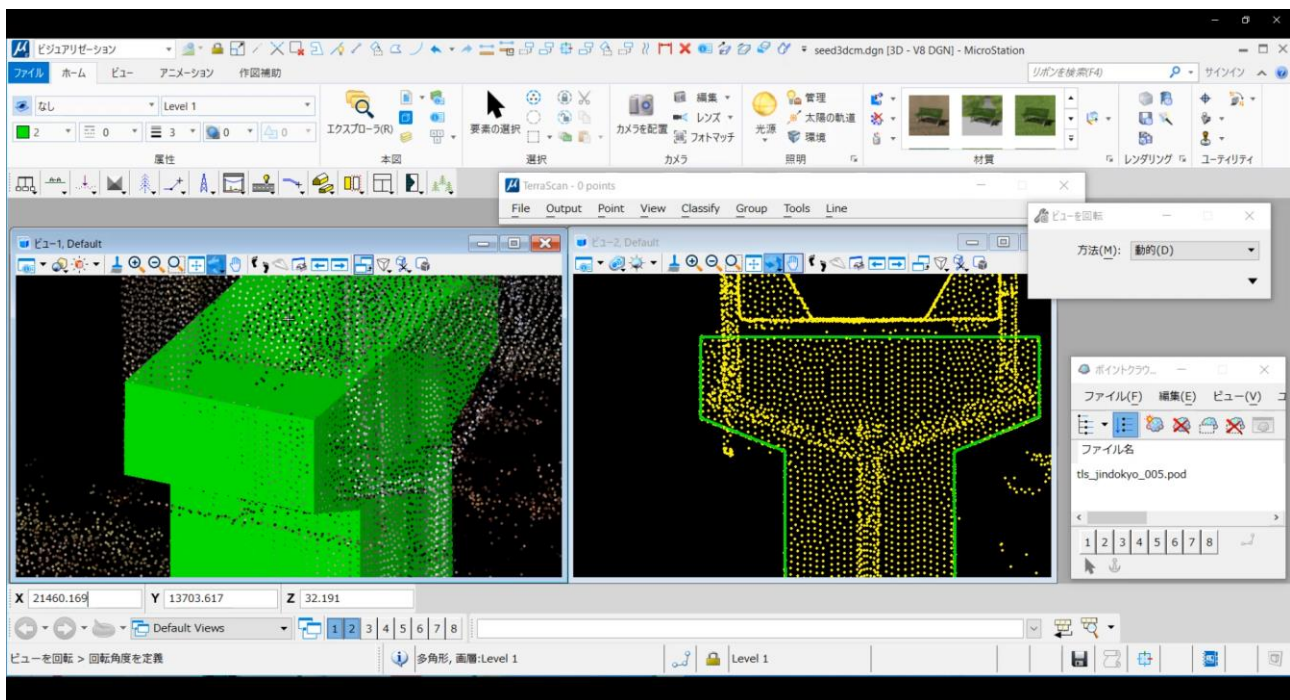


図 23 ソリッド法の立体化

(4) TIN サーフェス法（エッジ抽出法）の作成例

(ア)点群データから平面を探す

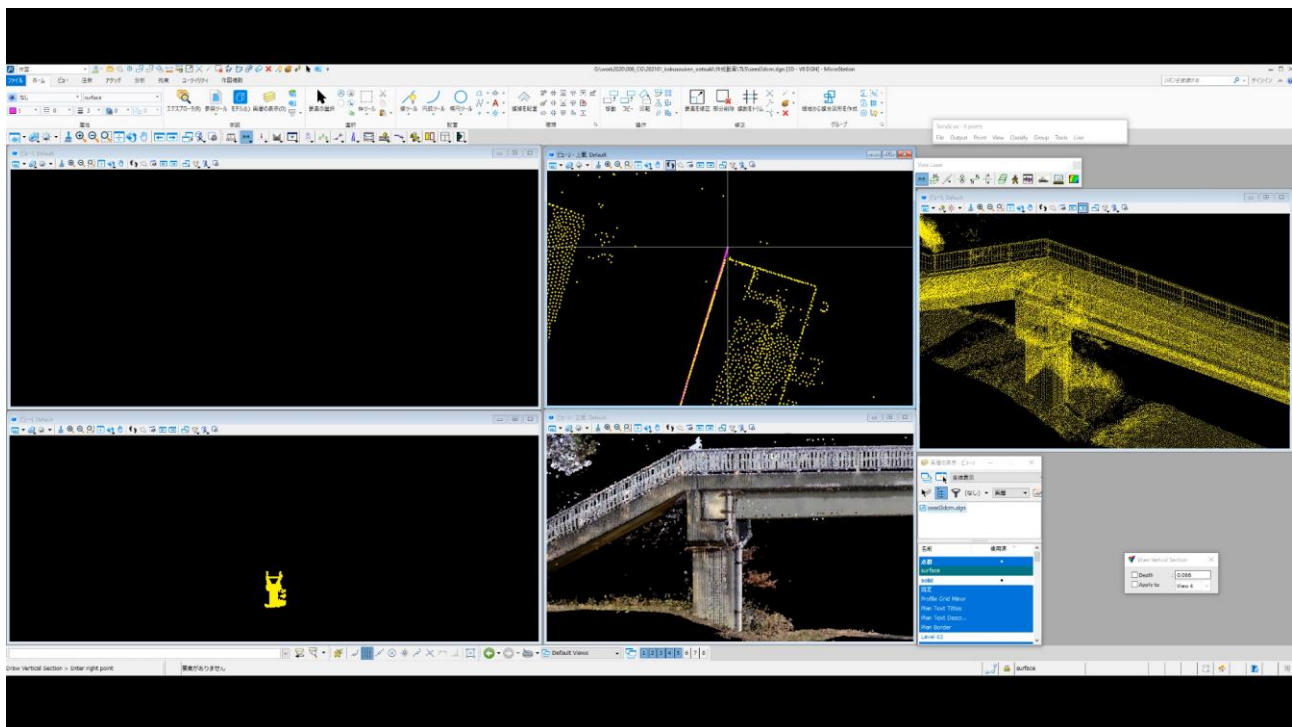


図 24 TIN サーフェス法（エッジ抽出法）の平面探索

(イ) 探した平面の内、2つの隣り合う平面の交線となるエッジを、随時、入力する

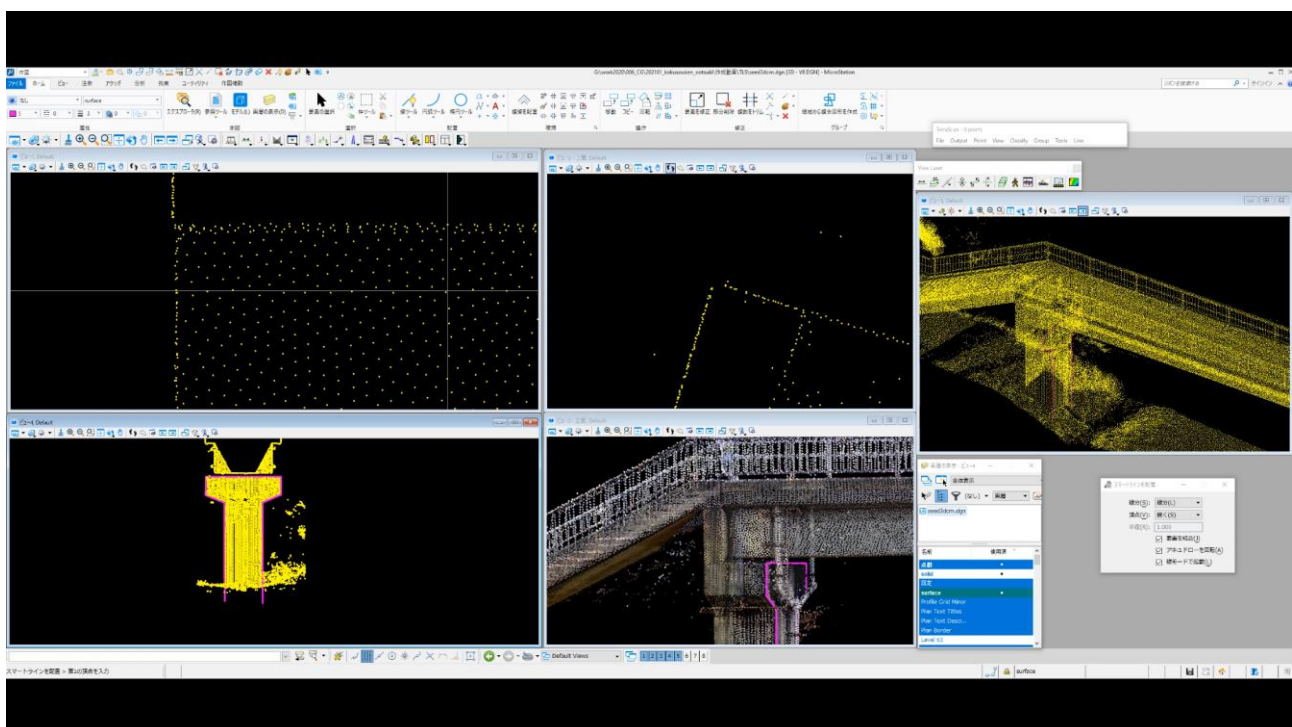


図 25 TIN サーフェス法（エッジ抽出法）のエッジ入力

(ウ) エッジにて構成された面をサーフェスとして入力する

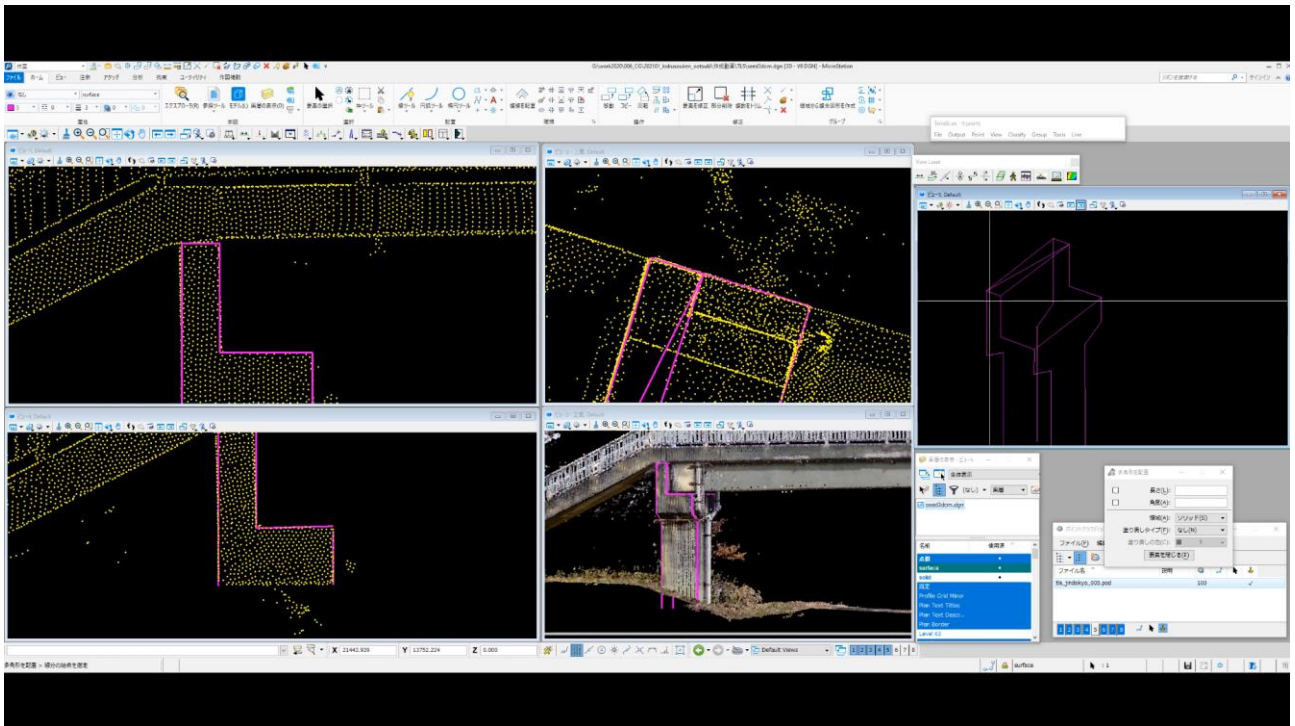


図 26 TIN サーフェス法（エッジ抽出法）の面入力

(エ)サーフェスが足りない部分を補完し、上部構造・下部構造をそれぞれ 1 つの 3 次元モデルとして作成する

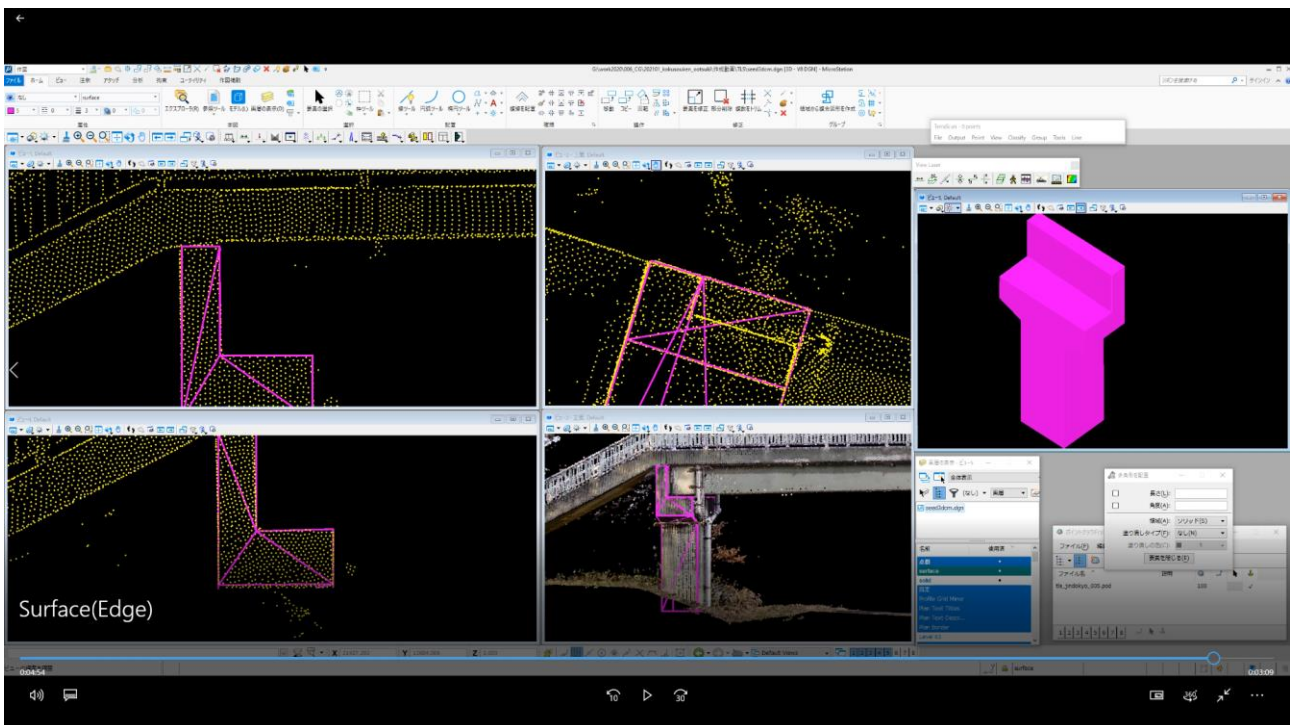


図 27 TIN サーフェス法（エッジ抽出法）の 3 次元モデルへの補完