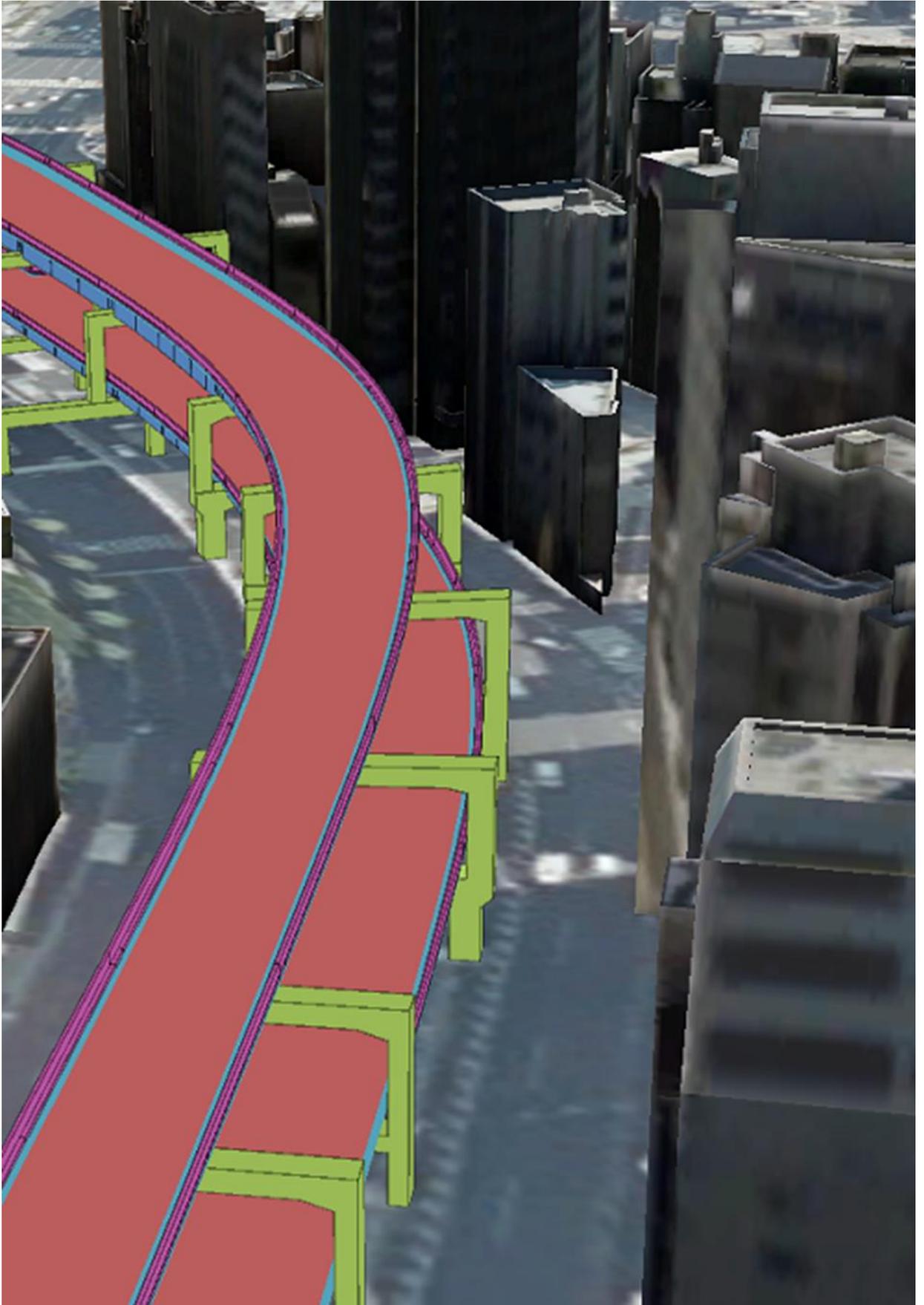




PLATEAU
by MLIT

PLATEAU Technical Report
3D都市モデル活用のための技術資料



都市高速道路管理の効率化

技術検証レポート

Technical Report on the Efficiency Enhancement of Urban Expressway
Management

series No. 92

目次

1. ユースケースの概要	- 1 -
1-1. 現状と課題	- 1 -
1-1-1. 課題認識	- 1 -
1-1-2. 既存業務フロー	- 1 -
1-2. 課題解決のアプローチ	- 3 -
1-3. 創出価値	- 6 -
1-4. 想定事業機会	- 7 -
2. 実証実験の概要	- 8 -
2-1. 実証仮説	- 8 -
2-2. 実証フロー	- 9 -
2-3. 検証ポイント	- 10 -
2-4. 実施体制	- 11 -
2-5. 実証エリア	- 12 -
2-6. スケジュール	- 13 -
3. 実証システム	- 14 -
3-1. アーキテクチャ	- 14 -
3-1-1. システムアーキテクチャ	- 14 -
3-1-2. データアーキテクチャ	- 20 -
3-1-3. ハードウェアアーキテクチャ	- 23 -
3-2. システム機能	- 26 -
3-2-1. システム機能一覧	- 26 -
3-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ	- 28 -
3-2-3. 開発機能の詳細要件	- 28 -
3-3. アルゴリズム	- 34 -
3-3-1. 利用したアルゴリズム	- 34 -
3-3-2. 開発したアルゴリズム	- 46 -
3-4. データインタフェース	- 47 -
3-4-1. ファイル入力インタフェース	- 47 -
3-4-2. ファイル出力インタフェース	- 60 -
3-4-3. 内部連携インタフェース	- 70 -
3-4-4. 外部連携インタフェース	- 71 -
3-5. 実証に用いたデータ	- 73 -
3-5-1. 活用したデータ一覧	- 73 -
3-5-2. 生成・変換したデータ	- 77 -
3-6. ユーザーインタフェース	- 87 -
3-6-1. 画面一覧	- 87 -

3-6-2. 画面遷移図	- 88 -
3-6-3. 各画面仕様詳細	- 88 -
3-7. 実証システムの利用手順	- 98 -
3-7-1. 実証システムの利用フロー	- 98 -
3-7-2. 各画面操作方法	- 99 -
4. 実証技術の検証	- 103 -
4-1. セグメンテーション技術による分類精度・作業効率化検証	- 103 -
4-1-1. 検証目的	- 103 -
4-1-2. KPI	- 103 -
4-1-3. 検証方法と検証シナリオ	- 104 -
4-1-4. 検証結果	- 106 -
4-1-5. 本実証技術を活用して作成した 3D 都市モデル	- 110 -
4-2. サーフェスモデルの自動生成技術検証	- 123 -
4-2-1. 検証目的	- 123 -
4-2-2. KPI	- 123 -
4-2-3. 検証方法と検証シナリオ	- 123 -
4-2-4. 検証結果	- 124 -
4-2-5. 本実証技術を活用して作成した 3D 都市モデル	- 126 -
5. BtoB ビジネスでの有用性検証	- 132 -
5-1. 検証目的	- 132 -
5-2. 被験者	- 133 -
5-3. 検証方法	- 133 -
5-4. ヒアリング・アンケートの詳細	- 134 -
5-4-1. アジェンダ・タイムテーブル	- 134 -
5-4-2. アジェンダの詳細	- 134 -
5-4-3. 検証項目と評価方法	- 138 -
5-4-4. 実証実験の様子	- 141 -
5-5. 検証結果	- 146 -
5-5-1. アウトプット評価	- 146 -
5-5-2. 3D 都市モデルの仕様検討結果	- 159 -
6. 成果と課題	- 162 -
6-1. 本実証で得られた成果	- 162 -
6-1-1. 3D 都市モデルの技術面での優位性	- 162 -
6-1-2. 3D 都市モデルの政策面での優位性	- 162 -
6-2. 実証実験で得られた課題と対応策	- 163 -
6-3. 今後の展望	- 165 -
7. 用語集	- 166 -

1. ユースケースの概要

1-1. 現状と課題

1-1-1. 課題認識

道路インフラの老朽化は深刻な問題となっており、いかに効率的に管理保全していくかが社会的課題となっている。首都高速道路を例として挙げると、構造物比率の95%が橋梁やトンネルであり、総延長327kmのうち、供用から50年以上経過した路線が全体の28%、30年以上経過した路線が67%と高齢化が進んでいる。

他方、生産年齢人口の減少など社会的な環境変化により、構造物の維持管理を行う技術者が今後減少することが懸念されている。そのため、InfraBIM（CIM）等を活用した管理・保全業務の効率化・高度化が期待されているが、技術的難易度の高さやデータ整備のコストが導入の課題となっている。

1-1-2. 既存業務フロー

現状の高速道路管理における2次元図面データから3次元モデル（InfraBIM）を作成する工程を以下に示す。

凡例： 手動実施

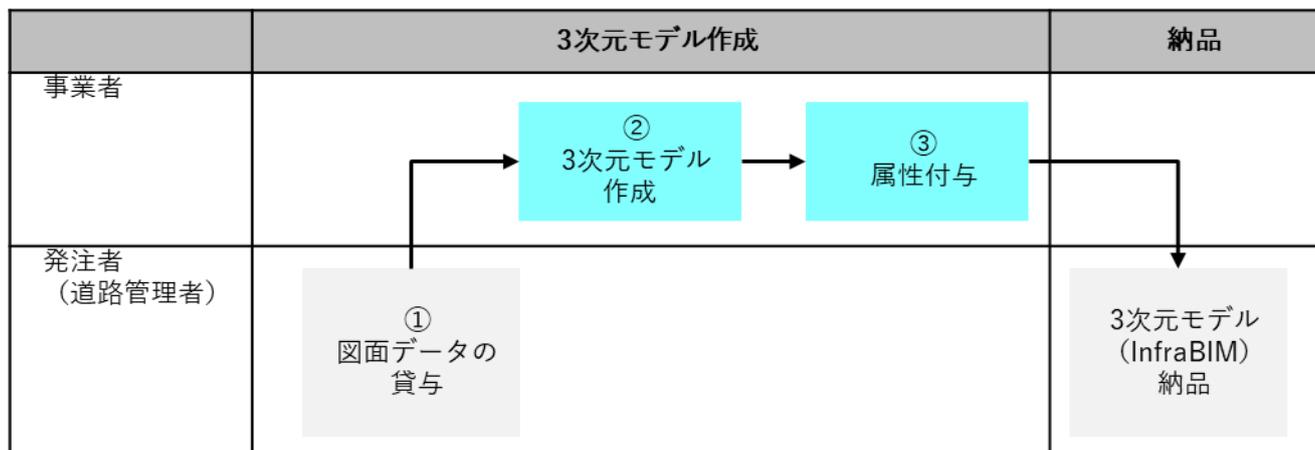


図 1-1 既存の業務フロー

表 1-1 既存業務概要

実施項目	実施主体	業務概要
① 図面データの貸与	道路管理者	● CAD 製図基準等に基づいて作成された図面を貸与する
② 3次元モデル作成	事業者	● CAD ソフトにて手動で3次元の形状モデルを作成する。単に「3次元モデル」と表現される場合は、属性情報の有無は問わない。
③ 属性付与	事業者	● 3次元モデルに部材（部品）の情報（部材等の名称、形状、寸法、物性及び物性値（強度等）、材料製品等の規格・仕様、数量、そのほか付与すべき情報）を付与する。

1-2. 課題解決のアプローチ

今回の実証実験では、都市高速道路の 3D 都市モデル（※高速走路モデル、トンネルモデル等）の効率的な整備を実現するため、MMS 測量により取得した高密度な 3D 点群データから高速道路の各部材に分類・モデリングをした後、自動で 3D 都市モデルを生成するシステムを開発する。

また、3D 都市モデルを活用した点検・保全業務の結果を管理可能なシミュレーションアプリを開発し、高速道路の点検・保全業務の高度化を図る。

具体的には、MMS で取得した高密度点群データをもとに、点群を自動分類するセマンティックセグメンテーション機能と構造物のサーフェスモデルを自動生成するアルゴリズムの 2 つの手法を開発する。そして、作成した 3D 都市モデル（LOD3 道路モデル・橋梁モデル・トンネルモデル）を ArcGIS 上で統合し、高速道路の点検支援用シミュレーションアプリを構築する。

高密度点群データから高速道路の 3D 都市モデルを自動的に生成するプロセスを開発することで、既存の 3D モデルよりもより安価且つ効率的なデータ整備プロセスの確立が可能になるのに加え、従来のインフラ管理に活用されている CAD や 3D 点群データに比べて、地理座標を保持しデータ容量の軽い 3D 都市モデルを活用したアプリケーションの提供を実現することで、広範囲にわたるインフラ設備を包括的に管理することができる。

※3D 都市モデルは現実の物体ベースの地物定義を採用している（例えば、「橋梁」という物体に着目して「橋梁モデル」を定義している。それが「鉄道橋」なのか「歩道橋」なのかは主題属性等によって区分される。）。このため、PLATEAU の標準仕様には都市高速道路に特化した地物定義は存在せず、道路モデル、橋梁モデル、トンネルモデルなど複数の地物を組み合わせることで高速道路モデルを表現する。

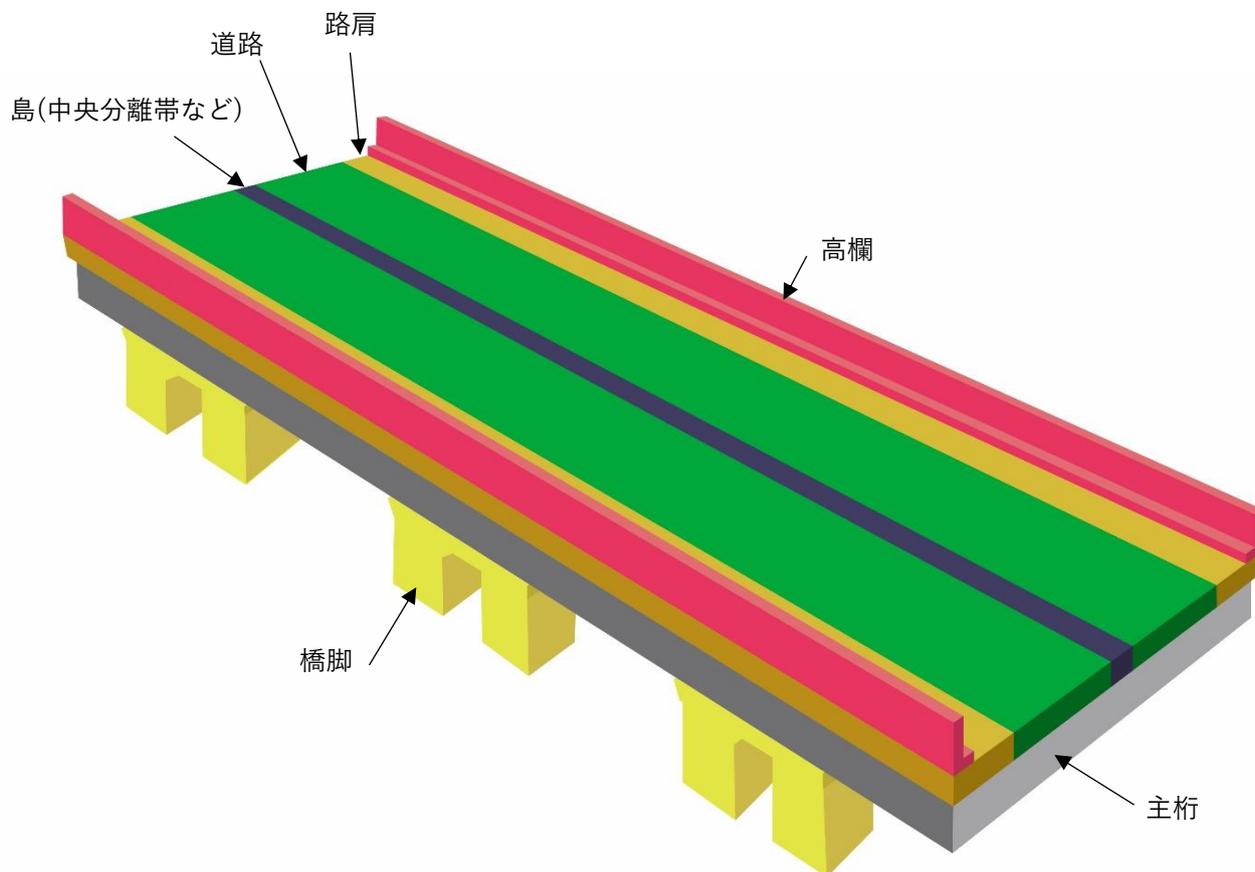


図 1-2 3D 都市モデルの各地物イメージ（都市高速道路について）

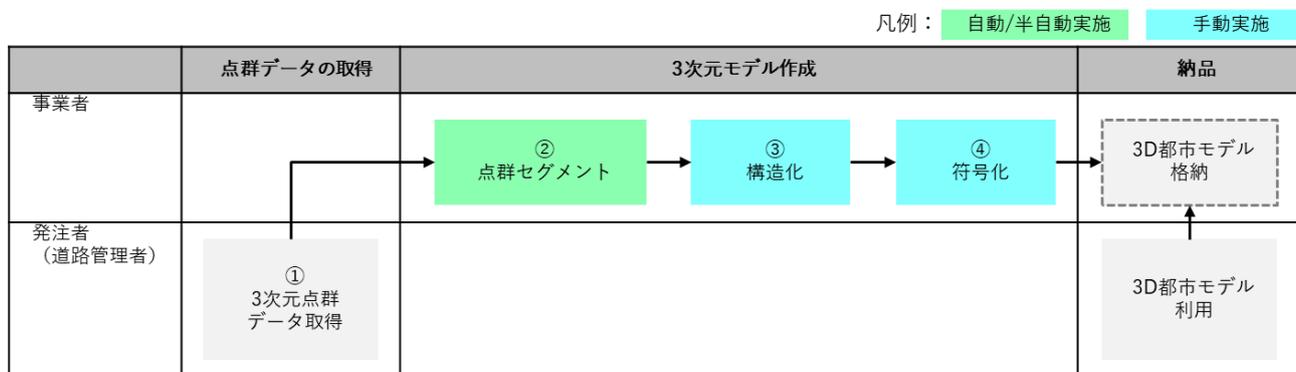


図 1-2 本システムによる業務フロー

表 1-2 今回の実証実験で実施する要素技術

点群セマンティックセグメンテーション	サーフェスモデル自動生成
<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデル標準製品仕様書で規定されている構造物単位で 3D 点群データの分類を行う ● 分類は半自動セグメンテーションにより実施する ● 分類を正しく行うことができなかった箇所は 3D 点群データの編集が可能な CAD ソフトにて手動で実施する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 点群データをもとに 3D 都市モデル標準製品仕様書に則った仕様で半自動にてサーフェスモデルを作成する

表 1-3 本システム導入による改善点

実施項目	実施主体	業務概要
①3D 点群データ取得	道路管理者	<ul style="list-style-type: none"> ● 既存業務と同様
②点群セグメント	事業者	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデル標準製品仕様書で規定されている構造物単位で 3D 点群データの分類を行う ● 分類された 3D 点群データをもとにサーフェスモデルを自動生成する
③構造化	事業者	<ul style="list-style-type: none"> ● サーフェスモデルをもとに 3D 都市モデル標準製品仕様書に則った仕様で CAD ソフトにて手動モデリングを行う ● モデリングに使用するデータについては、分類の精度やデータ容量をもとに選定する
④符号化	事業者	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデル標準製品仕様書に従って FME を使用し CityGML cording を行う

加えて、生成した 3D 都市モデルを都市高速道路の業務管理・保全業務に活用するための手法を検討することで、道路インフラの管理・保全業務における 3D 都市モデルの有用性を検証する。

1-3. 創出価値

都市高速道路等の大規模インフラの管理・保全業務の効率化・高度化を図るため、デジタルツイン技術等のデジタルツールを活用した業務プロセスの変革が求められている。近年では、設計データをもとにした InfraBIM（CIM）を活用した管理・保全業務の効率化・高度化が研究されているが、3D モデルの構築の技術的難易度やデータ整備コストの高さから、実務での活用には様々な課題がある。

今回の実証実験で、3D 点群データを用いた低コストかつ効率的な高速道路の 3D 都市モデル自動生成技術を確認すると共に、3D 都市モデルを活用して作成した道路点検・管理のデモンストレーションツールの有用性検証を通じて得られた知見に基づき、InfraBIM（CIM）を用いた既存仕様と互換性のある形で 3D 都市モデル（LOD3-4）の仕様を整理することによって、インフラ管理の効率化に寄与することを目指す。

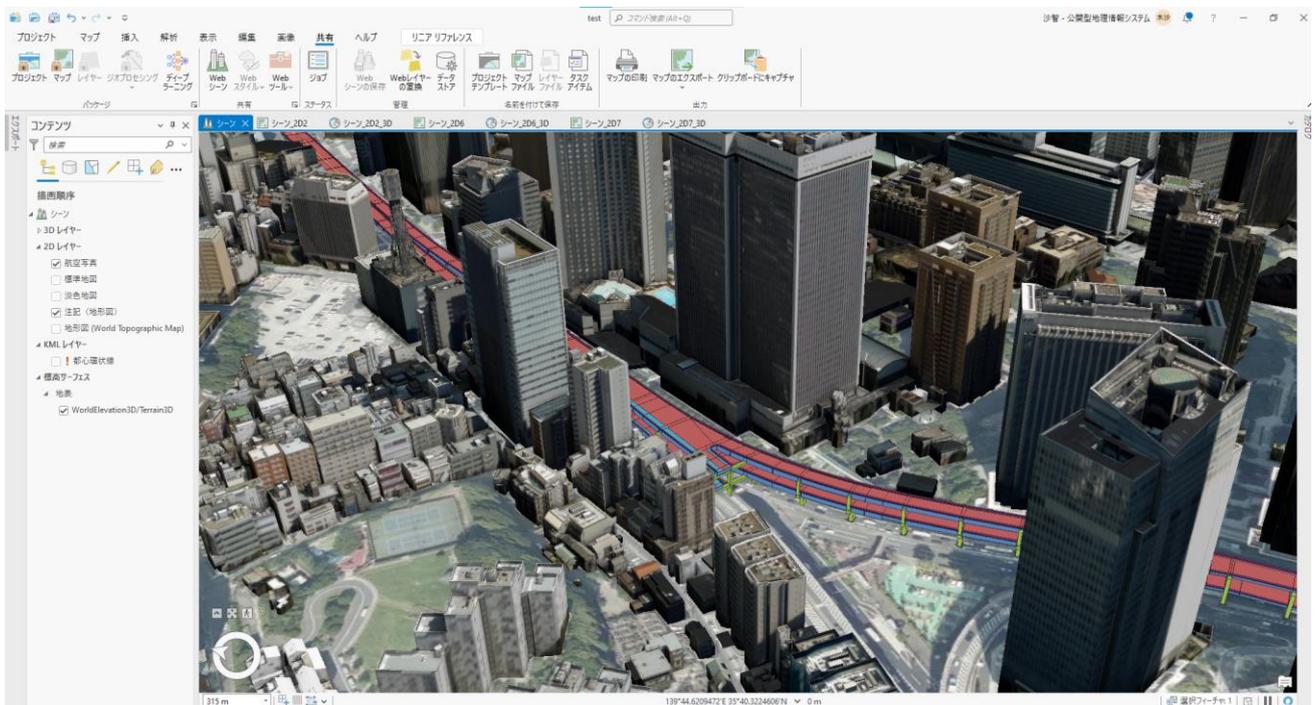


図 1-4 システムのメインビジュアル

1-4. 想定事業機会

表 1-4 想定事業機会

項目	内容
利用者	<ul style="list-style-type: none">● 地図事業者● 道路管理者（国、都道府県、市区町村、高速道路管理者ほか）
サービス仮説	<ul style="list-style-type: none">● 3D 都市モデルを生成するセグメンテーション・モデリング用ソフトウェアとしての提供● PLATEAU3D 高速道路モデル作成サービス（地図情報レベル 500）<ul style="list-style-type: none">➢ InfraBIM（CIM）仕様と連携した高速道路モデルを作成するサービス
提供価値	<ul style="list-style-type: none">● 3D 都市モデルの作成コスト・時間の効率化● 3D 都市モデルを活用したインフラ管理業務の効率化・高度化

2. 実証実験の概要

2-1. 実証仮説

- 今回の実証実験では、MMS から取得した 3D 点群データを使用し、セグメンテーション及びサーフェスモデル生成のアルゴリズムを用いて、3D モデルの生成プロセスを自動/半自動化するシステムを構築する。これにより、道路管理者が保有する 3D 点群データを使用すれば、効率的に 3D 都市モデルを生成できるようになる。
- また、符号化した 3D 都市モデルを InfraBIM (CIM) が持つ属性情報等の仕様と合わせることで、インフラ管理にも使用可能な安価で汎用的なデータとして利用用途が広がる

2-2. 実証フロー

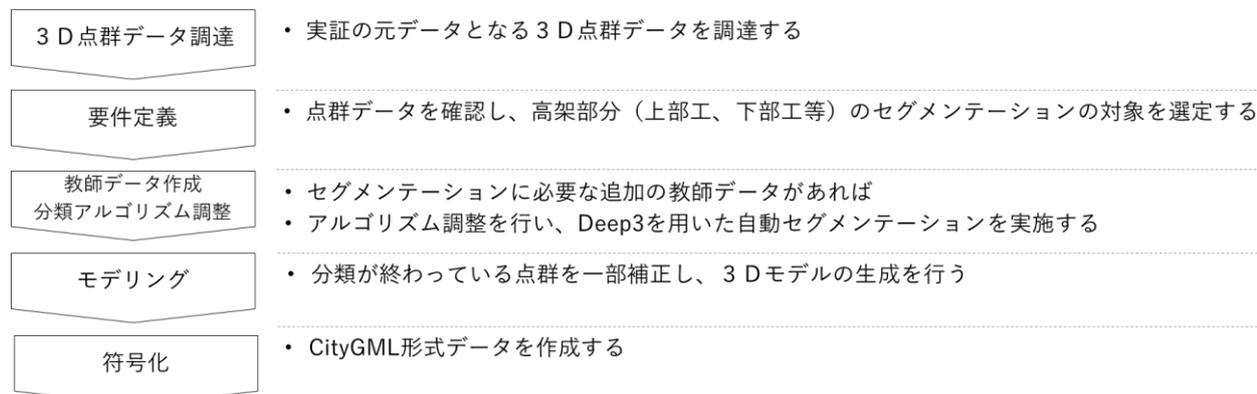


図 2-1 実証実験での業務フロー（点群セマンティックセグメンテーション）

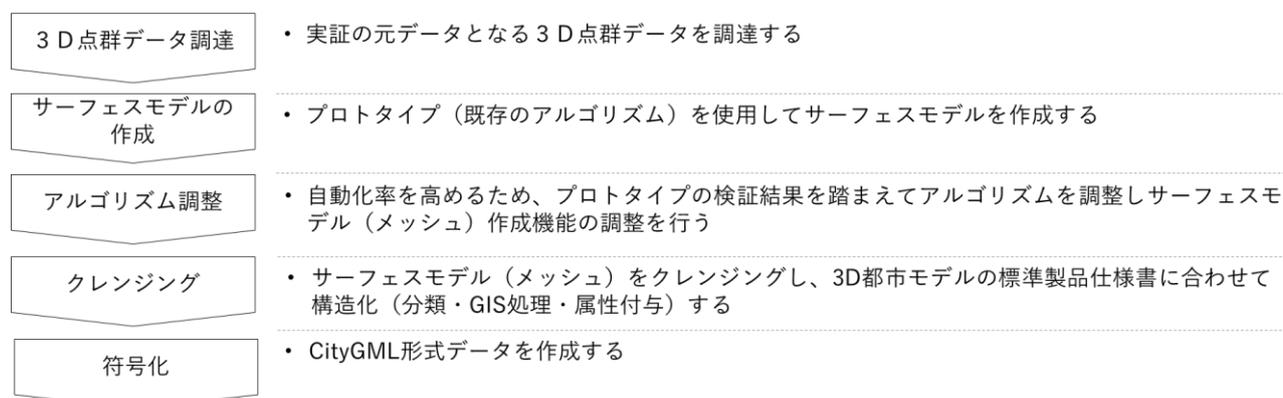


図 2-2 実証実験での業務フロー（サーフェスモデル自動生成）

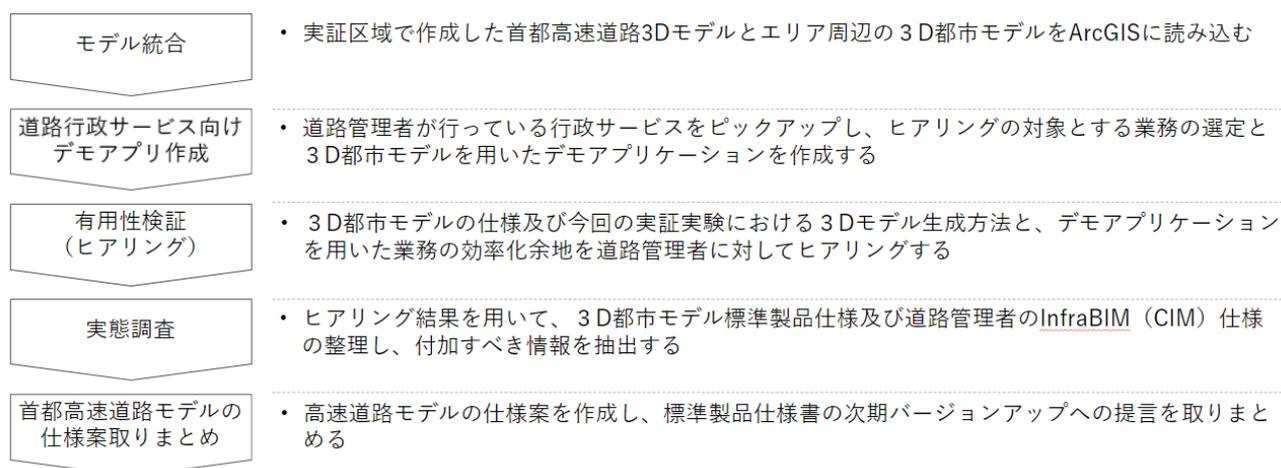


図 2-3 実証実験での業務フロー（3D都市モデルの作成・利用環境の構築）

2-3. 検証ポイント

- セグメンテーション技術による 3D 点群データの分類精度と 3D 都市モデルの削減工数
 - MMS で取得した高密度 3D 点群データをいくつかの点群密度のパターンで準備し、セグメンテーションを実施した際の分類精度と 3D 都市モデルの自動生成に必要な点群密度を特定する。
 - 既存の手動生成の工数とセグメンテーションアルゴリズムを利用した工数を比較し、3D 都市モデルの生成が効率的に実現できているか比較する。
- サーフェスモデルの変換成功率
 - 3D 点群データを正しく認識してサーフェスモデルが生成されているか確認する。

上記 2 点の検証ポイントについては、【4 章：実証技術の検証】にて検証結果を記載

- インフラ管理領域における 3D 都市モデルの活用余地拡大に向けた有用性
 - セグメンテーション及びサーフェスモデル生成のアルゴリズムを活用して 3D 都市モデルを自動的に生成するシステムを構築することで、道路管理者が保有する 3D 点群データを活用した効率的な 3D モデル生成プロセスを実現することが出来るかを確認する。
 - 地理座標及び、施設管理番号などの属性情報を持たせつつ、データが軽量であることから広範囲のデータを取り扱うことが可能な 3D 都市モデルを活用した道路点検アプリケーションを開発することで、視認性の向上に加えて、包括的なリスク分析や道路点検計画など既存の道路管理業務の効率化・高度化に寄与することが出来るかを確認する。
 - インフラ管理にも使用可能な安価で汎用的なデータとして利用用途を広げるために、符号化した 3D 都市モデルを InfraBIM (CIM) が持つデータの仕様と比較し、今後の仕様更新に向けて追加すべき属性情報を整理する。

上記 1 点の検証ポイントについては、【5 章：BtoB ビジネスでの有用性検証】にて検証結果を記載

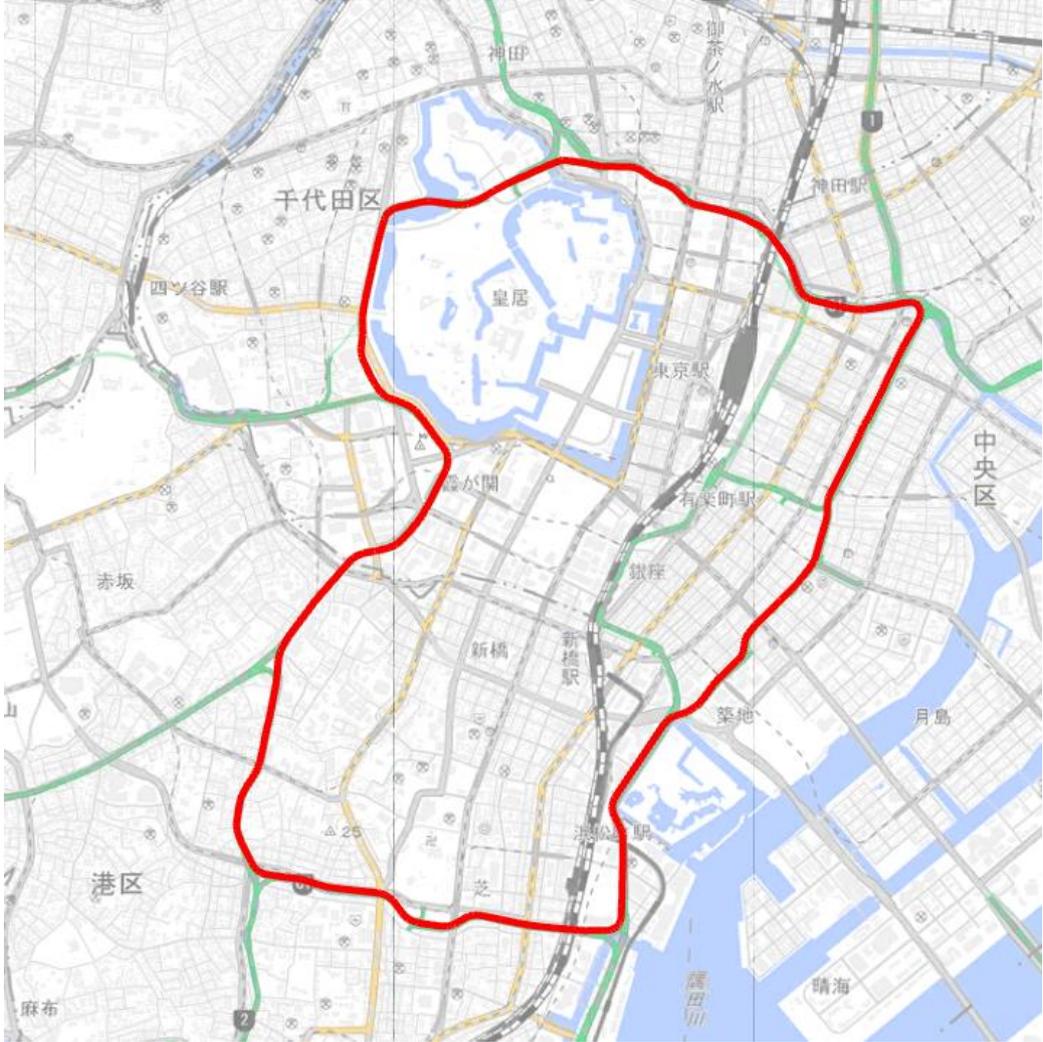
2-4. 実施体制

表 2-1 実施体制

役割	主体	詳細
全体管理	国土交通省 都市局	プロジェクト全体ディレクション
	アクセントチュア	プロジェクト全体マネジメント
実施事業者	朝日航洋	全体管理 3D モデル生成、クレンジング、構造化、符号化
	ローカスブルー	3D 点群データセグメンテーション アルゴリズム調整
	DataLabs	サーフェスモデル作成 アルゴリズム調整
実施協力	首都高速道路	道路管理者ヒアリング協力
	埼玉県	道路管理者ヒアリング協力
	狭山市	道路管理者ヒアリング協力

2-5. 実証エリア

表 2-2 実証エリア

項目	内容
実証地	首都高速道路 都心環状線（東京都）
面積	14.8km ※道路のため距離で記載
マップ (対象エリア は赤枠内)	 <p>The map displays a section of central Tokyo. A red outline highlights the study area, which encompasses the Imperial Palace (皇居) and extends to the Yamanote Line (山手線) and surrounding urban areas. Key locations labeled include Chiyoda Ward (千代田区), Nishi-Shinjuku (新大塚), and Minami-Shinjuku (新大塚). Major landmarks and infrastructure shown include the Imperial Palace, the Yamanote Line, and various stations such as Nishi-Shinjuku Station (新大塚駅), Nishi-Shinjuku Station (新大塚駅), and Nishi-Shinjuku Station (新大塚駅). The map also shows the Arakawa River (荒川) and the Sagami River (相模川).</p>

2-6. スケジュール

表 2-3 スケジュール

実施事項	2023 年										2024 年		
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	
1. 実施計画		←→											
2. 3D 点群データ調達		←→	→										
3. モデリング				←→	→								
4. サーフェスモデルの作成・ アルゴリズム調整			←→	→									
5. クレンジング						←→	→						
6. 点群分類						←→	→						
7. 3D モデル生成				←→	→								
8. 道路管理者へヒアリング・ 都市モデル仕様案作成								←→	→				
9. PLATEAU モデルと統合					←→	→			←→	→			
10. 成果とりまとめ										←→	→		

3. 実証システム

3-1. アーキテクチャ

3-1-1. システムアーキテクチャ

今回の実証実験では、都市高速道路の管理・保全業務を効率化するため、2種類の手法を用いたデータ自動生成機能の開発と3D都市モデルを用いた高速道路点検支援シミュレーションアプリを試作した。

MMS 測量により取得した点群データから都市高速道路の3D都市モデルを自動生成する機能の開発にあたっては、①セマンティックセグメンテーションを用いた点群の自動分類機能と、②構造物のサーフェスモデルの自動生成アルゴリズムの2つを開発し、それぞれに対して精度検証を実施した。

①セマンティックセグメンテーションによる点群の自動分類機能の開発では、取得した点群の分布を活用して平面構造や立体構造を識別するルールベースのアルゴリズムを活用し、段階的に分類することで点群データに含まれる構造物を3D都市モデルの分類項目に従って自動的に分類した。最初に分類する地表面や床板等の平面構造には、MATLAB (MathWorks, USA)のライブラリを一部利用して開発されたRANSAC (Random Sample Consensus) アルゴリズムと呼ばれる点群の中から3点以上の任意の点を選択して仮想平面を定義し、その平面の法線ベクトルで一定の距離内の点をカウントする処理を繰り返した上で、カウントされる点が多い平面を現実での平面部分であると推定する手法を使用している。まず、全量の点群データから抽出された最も広い平面部分を地表面として分類し、さらに、同様のアルゴリズムを用いて地表面を基準として一定の高さ以上の点群データに対しても平面部分の抽出を行い、地表面と並行な構造を有している特徴を活かして床板の分類を行った。

その後、床板を基準として上下部の点群に対して立体構造を識別するために、Mean Shift 法（点群を密度ベースでクラスタ化し、構造を抽出する方法）とCuboid Fitting 法（抽出した構造を直方体に近似し、構造物の位置と傾斜を分類する手法）を活用している。床板より上部に存在する点群から高欄に近い連続した直方体形状のものを抽出することで上部工である高欄を特定し、さらに床面と地表面の間にある点群を下部工とする。最後に、下部工とされた点群の内、床板の間で鉛直方向かつ厚みがある点群部分を主桁、それ以外を橋脚とすることで、高架構造物の分類を実現している。これによって生成されたセグメンテーション点群を用いて、床板、高欄、主桁、橋脚を自動分類した。

ここで使用した点群データは、MMS 測量を他の業務に利用する際に必要な最低密度（400 点/m²）より密度の高い600 点/m²にダウンサンプリングし活用した。

点群セマンティックセグメンテーションのシステム・アーキテクチャを下図に示す。

点群セマンティックセグメンテーション

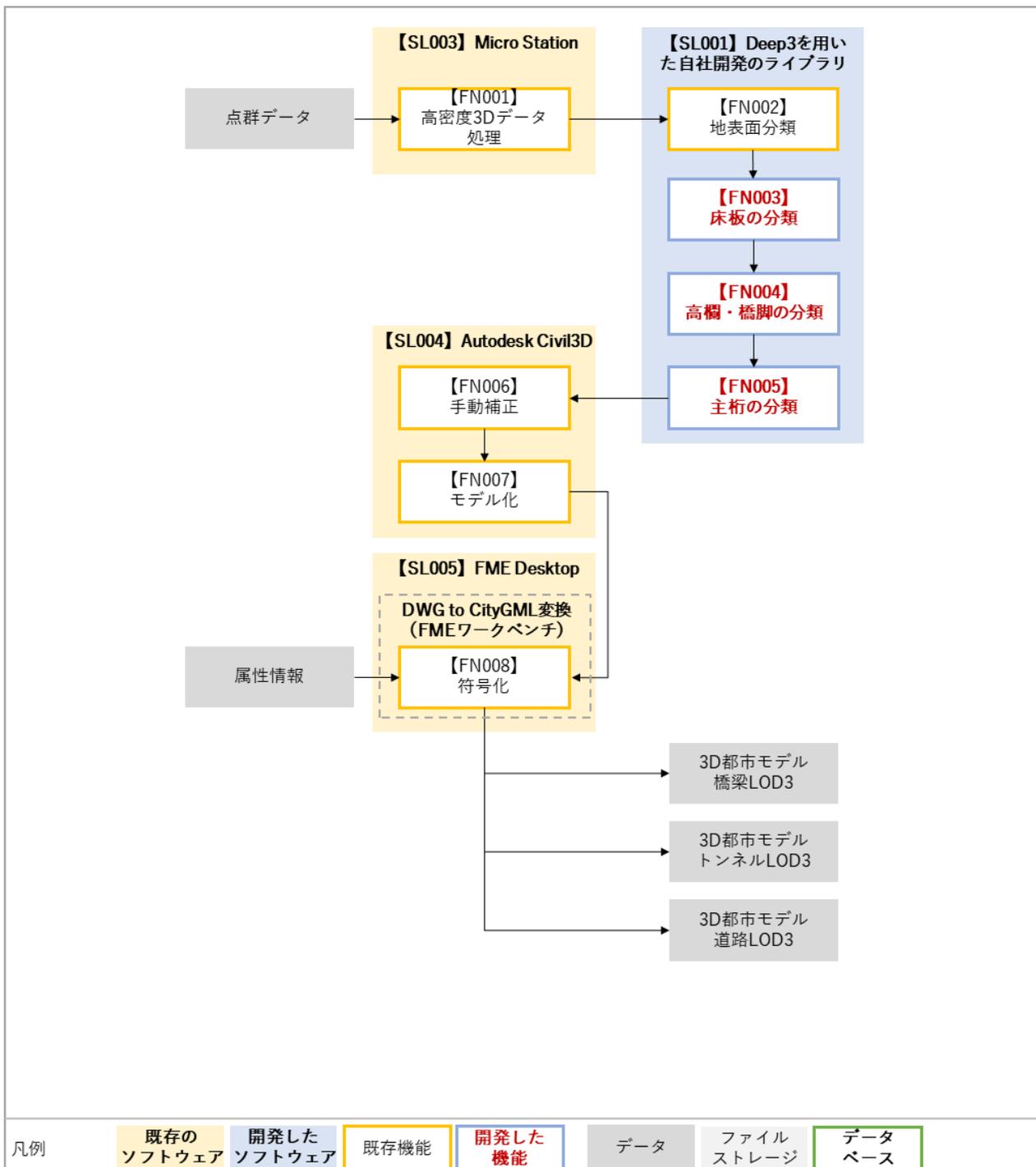


図 3-1 システムアーキテクチャ (点群セマンティックセグメンテーション)

②サーフェスモデル自動生成機能では、2つのステップ（Pre-mesh 生成⇒平面抽出）で処理を行う。まず「Pre-mesh 生成」において、取得した点群からメッシュを生成し、その後「平面抽出」において、生成したメッシュに対して平面を抽出することでサーフェスモデルを生成した。

具体的な方法として、「Pre-mesh 生成」のステップでは、取得した点群データにおける各点を中心に任意の半径の球を作成し、球同士が交差するかどうかを判定して隣接関係を付与する Pre-mesh アルゴリズムを用いている。この隣接関係があると判定された点を組み合わせて1つのメッシュを生成する仕組みを実装した。次に、「平面抽出」のステップは、作成したメッシュに対して、Region Growing アルゴリズムを用いて同一平面上にあるものをラベリングして繋ぐことで平面を抽出し、連続したメッシュデータを生成する。この処理によって、高架構造物のサーフェスモデルが生成される。

この機能で使用する点群データは、データサイズと操作性のバランスを考慮し 100 点/m²にダウンサンプリングしたものを活用した。また、今回の各システムにより自動生成することができないトンネル区間、水路上の高速道路等については LOD3.0 のトンネルモデル、LOD3.0 の道路モデルを手動で作成した上で、自動生成したモデルと統合し、検証場所である首都高速道路都心環状線（C1）の1周分の 3D 都市モデルを作成した。

サーフェスモデル自動生成のシステム・アーキテクチャを下図に示す。

サーフェスモデル自動生成

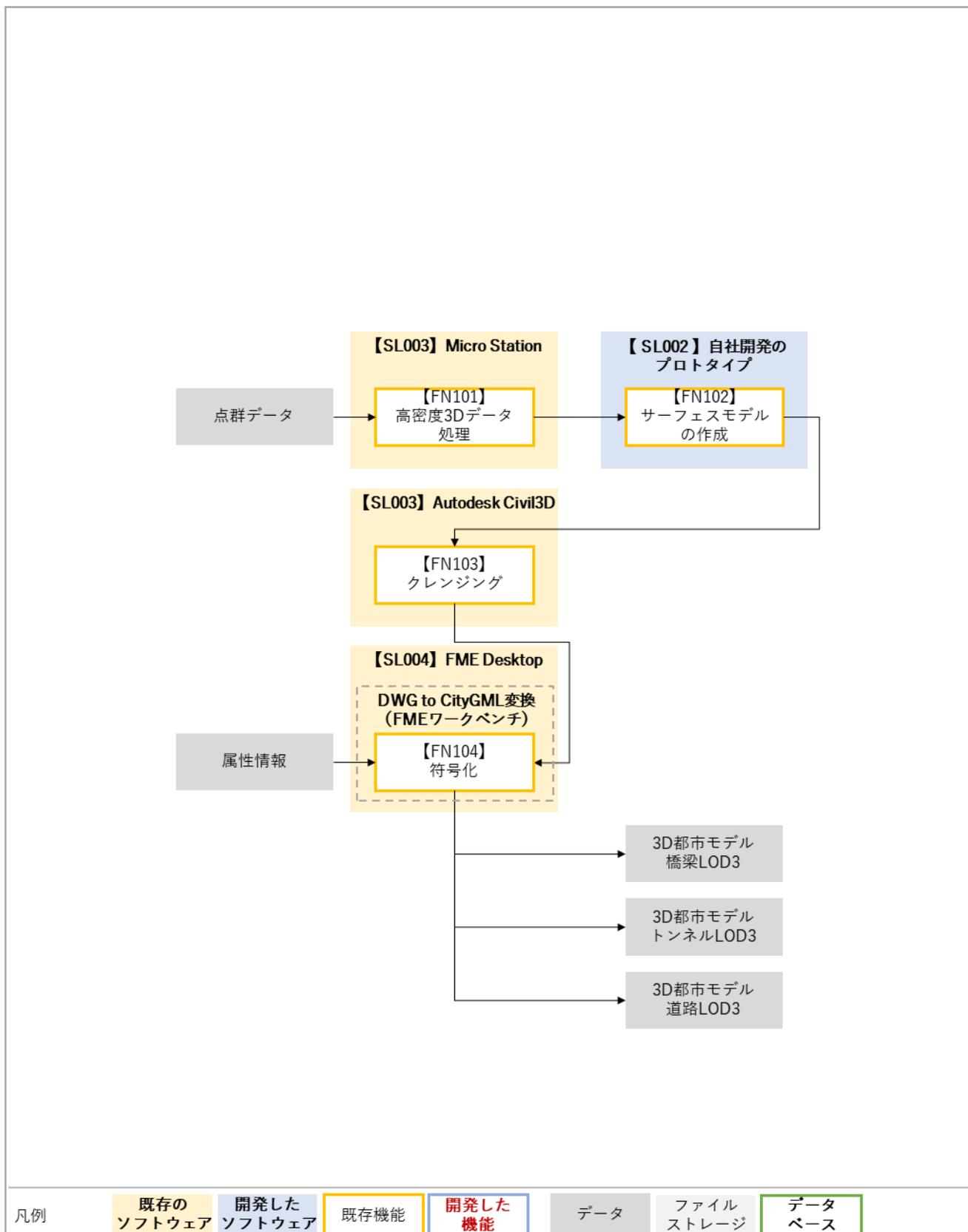


図 3-2 システムアーキテクチャ (サーフェスモデル自動生成)

uc23-22_技術検証レポート_都市高速道路管理の効率化

これらのデータを用いた高速道路の管理・保全業務の効率化検証に向けて、高速道路の点検支援シミュレーションデモアプリを ArcGIS 上で開発した。本アプリは、作成した首都高速道路の 3D 都市モデルを読み込み、対象エリアを 3 次元的に形状確認できるほか、任意の構造の管理情報（管理番号、路線名、点検日等）を確認・編集する機能、点検時に見つかった損傷を任意の場所へマーキングする機能、高速道路の構造単位での管理情報や点検結果を時系列管理する機能を有する。今回の実証実験では、作成したデータの有用性を主要なヒアリング対象とし、データを実際に管理・保全業務で利活用するイメージ醸成のために本アプリを使用した。

3D 都市モデルの作成・利用環境の構築のシステム・アーキテクチャを下図に示す。

3D 都市モデルの作成・利用環境の構築

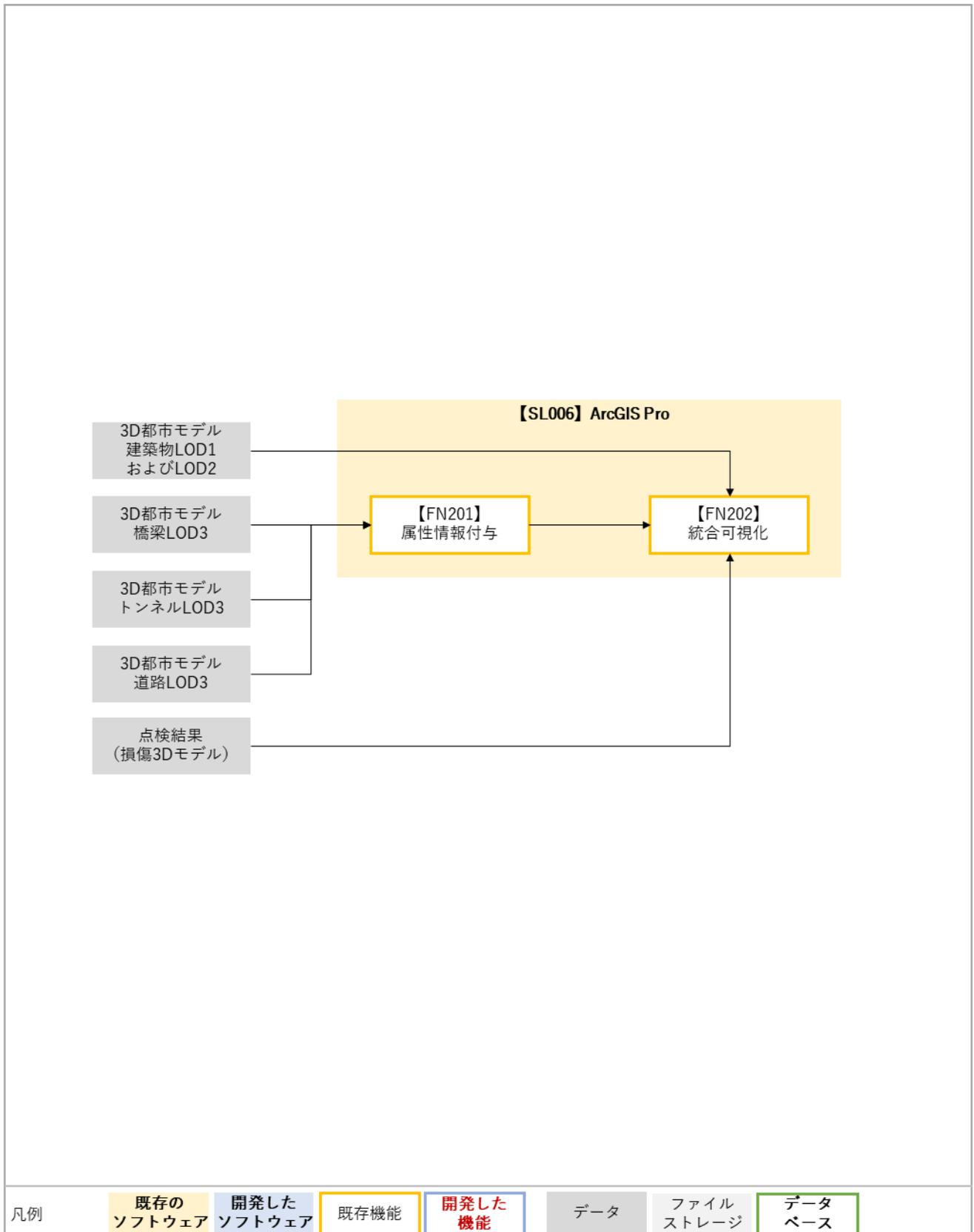


図 3-3 システムアーキテクチャ（3D 都市モデルの作成・利用環境の構築）

3-1-2. データアーキテクチャ

点群セマンティックセグメンテーション

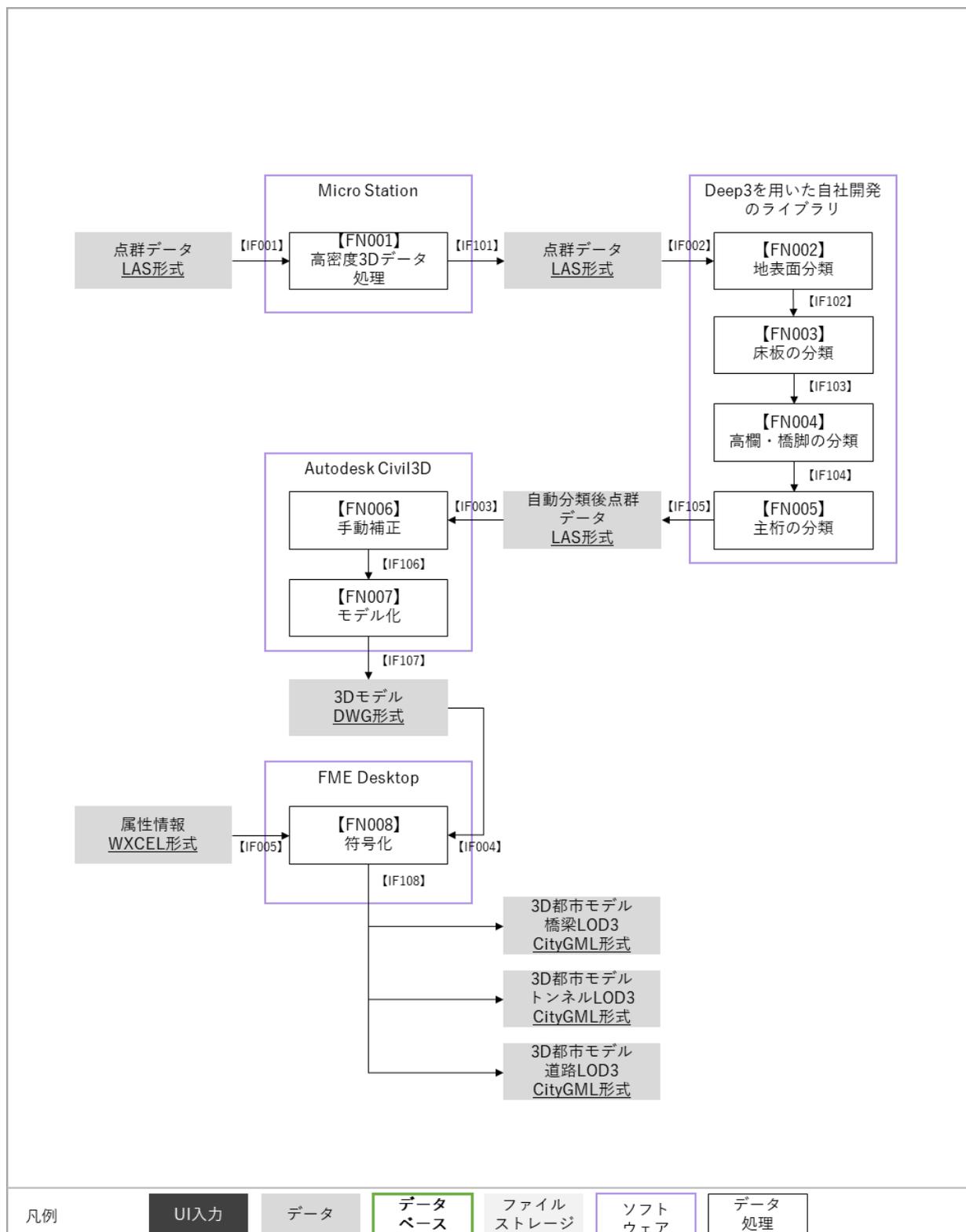


図 3-4 データアーキテクチャ (点群セマンティックセグメンテーション)

サーフェスモデル自動生成

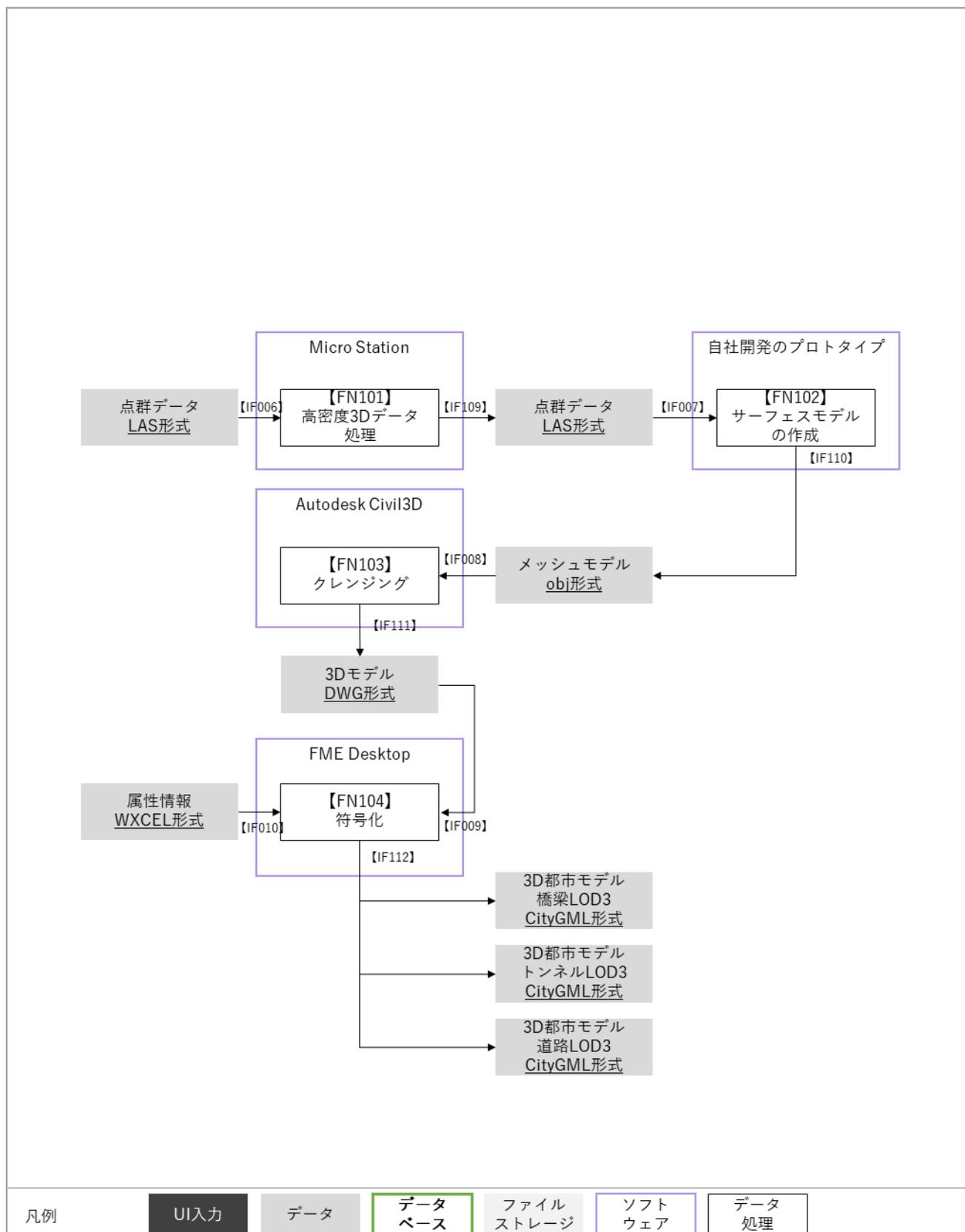


図 3-5 データアーキテクチャ（サーフェスモデル自動生成）

3D 都市モデルの作成・利用環境の構築

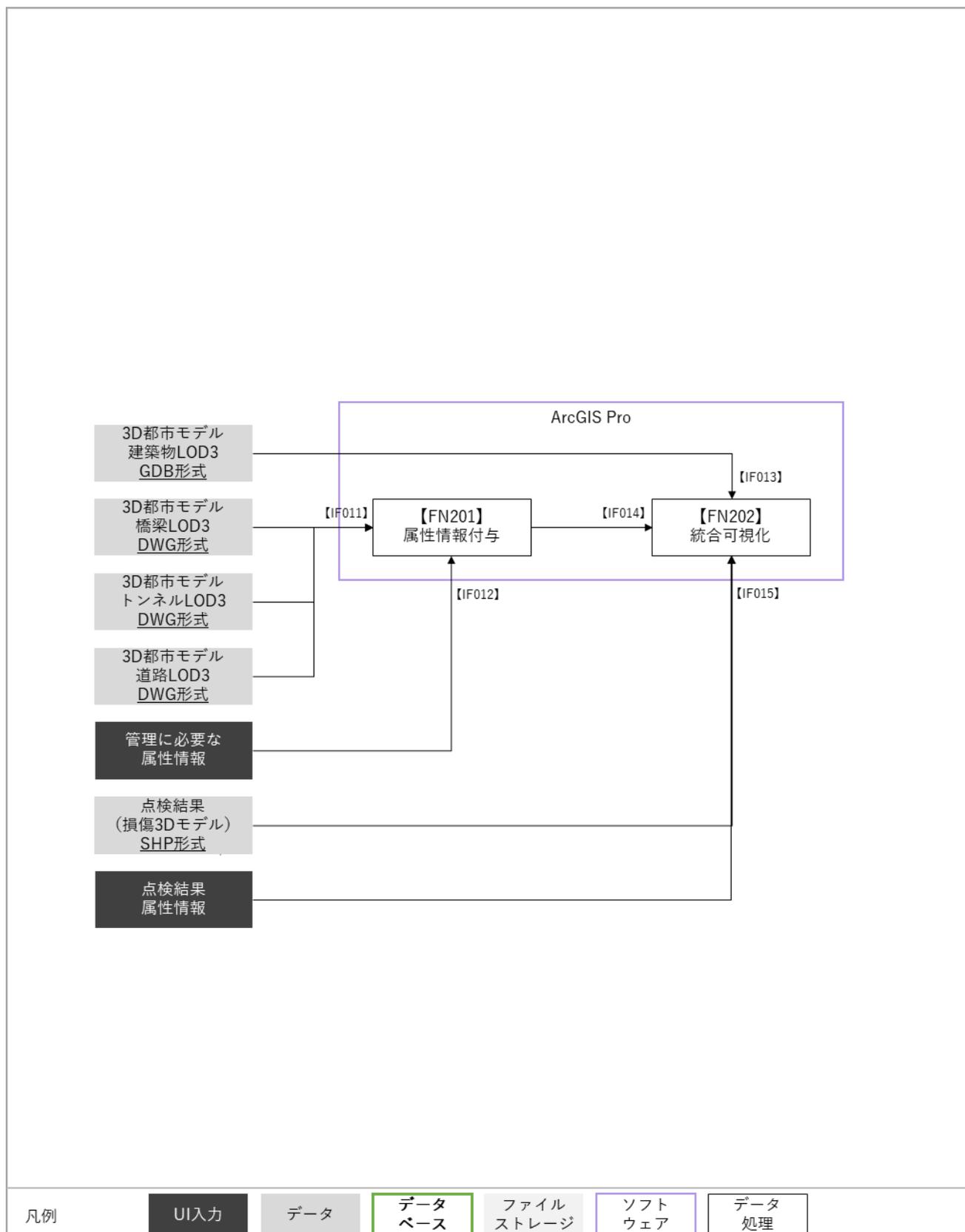


図 3-6 データアーキテクチャ (3D 都市モデルの作成・利用環境の構築)

3-1-3. ハードウェアアーキテクチャ

3-1-3-a. 利用したハードウェア一覧

点群セマンティックセグメンテーション

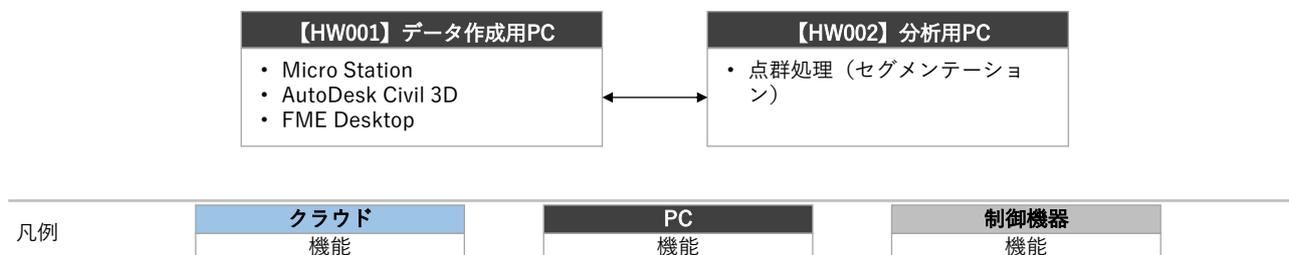


図 3-7 ハードウェアアーキテクチャ（ローカスブルー社）

サーフェスモデル自動生成

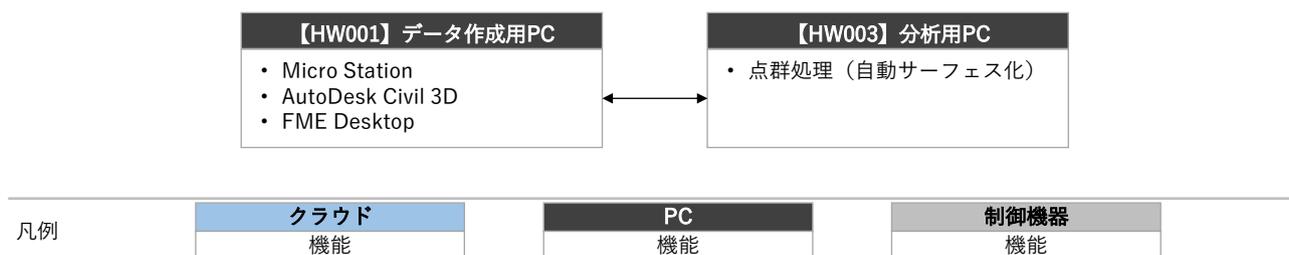


図 3-8 ハードウェアアーキテクチャ（DataLabs 社）

3D 都市モデルの作成・利用環境の構築



図 3-9 ハードウェアアーキテクチャ（朝日航洋）

表 3-1 利用したハードウェア一覧

ID	種別	品番	用途
HW001	PC	Dell Precision3660	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 点群データからのモデル生成 ● サーフェスモデル座標付与 ● モデル統合
HW002	PC	liyama LEVEL-15FR170- i7-TARX	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 点群データの自動分類処理
HW003	PC	なし（自作品）	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 点群データからのサーフェスモデル作成

3-1-3-b. 利用したハードウェア詳細

1) 【HW001】 PC : Dell Precision3660

- 選定理由
 - 3D 点群データ、3D モデル等の編集操作を行うのに十分なスペックである
- 仕様・スペック
 - OS : Windows® 10 Pro 64 ビット
 - CPU : Intel® Core™ i9-13900 プロセッサ
 - GPU : Intel® Iris® Xe Graphics
 - メモリ : 32GB
 - ストレージ : m² 1TB (NVMe Gen4 × 4)
- イメージ

図 3-10 Dell Precision3660¹

2) 【HW002】 PC : liyama LEVEL-15FR170-i7-TARX

¹ 公式 HP より抜粋 : [Dell Precision 3660 タワーワークステーション : PC ワークステーション | Dell 日本](#)

- 選定理由
 - 3D 点群データの自動分類処理を行うのに十分なスペックである
- 仕様・スペック
 - CPU : Intel Core i9-13900 プロセッサー
 - GPU : Intel(R)Iris(R)Xe Graphics
 - メモリ : 32GB
 - ストレージ : m² 1TB (NVMe Gen4×4)
 - OS : Windows 10 Pro 64 ビット
- イメージ



図 3-11 liyama LEVEL-15FR170-i7-TARX²

3) 【HW03】 PC : 自作品 PC

- 選定理由
 - 3D 点群データ、3D モデルの研究・開発に適しているため
- 仕様・スペック
 - CPU : Intel(R) Xeon(R) E5-2667 v4 @ 3.20GHz
 - GPU : NVIDIA Corporation GP104 [GeForce GTX 1080] ※演算には利用していない
 - メモリ : 32Gb X 4
- イメージ
 - なし (自作品のため)

² 参照: https://www.pc-koubou.jp/products/detail.php?product_id=859125

3-2. システム機能

3-2-1. システム機能一覧

1) 点群セマンティックセグメンテーション

表 3-2 システム機能一覧（点群セマンティックセグメンテーション）

赤文字：既存改修・新規開発

大分類	小分類	ID	機能名	機能説明
セグメンテーション	高密度 3D 点群データ処理	FN001	高密度 3D 点群データ処理	<ul style="list-style-type: none"> ● 実証実験用に高密度で調達した高架道路 3D 点群データを LAS 形式で後工程に渡す。 ● 分類処理に合わせたダウンサンプリングなどもここで行う。
		FN002	地表面分類	<ul style="list-style-type: none"> ● 地表面がある程度平面的な構造を有していることを仮定し、RANSAC（RANdom Sample Consensus）アルゴリズムを利用して、地表面を抽出する。
	FN003	床板の分類	<ul style="list-style-type: none"> ● 高架構造物だけ分類した点群に対して、床板の抽出を実施する。床板の分類においては、地表面の検出結果を利用する。入力点群から、地表面の点群を除去し、さらに、RANSAC アルゴリズムにて平面の抽出を試みる。地表面を基準に各点の高さを定義し、一定の高さ（例：10m）以上の点のみを取り出す。 	
	FN004	高欄・橋脚の分類	<ul style="list-style-type: none"> ● 抽出した物体を Mean Shift 法により分離し、それぞれの分離された物体に対して Cuboid Fitting を行う。これにより直方体のような構造を有した物体を選択することができる。 	
	FN005	主桁の分類	<ul style="list-style-type: none"> ● 地表面と床板との間の点が高架桁の候補となる。主桁は、地表面から床板まで鉛直方向に広がっている、かつ、一定の厚みがあるという特徴を利用し、分類する。 	
	FN006	手動補正	<ul style="list-style-type: none"> ● 最終的に最も自動化率の高い 3D 点群データを用い、手動により「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 3.4 版」にならった分類に修正する。 	

	モデル化・符号化	FN007	モデル化	● Autodesk Civil3D：分類の正しく終わっている 3D 点群データから 3D モデルを生成する。
		FN008	符号化	● FME Desktop：3D モデルの符号化を行う。

2) サーフェスモデル自動生成

表 3-3 システム機能一覧（サーフェスモデル自動生成）

赤文字：既存改修・新規開発

大分類	小分類	ID	機能名	機能説明
サーフェスモデルの作成	高密度 3D 点群データ処理	FN101	高密度 3D 点群データ処理	● 実証実験用に高密度で調達した高架道路 3D 点群データを LAS 形式で後工程に渡す。 ● ノイズ処理やダウンサイジングなどもここで行う。
	サーフェスモデルの作成	FN102	サーフェスモデルの作成	● プロトタイプ：LAS データをセットし、サーフェスモデルの作成を開始する。
	モデル化・符号化	FN103	クレンジング	● Autodesk Civil3D：最終的に最も自動化率の高いサーフェスモデルを用い、手動により「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 3.4 版」になった 3D モデルを作成する。
		FN104	符号化	● FME Desktop：3D モデルの符号化を行う。

3) 3D 都市モデルの作成・利用環境の構築

表 3-4 システム機能一覧（3D 都市モデルの作成・利用環境の構築）

大分類	小分類	ID	機能名	機能説明
モデル統合	モデル統合	FN201	属性情報付与	● 3D 都市モデルに構造物点検支援に関連する属性情報を付与する
		FN202	統合可視化	● 各 3D 都市モデル及び地図やその他の位置情報を持つデータを ArcGIS Pro で統合して可視化する

3-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ

利用したソフトウェア、ライブラリを表に示す。

表 3-5 利用するソフトウェア・ライブラリ

赤文字：既存改修・新規開発

ID	項目	内容
SL001	Deep3	<ul style="list-style-type: none"> ● ローカスブルー社の保有する 3D 点群データを分類するアルゴリズムライブラリ（開発プロトタイプ） ● 開発中のためオフィシャルなバージョンはまだない
SL002	プロトタイプ	<ul style="list-style-type: none"> ● DataLabs 社が保有する 3D 点群データからサーフェスモデルを作成する要素技術
SL003	Micro Station	<ul style="list-style-type: none"> ● Bentley 社が提供する 3D 点群データ編集に使用するソフトウェア
SL004	Autodesk Civil3D	<ul style="list-style-type: none"> ● Autodesk 社が提供する 3D モデル作成（クレンジング）に使用するソフトウェア
SL005	FME Desktop	<ul style="list-style-type: none"> ● ジオプラン・ナムテック社が提供する CityGML データを生成するのに使用するソフトウェア
SL006	ArcGIS Pro	<ul style="list-style-type: none"> ● ESRI 社が提供する 3D モデルに属性情報を付与するのに使用するソフトウェア

3-2-3. 開発機能の詳細要件

※点群セマンティックセグメンテーション、サーフェスモデル自動生成については、以下「3-4.アルゴリズム」にて各システム機能の基本的なアルゴリズムを記載

1) 点群セマンティックセグメンテーション

1. 【FN001】高密度 3D 点群データ処理

- 機能概要
 - ◇ 3D 点群データを分類処理に合わせたダウンサンプリングなどを行う
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 利用するライブラリ
 - ◇ なし
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

2. 【FN002】 地表面分類

- 機能概要
 - ◇ 高架構造物と地上を区分するために、まず取得した 3D 点群データに対して地表面分類を実施する
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ LAS 形式（フォーマットに準拠したメタデータとして分類情報を格納）
- 利用するライブラリ
 - ◇ Deep3 を活用した自社開発のライブラリ
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ RANSAC（RANdom Sample Consensus）アルゴリズム

3. 【FN003】 床板の分類

- 機能概要
 - ◇ 高架構造物だけ分類した点群に対して、床板の抽出を実施する
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ LAS 形式（フォーマットに準拠したメタデータとして分類情報を格納）
- 利用するライブラリ
 - ◇ Deep3 を活用した自社開発のライブラリ
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ RANSAC（RANdom Sample Consensus）アルゴリズム

4. 【FN004】 高欄・橋脚の分類

- 機能概要
 - ◇ 高欄・橋脚の分類を実施する
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ LAS 形式（フォーマットに準拠したメタデータとして分類情報を格納）
- 利用するライブラリ
 - ◇ Deep3 を活用した自社開発のライブラリ
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ Cuboid Fitting 法
 - ◇ Mean Shift 法

5. 【FN005】 主桁の分類

- 機能概要
 - ◇ 主桁の分類を実施する
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ LAS 形式（フォーマットに準拠したメタデータとして分類情報を格納）
- 利用するライブラリ
 - ◇ 自社開発のライブラリ
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ Cuboid Fitting 法
 - ◇ Mean Shift 法

6. 【FN006】 手動補正

- 機能概要
 - ◇ 自動分類後の 3D 点群データを手動により 3D 都市モデル標準製品仕様書になった分類に修正する
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 利用するライブラリ
 - ◇ なし
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

7. 【FN007、FN008】 モデル化・符号化

- 機能概要
 - ◇ 分類の正しく終わっている 3D 点群データから 3D モデルを生成・符号化する
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ DWG 形式
- 利用するライブラリ
 - ◇ 3D モデル生成：Autodesk Civil3D
 - ◇ 符号化：FME Desktop
- 利用するアルゴリズム

◇ なし

2) サーフェスモデル自動生成

1. 【FN101】 高密度 3D 点群データ処理

- 機能概要
 - ◇ 3D 点群データのダウンサンプリング及びノイズ処理などを行う
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 利用するライブラリ
 - ◇ なし
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

2. 【FN102】 サーフェスモデルの作成

- 機能概要
 - ◇ 3D 点群データからサーフェスモデルを自動作成する
- 入力データ仕様
 - ◇ LAS 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ OBJ 形式
 - ◇ 座標情報はもたない
- 利用するライブラリ
 - ◇ なし
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ Pre-mesh 法
 - ◇ Region Growing 法

3. 【FN103】 クレンジング

- 機能概要
 - ◇ サーフェスモデルを用いて、3D 都市モデル標準製品仕様書にならった 3D モデルを手動で作成する
- 入力データ仕様
 - ◇ OBJ 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ DWG 形式
- 利用するライブラリ

- ◇ Autodesk Civil3D
- 利用するアルゴリズム
- ◇ なし

4. 【FN104】 符号化

- 機能概要
 - ◇ 3D モデルの符号化を行う
- 入力データ仕様
 - ◇ DWG 形式
- 出力データ仕様
 - ◇ DWG 形式
- 利用するライブラリ
 - ◇ FME Desktop
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

3) 3D 都市モデルの作成・利用環境の構築

1. 【FN201】 属性情報付与

- 機能概要
 - ◇ 3D 都市モデルに構造物点検支援に関連する属性情報を付与する機能
- 入力データ仕様
 - ◇ 都市高速道路 3D モデル (DWG 形式)
 - ◇ 行政サービスで必要な情報 (属性情報がピックアップできない場合は仮のデータ)
- 出力データ仕様
 - ◇ ジオデータベース
- 利用するライブラリ
 - ◇ なし
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

2. 【FN202】 統合可視化

- 機能概要
 - ◇ 各 3D 都市モデル及び地図やその他の位置情報を持つデータを ArcGIS Pro で統合して可視化する機能
- 入力データ仕様
 - ◇ 都市高速道路 3D モデル (DWG 形式)
 - ◇ 建築物等の 3D 都市モデル (3DTiles 形式)
- 出力データ仕様

- ◇ ジオデータベース
- 使用するライブラリ
- ◇ なし
- 使用するアルゴリズム
- ◇ なし
- フローチャート

3-3. アルゴリズム

3-3-1. 利用したアルゴリズム

- 点群セマンティックセグメンテーション

表 3-6 利用したアルゴリズム一覧

ID	アルゴリズムを利用した機能	名称	説明	選定理由
AL001	FN002 FN003	RANSAC (RANdom Sample Consensus) 法	<ul style="list-style-type: none"> ● データの中からノイズによる影響を最小限にしながら、モデルのパラメータを推定するために使用される統計的手法 ● 地表面分類と床板の分類に使用している 	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象とする点群中に、地表面や床板だけでなく、その他の物体が非常に多く含まれる。また、地表面や床板の形状はあらかじめおおよそわかっている状態である。しかし、その形状は区間やデータを取得した位置により異なる。そのような不確定性を含んだ中でもうまく機能するアルゴリズムであるため、このアルゴリズムを導入した。
AL002	FN004 FN005	Mean Shift 法	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 点群データの分類に広く用いられる非階層的クラスタリングアルゴリズムである。このアルゴリズムは、データ点の密度勾配を利用して特徴的な点群のクラスタを自動的に検出する ● 高欄の分類に使用している 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高欄の構造は区間によって異なる。そのため、シンプルな方法でうまく分離することは容易ではない。このアルゴリズムでは、点群の特徴的な構造を加味しつつ、クラスタに分けることができるため採用した。
AL003	FN004 FN005	Cuboid Fitting 法	<ul style="list-style-type: none"> ● 3次元空間上のデータ点を長方体 (cuboid) として近似することで、分類を行うアルゴリズム ● 主桁の分類に使用している 	<ul style="list-style-type: none"> ● 主桁はおおよそ直方体のような構造を有している。その事前情報を利用して検出を行うために、本アルゴリズムを採用した。

システムアーキテクチャに記載の通り、ローカスブルー社側で実施する 3D 点群データ処理は、5 つのステップに分けることができる。1.地表面分類、2.床板の分類、3.高欄の分類、4.橋脚の分類、5.主桁の分類である。それぞれの処理の詳細について以下に述べる。

表 3-7 取得イメージ (3D 都市モデル標準製品仕様書より抜粋)

LOD3	
取得例	
説明	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路橋及び鉄道橋の場合は、床板及び主桁以外の構造上不可欠な部材を BridgeConstructionElement として取得する。上図の例では橋脚が該当する。それ以外の橋梁の外観を構成する部材を BridgeInstallation として取得する。上図の例では高欄が該当する。 ● 跨線橋の場合は、道路橋及び鉄道橋と同様に、床板及び主桁以外の構造上不可欠な部材を BridgeConstructionElement として取得する。上図の例で橋脚が該当する。それ以外の橋梁の外観を構成する部材を BridgeInstallation として取得する。上図の例では高欄が該当する。

1. 地表面分類 (FN002)

高架構造物と地上を区分するために、まず取得した 3D 点群データに対して地表面分類を実施する。地表面分類においては、RANSAC (RANdom Sample Consensus) アルゴリズムを利用する。ここでは、地表面がある程度平面的な構造を有していることを仮定している。RANSAC アルゴリズムは、データの中からノイズによる影響を最小限にしなが、モデルのパラメータを推定するために使用される統計的手法である。

1) 【AL001】 RANSAC (RANdom Sample Consensus) 法

地表面を抽出するために RANSAC アルゴリズムを利用する手順を以下に説明する。はじめに、最小のサンプル数 (例: 3 点) を指定する。XYZ 空間上に分布する、地表面を示す平面を表現するためには、最低 3 点の点が必要である。これらの点は点群の中からランダムに選択される。これを最大反復回数や収束条件などのパラメータを設定することで決定する。

具体的には、選択された点を利用して平面を定義し、その平面から一定の距離 (例: 50cm) 内にある点数をカウントする。また、その平面は地表面と同じ向き、つまり法線ベクトルが Z 軸方向を向くといった制約条件を加えながら選択していく。これを一定の回数繰り返す。推定された平面のモデル内に収まる点 (インライア) の数の最も多いモデルを地表面とみなして分類する。

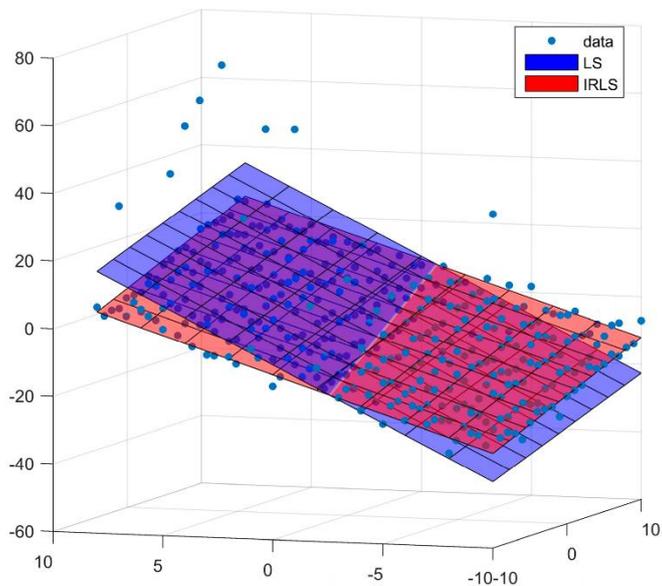


図 3-12 RANSAC による 3D 点群データからの平面抽出イメージ³

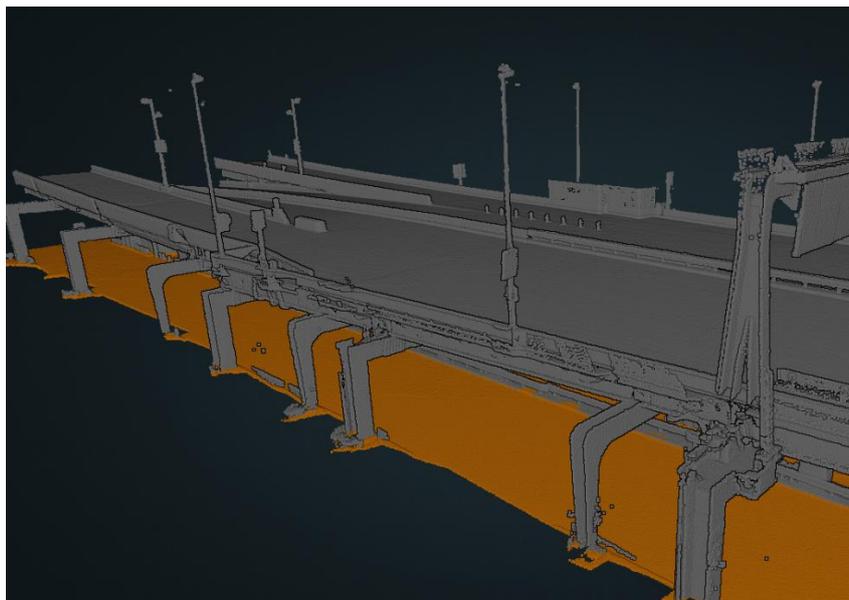


図 3-13 地表面とそれ以外を分類したイメージ図

なお、どの段階においても、誤分類がある程度発生することは避けられない為、システムアーキテクチャに記載の通り、ローカスブルー社側で全ての自動分類が終わった後に朝日航洋側で誤分類を手動で手直しの必要はある。この手動補正をどれだけ減らせるかが重要なポイントである。

2. 床板の分類 (FN003)

³ 参照：[Remote Sensing | An Improved RANSAC for 3D Point Cloud Plane Segmentation Based on Normal Distribution Transformation Cells.](#)

高架構造物だけ分類した点群に対して、まずは床板の抽出を実施する。床板の分類においては、1の地表面の検出結果を利用する。入力点群から、地表面の点群を除去し、さらに、1と同様に RANSAC アルゴリズムにて平面の抽出を試みる。このアルゴリズムでは、床板も同様に平面的な構造を有していることを仮定する。地表面を基準に各点の高さを定義し、一定の高さ（例：10m）以上の点のみを取り出す。そして、その点群に対して RANSAC アルゴリズムを実行し、平面の検出を行う。ここでは、床板の厚みのおおよその値をパラメータとして設定する必要がある。この厚みの情報を利用して、その厚みを有した平面的な構造の抽出を試みる。

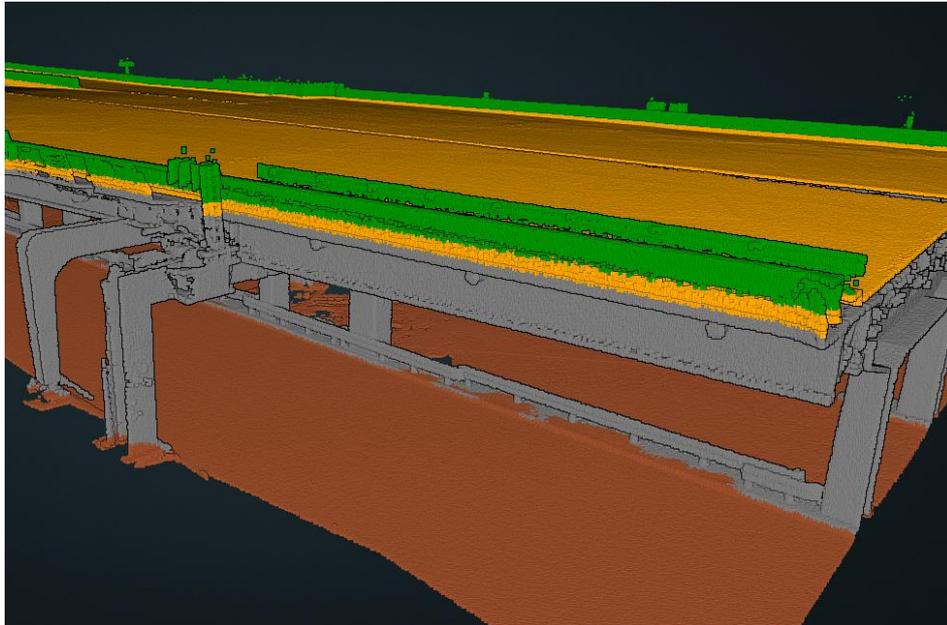


図 3-14 床板（オレンジ）を分類した後のイメージ

3. 高欄の分類（FN004）

高欄の分類においては、2で検出した、床板の上部の点を対象とする。連続性を考慮することで、床板との連結性を有する構造を抽出することができる。実際に取得した 3D 点群データに応じて、使用するアルゴリズムは変更または修正する可能性があるが、例えば、抽出した物体を Mean Shift 法により分離し、それぞれの分離された物体に対して CuboidFitting を行う。これにより直方体のような構造を有した物体を選択することができる。

1) 【AL002】 Mean Shift 法

Mean Shift 法は、3D 点群データの分類に広く用いられる非階層的クラスタリングアルゴリズムである。このアルゴリズムは、データ点の密度勾配を利用して特徴的な点群のクラスタを見つけ出す。アルゴリズムは以下のようなになる。まず、各データ点をランダムに選び、それぞれを中心とする「ウィンドウ」と呼ばれる領域を定義する。次に、各データ点について、その周囲のデータ点の重心を計算する。この重心は、密度の高い領域の中心を表している。そして、重心を新たな中心として再定義し、ウィンドウをその中心に移動させる。このプロセスを繰り返すことで、各データ点が最も密度の高い領域に収束していく。つまり、各データ点はその所属するクラスタの中心に収束することになる。この収束プロセスは、データ点が収束するまで繰り返される。収束の基準は、ウィンドウの中心の移動量がある閾値以下になったときとすることが一般的である。そして、

最終的な収束位置がクラスタの中心となり、各データ点は最も密度の高いクラスタに割り当てられる。

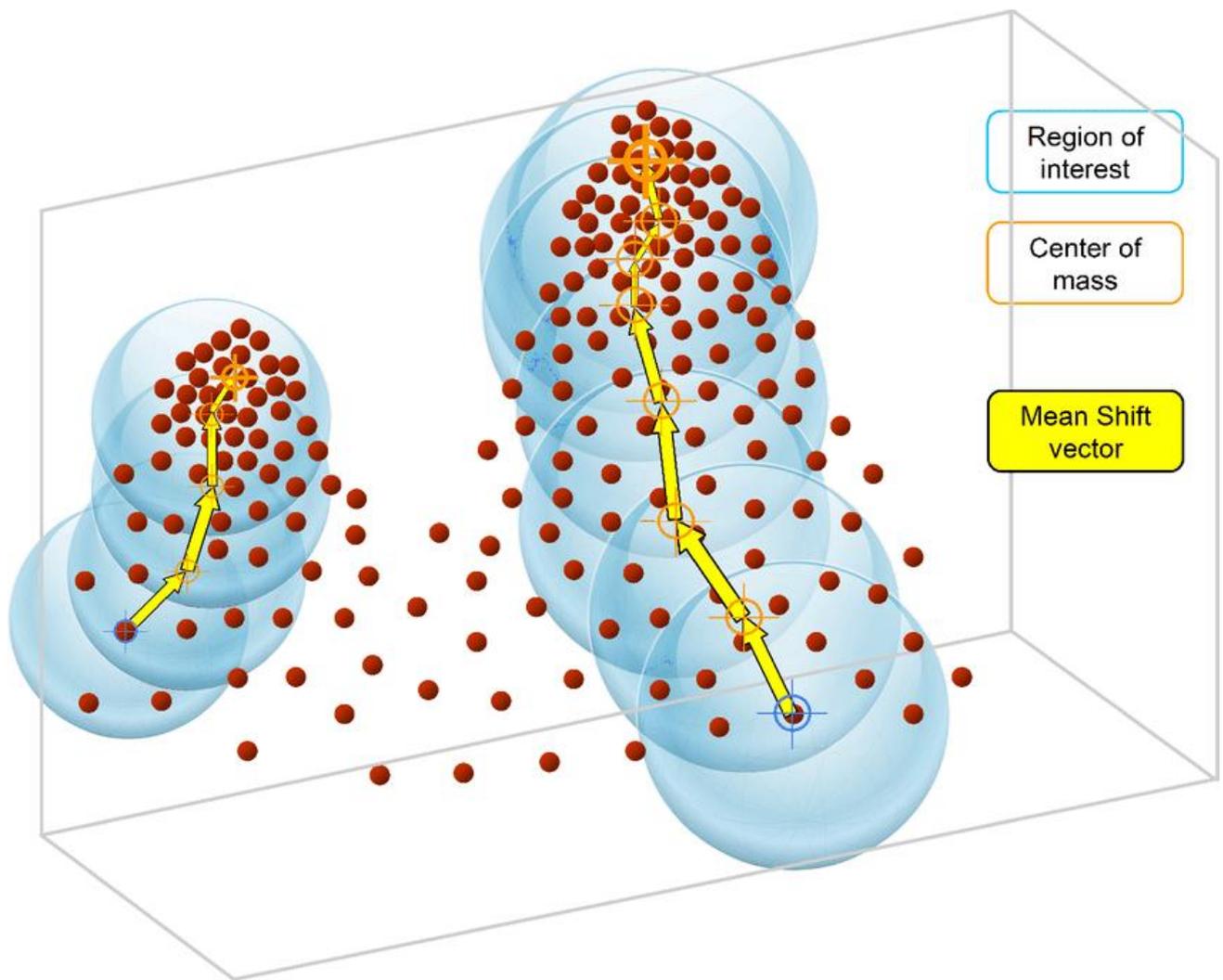


図 3-15 Mean Shift 法のイメージ⁴

⁴ 参考：Airborne LiDAR Remote Sensing for Individual Tree Forest Inventory Using Trunk Detection-Aided Mean Shift Clustering Techniques

2) 【AL003】 Cuboid Fitting 法

Cuboid Fitting 法は、3D 点群データの分類に用いられるアルゴリズムであり、3次元空間上のデータ点を長方体 (cuboid) として近似することで、分類を行うアルゴリズムである。このアルゴリズムでは、3D 点群データを表す 3次元座標系上において、最適な長方体の位置と姿勢を求めることが目標である。アルゴリズムは以下の手順に従う。まず、3D 点群データからランダムにいくつかの点を選択し、それらの点を含む初期の仮の長方体を設定する。その後、選択した点を基準として、その近傍の点を長方体に追加していく。次に、追加された点を用いて、現在の長方体の位置と姿勢を再推定する。これには、最小二乗法や最尤推定法を利用することが一般的である。この再推定の過程を繰り返し行い、長方体の位置と姿勢が収束するまで続ける。収束の基準は、長方体の位置や姿勢の変化量がある閾値以下になったときとする。最終的に得られた長方体は、元の 3D 点群データを最もよく近似するものであり、各点を含む長方体に基づいて分類を行うことができる。例えば、点が長方体の内部に含まれる場合はあるクラスに分類され、含まれない場合は他のクラスに分類される。

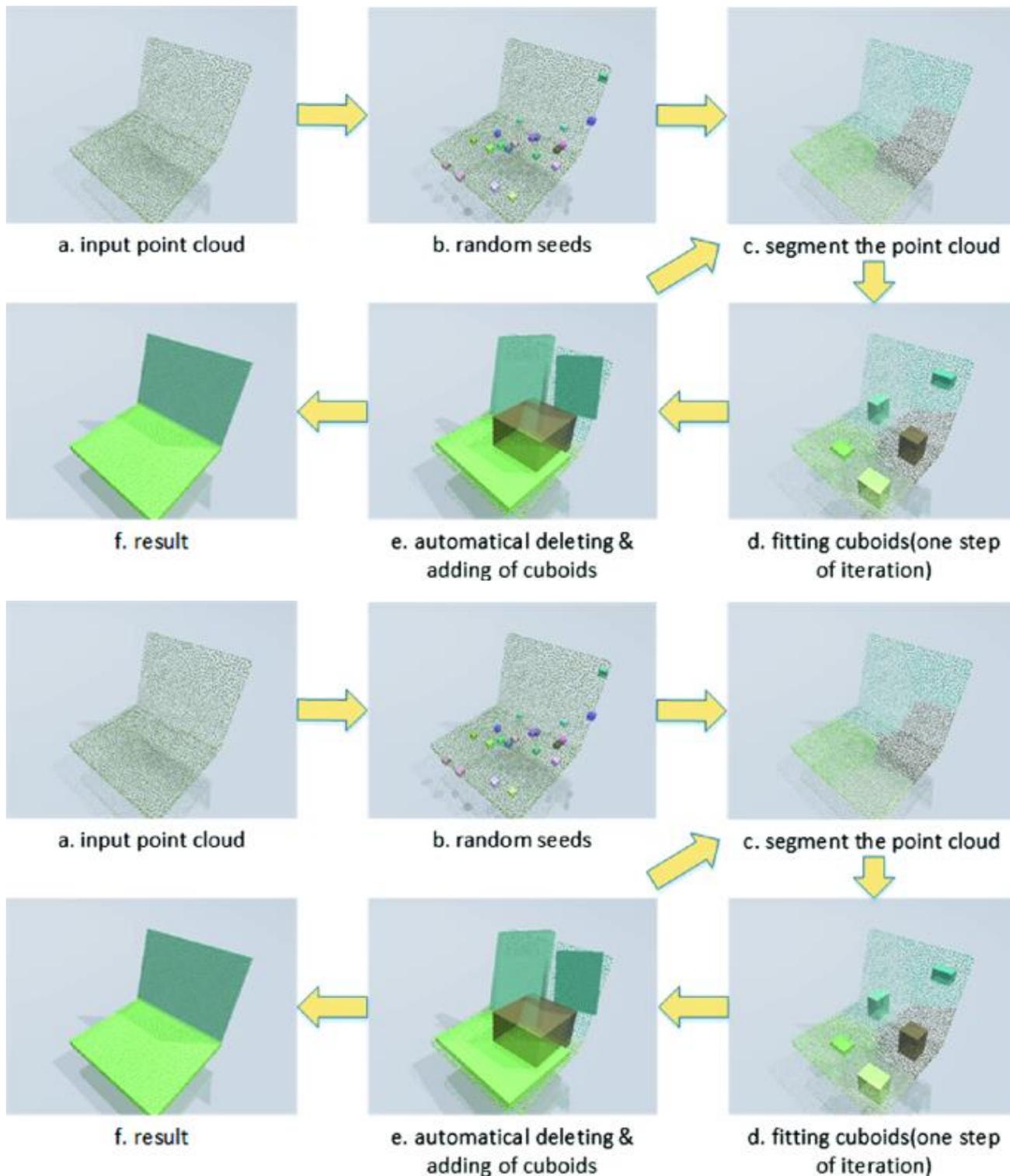


図 3-16 Cuboid Fitting 法のイメージ⁵

さらに、高欄の他にノイズの点が含まれることが考えられる。ノイズの除去が必要な場合、各点に対して、最近傍探索を行い、各点とその周辺での密度を求める。ここで一定の密度よりも小さい点をノイズの点として認

⁵ 参照：Fitting Cuboids from the Unstructured 3D Point Cloud

識する。ここでの、最近傍探索時の探索半径や、ノイズとして認識するときの点数などはパラメータとして調整される必要がある。

また、床板の中心部には自動車といった高欄以外の物体が存在する可能性がある。その場合は、床板の中央部に存在する物体は除去するといった対応をすることが考えられる。

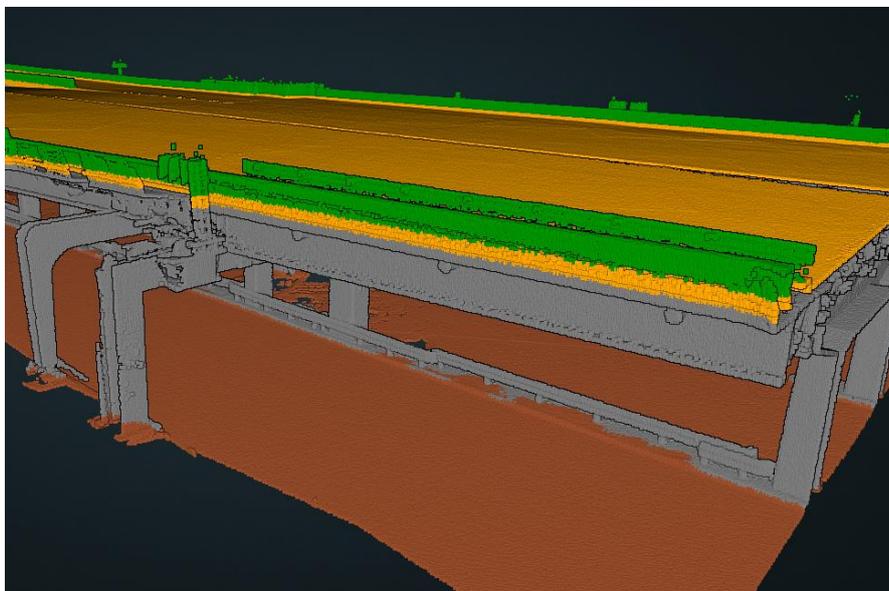


図 3-17 高欄（緑色）を分類した後のイメージ

4. 橋脚の分類 (FN004)

橋脚の分類も3と同様に Mean Shift 法や Cuboid Fitting 法を用いて行う。床板の下側の構造を下部工とし、抽出を行う。

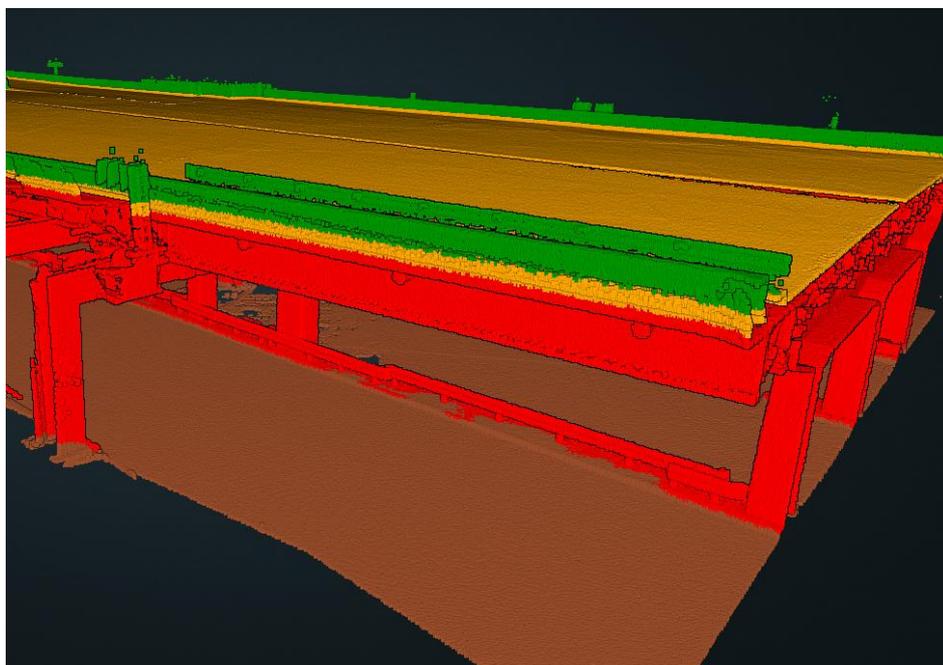


図 3-18 橋脚（赤色）の分類後のイメージ

5. 主桁の分類 (FN005)

最後に、主桁の分類についてである。1 で検出した地表面と、2 で検出した床板との間の点が高架桁の候補となる。主桁は、地表面から床板まで鉛直方向に広がっている、かつ、一定の厚みがあるという特徴を利用する。例えば、橋の下に存在する自動車といった物体は、高さが床板に対して十分に小さく、そのような特徴を利用して除去できると考えられる。

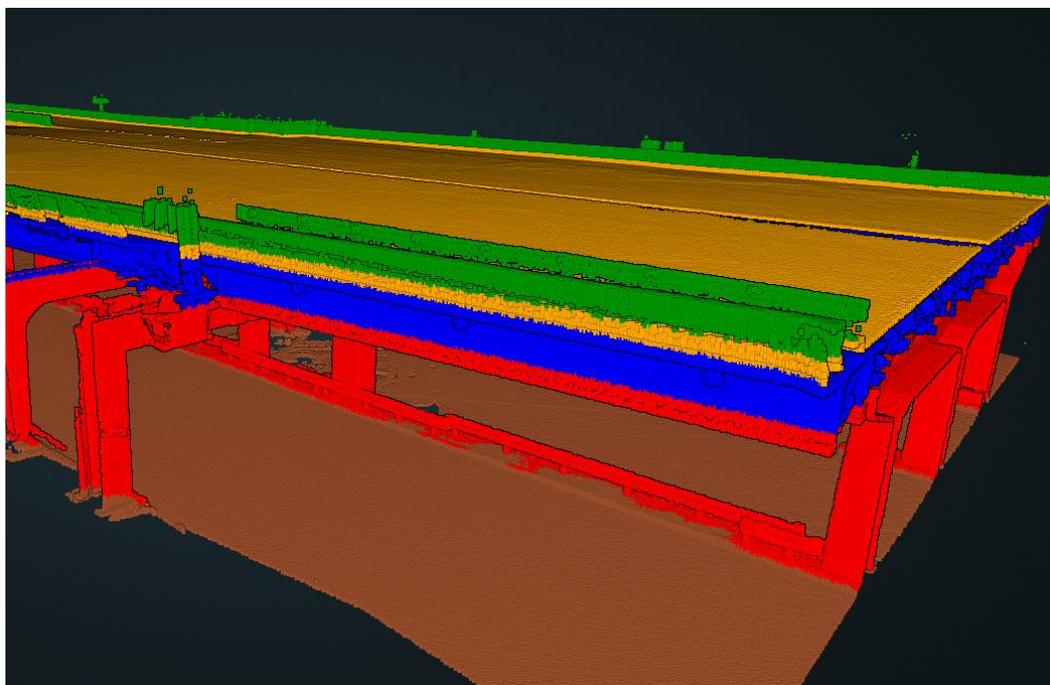


図 3-19 主桁（赤色）の分類後のイメージ

● サーフェスモデル自動生成

表 3-8 利用したアルゴリズム一覧

ID	アルゴリズムを利用した機能	名称	説明	選定理由
AL101	FN102	Pre-mesh 法	<ul style="list-style-type: none"> ● 取得・処理された点群について、隣接関係を付与する方法 ● 各点を中心に ball を生成して当該 ball がその他の ball と交差等する場合等に頂点を生成し、メッシュを作成する 	<ul style="list-style-type: none"> ● MMS で取得した 3D 点群データにはノイズが含まれていることが多いが、本アルゴリズムには mesh smoothing の過程も含まれることから、ノイズの影響を抑制しながらメッシュを生成することが可能であるため
AL102	FN102	Region Growing 法	<ul style="list-style-type: none"> ● 隣接関係を付与した点群について、隣接する頂点のうち同一平面にあるものをラベル付けし、平面を抽出する ● 隣接する頂点同士の内積の値に応じて、同一平面か否かの判断を各点に対して行う 	<ul style="list-style-type: none"> ● 一般的に平面抽出を行う際は、パラメータの調整が煩雑になることがあるが、本アルゴリズムを用いる場合、少ないパラメータで平面を抽出することができるため

1. 高密度 3D 点群データ処理 (FN101)

表 3-9 利用する 3D 点群データの種類

No.	名称	点群密度
1	オリジナルデータ	点群密度は 5000 点/m ² 以上
2	調整後①データ	点群密度 3200 点/m ² で調整
3	調整後②データ	点群密度 1600 点/m ² で調整
4	調整後③データ	点群密度 600 点/m ² で調整
5	調整後④データ	点群密度 100 点/m ² で調整

3. アルゴリズム調整（※既存開発機能を更新）

モデル化する対象の構造物の特徴や、点群の精度によっては各アルゴリズムで設定しているパラメータの値を変更することで、より精度の高いメッシュモデルの作成を試みる

※アルゴリズムの変更ではなく、パラメータの調整

4. クレンジング（FN103）

作成した3次元モデルが正しく分類されているか確認し、標準製品仕様書に則り構造化作業を行う。

標準製品仕様書は最新のものに準拠するが、高速道路モデルの定義がまだ終わっていないことを鑑み、高速道路モデルの標準製品仕様を LOD3.0 で提案する。

5. 符号化（FN104）

生成した3次元モデルを PLATEAU の指定フォーマットである CityGML 形式に変換する。

変換の際に使用するソフトウェアは、FME desktop とする。

3-3-2. 開発したアルゴリズム

● 点群セマンティックセグメンテーション

1) Step3：高欄を検出するためのアルゴリズム

高欄を検出する際に、高欄の下部が床板とにならないようにする必要があった。そのため、床板の取り残しを最小化しつつ、高欄の下部も含めて高精度に抽出するアルゴリズムをチューニングした。具体的には、床板の抽出に利用する RANSAC アルゴリズムのパラメータである、平面の厚さの情報を最適化した。

2) Step4：橋脚を検出するためのアルゴリズム

Mean Shift 法を使用した。実際に解析する 3D 点群データを確認して、点密度、ノイズ、高架以外の構造物の有無から、パラメータを適宜調整した。

3) Step5：主桁を検出するためのアルゴリズム

床板の鉛直方向下部にある点を全て主桁の候補点とし、さらに、一定の高さを有する点を主桁とするようなアルゴリズムを開発した。ここで、床板と同一または、十分近い XY 座標を有する点を候補とするアルゴリズムを高速に実行する必要があったため、このような効率の良い計算手法も含めて工夫した。また、各点の高さを求める際は、地表面の点を自動的に認識するように調整した。

● サーフェスモデル自動生成

特になし（パラメータ調整のみ）

3-4. データインタフェース

3-4-1. ファイル入力インタフェース

1) 【IF001】 処理対象 3D 点群データ LAS ファイル入力

- 本インタフェースを利用する機能
 - 【FN001】
- インタフェース詳細
 - 点群セマンティックセグメンテーションで使用する 3D 点群データの元データ。
 - 【FN001】で図郭分け、ダウンサンプリングを行い使用する。

表 3-11 処理対象 3D 点群データ LAS ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
例： S2227062_20230528_015653_0002_001.las	LAS 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● MMS 車両にて高密度で調達した首都高速道路（都心環状線）の 3D 点群データ。 ● 1 計測 1 車線単位で実施 ● 範囲：首都高速道路（都心環状線）14.8km ● 詳細は【DT101】を参照

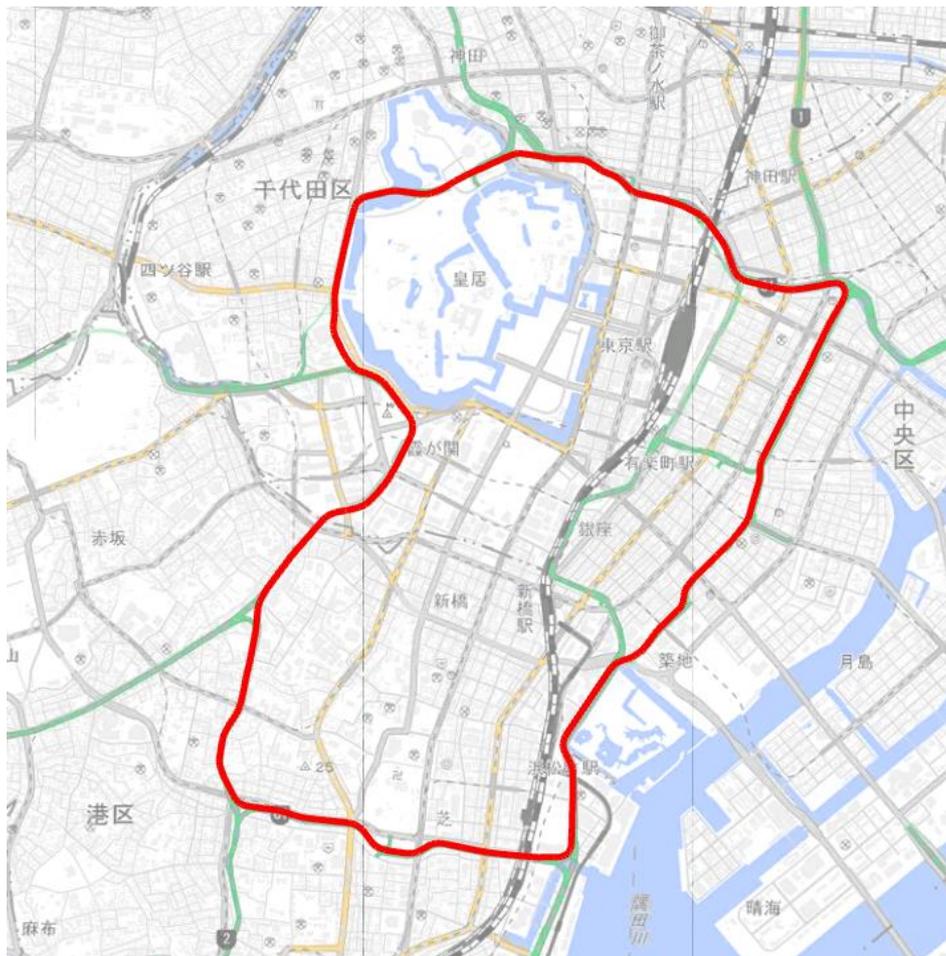


図 3-22 3D 点群データ調達範囲

2) 【IF002】 検証対象 3D 点群データ LAS ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN002】
- インタフェース詳細
 - 点群セマンティックセグメンテーションに使用する 3D 点群データ。
 - 各密度におけるセグメンテーションの分類精度を a-1~3 の区間で比較検証し、最適と考えられる密度 (600 点/m²) で検証区間 (3.1km 分) の自動分類点群データを作成した。

表 3-12 検証対象 3D 点群データ LAS ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
図郭番号.las 例：C1_000131.las	LAS 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● ダウンサンプリング（密度 100 点/m²、600 点/m²、1600 点/m²、3200 点/m²）をした 3D 点群データ ● 範囲：道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km）

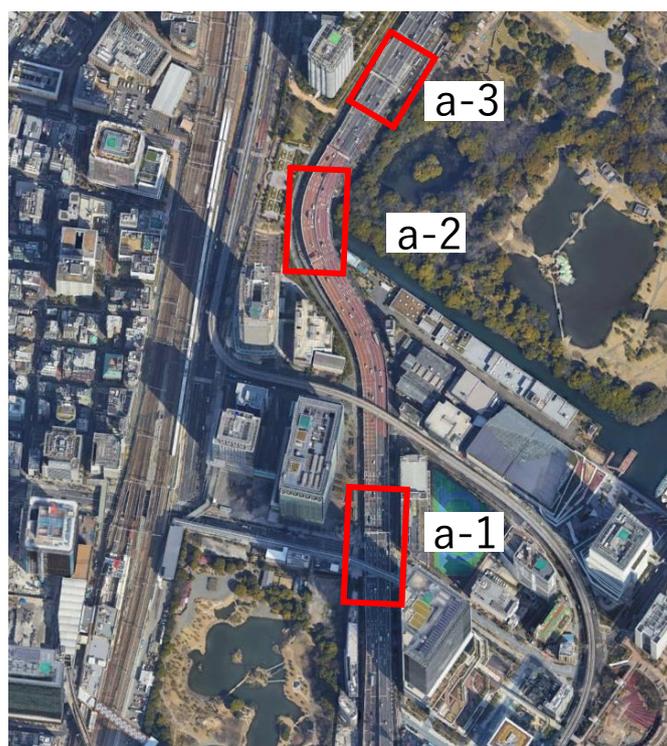


図 3-23 点群密度の比較検証エリア（各エリア約 100m）

3) 【IF003】点群セマンティックセグメンテーション後 LAS ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN006】

- インタフェース詳細
 - 自動分類が正しく実施できなかった箇所の手動修正を【FN006】で行うための3D点群データ。
 - 「3D都市モデル標準製品仕様書 第3.4版」に従い分類を修正後、3Dモデル作成に使用する。

表 3-13 点群セマンティックセグメンテーション後 LAS ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：1km_east_1_1.las	LAS形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 【FN002】の検証結果により、処理に最も適した密度（600点/m²）を使用 ● 範囲：道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km） ● 約50mで1ファイルに分割されている

4) 【IF004】モデル化後 DWG ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN008】

- インタフェース詳細
 - 点群セマンティックセグメンテーションを行った点群を元に手動にて作成した首都高速道路の3Dモデルで、符号化しCityGMLを作成するために使用する。

表 3-14 モデル化後 DWG ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：都市高速道路モデル.dwg	DWG形式	<ul style="list-style-type: none"> ● セグメンテーション後3D点群データより生成した検証区間（道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km））と、検証区間以外の都心環状線区間（11.5km）の点群データから作成した3Dモデル ● 範囲：首都高速道路（都心環状線）14.8km

5) 【IF005】属性情報 Excel ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN008】

- インタフェース詳細
 - 「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 3.4 版」で規定されている 3D モデルの符号化のため入力する属性情報。

表 3-15 属性情報 Excel ファイル入力

メッシュコード	地物	地物名	属性又は関連役割名	属性詳細	・・・
meshcode	feature	featureName	property	propetyName	
	tran:Road		gml:name	名称	
	tran:class		tran:class	分類	
	tran:function		tran:function	機能	

6) 【IF006】処理対象 3D 点群データ LAS ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN101】

- インタフェース詳細
 - サーフェスモデル自動生成の実証実験に使用する 3D 点群データの元データ。
 - 【FN101】で図郭分け、ダウンサンプリングを行い使用する。

表 3-16 処理対象 3D 点群データ LAS ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
例： S2227062_20230528_015653_0002_001.las	LAS 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● MMS 車両にて高密度で調達した首都高速道路（都心環状線）の 3D 点群データ ● 1 計測 1 車線単位で実施 ● 範囲：首都高速道路（都心環状線）14.8km ● 詳細は【DT101】を参照

7) 【IF007】 検証対象 3D 点群データ LAS ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN102】

- インタフェース詳細
 - サーフェスモデル自動生成に使用する 3D 点群データ。
 - 各密度におけるサーフェスモデル作成成功率等を 100m の区間で比較検証し、最適と考えられる密度（100 点/m²）で検証区間（3.1km 分）のサーフェスモデルを自動生成するため使用した。

表 3-17 検証対象 3D 点群データ LAS ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
図郭番号.las 例：C1_S_000329.las	LAS 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● ダウンサンプリング（密度 100 点/m²、600 点/m²、1600 点/m²、3200 点/m²）をした 3D 点群データ ● 範囲：道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km） ● 点群密度の検証後、サーフェスモデルの容量を抑えるためさらに細分化した以下の 3D 点群データを使用 使用点群密度：100 点/m² 図郭 ：7.5m×10m メッシュ

8) 【IF008】サーフェスモデル OBJ ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能：【FN103】
- インタフェース詳細
 - 手動にて 3D モデル作成を行うため使用する自動生成したサーフェスモデル。
 - 自動生成したサーフェスモデルには座標値が付与されないため、【IF007】の点群データから座標付与をしたものを使用する。

表 3-18 サーフェスモデル自動生成 OBJ ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
図郭番号.obj 例：C1_S_000329.obj	OBJ 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 範囲：道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km） ● 図郭：7.5m×10m メッシュ ● Ball サイズ：012

9) 【IF009】クレンジング後 DWG ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN104】
- インタフェース詳細
 - 符号化し CityGML を作成するために使用するサーフェスモデルを元に手動にて作成した首都高速道路の 3D モデル。

表 3-19 クレンジング後 DWG ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：都市高速道路モデル.dwg	DWG 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● サーフェスモデルより生成した検証区間（道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km））と、検証区間以外の都心環状線区間（11.5km）の点群データから作成した 3D モデル ● 手動による作成 ● 範囲：首都高速道路（都心環状線）14.8km

10) 【IF010】属性情報 Excel ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN104】

- インタフェース詳細
 - 「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 3.4 版」で規定されている 3D モデルの符号化のため入力する属性情報。

表 3-20 属性情報 Excel ファイル入力

メッシュコード	地物	地物名	属性又は関連役割名	属性詳細	・・・
meshcode	feature	featureName	property	propetyName	
	tran:Road		gml:name	名称	
	tran:class		tran:class	分類	
	tran:function		tran:function	機能	

11) 【IF011】属性付与対象 DWG ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能：【FN201】

- インタフェース詳細
 - 点検支援デモ用アプリケーション作成のため、本検証で作成した都心環状線全体の 3D 都市モデルの DWG ファイル。
 - ArcGIS Pro の標準機能により取り込み、ファイルジオデータベースとして保存することで属性情報を付与し使用する。

表 3-21 属性付与対象 DWG ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：都市高速道路モデル.dwg	DWG 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3・トンネルモデル LOD3 ● 範囲：首都高速道路（都心環状線）14.8km

12) 【IF012】 管理に必要な属性情報入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN201】

- インタフェース詳細
 - 点検支援デモ用アプリケーション作成のため、道路維持管理業務において道路管理者が使用していると想定した管理情報。
 - ArcGIS Pro 標準機能により橋脚 3D モデルの属性情報として入力した。

表 3-22 管理に必要な属性情報入力（内容はデモ用に想定したもの）

No	項目（想定）	詳細
1	橋脚番号	橋脚管理番号
2	路線	構造物の所属する路線名
3	方向	上下線、内外回りなど
4	本線ランプ区分	路線の区分
5	構造物	構造物の種類
6	竣工図書	竣工図書の図面データ
7	最終点検年月日	最終の点検年月日

13) 【IF013】 3D 都市モデル建築物データ ファイルジオデータベース入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN202】

- インタフェース詳細
 - 点検支援デモ用アプリケーションで PLATEAU の建築物モデルを表示させるため使用した公開されている東京都 23 区のファイルジオデータベース。
 - ArcGIS Pro に入力し、都市高速道路モデルと一緒に表示させ現地位置関係を確認するためのツールとした。

表 3-23 3D 都市モデル建築物データ ファイルジオデータベース入力

出力ファイル名称	形式	詳細
13100_tokyo-23ku.gdb	ファイルジオデータベース形式	<ul style="list-style-type: none"> ● PLATEAU で公開されている東京都 23 区の LOD1 および LOD2 データを Esri ジャパン株式会社がファイルジオデータベースに変換・無償公開しているものを使用 (URL:https://3d-city-model.esri.com/search?collection=Document) ● 範囲：「3-5-1.活用したデータ一覧」に詳細を記載

14) 【IF014】属性情報付与後 ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN202】

- インタフェース詳細
 - 点検支援デモ用アプリケーション作成のため、ArcGIS を用いて想定した管理情報の属性を付与したファイルジオデータベースの 3D 都市モデルデータ。

表 3-24 属性情報付与後 ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：Road.gdb	ファイルジオデータベース形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 管理情報属性が付与されている対象物：首都高速道路モデル（橋脚）の一部 ※属性情報は表 3-22 参照 ● モデル分類：仕様書の属性分類に従い以下のファイルジオデータベースに分類 Road TrafficArea BridgeInsstallation AuxiliaryTrafficArea WallSurface GroundSurface RoofSurface ● 範囲：首都高速道路（都心環状線）14.8km ● 整備範囲： 道路モデル LOD3、橋梁モデル LOD3、トンネルモデル LOD3 ● 準拠仕様：3D 都市モデル標準製品仕様書 第 3.4 版 ● 作成年：2023 年度（本検証業務） ● 出典：MMS 車両計測 3D 点群データ（本検証業務）

15) 【IF015】点検結果（損傷 3D モデル） SHP ファイル入力

- 本インターフェースを利用する機能
 - 【FN202】

- インタフェース詳細
 - 点検支援デモ用アプリケーション作成のため、現地点検で見つかった損傷を想定して都市高速道路モデル上に作成した 3D モデルデータ。ArcGIS Pro に標準搭載されている作図機能を用いた。

表 3-25 点検結果（損傷 3D モデル） SHP ファイル入力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：点検結果.shp	shp 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 高速道路モデル上に数件作成する ● 損傷 3D モデルには想定 of 点検属性情報を UI 上で追加する

表 3-26 点検結果（損傷 3D モデル） 属性情報入力

No	点検結果入力項目（想定）	詳細
1	登録番号（連番）	損傷の登録番号
2	点検年月日	点検を行った年月日
3	路線	点検を行った路線
4	方向	上下線、内外回り など
5	本線ランプ区分	路線の区分
6	車線	何レーン目かを表す
7	構造物	構造物の種類
8	始脚番号	管理区間の始点の橋脚番号
9	終脚番号	管理区間の終点の橋脚番号
10	損傷部位	損傷が発見された部位
11	損傷位置	損傷が位置している構造物
12	損傷ランク	A～C の程度を表すランク
13	損傷概要	損傷の大きさ など
14	現地写真	現地写真のパス
15	点検担当会社	点検担当会社名
16	点検担当者	点検担当者名

3-4-2. ファイル出力インターフェース

1) 【IF101】 MMS による取得後点群データ LAS ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN001】

- インタフェース詳細
 - 点群セマンティックセグメンテーションを実施するために、車線単位の 3D 点群データを図郭単位で再出力したもの。
 - また点群密度比較検証のためのダウンサンプリングを実施し、使用した。

表 3-27 MMS による取得後点群データ LAS ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
図郭番号.las 例：C1_000131.las	LAS 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 任意図郭単位（60m×80m メッシュ）に分割処理を実施 ● 道路モデル LOD3.0・橋梁モデル LOD3.0 整備範囲（3.1km）について、ダウンサンプリング（密度 100 点/m²、600 点/m²、1600 点/m²、3200 点/m²）を実施

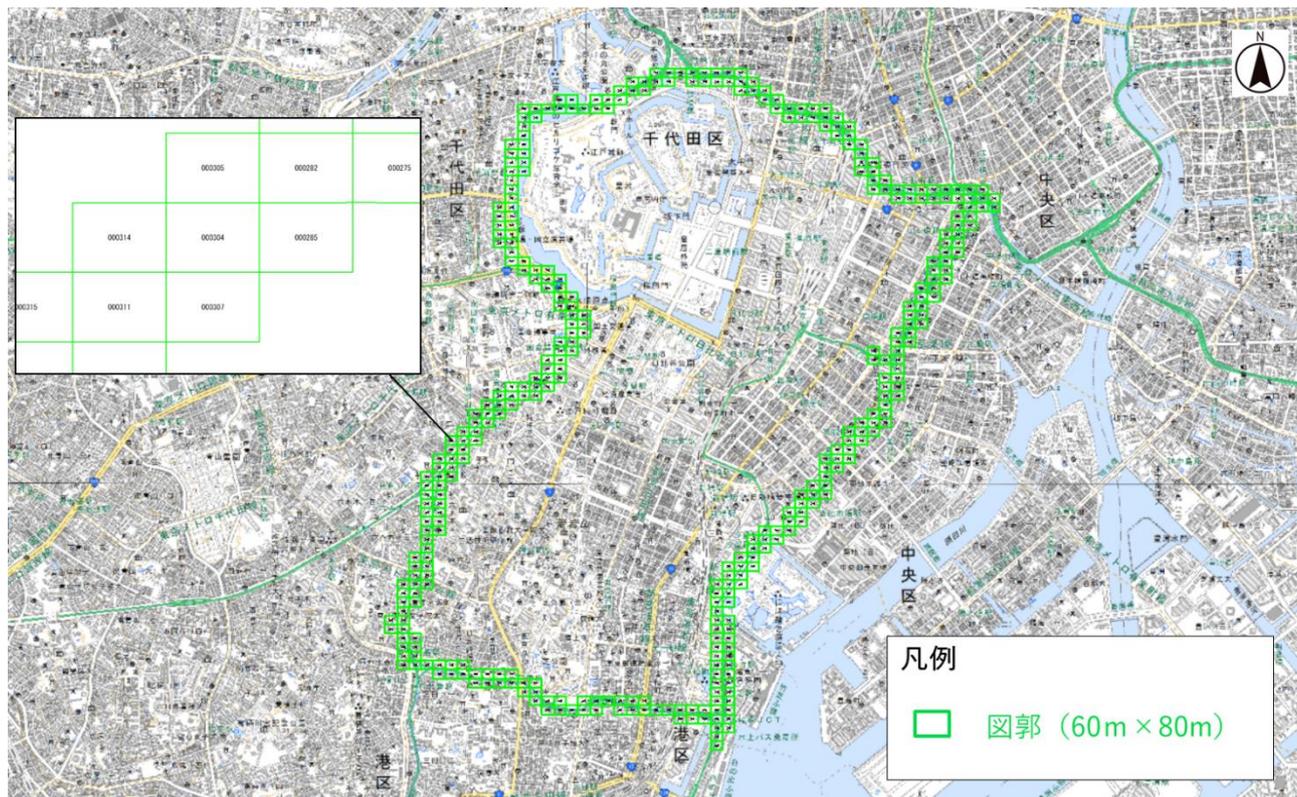


図 3-24 任意図郭（60m×80m メッシュ）



図 3-25 ダウンサンプリング処理実施範囲

2) 【IF102】点群セマンティックセグメンテーション後（地表面） LAS ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN002】
- インタフェース詳細
 - 点群セマンティックセグメンテーションの処理として【IF002】より地表面の 3D 点群データのみを分類し LAS 形式で出力したデータ。次工程の分類処理に使用する。

表 3-28 点群セマンティックセグメンテーション後（地表面） LAS ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：1km_east_1_1.las	LAS 形式	● 点群セマンティックセグメンテーションにより地表面の 3D 点群データを Class17 にアウトプットしたデータ

➤ 処理についての詳細：

LAS で 3D 点群データをインプットし、バッチ処理後に各分類情報を LAS のメタデータに格納した状態でアウトプットする。LAS は 1.2 に準拠するが、LAS1.2 には「床板」「高欄」「橋脚」「主桁」というクラスは存在しないため、床板を Class11、高欄を Class14、橋脚を Class16、主桁を Class15 とし、既存のクラスに上書きする形で保存した。

表 3-29 クラス分類一覧⁶

Table 17: ASPRS Standard LIDAR Point Classes (Point Data Record Formats 6-10)

Classification Value	Meaning
0	Created, never classified
1	Unclassified ³
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Reserved
9	Water
10	Rail
11	Road Surface
12	Reserved
13	Wire – Guard (Shield)
14	Wire – Conductor (Phase)
15	Transmission Tower
16	Wire-structure Connector (e.g. Insulator)
17	Bridge Deck
18	High Noise
19-63	Reserved
64-255	User definable

⁶ 参照先：https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf

3) 【IF103】点群セマンティックセグメンテーション後（床板） LAS ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN003】
- インタフェース詳細
 - 点群セマンティックセグメンテーションの処理として【IF102】より床板の 3D 点群データのみを分類し LAS 形式で出力したデータ。次工程の分類処理に使用する。

表 3-30 点群セマンティックセグメンテーション後（床板） LAS ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：1km_east_1_1.las	LAS 形式	● 点群セマンティックセグメンテーションにより床板の 3D 点群データを Class11 にアウトプットしたデータ

4) 【IF104】点群セマンティックセグメンテーション後（高欄・橋脚） LAS ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN004】
- インタフェース詳細
 - 点群セマンティックセグメンテーションの処理として【IF103】より高欄・橋脚の 3D 点群データのみを分類し LAS 形式で出力したデータ。次工程の分類処理に使用する。

表 3-31 点群セマンティックセグメンテーション後（高欄・橋脚） LAS ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：1km_east_1_1.las	LAS 形式	● 点群セマンティックセグメンテーションにより高欄を Class14、橋脚の 3D 点群データを Class16 にアウトプットしたデータ

5) 【IF105】点群セマンティックセグメンテーション後（主桁） LAS ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN005】
- インタフェース詳細
 - 点群セマンティックセグメンテーションの処理として【IF104】より主桁の 3D 点群データのみを分

類し LAS 形式で出力したデータ。次工程の手動補正に使用する。

表 3-32 点群セマンティックセグメンテーション後（主桁） LAS ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：1km_east_1_1.las	LAS 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 点群セマンティックセグメンテーションにより主桁の 3D 点群データを Class15 にアウトプットしたデータ

6) 【IF106】手動補正後 LAS ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN007】
- インタフェース詳細
 - 「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 3.4 版」にならった分類の 3D 点群データを作成するため、点群セマンティックセグメンテーションで正しく分類が実施できなかった箇所の手動修正を行い LAS 形式で出力した 3D 点群データ。

表 3-33 手動補正後 LAS ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
例：1km_east_1_1.las	LAS 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 範囲：道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km） ● 約 50m で 1 ファイルに分割されている ● 密度：600 点/m²

7) 【IF107】モデル化後 DWG ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN008】
- インタフェース詳細
 - 符号化し CityGML を作成するため、点群セマンティックセグメンテーションを行った点群を元に手動にて作成した首都高速道路の 3D モデルを DWG 形式で出力した。

表 3-34 モデル化後 DWG ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
都市高速道路モデル.dwg	DWG 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 検証区間である道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km）と、検証区

		間以外の都心環状線区間（11.5km）の点群データから作成した 3D モデル ● 範囲：首都高速道路（都心環状線） 14.8km
--	--	---

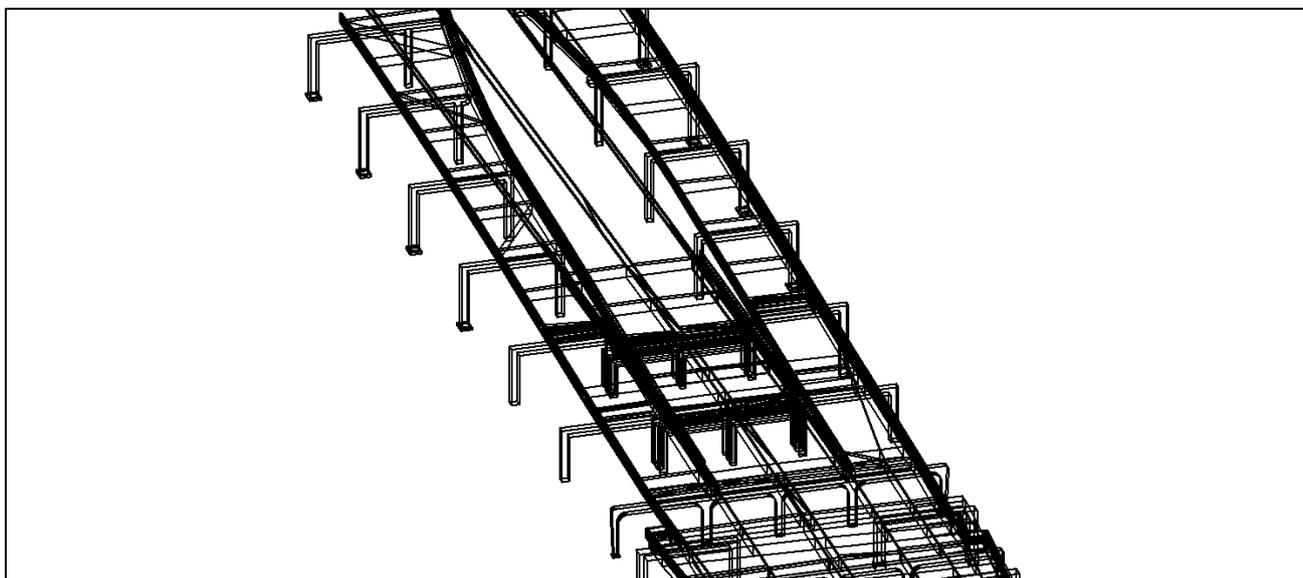


図 3-26 モデル化後 DWG ファイルイメージ

8) 【IF108】 符号化後 CityGML ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN008】
- インタフェース詳細
 - PLATEAU にてオープンデータ化するため、DWG 形式の 3D モデルに属性情報を付与し符号化を実施し出力した CityGML ファイル。

表 3-35 符号化後 CityGML ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
13_tokyo_tran-mlit_2023_citygml_1_op	CityGML 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 範囲：首都高速道路（都心環状線） 14.8km ● 構成：道路 LOD3、橋梁 LOD3、トンネル LOD3

9) 【IF109】 MMS による取得後点群データ LAS ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN101】

- インタフェース詳細
 - サーフェスモデル自動生成を実施するために、車線単位の 3D 点群データを図郭単位で再出力したものの。
 - また点群密度比較検証のためのダウンサンプリングを実施し、使用した。

表 3-36 MMS による取得後点群データ LAS ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
図郭番号.las 例：C1_000131.las	LAS 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 任意図郭単位（60m×80m メッシュ）に分割処理を実施 ● 道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲（3.1km）について点群密度比較検証のためのダウンサンプリング（密度 100 点/m²、600 点/m²、1600 点/m²、3200 点/m²）を実施 ● 【FN102】の検証により、サーフェスモデルの容量を抑えるためさらに細分化した以下の 3D 点群データを作成 使用点群密度：100 点/m² 図郭：7.5m×10m メッシュ

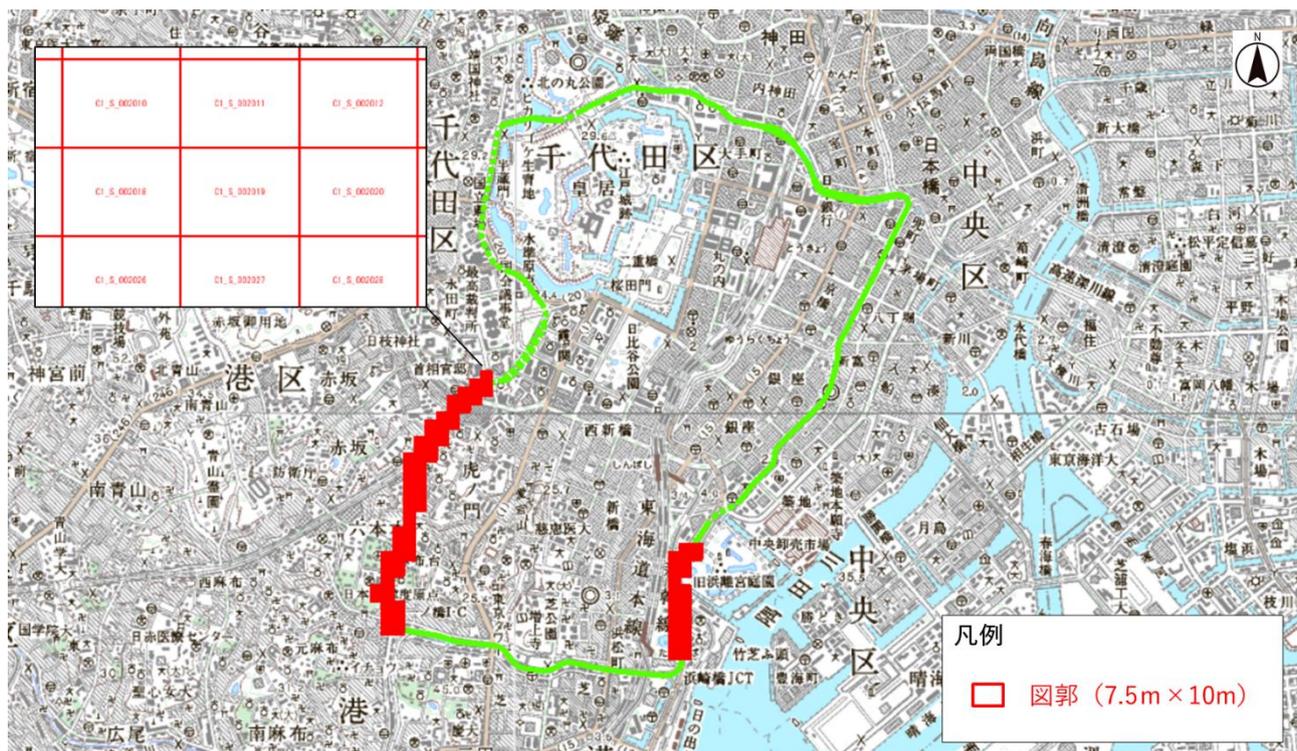


図 3-27 任意図郭 (7.5m×10m メッシュ)

10) 【IF110】サーフェスモデル自動生成 OBJ/PLY ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN102】
- インタフェース詳細
 - 3D モデル作成のため、【FN102】でプロトタイプに取り込んだ LAS 形式の 3D 点群データを、OBJ 形式/PLY 形式のメッシュモデルとして出力した。

表 3-37 サーフェスモデル自動生成 OBJ/PLY ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
図郭番号.obj 例：C1_S_000329.obj	OBJ/PLY 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 範囲：道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲 (3.1km) ● 機能検証の結果、最終的に使用したサーフェスモデル 使用する点群密度 : 100 点/m ² Ball サイズ : 012 図郭 : 7.5m×10m

11) 【IF111】クレンジング後 DWG ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN103】

- インタフェース詳細
 - 符号化し CityGML を作成するため、サーフェスモデルより「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 3.4 版」にならって手動で作成した首都高速道路の 3D モデルを DWG 形式で出力した。

表 3-38 クレンジング後 DWG ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
都市高速道路モデル.dwg	DWG 形式	● 範囲：検証区間 道路モデル LOD3・橋梁モデル LOD3 整備範囲 (3.1km)

12) 【IF112】符号化後 CityGML ファイル出力

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN104】

- インタフェース詳細
 - PLATEAU にてオープンデータ化するため、DWG 形式の 3D モデルに属性情報を付与し符号化を実施し出力した CityGML ファイル。

表 3-39 符号化後 CityGML ファイル出力

出力ファイル名称	形式	詳細
13_tokyo_tran-mlit_2023_citygml_1_op	CityGML 形式	<ul style="list-style-type: none"> ● 属性情報を付与し符号化を実施した PLATEAU にてオープンデータ化するファイル ● 範囲：首都高速道路（都心環状線）14.8km ● 構成：道路 LOD3、橋梁 LOD3、トンネル LOD3

3-4-3. 内部連携インタフェース

1) 点群セマンティックセグメンテーション

今回はアルゴリズムの研究開発要素が強いことに加えて 3D 点群データ量が多いため、3D 点群データは HDD によるやり取りとなる。よって、システム機能間インタフェースはなし。

2) サーフェスモデル自動生成

上記同様。

3) 3D 都市モデルの作成・利用環境の構築

今回はアルゴリズムの研究開発要素が強いことに加えて 3D 点群データ量およびサーフェスモデルの容量が大きいため HDD によるやり取りとなる。よって、システム機能間インタフェースはなし。

3-4-4. 外部連携インターフェース

1) 点検支援アプリケーション

① 【IF301】 ArcGIS Pro

- インタフェースの概要
 - 3D 都市モデルを地図上に表示する
 - キロポスト情報等、位置情報を持つポイントデータを地図上に表示する
 - 取り込んだ複数データの座標系を変換し、同じ座標にそろえる
- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN202】
- プロトコル
 - なし
- API パス
 - なし
- メソッド
 - なし
- パラメータ
 - 使用した位置の基準となる座標系
平面直角座標系 第 9 系 (JGD 2011)
- コンテントネゴシエーション
 - なし
- フォーマット
 - インポート可能なフォーマットは以下の通り。

表 3-40 指定可能なフォーマット

フォーマット	データ
dwg、shp、gdb	3D 都市モデル（高速道路モデル）
gdb	3D 都市モデル（建築物 LOD1.0、LOD2.0）
kml	キロポスト（ポイント情報）

2) 3D 都市モデル（高速道路）確認用オンラインページ

② 【IF302】 ArcGIS Online

- インタフェースの概要
 - ArcGIS Pro で生成した地図と 3D 都市モデルのセットをオンラインで公開する
- 本インタフェースを利用した機能

- 【FN202】
- プロトコル
 - HTTPS
- API パス
 - なし
- メソッド
 - なし
- パラメータ
 - 使用した位置の基準となる座標系
WGS1984
- コンテントネゴシエーション
 - なし

3-5. 実証に用いたデータ

3-5-1. 活用したデータ一覧

1) 利用した 3D 都市モデル

- 年度：2023 年度
- 都市名：東京都 港区、中央区、千代田区
- ファイル名：13100_tokyo23ku_20022_citygml_1_2_op
- メッシュ番号：53394529、53394519、53394509、53393598、53393599、53393588、53393589、53393680、53393690、53393691、53394601、53394611、53394612、53394622、53394621、53394620、53394630、53394610
- 【FN202】統合可視化（点検支援アプリケーション作成工程）にて、対象区域周辺の建築物可視化のために使用。実際の使用時は Esri ジャパン株式会社がファイルジオデータベースに変換・公開しているものを使用（URL:<https://3d-city-model.esrij.com/search?collection=Document>）。

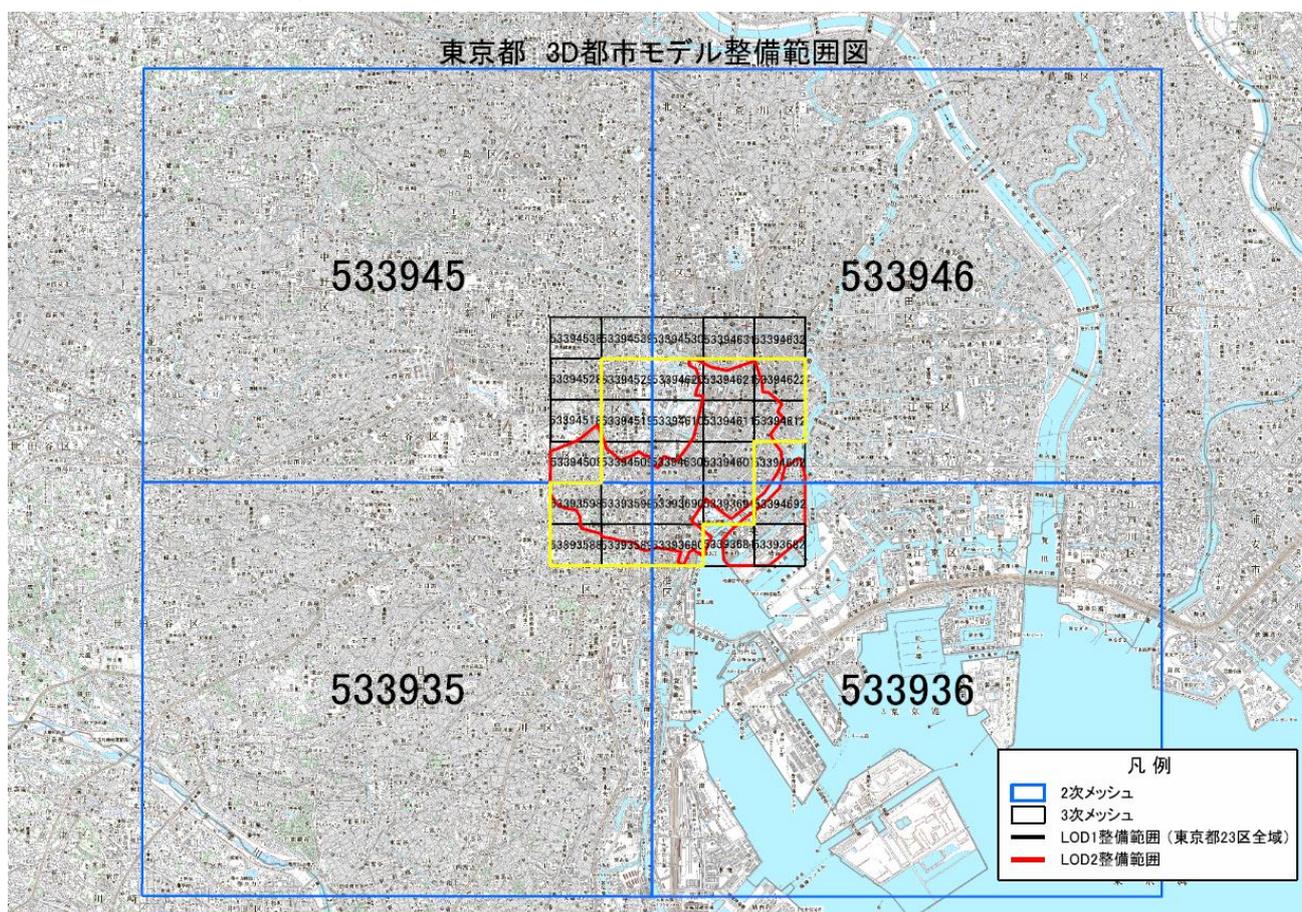


図 3-28 インデックスマップ（東京都心部）

表 3-41 利用した 3D 都市モデル

地物	地物型	属性区分	ID	属性名	内容	データを利用した機能 (ID)
建築物 LOD1・ LOD2	bldg:Building	主題属性	DT001	bldg:usage	用途	FN202
			DT002	bldg:yearOfConstruction	建築年	FN202
			DT003	bldg:storeysAboveGround	地上階数	FN202
			DT004	uro:buildingDetailAttribute/uro:buildingStructureType	構造種別	FN202

表 3-42 利用した 3D 都市モデルの仕様⁷

項目	内容
整備範囲	建築物モデル LOD1：23 区全域（627.57km ² ） 建築物モデル LOD2：2020 年度整備範囲（合計 32.02km ² ）、2022 年度板橋区ユースケース実証範囲（舟渡、新河岸、高島平地区 3.08km ² ）
準拠仕様	3D 都市モデル標準製品仕様書第 2.3 版
作成年：2022 年度	都市計画法第 6 条に基づく都市計画基礎調査等の建物利用情報等を建物の属性情報として付加。
モデル作成	建築物 LOD1・LOD2：国際航業株式会社
出典	建物図形：LOD1 土地利用現況・建物現況調査（東京都）（2016 年度）、LOD2 航空写真測量（東京都）（2021 年度） 計測高さ：LOD1 航空レーザ測量（国際航業株式会社）（2020 年度）、LOD2 航空写真測量（国際航業株式会社）（2020 年度）、LOD2 航空写真測量（東京都）（2021 年度） 建物テキストチャ：航空写真（国際航業株式会社）（2020 年度）、航空写真（東京都）（2021 年度） 建物現況：建物利用現況調査（東京都）（2016 年度） 建物名称：国土基本情報（国土地理院）（2022 年度）（国土地理院長承認（使用）令 04 企指公第 48 号）

⁷ 公式 HP より抜粋（PLATEAU View、東京 23 区）：<https://plateauview.mlit.go.jp/>

2) 利用したその他のデータ

1. データ一覧

表 3-43 利用したその他データ（一覧）

ID	エリア (都市)	活用データ	内容	データ 形式	更新情報	出所	データを 利用した 機能 (ID)
DT101	東京都	3D 点群データ	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D都市モデル生成の元となるデータ ● 点密度:5000点/m² ※条件:レーザスキャナ 2 台使用、照射距離 5m 地点、時速 60km 走行時 ● 容量:約 250G B※補正後、不要点群削除後 ● 公共測量成果に該当しない 	LAS	2023 年 5 月~6 月計測	MMS 車両による計測	利用のみで機能には使用していない

表 3-44 【DT101】 3D 点群データ取得に使用した MMS 車両の機材仕様

No	センサ名称	センサ台数	機材仕様・スペック
1	GNSS/IMU 装置	1 台	受信衛星：GPS 衛星、GLONASS 衛星 水平精度：0.020m、高さ精度：0.050m、 Heading 精度：0.015°、Roll 精度：0.005°、 Pitch 精度：0.005° ※衛星連続受信時の RMS
2	レーザスキャナ	2 台	発射数：1,000,000 発/秒（1 台あたり） スキャンレート：250Hz/秒

2. データサンプル（イメージ）

表 3-45 利用したその他データ（サンプル）

ID	活用データ	サンプル・イメージ
DT101	3D 点群データ	 <p>図 3-29 3D 点群データ</p>

3-5-2. 生成・変換したデータ

表 3-46 生成・変換するデータ（点群セマンティックセグメンテーション）

No	データ	概要	フォーマット	用途
DT101	3D 点群データ	地表面、高架道路面、上部工、下部工、高架桁の分類情報が付与された 3D 点群データ	LAS	後工程でモデリングする際に分類情報をもとにモデリングする

表 3-47 生成・変換するデータ（サーフェスモデル自動生成）

No	データ	概要	フォーマット	用途
DT201	サーフェスモデル	朝日航洋によりノイズ処理やダウンサイジングが施された 3D 点群データより生成するサーフェスモデル	OBJ	後行程で朝日航洋が PLATEAU 仕様に合わせて生成するモデルの元素材

表 3-48 生成・変換するデータ（3D 都市モデルの作成・利用環境の構築）

No	データ	概要	フォーマット	用途
DT301	3D モデル	地表面、高架道路面、上部工、下部工、高架桁の 3D モデル	SHP、OBJ、DWG、IFC	3D モデルを用いて符号化する
DT302	符号化	地表面、高架道路面、上部工、下部工、高架桁の 3D モデルを符号化	CityGML	符号化したデータを用いて PLATEAU に導入

【DT301】は、3D 都市モデル標準製品仕様書に則って生成する。詳細仕様を以下に示す。

● 橋梁モデル

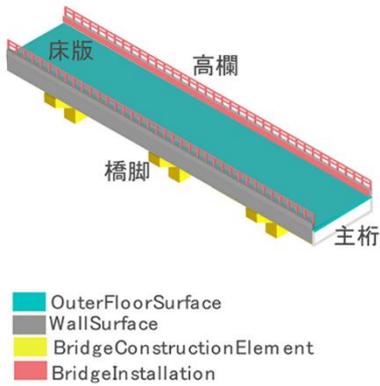
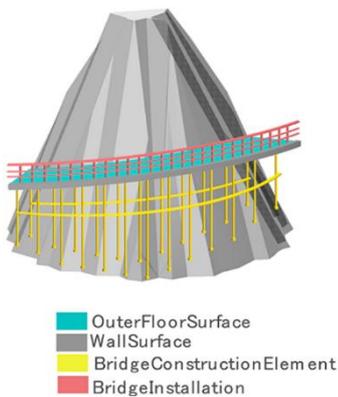
3D 都市モデル標準製品仕様書の橋梁モデル LOD3 に則って生成する。

表 3-49 橋梁モデルの定義

LOD	地物型	空間属性の型	取得基準	取得方法	補足
LOD3	Bridge	Solid 又は MultiSurface	道路橋、鉄道橋、栈道橋、横断歩道橋、ペDESTリアンデッキ、徒橋、跨線橋	<ul style="list-style-type: none"> ● 屋根面 (RoofSurface)、壁面 (WallSurface)、底面 (GroundSurface)、屋外床面 (OuterFloorSurface)、屋外天井面 (OuterCeilingSurface) 及び閉鎖面 (ClosureSurface) の集まり、又は、これらを境界面とする立体を作成する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路橋、栈道橋及び鉄道橋は、床板及び主桁を対象とする ● 横断歩道橋、ペDESTリアンデッキ、徒橋、跨線橋は、上部工、階段、及び踊り場を対象とする
LOD3	BridgeConstructionElement	MultiSurface	橋脚、橋台	<ul style="list-style-type: none"> ● 構造物の外形（外側から見える形）を構成する面を取得する ● 面の各頂点に構造物の高さを与える 	● 曲面の場合は、データセットが採用する地図情報レベルの水平及び高さの誤差の標準偏差に収まるよう平面に分割する
LOD3	BridgeInstallation	MultiSurface	高欄、地覆、親柱、庇、庇の柱、エレベーター	● 屋外付属物の外形（外側から見える形）を構成する面を取得する	

			タ、エスカレー タ、手すり	●面の各頂点に屋外付属物の高 さを与える	
LOD 3	GroundS urface	MultiSurface		●橋梁の側面と、地表との交線 により囲まれた面を取得する ●面の各頂点に、地表面の高さ を与える	
LOD 3	WallSurfa ce	MultiSurface		●橋梁の外形のうち、屋根面 (RoofSurface)、底面 (GroundSurface)、屋外床面 (OuterFloorSurface)、屋外天 井面(OuterCeilingSurface)及 び閉鎖面(ClosureSurface)以 外の面を取得する	

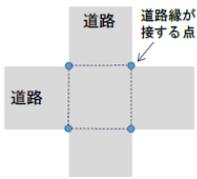
表 3-50 取得イメージ

		LOD3	
取得例			
説明	<p>道路橋及び鉄道橋の場合は、床板及び主桁以外の構造上不可欠な部を BridgeConstructionElement として取得する。上図の例では橋脚が該当する。それ以外の橋梁の外観を構成する部材を BridgeInstallation として取得する。上図の例では高欄が該当する。</p>	<p>跨線橋の場合は、道路橋及び鉄道橋と同様に、床板及び主桁以外の構造上不可欠な部材を BridgeConstructionElement として取得する。上図の例で橋脚が該当する。それ以外の橋梁の外観を構成する部材を BridgeInstallation として取得する。上図の例では高欄が該当する。</p>	

● 道路モデル

3D 都市モデル標準製品仕様書の交通（道路）モデル LOD3.0 に則って生成する。

表 3-51 LOD3.0 の「道路内の区分」

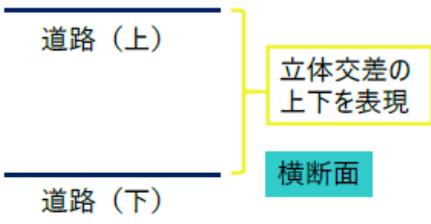
LOD		地物型	空間属性の型	取得基準	取得方法	補足
LOD3.0	●	Road	MultiSurface	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路法の道路 ● 建築基準法第42条の道路 	<ul style="list-style-type: none"> ● TrafficArea 及び AuxiliaryTrafficArea の集まりとして作成する 	道路内の高さは、横断方向に同一（全て車道の路面高さ）となる。
LOD3.0	●	TrafficArea	MultiSurface	<ul style="list-style-type: none"> ● 車道部 	<ul style="list-style-type: none"> ● 車道の境界をつないだ面を作成し、車道交差部を除く面を取得する ● 高さは車道部の路面高さとする 	
				<ul style="list-style-type: none"> ● 車道交差部（隅切りがある場合） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 隅切りで囲まれた車道部を取得する ● 高さは車道の路面高さとする ● 含むべき地物：すりつけ区間、踏切道、軌道敷、待避所、副道、自動車駐車場（走路）、自転車駐車場（走路） 	
				<ul style="list-style-type: none"> ● 車道交差部（隅切りが無い場合） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 交差する道路の道路縁が接する点を結ぶ線に囲まれた車道部を取得する ● 高さは車道の路面高さとする ● 含むべき地物：非常駐車帯、中央帯、側帯、路肩、停車帯、乗合自動車停車所、自動車駐車場（駐車区画）、自転車駐車場（駐車区画） 	
				<ul style="list-style-type: none"> ● 歩道部 	<ul style="list-style-type: none"> ● 歩道部の境界をつないだ面を取得する ● 高さは車道部の路面高さとする ● 含むべき地物：歩道部上の植栽、歩道、自転車歩行者道、自転車道 	

LOD3.0	●	AuxiliaryTraffic Area	MultiSurface	● 島	<ul style="list-style-type: none"> ● 島の外周を取得する ● 高さは車道部の路面高さとする ● 含むべき地物：交通島、分離帯、植樹帯、路面電車停車所 	
--------	---	-----------------------	--------------	-----	---	--

表 3-52 LOD3.0 の「高さの取得方法」

取得方法	LOD3.0
道路の横断方向の高さは一律とし、車道の高さとする。	●
道路の横断方向に 15cm 以上の高さの差が存在した場合に、車道部、歩道部、島それぞれの高さを取得する。	
道路の横断方向に 2cm 以上の高さの差が存在した場合に、車道部、歩道部、島それぞれの高さを取得する。	

表 3-53 取得イメージ

道路内の区分	高さの取得方法
<p style="text-align: center;">LOD3.0</p> <p>車道部、車道交差部、島及び歩道部を区分する。</p> 	<p style="text-align: center;">LOD3.0 及び LOD3.1</p> <p>道路内（車道部、歩道部、島）の高さは、横断方向に同一（全て車道の高さ）となる。 立体交差が表現できる。</p> 

● トンネルモデル

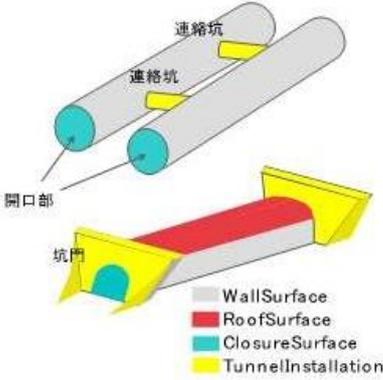
3D 都市モデル標準製品仕様書のトンネルモデル LOD3 に則って生成する。

表 3-54 トンネルモデルの定義

LOD	地物型	空間属性の型	取得基準	取得方法	補足
LOD 3	Tunnel	Solid 又は MultiSurface		<ul style="list-style-type: none"> ● 屋根面 (RoofSurface)、外壁面 (WallSurface)、底面 (GroundSurface)、及び閉鎖面 (ClosureSurface) を境界面とする立体を生成する。 	
LOD 3	RoofSurface	MultiSurface	トンネルの側面が垂直の場合に、その垂直面の上方に存在する面	<ul style="list-style-type: none"> ● トンネルの外周を取得し、外周を構成する各頂点に、屋根の高さを与える。 	<ul style="list-style-type: none"> ● トンネル上部が湾曲しており、トンネルの屋根と外壁との区分が難しい場合は、外壁面 (WallSurface) として取得する。
LOD 3	WallSurface	MultiSurface		<ul style="list-style-type: none"> ● トンネルの外形を構成する面のうち、屋根面 (RoofSurface) 及び底面 (GroundSurface) を除く面を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 曲面の場合は、データセットが採用する地図情報レベルの水平及び高さの誤差の標準偏差に収まるよう平面に分割する。
LOD 3	ClosureSurface	MultiSurface		<ul style="list-style-type: none"> ● 坑口の開口部の外周を取得する。 	<ul style="list-style-type: none"> ●
LOD 3	TunnelInstallation	MultiSurface		<ul style="list-style-type: none"> ● 外部付属物の外形（外側から見える形）を構成する面を取得する。 ● 面の各頂点に屋外付属 	<ul style="list-style-type: none"> ● 曲面の場合は、データセットが採用する地図情報レベルの水平

				物の高さを与える。	及び高さの誤差の標準偏差に収まるよう平面に分割する。
LOD 3	Door	MultiSurface		● 扉 (Door) の外周の正射影を取得する。	● 正射影は、扉 (Door) が設置されている外壁面 (WallSurface) 等への正射影とする。
LOD 3	Window	MultiSurface		● 窓 (Window) の外周の正射影を取得する。	● 正射影は、窓 (Window) が設置されている外壁面 (WallSurface) 等への正射影とする。

表 3-55 トンネルモデルの取得イメージ

LOD3	
取得例	
説明	<ul style="list-style-type: none"> ● トンネルの外形を立体として表現し、立体の各境界面を、屋根、外壁及び開口部に区分する。 ● さらにトンネルの外側に付いている付属物として、坑門や連絡坑を取得する。

各種モデルの作成範囲を以下に示す。

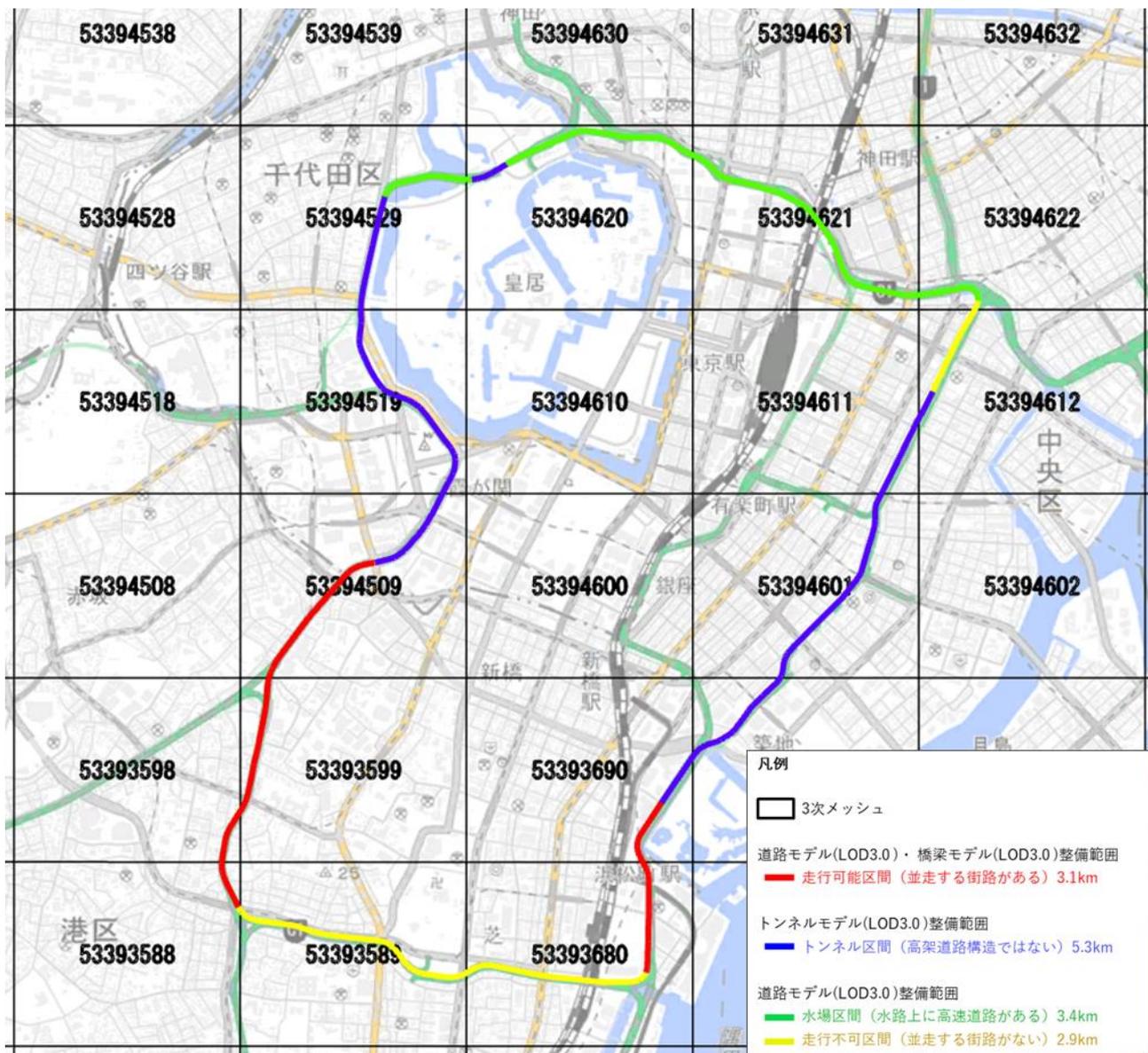


図 3-30 各種 3D 都市モデルの作成区間

表 3-56 各区間の 3D 都市モデル作成手法補足

区分	成果品	LOD	補足
走行可能区間	道路モデル	LOD3.0	<ul style="list-style-type: none"> ● 高速道路と並行している街路（一般道路）から橋脚、高欄、主桁が計測でき、高速道路下部構造を網羅している区間について生成
	橋梁モデル		
トンネル区間	道路モデル	LOD3.0	<ul style="list-style-type: none"> ● 高速道路上の点群から道路モデルを生成

	トンネルモデル		<ul style="list-style-type: none"> ● 標準製品仕様書上は「外壁の形状」だが、MMSでの点群取得では生成不可 ● 内壁形状もしくは、内壁形状+覆工厚で代替し生成する
水場区間	道路モデル	LOD3.0	<ul style="list-style-type: none"> ● 下部工の3D点群データ取得ができない区間は高速道路上の点群から道路モデルを生成
走行不可区間			

3-6. ユーザーインタフェース

3-6-1. 画面一覧

- PC用画面

表 3-57 PC画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	画面を表示した機能 (ID)
SC001	SC002, SC003, SC004, SC005, SC006	メイン画面	<ul style="list-style-type: none"> ● 既存 GIS ソフトウェアによる 3D 都市モデルビューワ及び、各データリストが 1 画面に統一された画面 	FN202
SC002	SC003, SC004	地図画面	<ul style="list-style-type: none"> ● 選択されたレイヤを 2D、3D で表示する 	FN202
SC003	SC002, SC004	レイヤ選択リスト画面	<ul style="list-style-type: none"> ● チェックリスト形式により選択されたレイヤの表示/非表示切換を行い地図画面へ反映する 	FN202
SC004	SC002, SC003	地物リスト画面	<ul style="list-style-type: none"> ● 選択された地物の詳細情報を表示する 	FN202
SC005	SC002	点検写真読み込み画面	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場で撮影したジオタグ付き写真の撮影位置を地図画面上に表示する 	FN202
SC006	SC004, SC007	点検結果入力画面	<ul style="list-style-type: none"> ● 点検結果及び損傷の情報を入力する 	FN202
SC007	SC004, SC006	レポート作成画面	<ul style="list-style-type: none"> ● 地物リスト及び点検結果を一覧として出力する 	FN202

3-6-2. 画面遷移図

● PC用画面

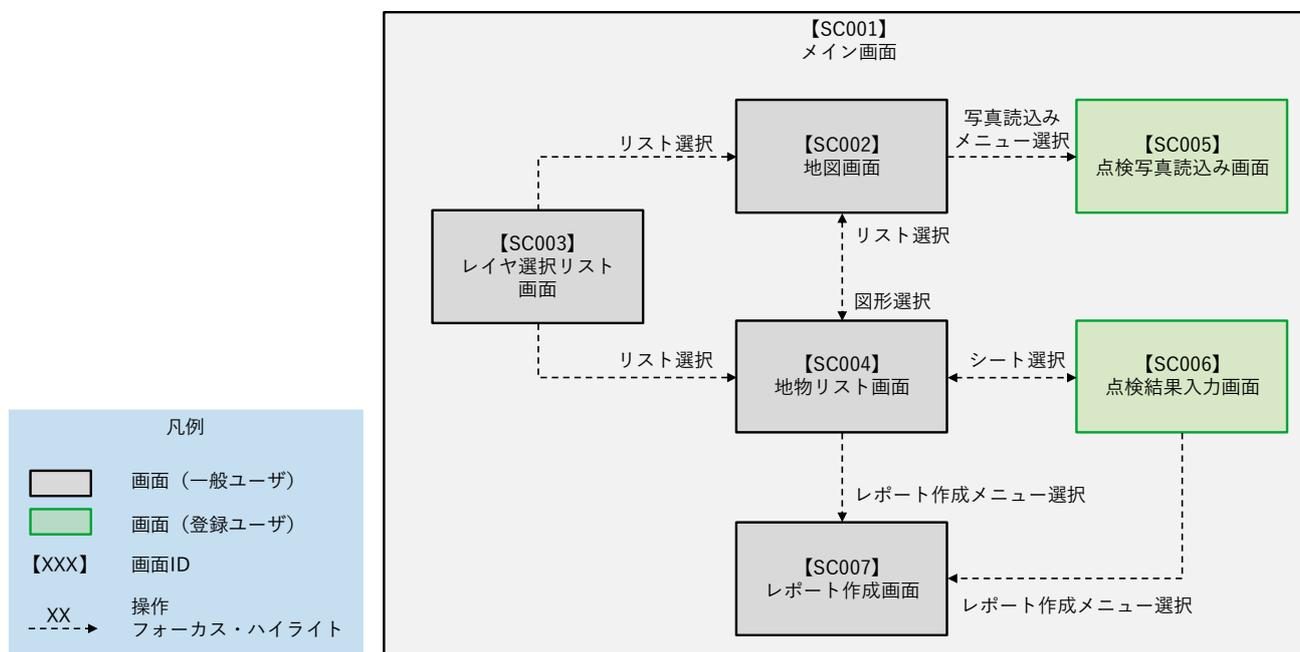


図 3-31 PC用画面遷移図

3-6-3. 各画面仕様詳細

● PC用画面

1. 【SC001】メイン画面

● 画面の目的・概要

- 既存 GIS ソフトウェアによる 3D 都市モデルビューワ及び、各データリストが 1 画面に統一された画面
- 3D 都市モデルビューワとリスト画面、地物リスト画面を連携させ、同一画面上で相互の情報を確認可能

● 画面イメージ

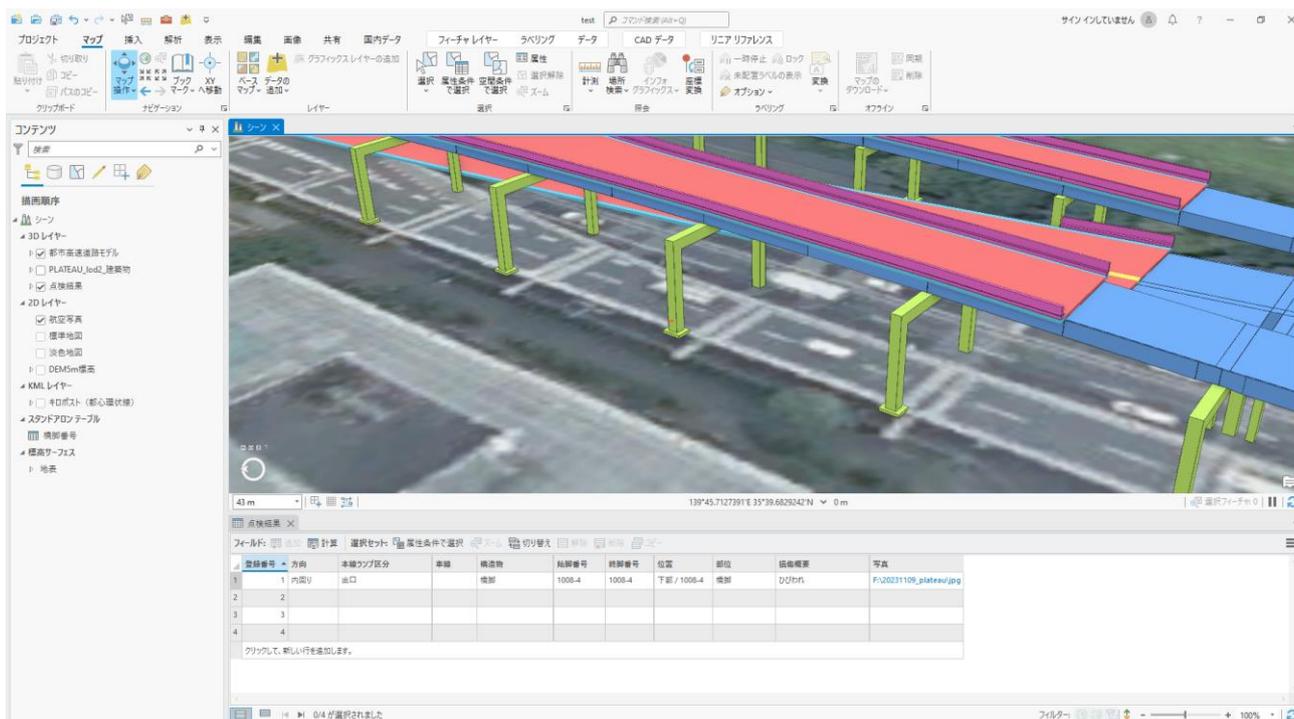


図 3-32 メイン画面のイメージ

2. 【SC002】 地図画面

● 画面の目的・概要

- メイン画面左部のコンテンツ選択リストにて選択されたレイヤを2Dまたは3Dで表示する
- テーマごとに表示レイヤが設定されており、表示/非表示の切り替えを行うことで画面上のレイヤ表示を操作する
- 画面上の選択地物の関連情報をレイヤ選択リスト画面及び地物リスト画面で連携してハイライト表示することが可能

● 画面イメージ

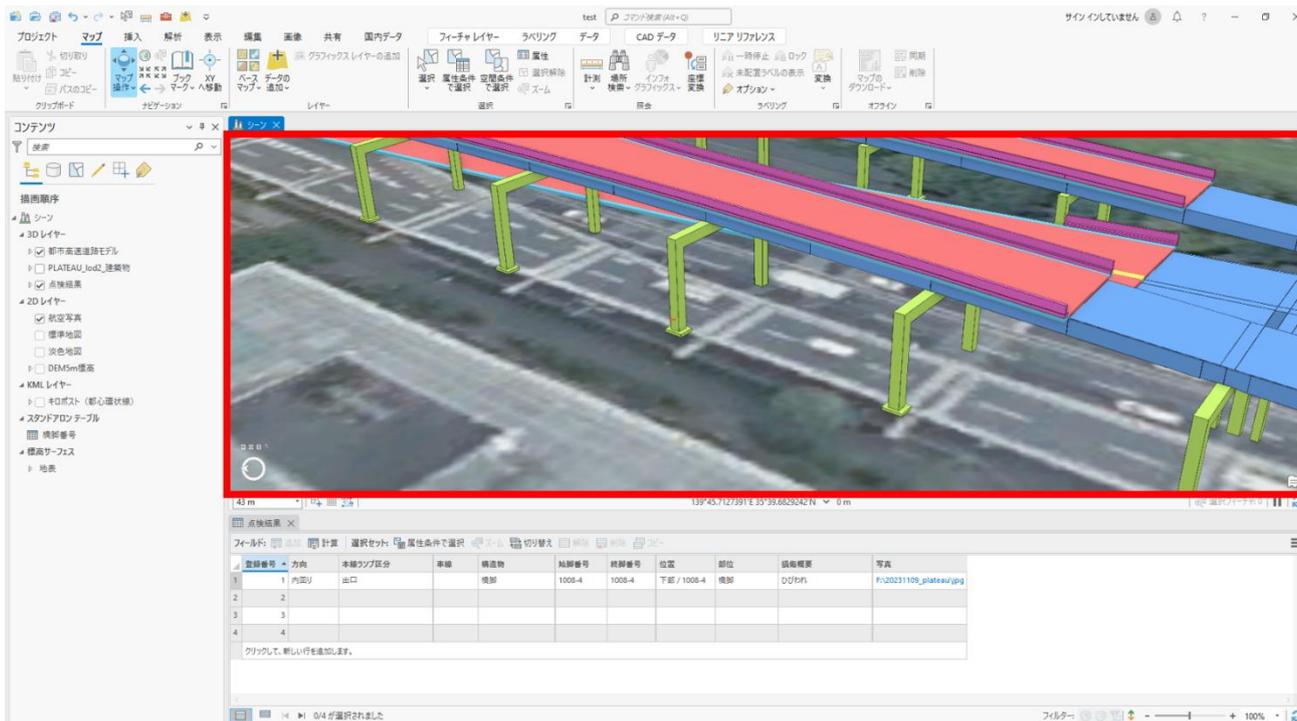


図 3-33 地図画面のイメージ

3D モデルをクリックで選択すると地物リストの該当行もハイライト（水色）表示され特定が可能。

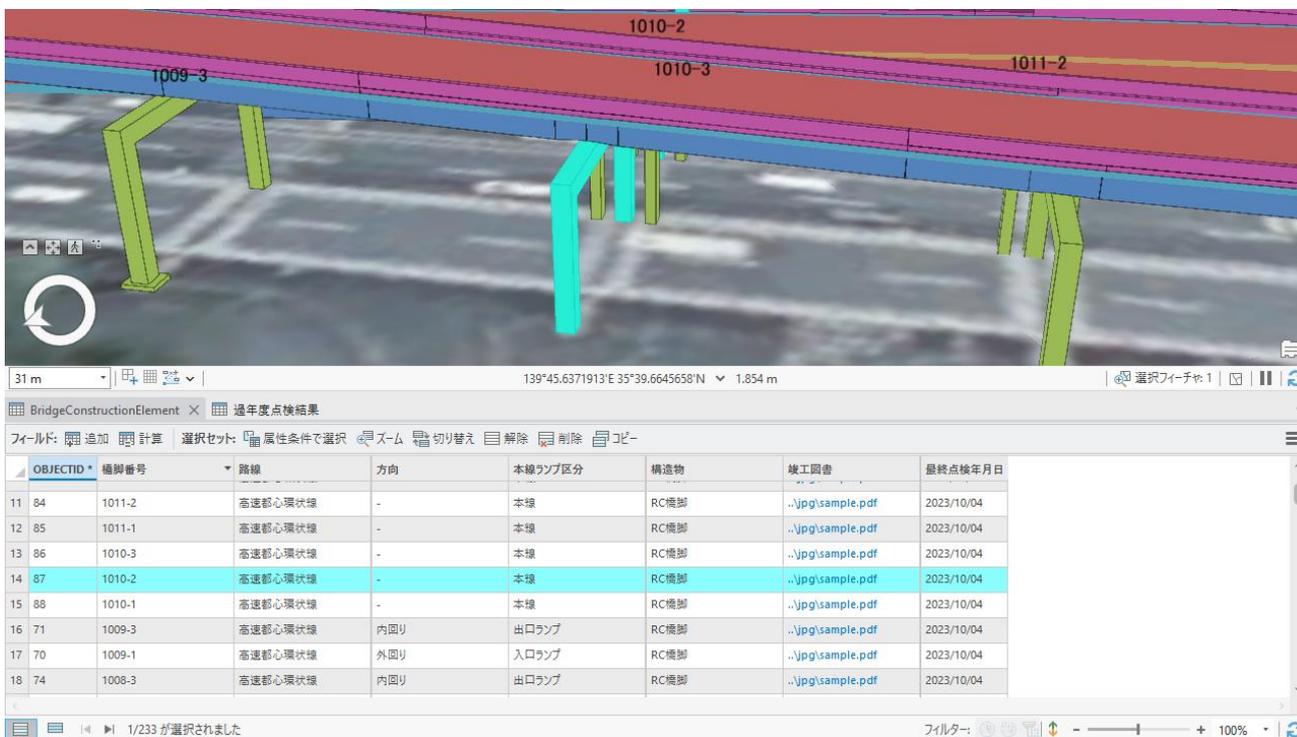


図 3-34 地物特定のイメージ

3. 【SC003】 レイヤ選択リスト画面

- 画面の目的・概要
 - チェックリスト形式により選択されたレイヤの表示/非表示切換を行い地図画面へ反映する
 - レイヤのグループ化やシンボル色の変更を行うことで、データ情報の整理を行うことが可能
- 画面イメージ

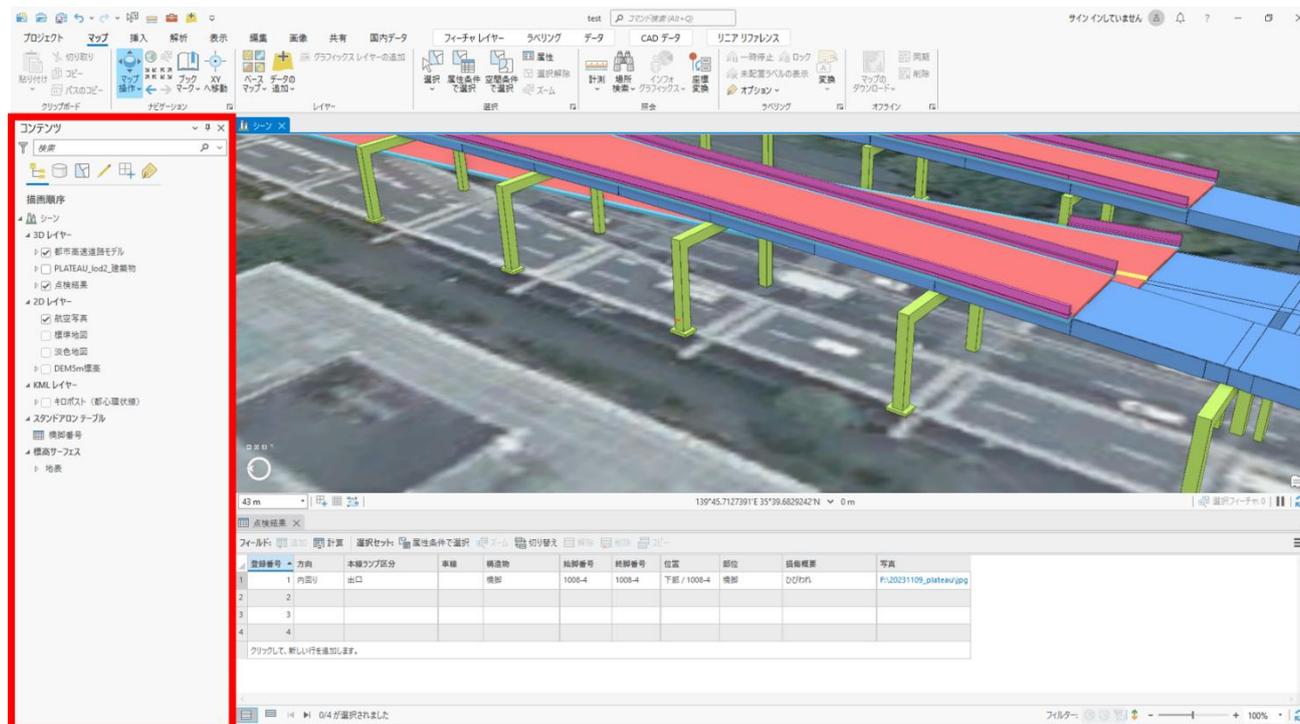


図 3-35 レイヤ選択リスト画面のイメージ

レイヤの表示切替えを行うと地図画面に反映される。



図 3-36 レイヤの表示切替え例

4. 【SC004】 地物リスト画面

- 画面の目的・概要
 - 地図画面及びリスト画面にて選択されたレイヤをリスト内でハイライト表示し、その詳細情報をテーブル形式で表示する
 - 選択したレイヤの地物に設定されている属性情報（管理台帳、点検記録）に対し、新たな項目の追加やリスト内の編集をすることが可能
 - データパスを入力することで、図面等外部からのデータ参照を行うことが可能
- 画面イメージ

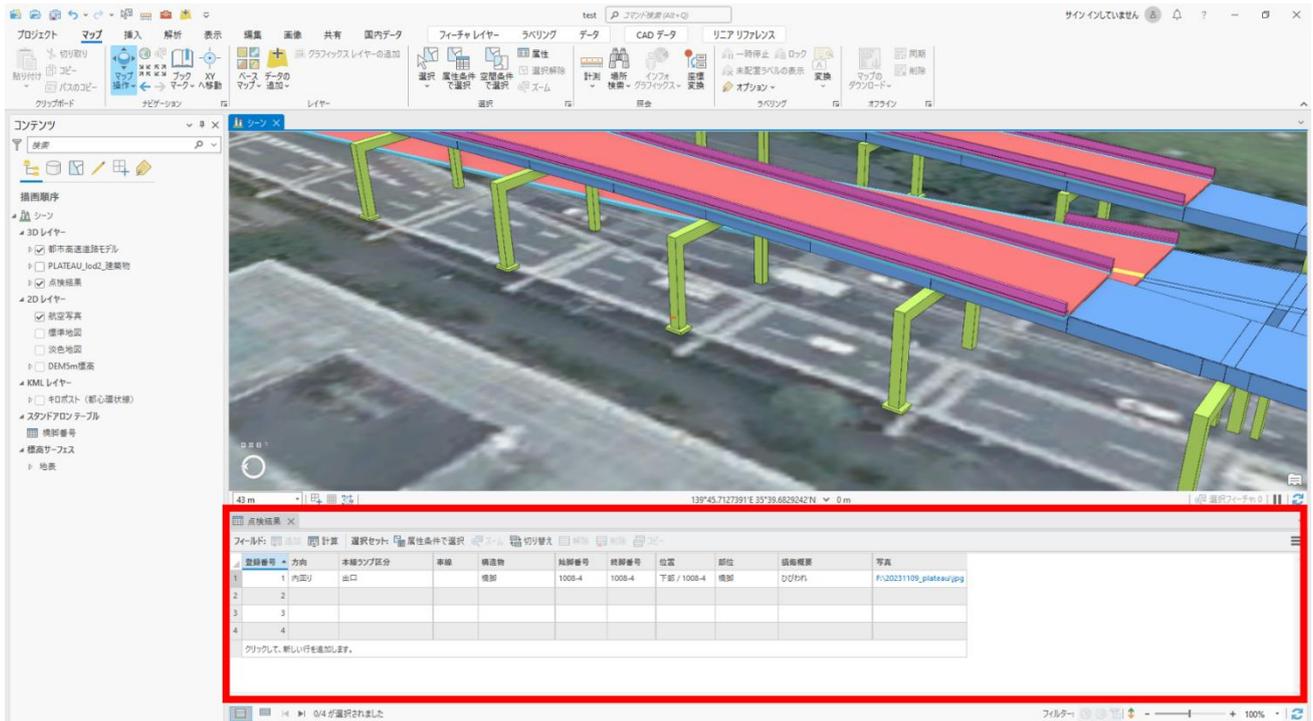


図 3-37 地物リスト画面のイメージ

地物リストで選択し「ズーム」機能を使用すると該当する 3D モデルがハイライト（水色）表示され特定が可能。



図 3-38 地物リストからの 3D モデル特定イメージ

また、地物リストには橋脚の管理台帳、過年度点検結果があり、タブを選択することで切り替えが可能である。その他構造物の管理台帳等がある場合は、タブが増えて表示される。

タブ



図 3-39 地物リストのタブ

5. 【SC005】点検写真読み込み画面

● 画面の目的・概要

- デジタルカメラ等で撮影したジオタグ付き写真の撮影位置と画像を地図上にプロットすることで点検結果入力時の参考にするを目的とする

● 画面イメージ

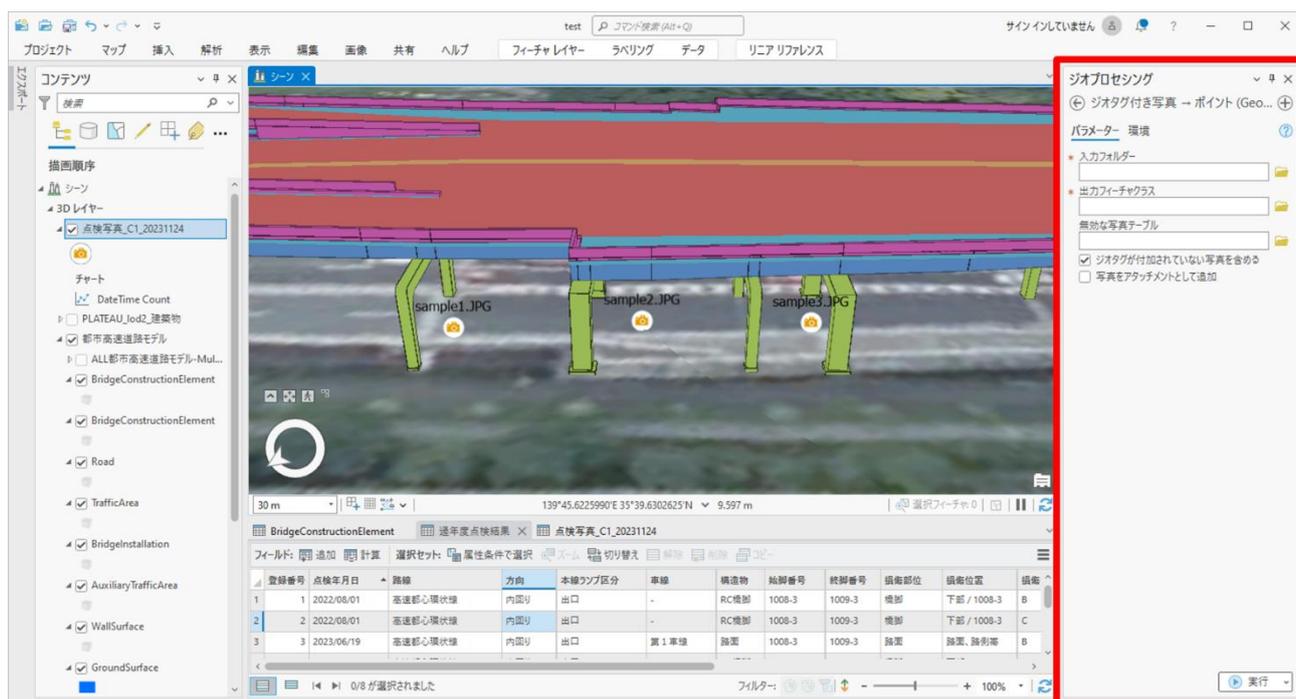


図 3-40 点検写真読み込み画面のイメージ

6. 【SC006】点検結果入力画面

● 画面の目的・概要

- 点検結果及び損傷の情報を入力し保存する
- 損傷（ひび割れ）はラインデータとして入力、また調査結果の詳細情報（路線名等の基本情報、点検日、写真等）を各項目へ入力する

表 3-58 点検結果入力項目の一覧

点検結果入力項目	
登録番号	(連番)
点検年月日	
路線	
方向	
本線ランプ区分	
車線	
構造物	
始脚番号	
終脚番号	
損傷部位	
損傷位置	
損傷ランク	

損傷概要
現地写真
点検担当会社
点検担当者

● 画面イメージ

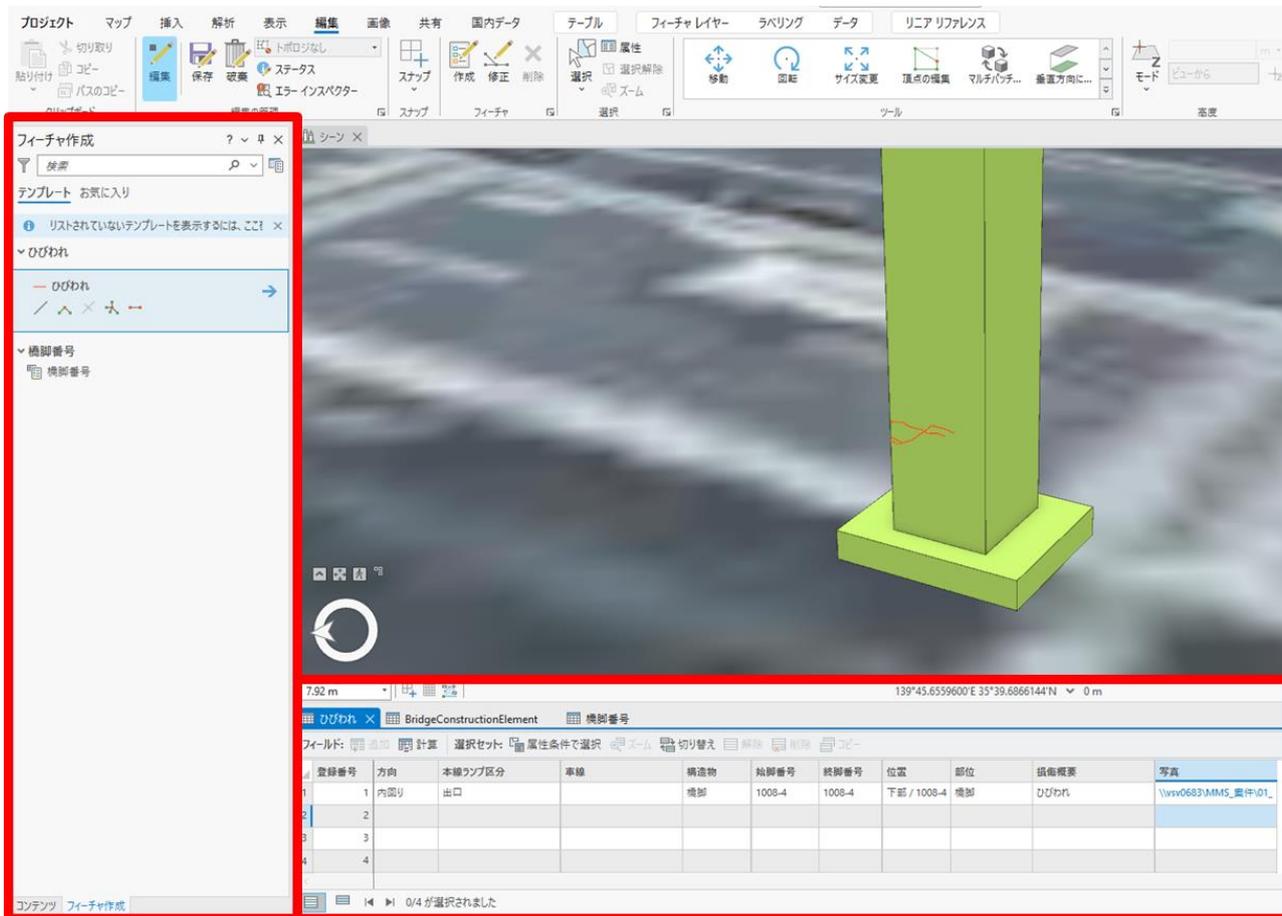


図 3-41 点検結果入力画面のイメージ

7. 【SC007】 レポート作成画面

- 画面の目的・概要
 - 地物リスト及び点検結果を一覧として出力する
 - 出力形式・項目を設定し PDF ファイルで出力が可能
- 画面イメージ

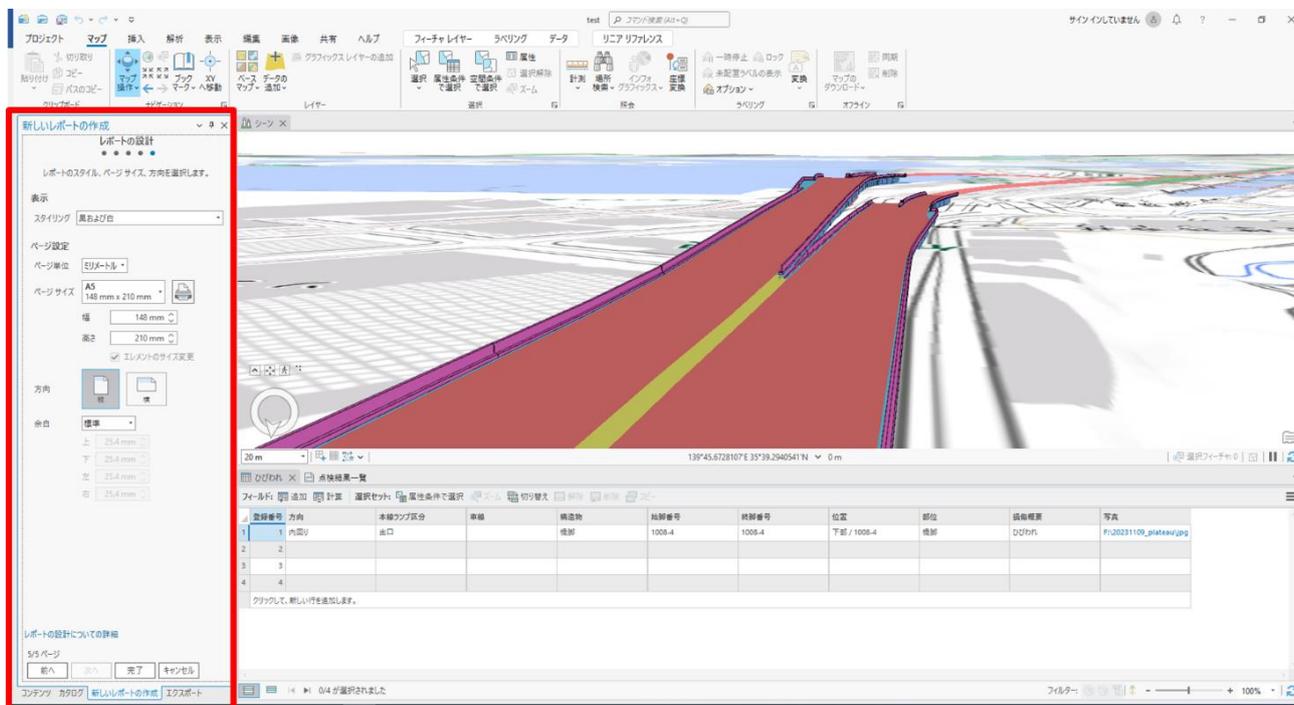


図 3-42 レポート作成画面のイメージ

表 3-59 レポート出力イメージ

過年度点検結果 レポート

登録番号	点検年月日	路線	方向	本線ランプ区分	車線	構造物	始測番号	終測番号	損傷部位	損傷位置
1	2022/08/01	高速都心環状線	内回り	出口	-	RC橋脚	1008-3	1009-3	橋脚	下部 / 1008-3
3	2023/06/19	高速都心環状線	内回り	出口	第1車線	路面	1008-3	1009-3	路面	路面、路側帯
2	2022/08/01	高速都心環状線	内回り	出口	-	RC橋脚	1008-3	1009-3	橋脚	下部 / 1008-3
4	2023/10/04	高速都心環状線	内回り	出口	-	RC橋脚	1008-3	1009-3	橋脚	下部 / 1008-3
5	2023/10/04	高速都心環状線	内回り	出口	-	RC橋脚	1008-3	1009-3	橋脚	下部 / 1008-3
6	2023/10/04	高速都心環状線	内回り	出口	-	RC橋脚	1008-3	1009-3	橋脚	下部 / 1008-3
7	2023/10/23	高速都心環状線	内回り	出口	-	主桁	1008-3	1009-3	主桁	主桁底面
8	2023/11/13	高速都心環状線	内回り	出口	第1車線	路面	1008-3	1009-3	路面	路面、路側帯

3-7. 実証システムの利用手順

3-7-1. 実証システムの利用フロー

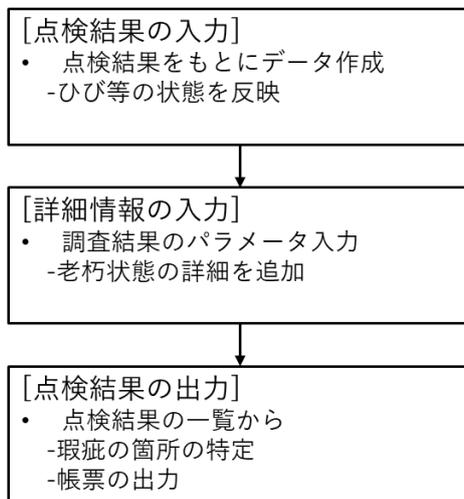


図 3-43 システムの利用フロー

- 構造物点検者が点検結果をもとに都市高速道路モデル上に損傷の図示と詳細情報の入力を行う
- 点検者とは別の管理者でも損傷の位置の確認、情報の取得を行うことができる

3-7-2. 各画面操作方法

1) 点検結果の入力

- 点検により発見した損傷を新しく作成したレイヤヘラインデータとして入力していく
- 入力時には点検時の写真を地図上で表示し参考とすることが可能

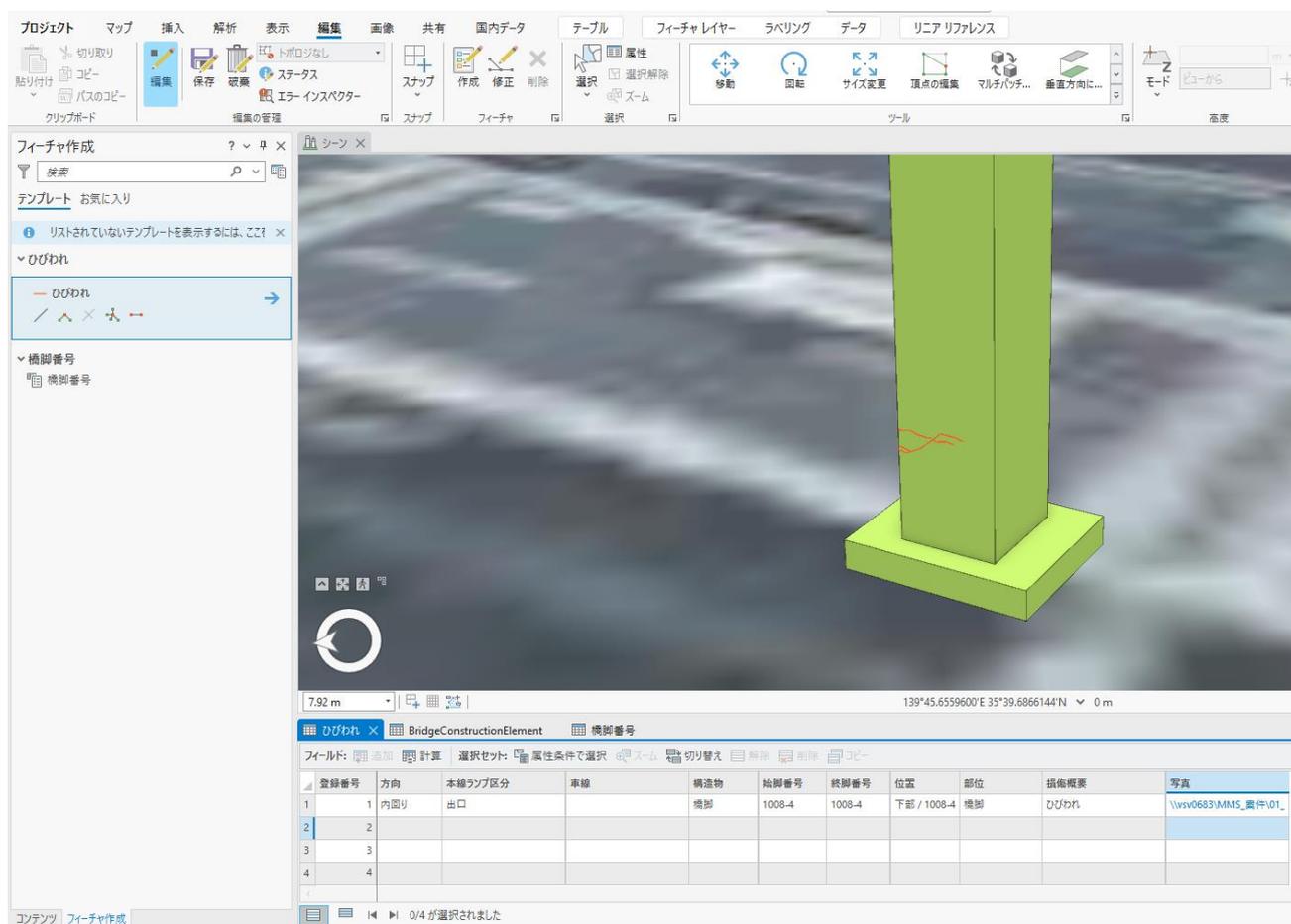


図 3-44 損傷（橋脚のひび割れ）の入力例

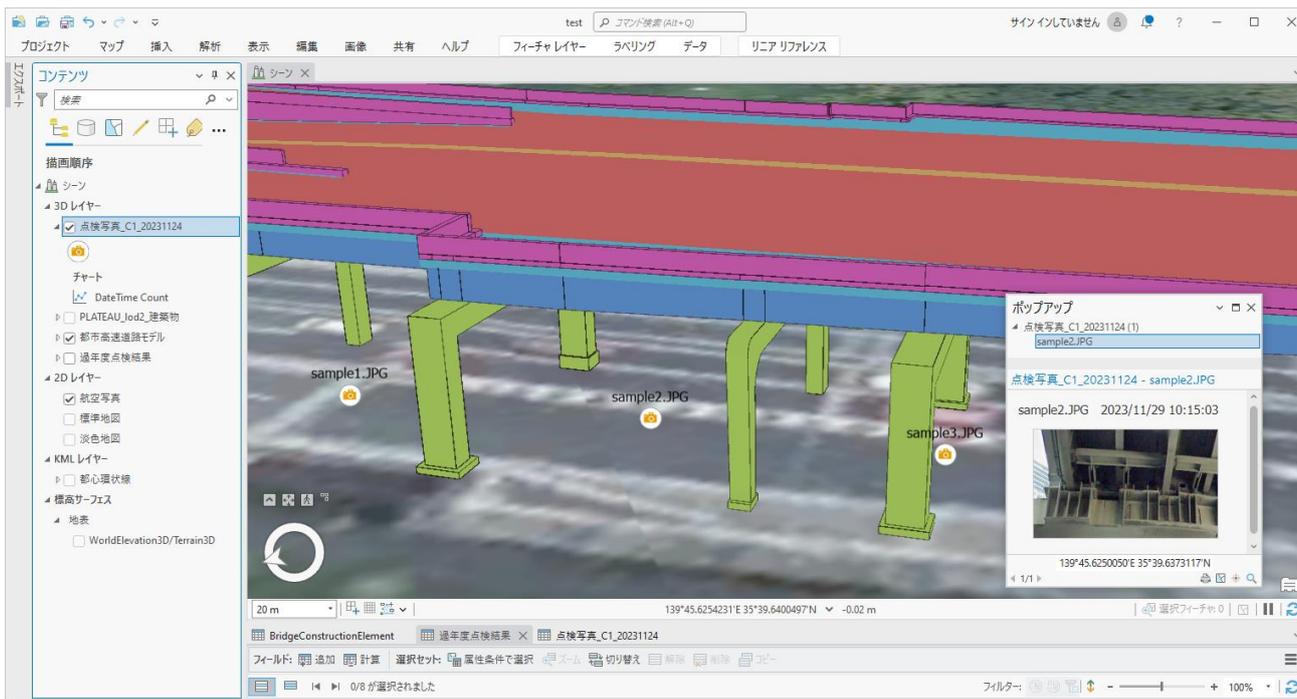


図 3-45 読込んだ点検写真の表示

2) 詳細情報の入力

- 調査結果の詳細情報（路線名等の基本情報、点検日、写真等）を各項目へ入力し保存する

登録番号	方向	本線ランプ区分	車線	構造物	始脚番号	終脚番号	位置	部位	損傷概要	写真
1	1	内回り	出口	橋脚	1008-4	1008-4	下部 / 1008-4	橋脚	ひびわれ	\\sv0683\MMS_案件\01_
2	2									
3	3									
4	4									

図 3-46 詳細情報の入力

3) 点検結果の出力

- 保存した点検結果を一覧として出力

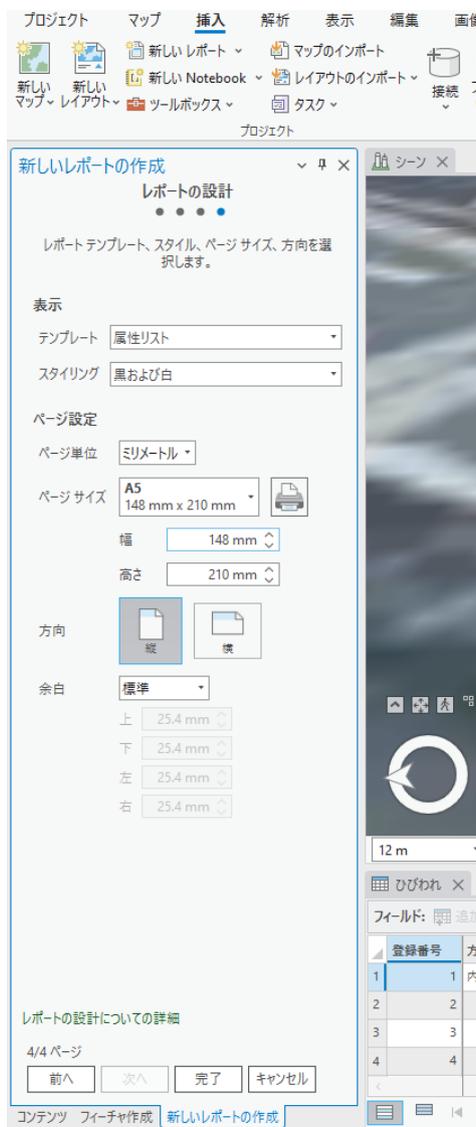


図 3-47 点検結果の出力

- ズーム機能により損傷箇所の確認を行う



図 3-48 ズーム機能による損傷の位置確認

4. 実証技術の検証

4-1. セグメンテーション技術による分類精度・作業効率化検証

4-1-1. 検証目的

- 3D 点群データを自動で分類することで、3D モデル生成プロセスの業務負荷が軽減されるのかを評価するために、今回の実証実験のために取得した高密度点群データの分類精度及びそれによる作業の自動化率を検証する。
- MMS で取得する点密度が高い方が分類精度は向上するのかを評価するために、点密度が分類精度に与える影響を検証する。

4-1-2. KPI

表 4-1 KPI 目標値（セグメンテーション）

No.	評価指標・KPI	目標値	目標値の設定理由	検証方法	担当
1	分類精度	70%	<ul style="list-style-type: none"> ● 分類項目を 4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）に設定したので、個々の項目の精度ではなく、分類全体の精度を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 首都高速道路の 3D 点群データを独自のアルゴリズムで分類し、分類精度の検証をする 	朝日航洋
2	点密度の影響	600 点/ m ²	<ul style="list-style-type: none"> ● 点群の分類までを対象とし、点密度が分類精度に与える影響を調査する ● 基本的には低い点密度の方がデータも軽く計算処理も作業性も向上するため低い点密度を設定した 	<ul style="list-style-type: none"> ● 複数パターンの点密度で取得された首都高速道路点群を同じ分類アルゴリズムで分類し精度に与える影響をみる（ベースケース 100m のみ） 	ローカスブルー
3	自動化率	60%	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の作業と比較してどれくらい作業が自動化されているかを検証する ● 完全に自動化するのは不可能なため、これまでの実績から 	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来のやり方でかかる工数（時間・人数）と今回の手法（自動+手動）でかかる工数を比較する 	朝日航洋

			60%に設定		
--	--	--	--------	--	--

4-1-3. 検証方法と検証シナリオ

a. 分類精度の検証

- 首都高速道路の 3D 点群データを独自のアルゴリズムで分類し、分類精度の検証をする
- 分類項目を 4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）に設定したので、個々の項目の精度ではなく、分類全体の精度を F 値で評価する。F 値は適合率と再現率の調和平均を用いた一般的な方法で計算する。点群の分類に際しては、正解データとの点群数を合わせることに注意する
- 首都高速道路の 3D 点群データ全体の正解データを作成すると膨大な作業量になってしまうため、代表的な構造を持つエリアを三つ選んで検証する

表 4-2 分類項目のイメージ

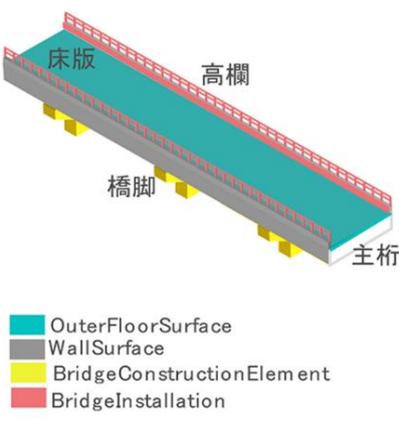
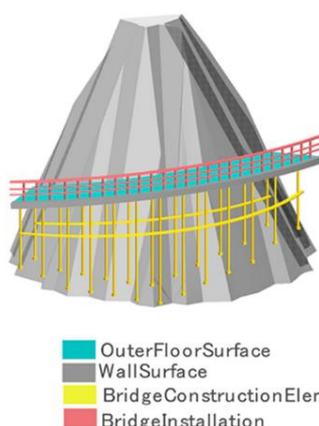
		LOD3	
取得例			
説明	<p>道路橋及び鉄道橋の場合は、床板及び主桁以外の構造上不可欠な部材を BridgeConstructionElement として取得する。上図の例では橋脚が該当する。それ以外の橋梁の外観を構成する部材を BridgeInstallation として取得する。上図の例では高欄が該当する。</p>	<p>跨線橋の場合は、道路橋及び鉄道橋と同様に、床板及び主桁以外の構造上不可欠な部材を BridgeConstructionElement として取得する。上図の例で橋脚が該当する。それ以外の橋梁の外観を構成する部材を BridgeInstallation として取得する。上図の例では高欄が該当する。</p>	

表 4-3 検証エリア一覧（分類精度の検証）

No.	検証方法	エリア	距離	分類項目
a-1	各分類項目の F 値を平均した値	直線区間	100m	4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）
a-2	各分類項目の F 値を平均した値	カーブ区間	100m	4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）
a-3	各分類項目の F 値を平均した値	上下分岐区間	100m	4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）

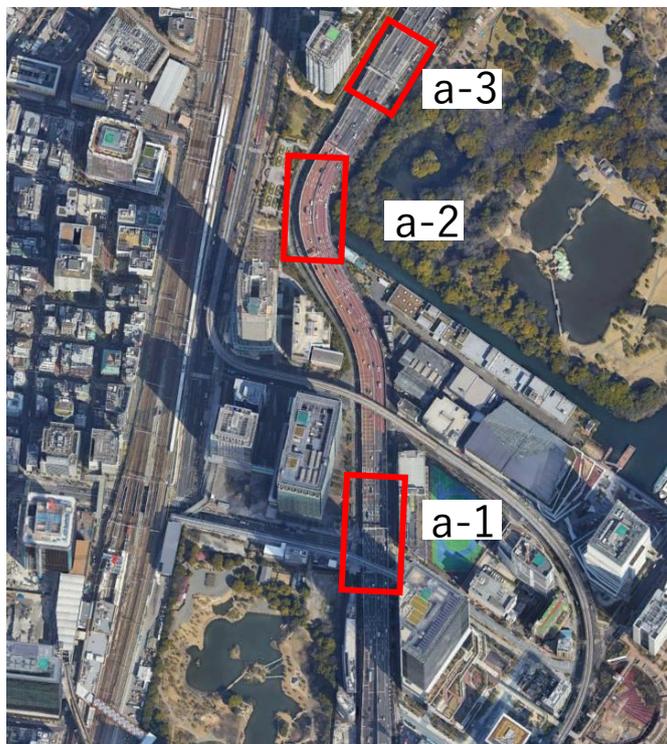


図 4-1 検証エリア

b. 点密度が分類精度に与える影響の検証

- 点密度が分類精度に与える影響を調査する
- 最高の点密度と最低の点密度の 2 パターンを基準とし、計 4 パターンの点密度も検証する
- 対象データは 100m 区間分で同じ区間のデータを使用する

表 4-4 検証エリア一覧（点密度が分類精度に与える検証）

No.	検証方法	点密度	分類項目
b-1	各分類項目の F 値を平均した値	100 点/m ²	4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）
b-2	各分類項目の F 値を平均した値	600 点/m ²	4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）
b-3	各分類項目の F 値を平均した値	1600 点/m ²	4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）
b-4	各分類項目の F 値を平均した値	3200 点/m ²	4 分類（橋脚、主桁、床板、高欄）

c. 自動分類による作業の自動化率を検証する

- 従来の作業と比較してどれくらい作業が自動化されているかを検証する
- 従来のやり方でかかる工数（時間・人数）を各エリアで算出し、今回の手法（自動+手動）でかかる工数と比較する

表 4-5 各エリアの手動分類作業（朝日航洋の既存フローによる実績値）

エリア No.	時間	人数
a-1	18 時間	1 人
a-2	38 時間	1 人
a-3	17 時間	1 人

4-1-4. 検証結果

点群の分類結果：以下の図に、点群の分類結果の典型的な例を示す。道路面が黄色、高欄が黄緑色、橋脚が赤色、主桁が青色で示されている。また、今回の主目的ではない分類結果として、地表面（茶色）、ノイズ（ピンク色）やその他（グレー）が存在する。これらの分類も、処理の流れで認識する必要がある、中間生成物である。

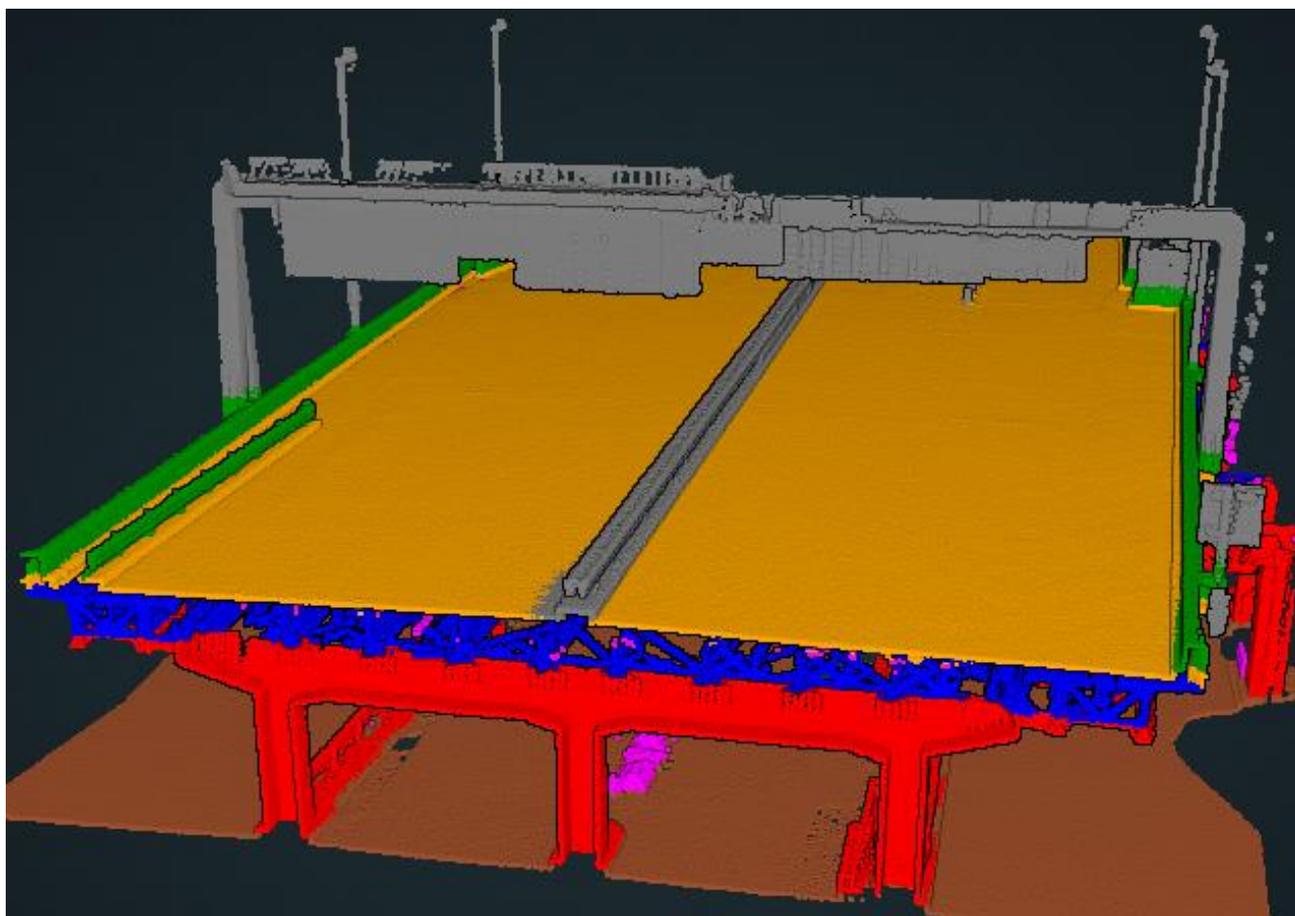


図 4-2 サンプルエリアの自動分類の例 1

下図は別の結果の例を示す。ファイルに応じてパラメータの調整をした上でこれらのような分類結果を得ることができた。

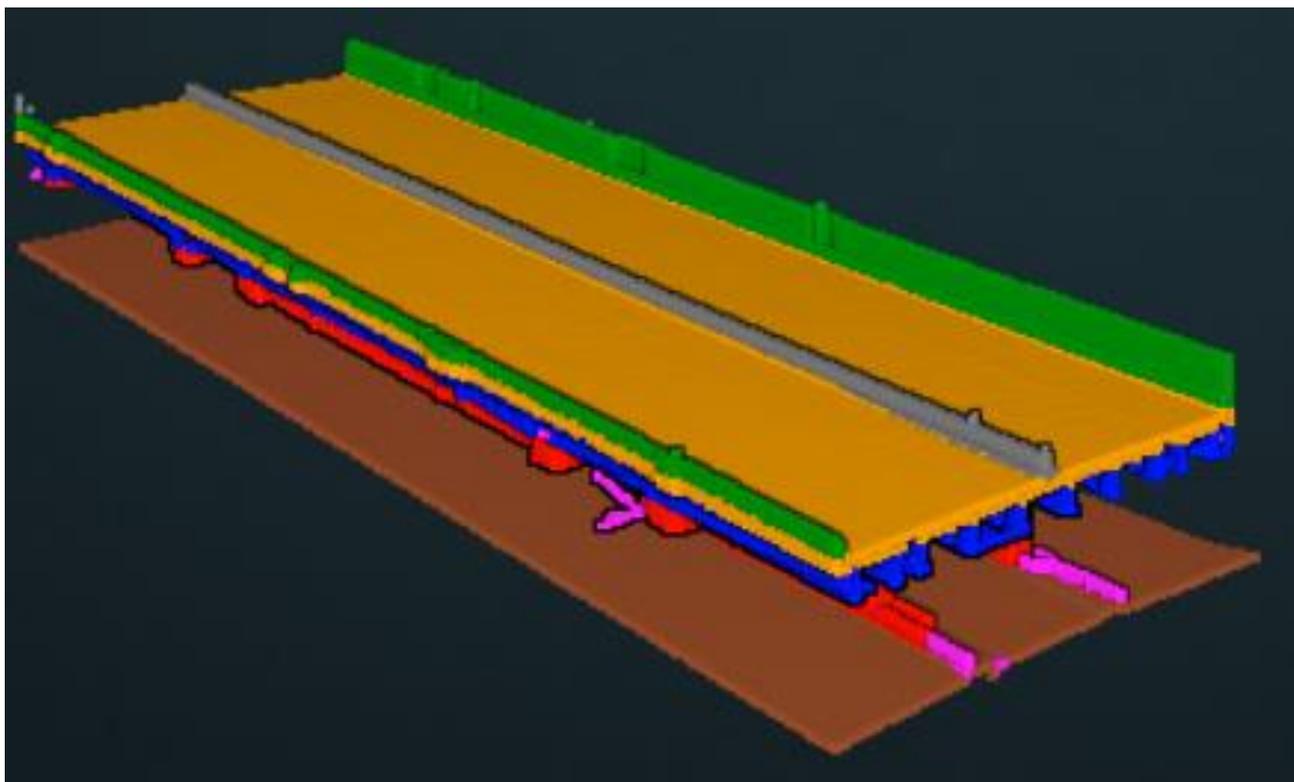


図 4-3 サンプルエリアの自動分類の例 2

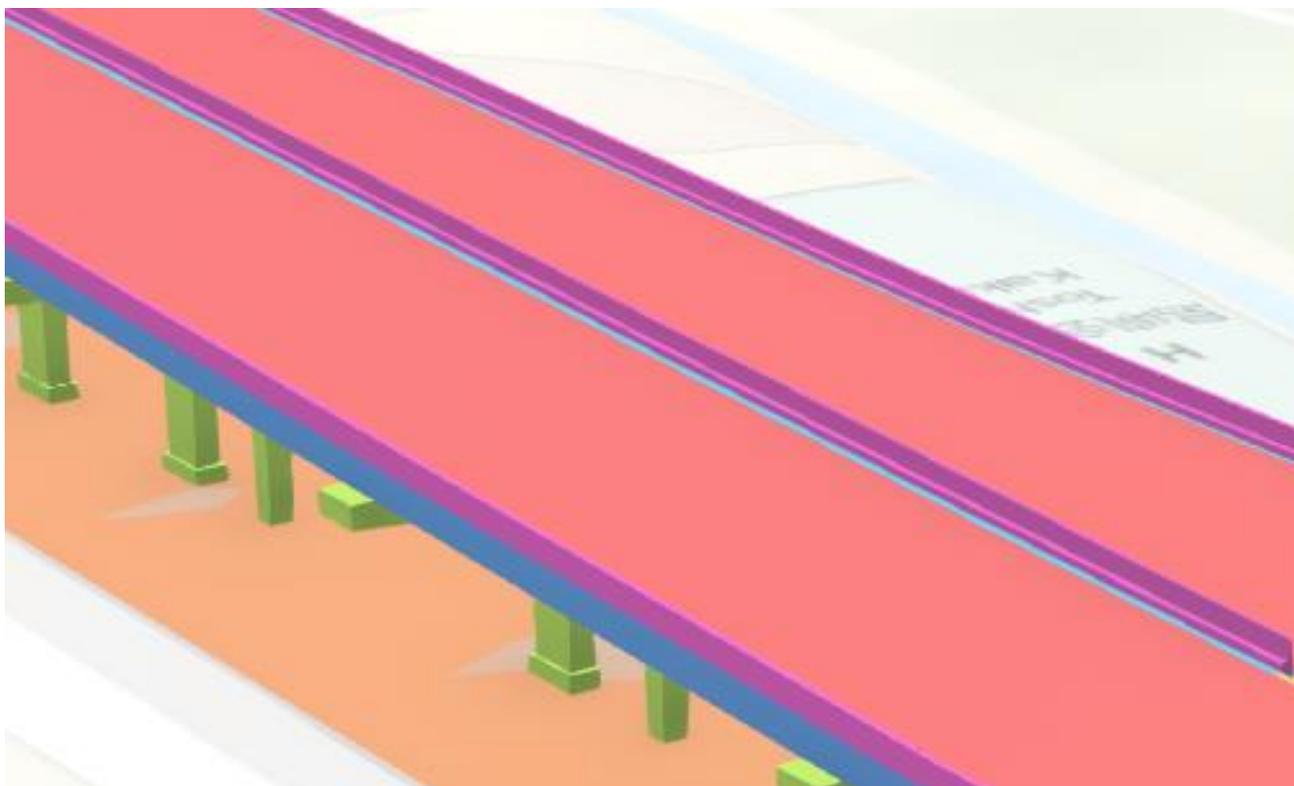


図 4-4 セグメンテーションを実施した点群より作成した 3D 都市モデルの例

以下に各データセットに対する分類精度と自動化率の一覧を示す。目標値としていた自動化率 60%、分類精度 70%を全てのデータで達成することができた。

表 4-6 分類精度と自動化率の結果

データ セット 番号	A：従来手法で 要する処理時間 (h)	今回の手法で要する時間				自動化率 (%)
		B1：コンピュー タ上での自動分 類時間 (h) A	分類精度 (%)	B2：手動で分類 修正にかかる時 間 (h)	B：今回の手法で 要する時間 (h)(B1+B2)	
a-1	18	1	82.61	3.13	4.13	77.1
a-2	38	1	79.71	7.71	8.71	77.1
a-3	17	1	77.38	4.07	5.07	70.8

点の密度ごとに分類精度に影響があるかを検証した結果を以下に示す。

- どの密度でも分類精度に有意な差はなかった
- 理由として、セマンティックセグメンテーションによる自動分類機能の処理では、10cm ごとに点を間引いて処理していることが考えられる。10cm ごとの間引きを行うと、出力の結果はおおよそ 100 点/m² に調整され、今回の試行での最低の密度のサンプルを利用しているのと等価であるためである。
- 上記理由より、対象の点群ファイルの密度が 100 点/m²であれば、どの密度の点群を利用しても分類精度は同様になると考えられる。

表 4-7 点密度と分類精度の結果

指標の種類	点密度 (点/m ²)			
	b-1	b-2	b-3	b-4
	100	600	1600	3200
4 分類の精度の平均	0.83	0.83	0.83	0.83

以上の検証結果から、各 KPI に対する評価を以下に示す。

表 4-8 各 KPI に対する評価結果

黄セル：KPI 達成	青セル：KPI 未達
------------	------------

No.	評価指標・KPI	目標値	検証方法	評価結果	評価内容
1	分類精度	70%	<ul style="list-style-type: none"> 首都高速道路の 3D 点群データを独自のアルゴリズムで分類し、分類精度の検証をする 	79.9%	<ul style="list-style-type: none"> いずれの検証エリアにおいても目標値を上回る約 80%の分類精度を確認することができた 高欄のように複雑な構造を有する箇所については手動での修正が必要である
2	点密度の影響	600 点/m ²	<ul style="list-style-type: none"> 複数パターンの点密度で取得された首都高速道路の 3D 点群データを同じ分類アルゴリズムで分類し精度に与える影響をみる（ベースケース 100m のみ） 	600 点/m ²	<ul style="list-style-type: none"> 点密度の違いによる分類精度への影響は確認されず、100 点/m²以上の 3D 点群データであれば同様の精度での分類が可能である しかしながら、「車載写真レーザ測量システムを用いた三次元点群測量マニュアル(案)」に定められている最低点密度 400 点/m²を満たすべきであると考え、橋梁等は構造物が複雑になるため点密度 600 点/m²を採用する結果とした
3	自動化率	60%	<ul style="list-style-type: none"> 従来のやり方でかかる工数（時間・人数）と今回の手法（自動＋手動）でかかる工数を比較する 	77.9%	<ul style="list-style-type: none"> いずれの検証エリアにおいても目標値を上回る約 80%の自動化率を確認することができた。 高欄のように複雑な構造を有する箇所において、手動での修正作業時間が必要である

4-1-5. 本実証技術を活用して作成した 3D 都市モデル

点群処理（セグメンテーション）により地表面分類、床板の分類、高欄・橋脚の分類、主桁の分類にされた 3D 点群データから橋梁モデル LOD3 の BridgeConstructionElement（橋脚）、BridgeInstallation（高欄）、GroundSurface（地表面の高さ）、OuterCeilingSurface（屋外天井面）、OuterFloorSurFace（屋外床面）、WallSurface（外壁面）を作成した。以下に図化の過程を示す。

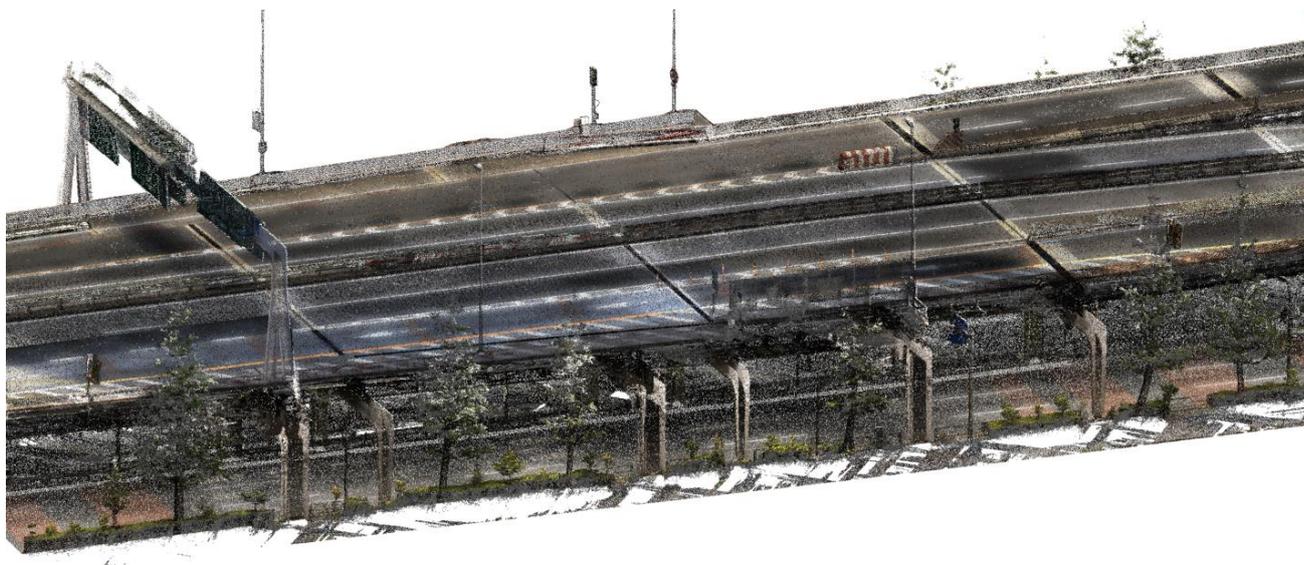


図 4-5 3D 点群データ

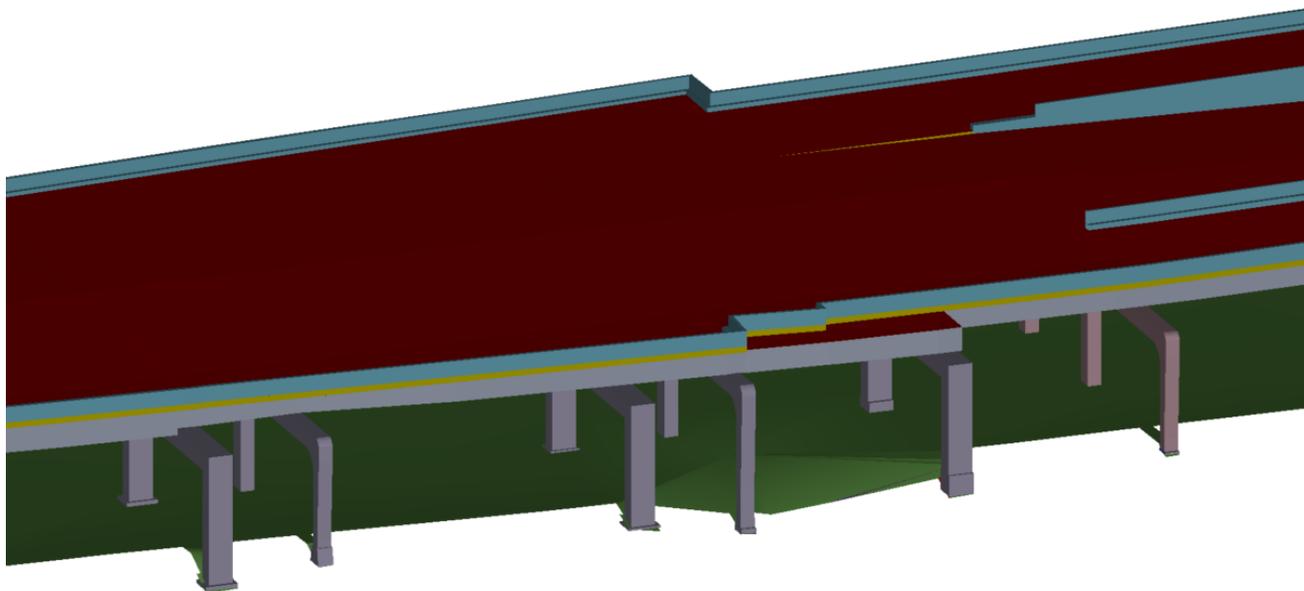


図 4-6 橋梁モデル LOD3

1) BridgeConstructionElement (橋脚)

橋脚に分類された 3D 点群データを用いて、橋脚の MultiSurface を作成した。取得方法は、構造物の外形（外側から見える形）を構成する面を取得した。面の各頂点に構造物の高さを与えた。作成方法は、3D 点群データを側面表示して手動で外形を作成して、点群の高さに合わせて作成した。

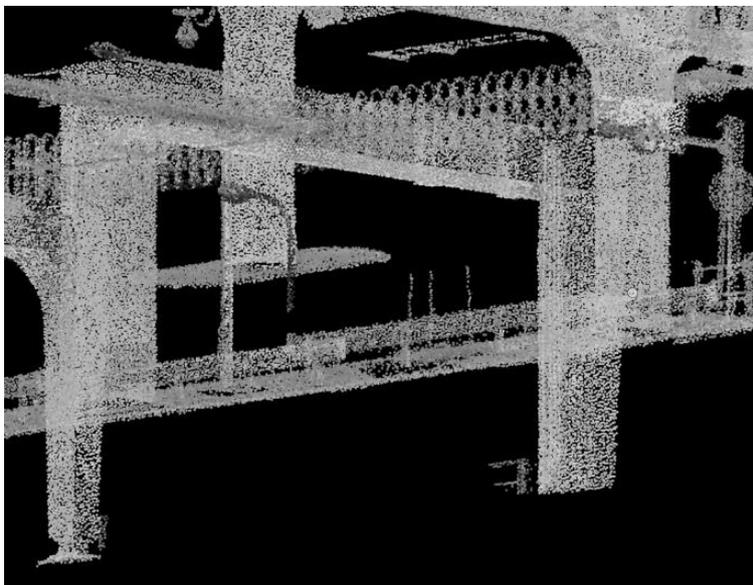


図 4-7 橋脚に分類された 3D 点群データ

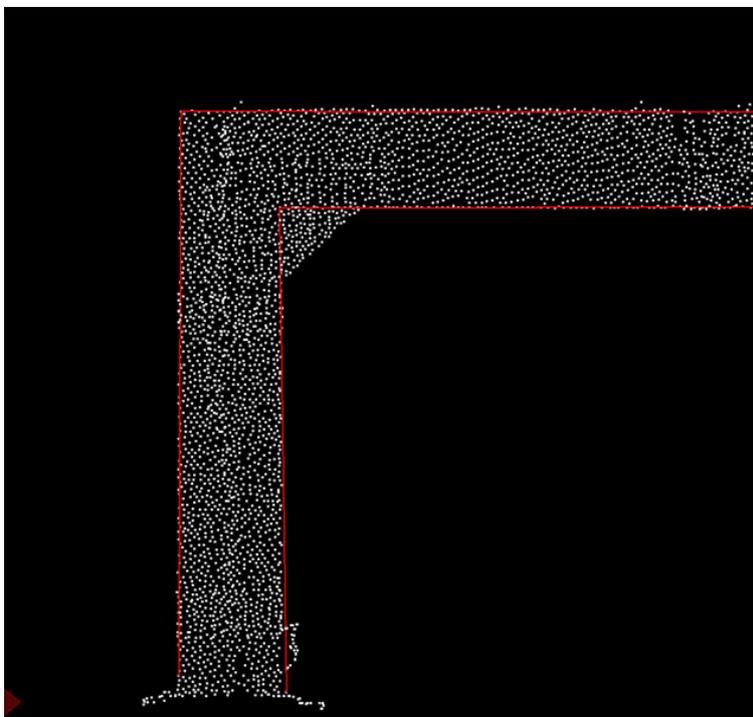


図 4-8 側面表示より橋脚の形を作成

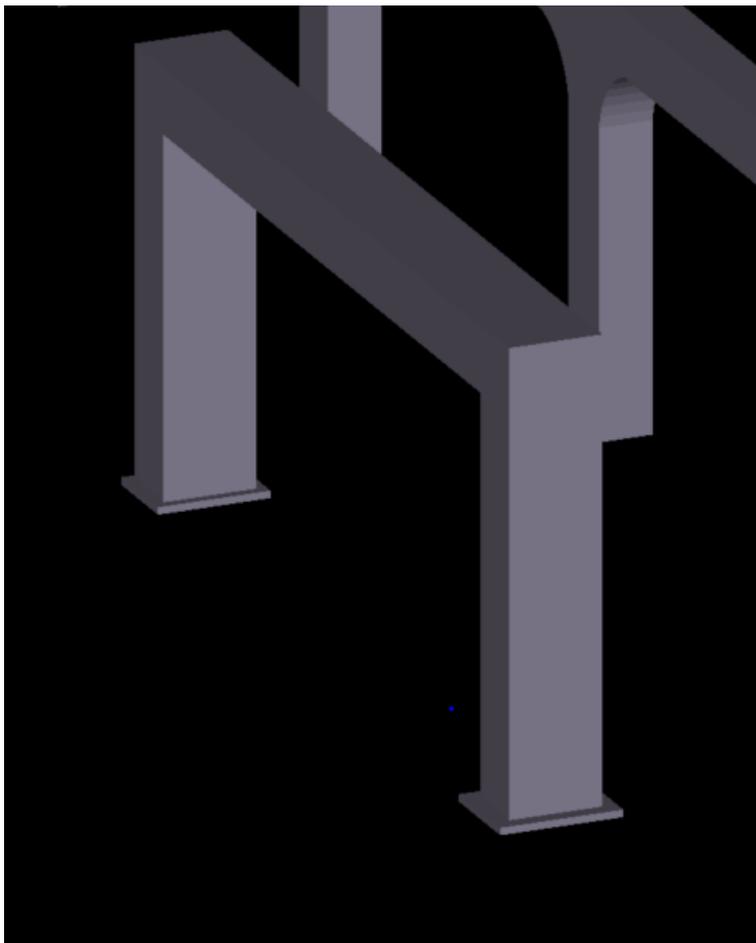


図 4-9 BridgeConstructionElement の 3D 都市モデル

2) BridgeInstallation (高欄)

高欄に分類された 3D 点群データを用いて、高欄の MultiSurface を作成した。取得方法は、屋外付属物の外形（外側から見える形）を構成する面を取得した。面の各頂点に屋外付属物の高さを与えた。作成方法は、3D 点群データをアイソメ表示して手動で外形を作成して、点群の高さに合わせて作成した。

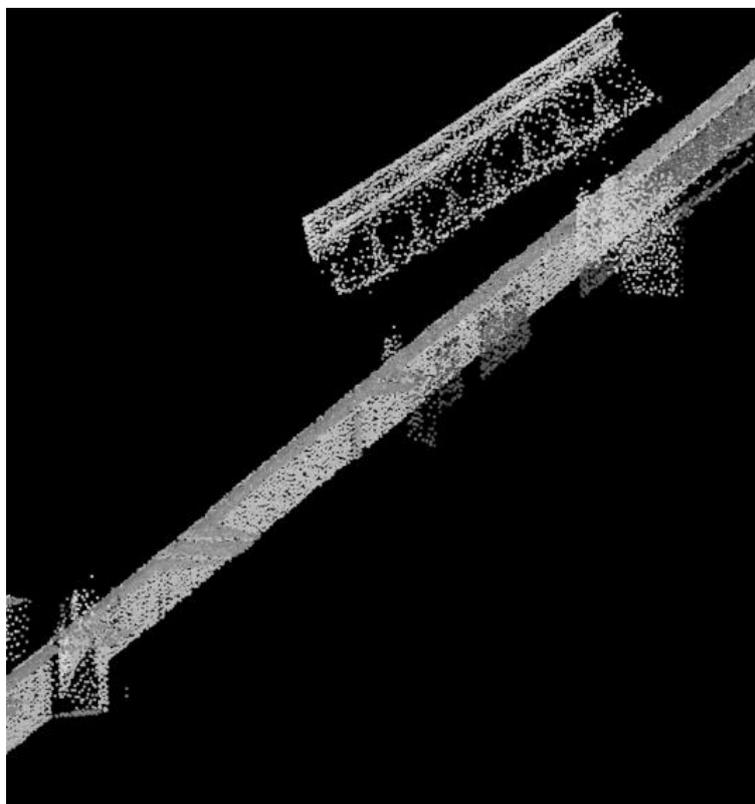


図 4-10 高欄に分類された 3D 点群データ

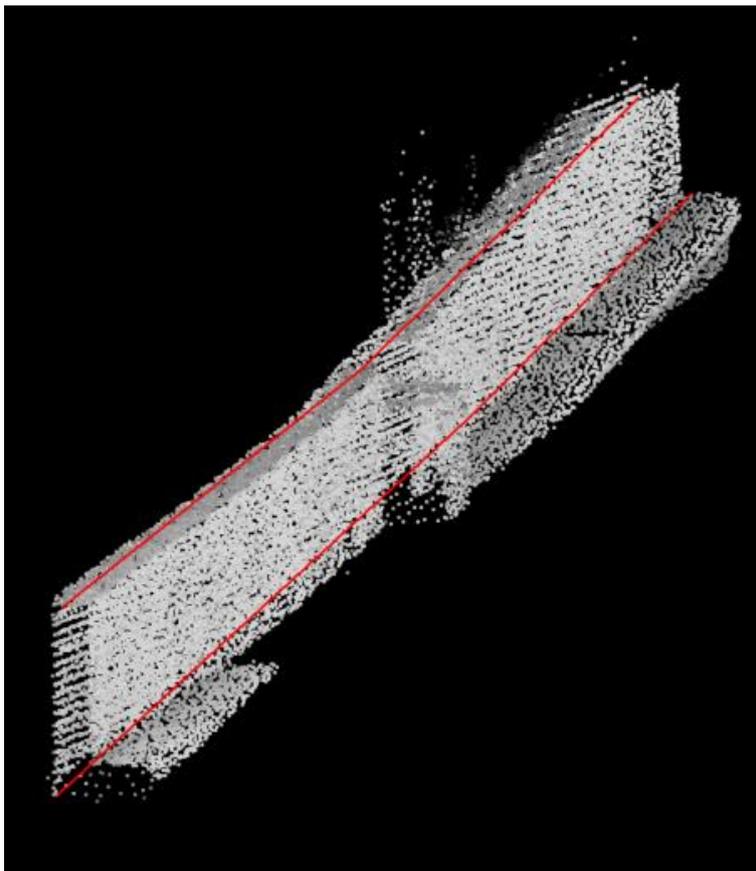


図 4-11 アイソメ表示で高欄の形を作成

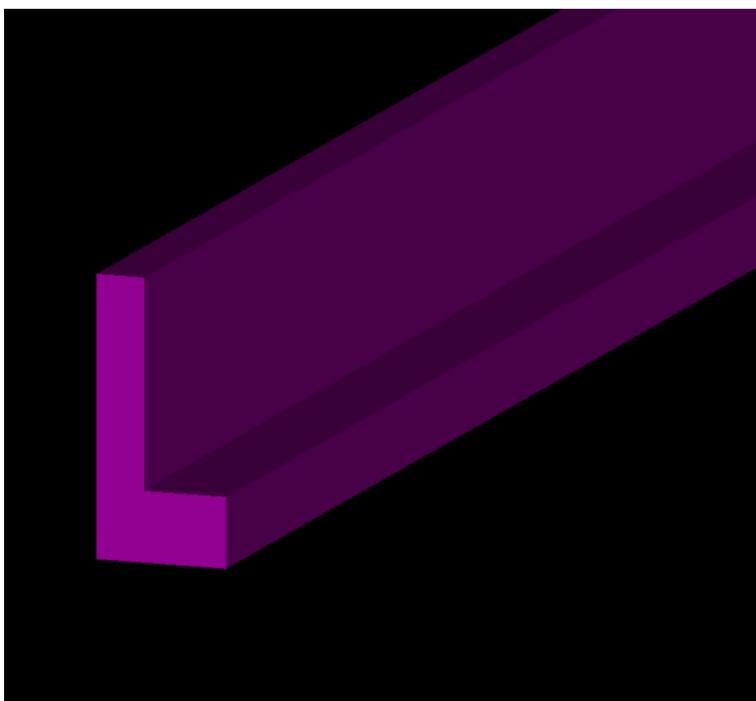


図 4-12 BridgeInstallation の 3D 都市モデル

3) GroundSurface (地表面の高さ)

地表面に分類された 3D 点群データを用いて、地表面の MultiSurface を作成した。取得方法は、橋梁の側面と、地表との交線により囲まれた面を取得した。面の各頂点に、地表面の高さを与えた。作成方法は、3D 点群データを上面表示から必要な範囲を作成して、側面表示より点群の高さに合わせて作成した。



図 4-13 地表面に分類された 3D 点群データ

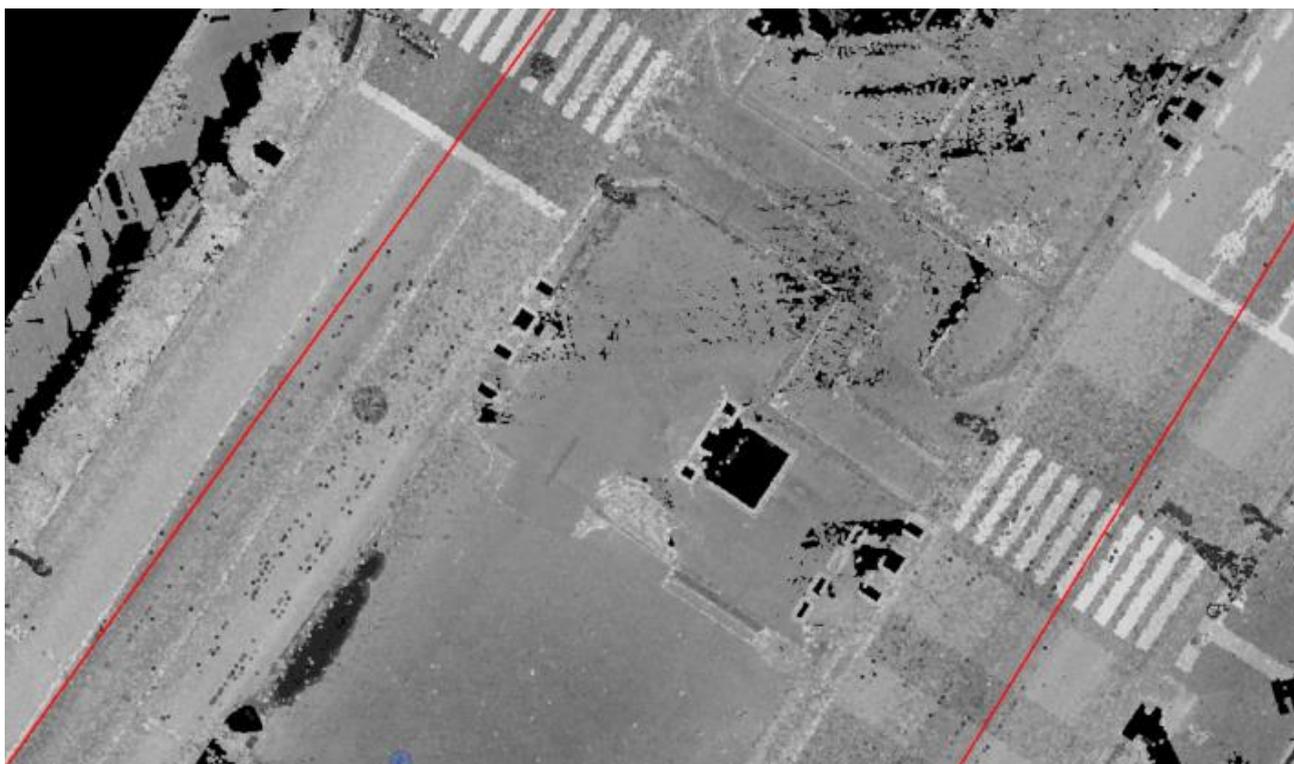


図 4-14 上面表示より必要な範囲を作成

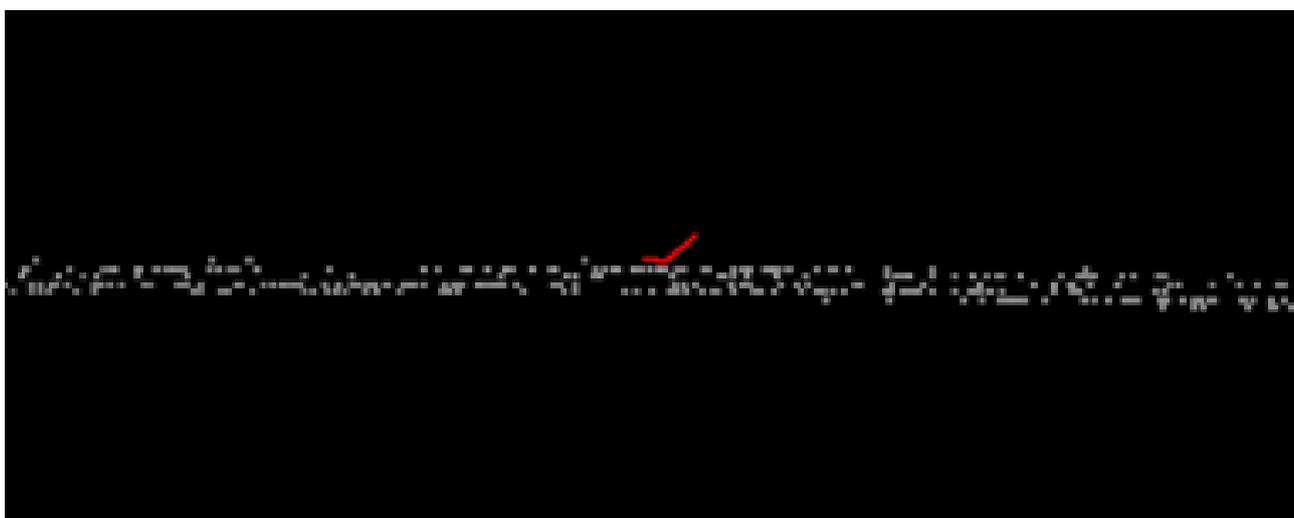


図 4-15 側面表示より高さを与える

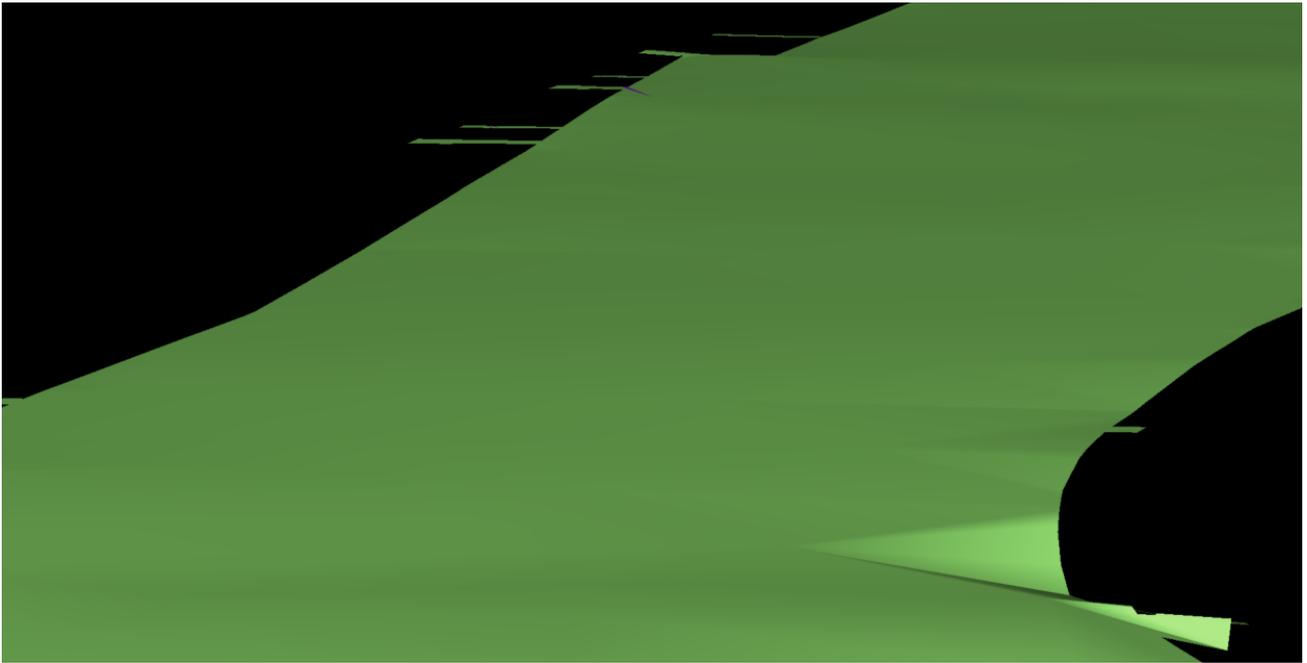


図 4-16 GroundSurface の 3D 都市モデル

4) OuterCeilingSurface (床版・主桁部分の外壁のうち、下向きとなる面)

主桁に分類された 3D 点群データを用いて、屋外天井面の MultiSurface を作成した。取得方法は、橋梁の床版・主桁部分の外壁のうち、下向きとなる面の外周を取得した。面の各頂点に、外壁の高さを与えた。作成方法は、3D 点群データを側面表示して手動で外形を作成して、点群の高さに合わせて作成した。

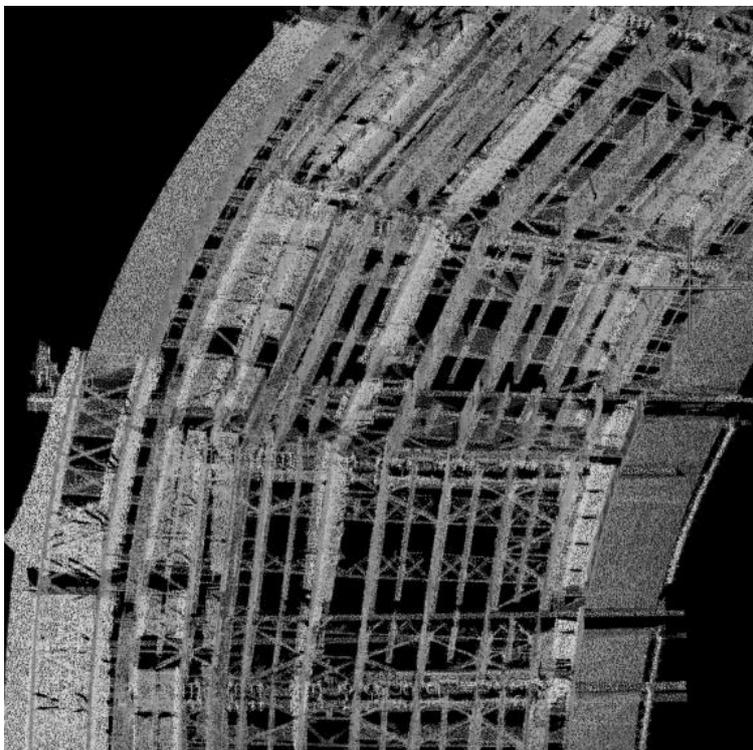


図 4-17 主桁に分類された 3D 点群データ

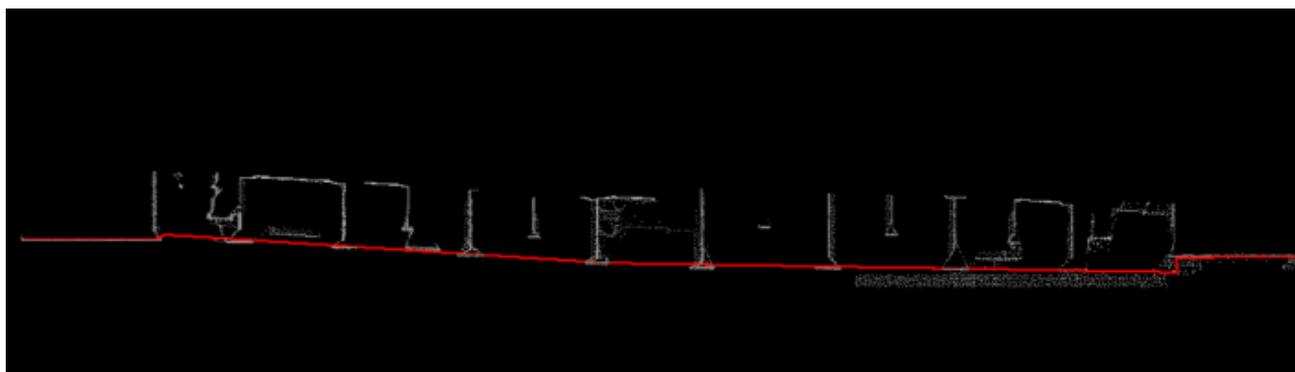


図 4-18 側面表示より形を作成

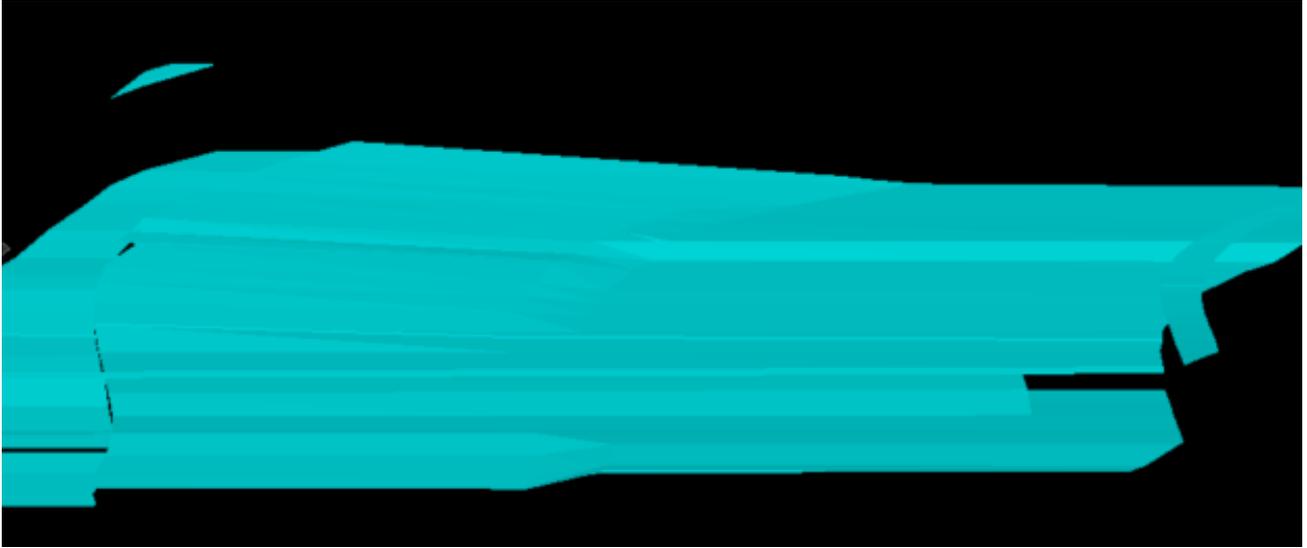


図 4-19 OuterCeilingSurface の 3D 都市モデル

5) OuterFloorSurFace (屋外床面)

床板に分類された 3D 点群データを用いて、屋外床面の MultiSurface を作成した。取得方法は、上部工の外周の正射影を取得した。床版の外周の正射影を取得した。外周の各頂点に床版の高さを与えた。作成方法は、3D 点群データを側面表示して手動で外形を作成して、点群の高さに合わせて作成した。



図 4-20 床板に分類された 3D 点群データ



図 4-21 側面表示より橋脚の形を作成



図 4-22 OuterFloorSurFace の 3D 都市モデル

6) WallSurface (外壁面)

床板と主桁に分類された 3D 点群データを用いて、外壁面の MultiSurface を作成した。取得方法は、床版及び主桁の外形のうち、側面を取得する。作成方法は、3D 点群データを側面表示して手動で外形を作成して、点群の高さに合わせて作成した。

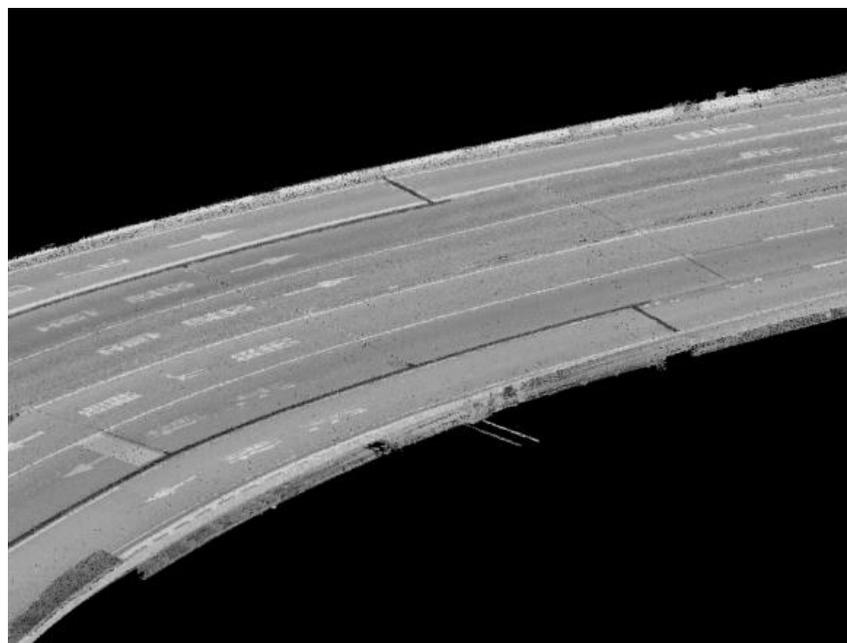


図 4-23 床板と主桁に分類された 3D 点群データ

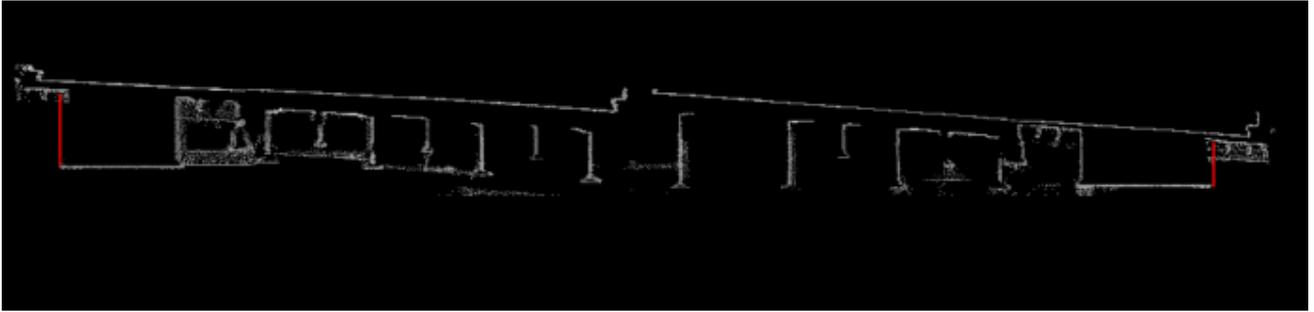


図 4-24 側面表示より形を作成



図 4-25 WallSurface の 3D都市モデル

4-2. サーフェスモデルの自動生成技術検証

4-2-1. 検証目的

生成されるサーフェスモデルの品質と、生成に要する時間に鑑みて、使用する点群の適切な点密度とモデル生成の際のパラメータを検証する。

4-2-2. KPI

表 4-9 KPI 目標値（サーフェスモデルの自動生成）

No.	評価指標・KPI	目標値	目標値の設定理由	検証方法
1	サーフェス完全度	100%	3D 点群→3D サーフェスモデルが正しく認識されているか	インプットの首都高速道路の 3D 点群データ数とアウトプットのサーフェスモデルのデータ数の変換成功率

4-2-3. 検証方法と検証シナリオ

サーフェスモデル自動生成の完全度の検証

- 利用点群：点群 100m 分
 - 密度：100 点/m²、600 点/m²、1600 点/m²、3200 点/m²
 - 対象：道路面（上面）、橋脚、橋桁（道路裏側）
 - 図郭サイズ：60×80m
 - ファイル数：各密度 32（合計 128）
- パラメータ
 - Pre-mesh アルゴリズムにおける ball サイズ
- 評価項目
 - インプットの 3D 点群データのデータ数とアウトプットのサーフェスモデルのデータ数の変換成功率で評価

※変換成功率 = アウトプットデータ数（メッシュ） / インプットデータ数（点群）

4-2-4. 検証結果

全ての 3D 点群データからメッシュモデルを作成することができ、変換成功率は 100%となった。

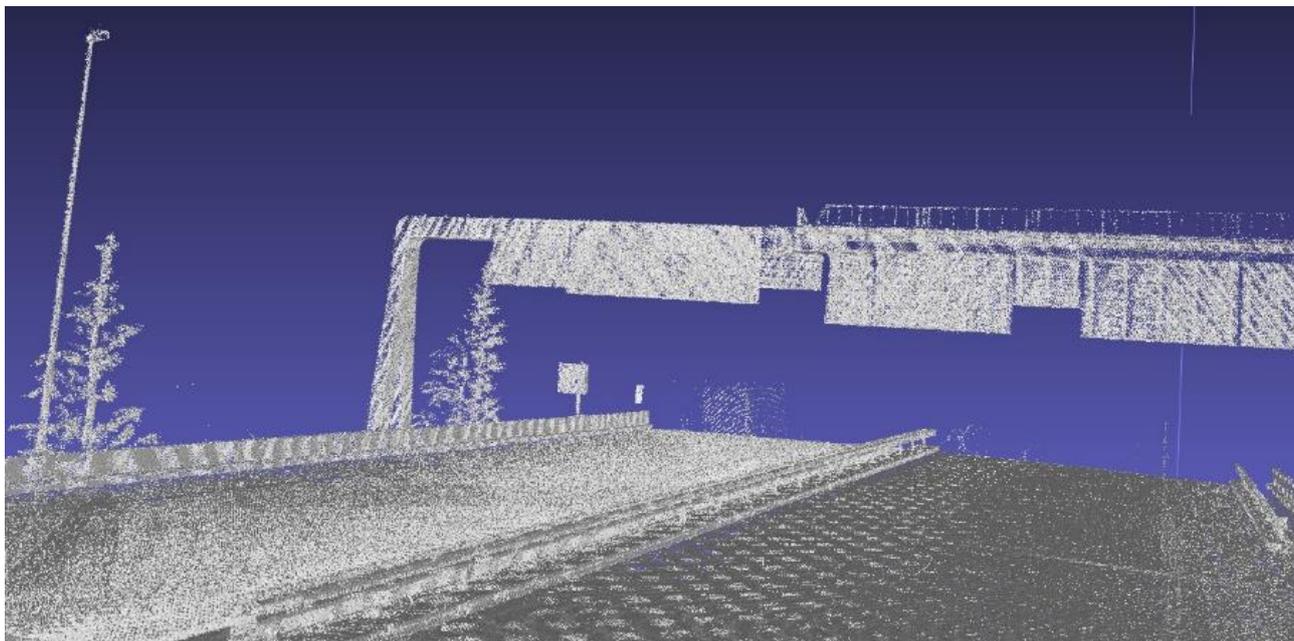


図 4-4 自動生成したサーフェスモデルの例 1 (道路面)

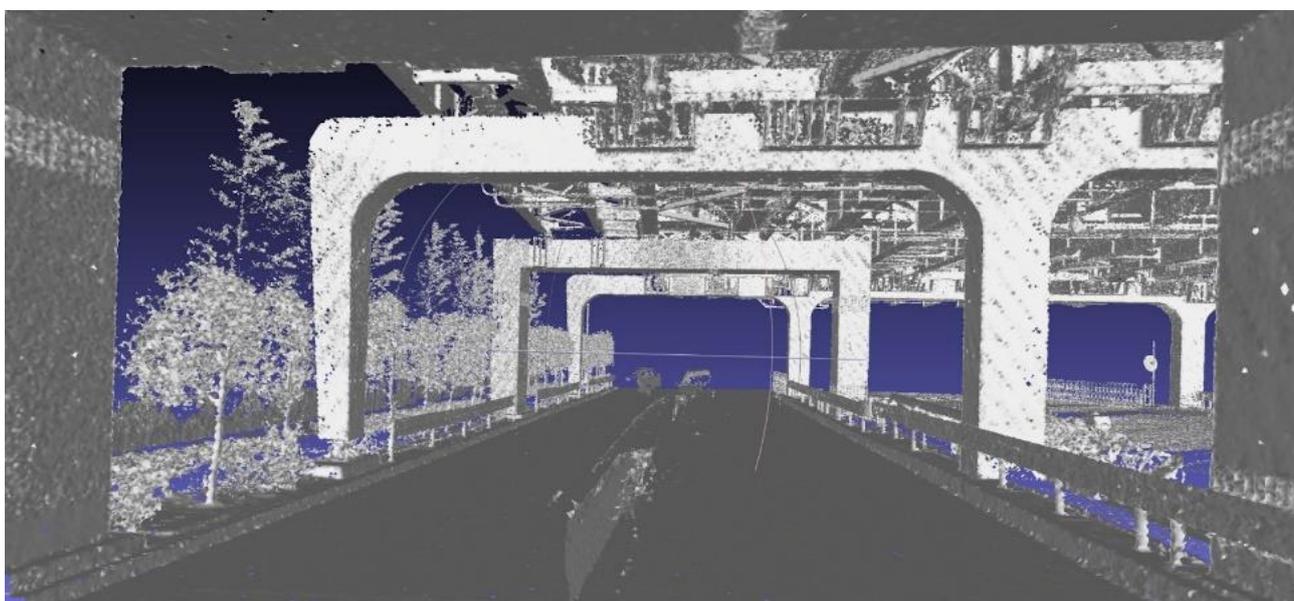


図 4-5 自動生成したサーフェスモデルの例 2 (橋脚)

以上の検証結果から、KPI に対する評価を以下に示す。

表 4-10 KPI に対する評価結果

黄セル：KPI 達成	青セル：KPI 未達
------------	------------

No.	評価指標 KPI	目標値	検証方法	評価結果	評価内容
1	サーフェス完全度	100%	インプットの首都高速道路の 3D 点群データ数とアウトプットのサーフェスモデルのデータ数の変換成功率	100%	● あらゆる密度、箇所（道路路面、橋脚、橋桁等）によらず、全データの変換を確認した

サーフェスモデルの容量に関して、点群密度が大きかつ ball サイズが小さいものほどより高精細なサーフェスモデルを作成することができるが、容量が大きくなり後続作業でデータファイルを開くことができない事象が発生した。そのため、モデル作成に使用可能な図郭サイズ・点群密度・ball サイズを調整し下記を使用することとした。

- 密度：100 点/m²
- ball サイズ：012
- 図郭サイズ：7.5×10m（30MB 以下/1 図郭となるよう設定した）

4-2-5. 本実証技術を活用して作成した 3D 都市モデル

サーフェスモデルより橋梁モデルに必要な床板、高欄、主桁、橋脚で 3D 都市モデルに使用できるか評価した。

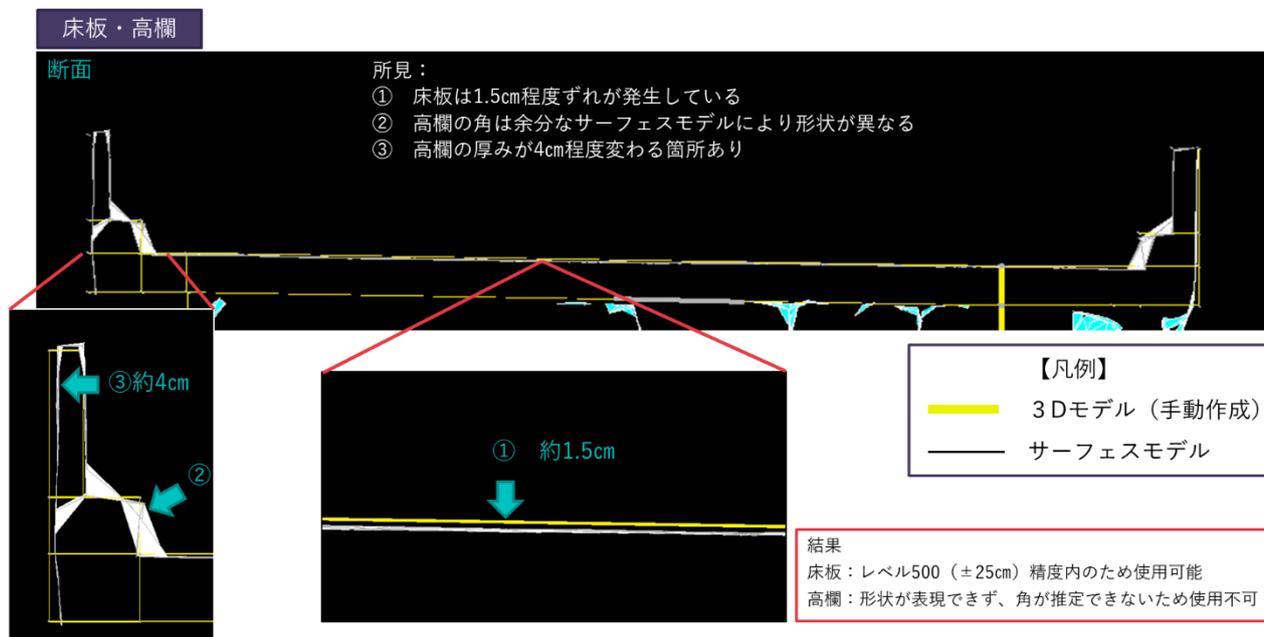


図 4-26 サーフェスモデルによる 3D 都市モデル作成に関する評価（床板、高欄）

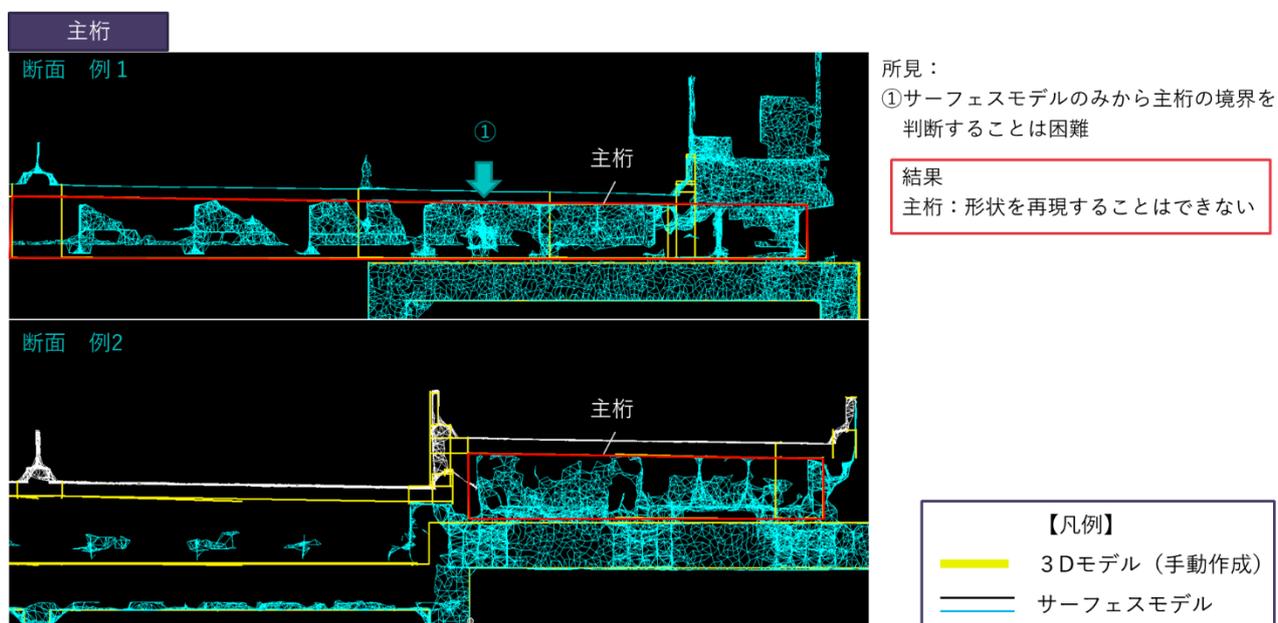


図 4-27 サーフェスモデルによる 3D 都市モデル作成に関する評価（主桁）

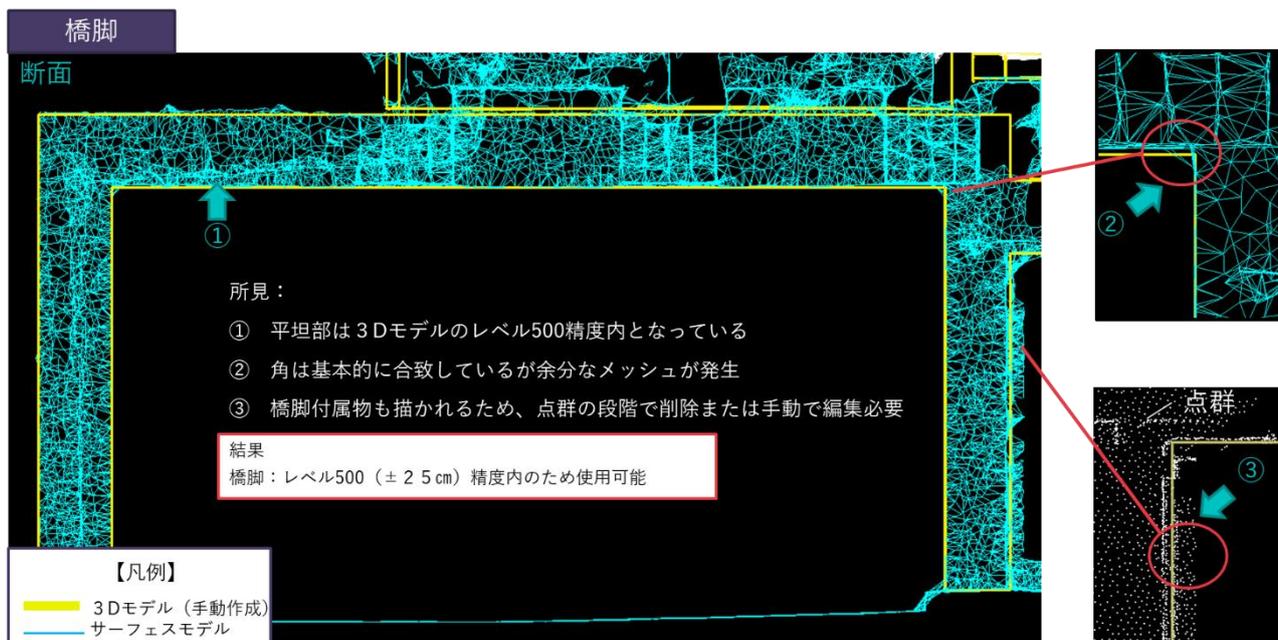


図 4-28 サーフェスモデルによる 3D 都市モデル作成に関する評価（橋脚）

サーフェスモデルによる 3D 都市モデル作成に関する評価結果

- 床板 レベル 500（±25 cm）精度内のため使用可能
- 高欄 形状が表現できず、角が推定できないため使用不可
- 主桁 形状を再現することはできない
- 橋脚 レベル 500（±25 cm）精度内のため使用可能

評価の結果から床板、橋脚は使用可能であったため橋梁モデル LOD3 の BridgeConstructionElement（橋脚）、OuterFloorSurFace（屋外床面）を作成した。

1) BridgeConstructionElement (橋脚)

サーフェスモデルを用いて、橋脚の MultiSurface を作成した。取得方法は、構造物の外形（外側から見える形）を構成する面を取得した。面の各頂点に構造物の高さを与えた。作成方法は、サーフェスモデルを側面表示して手動で外形を作成して、サーフェスモデルの高さに合わせて作成した。BridgeConstructionElement の 3D 都市モデルは図 4-31 となる。

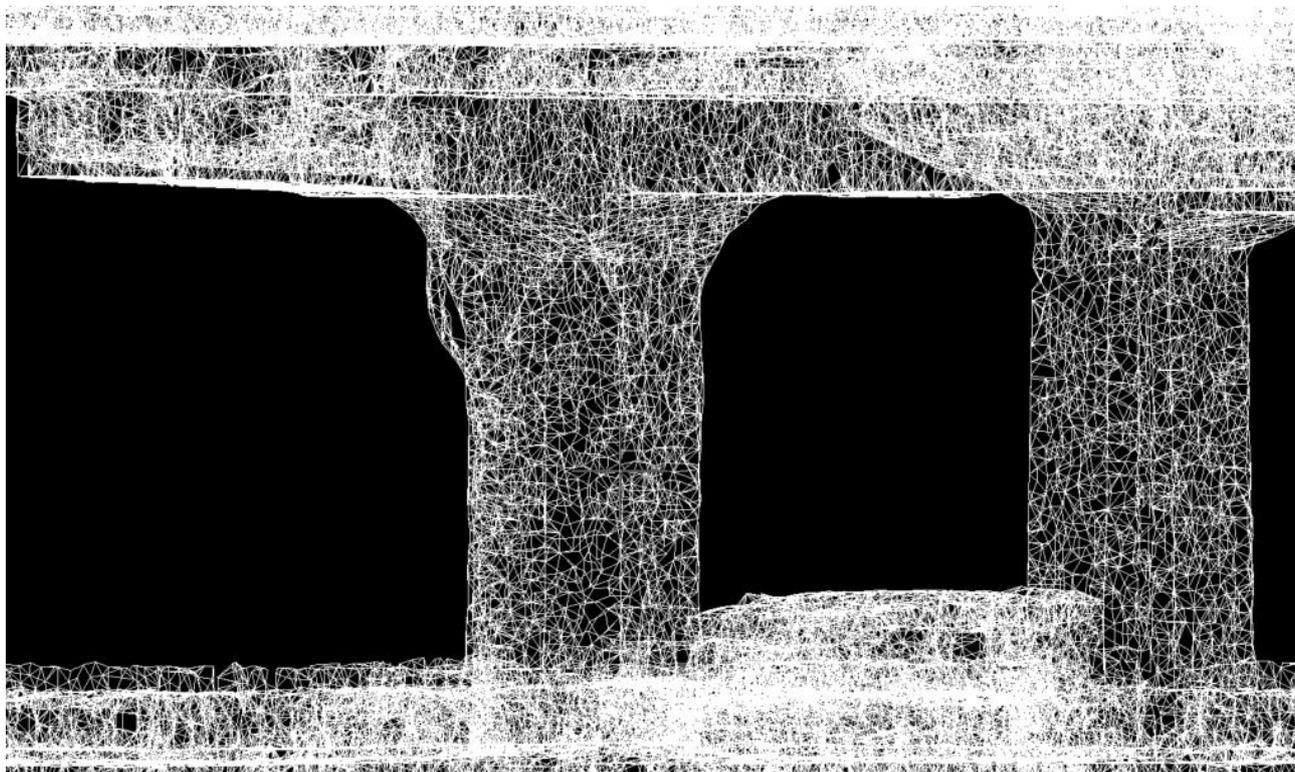


図 4-29 サーフェスモデル橋梁部分

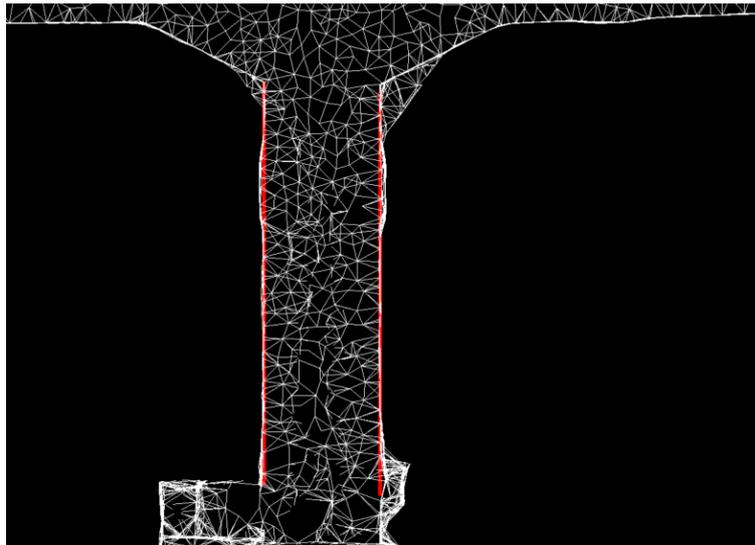


図 4-30 側面表示より橋脚の外形を作成

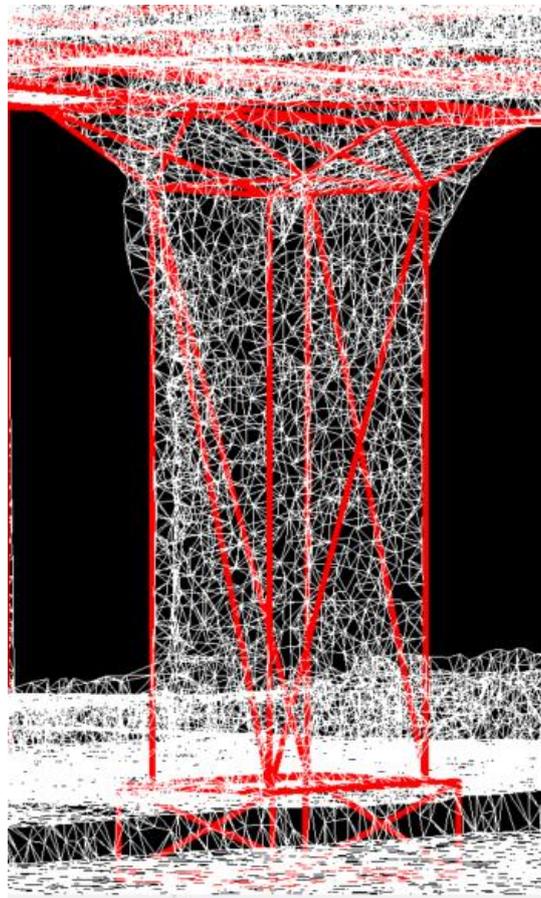


図 4-31 サーフェスモデルと BridgeConstructionElement の 3D 都市モデル

2) OuterFloorSurFace (屋外床面)

サーフェスモデルを用いて、屋外床面の MultiSurface を作成した。取得方法は、上部工の外周の正射影を取得した。床版の外周の正射影を取得した。外周の各頂点に床版の高さを与えた。作成方法は、サーフェスモ

デルを側面表示して手動で外形を作成して、サーフェスモデルの高さに合わせて作成した OuterFloorSurFace の 3D 都市モデルは図 4-34 となる。

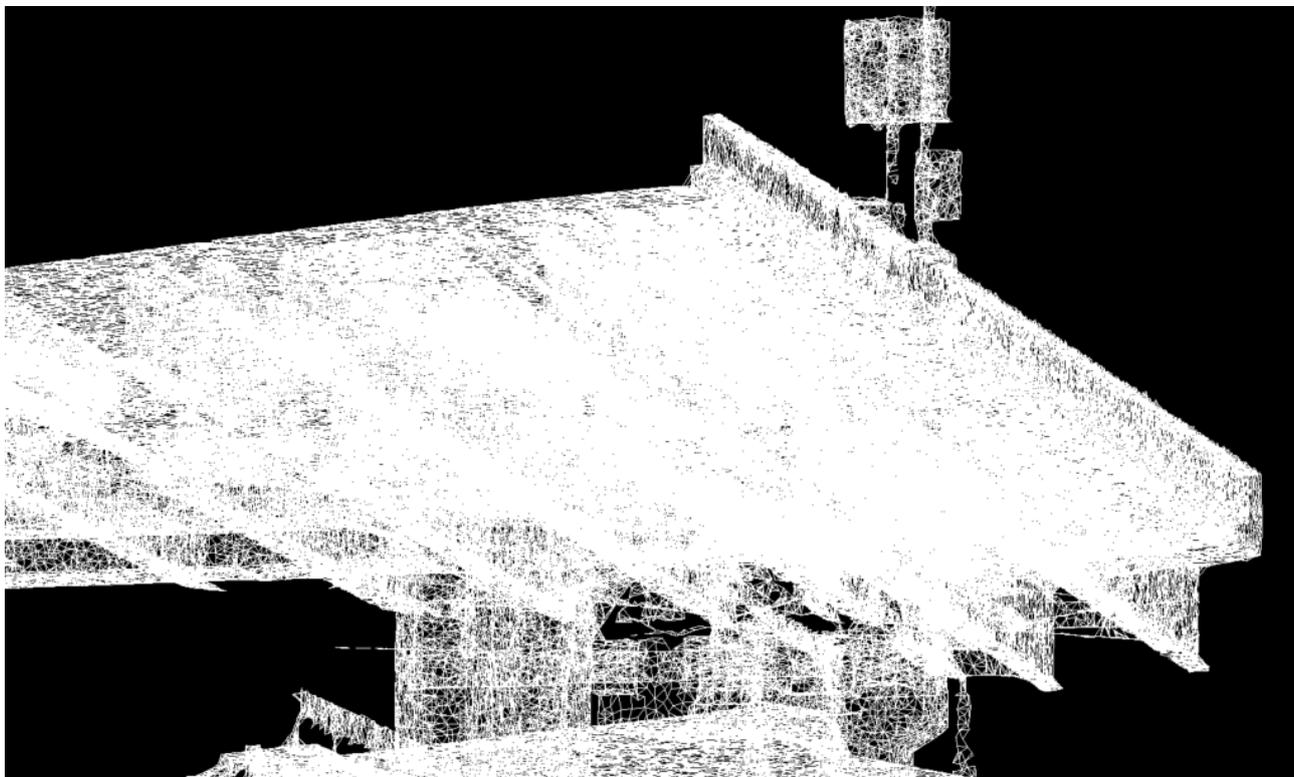


図 4-32 サーフェスモデル床板部分

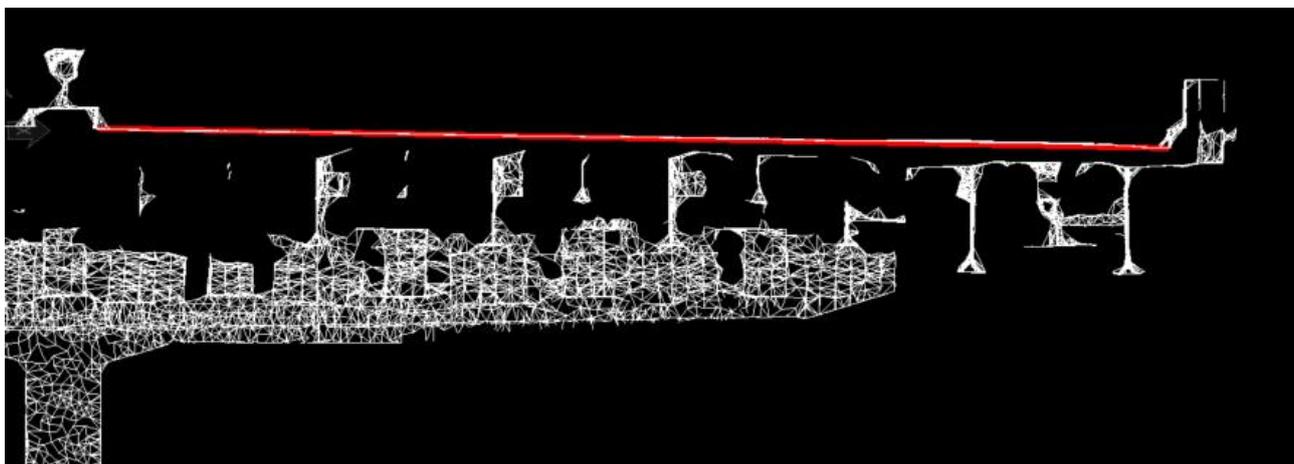


図 4-33 側面表示より橋脚の外形を作成

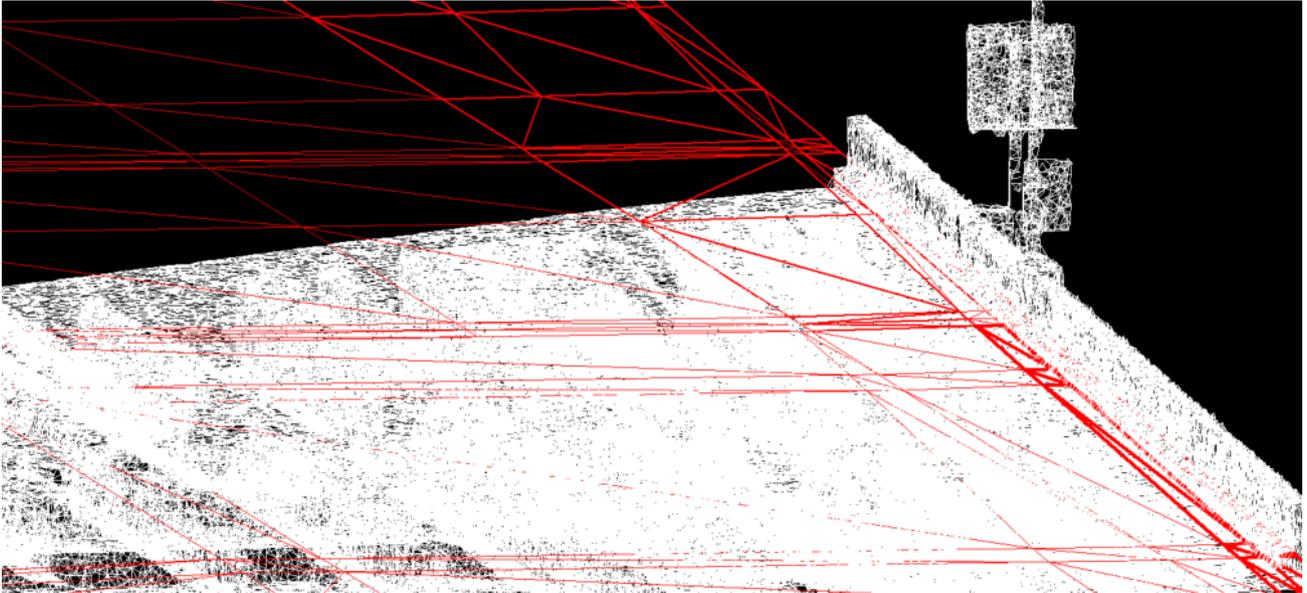


図 4-34 サーフェスモデルと OuterFloorSurFace の 3D 都市モデル

結果として、点群セマンティックセグメンテーション、サーフェスモデル自動生成を半自動化で実施したことにより、3D 都市モデル作成に要した工数は 60%削減した。

都市高速道路モデル削減工数の算出

対象範囲：走行可能区間 3.1km

対象モデル：都市高速道路モデル（橋梁モデル LOD3、道路モデル LOD3）

- 手動による工数算出

高欄、道路面（床板含む）、主桁、橋脚の手動の点群分類の工数は、検証エリア（a-1~3）の工数から 3.1km 分を算出

手動工数：910 時間

- 半自動化による工数算出

セグメンテーション利用範囲：高欄、道路面（床板含む）、主桁、橋脚

3D サーフェスモデル利用範囲：橋脚

自動化工数：394 時間 手動工数に対し約 60%削減

5. BtoB ビジネスでの有用性検証

5-1. 検証目的

実証仮説に基づき、以下の検証目的を設定する。

【検証仮説】

- セグメンテーション及びサーフェスモデル生成のアルゴリズムを活用して 3D 都市モデルを自動的に生成するシステムを構築することで、道路管理者が保有する 3D 点群データを活用した効率的な 3D モデル生成プロセスを実現することが出来る。
- 地理座標及び、施設管理番号などの属性情報を持たせつつ、データが軽量であることから広範囲のデータを取り扱うことが可能な 3D 都市モデルを活用した道路点検アプリケーションを開発することで、視認性の向上に加えて、包括的なリスク分析や道路点検計画既存の道路管理業務の効率化・高度化に寄与することが出来る。
- また、符号化した 3D 都市モデルを InfraBIM (CIM) が持つ属性情報等の仕様と併せることで、インフラ管理にも使用可能な安価で汎用的なデータとして利用用途が広がる。

主に以下の 3 点について、政策面での有用性検証を行った。

- 効果検証
 - ヒアリングを通じて本システムの有用性の評価を行う。
- ユーザビリティ評価
 - 本システムの使い勝手に問題がないかを確認する。

また上記ヒアリング結果を参照して、既存の道路管理業務に使用しているデータの項目や粒度を精査し、3D 都市モデル（高速道路モデル）として整理もしくは新たに追加すべき属性情報を整理する。

5-2. 被験者

表 5-1 被験者リスト（道路管理者）

分類	具体名称	部署	役職	担当業務	人数
地方公共団体	埼玉県	県土整備部 道路環境課	主任	● 防災担当	1名
	狭山市	都市建設部 建設総務課	主任	● 道路維持	1名
事業者	首都高速道路	技術部 DX推進室 DX推進課	課長、他	● 道路維持管理 DX	4名

5-3. 検証方法

検証方法としては、被験者に対してデモンストレーションを取り入れたヒアリング・アンケートを実施した。
 （ヒアリング・アンケートの項目については「7-4.ヒアリング・アンケートの詳細」で記載）

事業者向けヒアリングの実施方法（被験者の所属部署ごとに個別にヒアリング会を実施したが、内容は同様）

- 会場：自社の会議室あるいは被験者の所属する団体の会議室
- 機材：体験・デモ用に以下のスペックのPCを人数分用意する。
 - CPU：1.80 GHz
 - メモリ：32.0 GB
 - OS：Windows 10
 - 通信環境：各社で用意された社用 Wi-Fi

5-4. ヒアリング・アンケートの詳細

ヒアリングは以下を目的として実施する。

- 3D モデルの活用が始まる道路保守や管理業務において、高価且つ作成に工数が必要な既存の 3D モデル製作手法に対して、今回の実証実験で開発したシステムを活用することで位置精度が担保された 3D 都市モデルを簡単に作成することが可能であり、そのデータが都市高速道路管理の効率化に使用できるというイメージを持ってもらう。
- 既存の点検業務と比較して関係者の対応工数の削減につながるソリューションとして利用することが出来るか判断してもらう。

ヒアリング対象者には様々な立場から意見を収集するため、一般道を管理する地方公共団体（県、市）および高速道路を管理する法人に協力を依頼した。3D 都市モデルの概要および今回の実証実験にて 3D 都市モデル作成が半自動化により省力化していることの説明を行った上で、3D 都市モデルを点検支援に使用した場合の事例としてデモアプリケーションを提案し、有効性および使用可能になるための必要条件・要望をヒアリングした。

5-4-1. アジェンダ・タイムテーブル

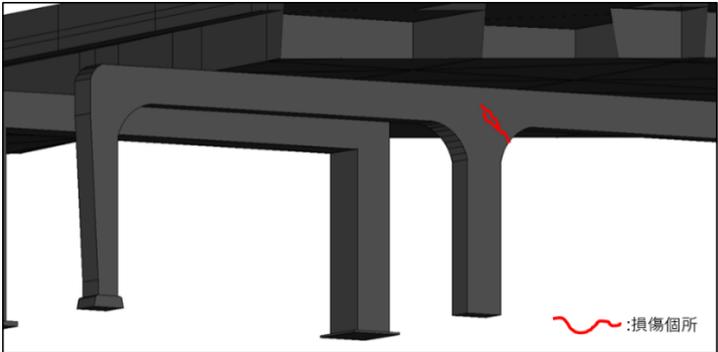
表 5-2 アジェンダ・タイムテーブル

No.	アジェンダ	所要時間
1	生成した都市高速道路の 3D 都市モデルに関する説明	10 分
2	ArcGIS Pro を用いてデモ	30 分
3	質疑応答・ヒアリング	20 分

5-4-2. アジェンダの詳細

表 5-3 アジェンダの詳細

No.	アジェンダ	内容
1	生成した都市高速道路の 3D 都市モデルに関する説明	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市高速道路 3D モデルでアプローチする課題や背景の説明 ● 都市高速道路 3D モデルの比較対象となる従来手法の説明 ● 都市高速道路 3D モデルを用いるシステムの提供価値 ● システムの全体像の説明
2	ArcGIS Pro を用いてデモ	<ul style="list-style-type: none"> ● ArcGIS Pro の説明 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 都市高速道路 3D モデルで課題に対してソリューションを実施しやすい点検支援について説明（ArcGIS Pro で生成） ➢ 課題：従来の 2 次元図面では、それぞれの展開図に損傷が示される

		<p>ことから、損傷の連続性、橋梁全体の損傷が把握しにくい</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 道路管理者から委託を受けた点検業者は、過去の点検結果をもとに損傷の広がりを点検するが、点検結果を見ながら損傷箇所を現場で探すことに時間を有する  <p>図 5-1 高速道路モデル上で損傷を表示させたイメージ図</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ソリューション：都市高速道路 3D モデルを用いることにより、ひび割れの位置や連続性、橋梁全体の損傷が簡単に把握できることから、原因究明に役立つ ➤ 補強の必要性や補強工法の妥当性など説得力のある資料の作成が可能となる ➤ 損傷箇所の特定及び点検結果の入力・管理作業を 3D モデル上で行うことにより時間短縮など、業務が効率化に寄与 <ul style="list-style-type: none"> ● 点検支援機能の実演 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 都市高速道路 3D モデルを実際に操作し損傷箇所を表現する。ひび割れの位置や連続性、橋梁全体の損傷が簡単に把握できることを説明する ➤ 都市高速道路管理の効率化に 3D 都市モデルが使えるということを判断してもらう
3	質疑応答・ヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ● 質疑応答を行う ● 都市高速道路 3D モデルのヒアリングを行う（課題に対してソリューションできているか）

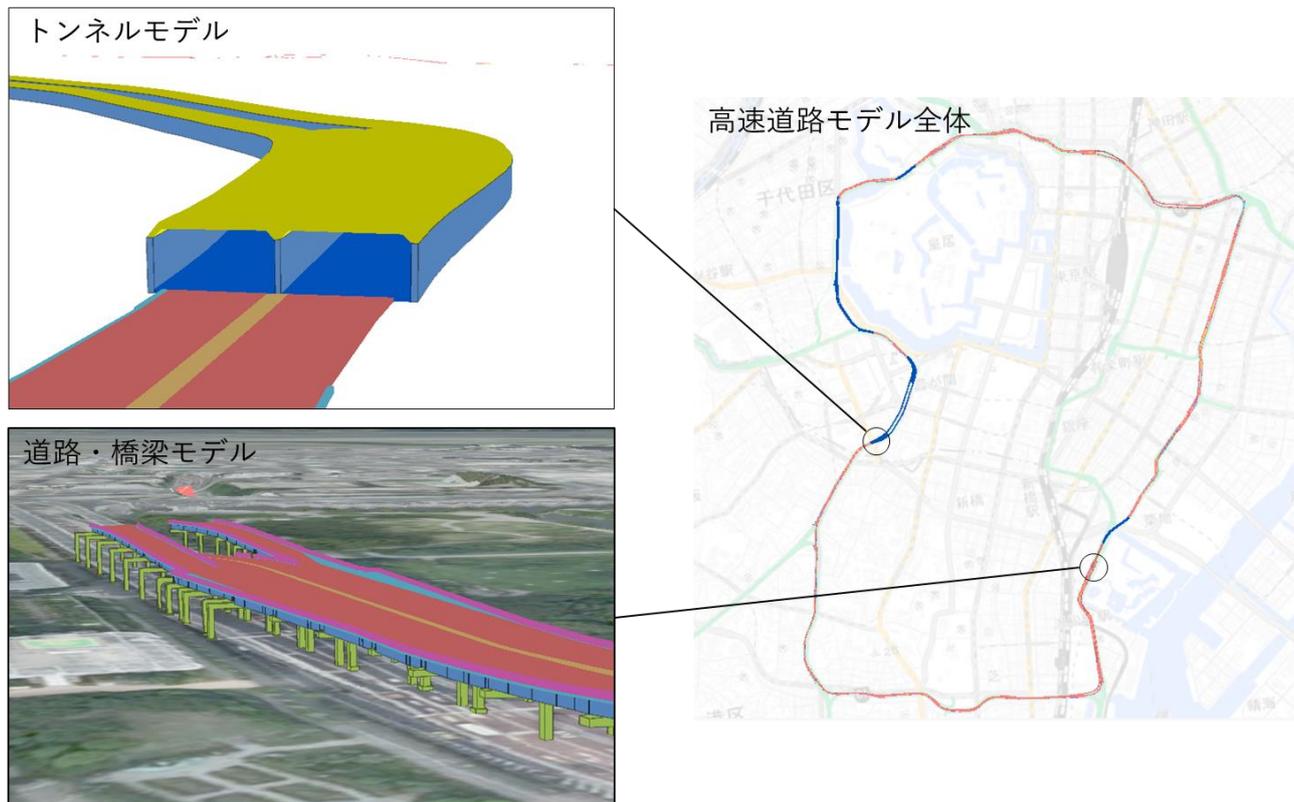
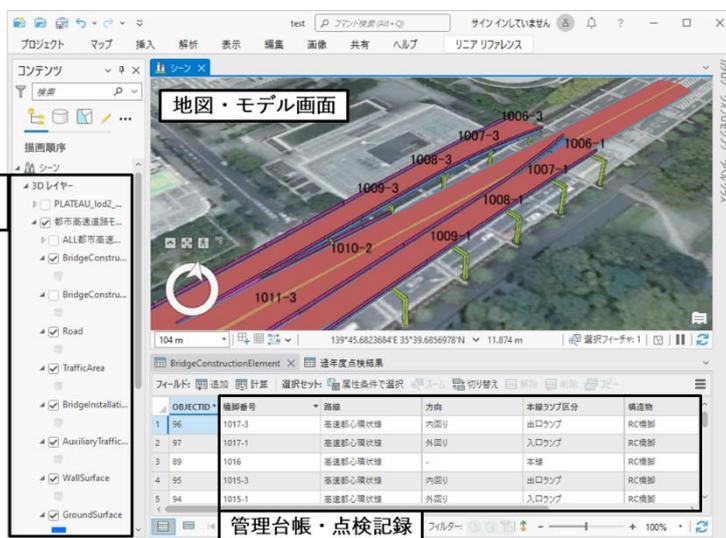


図 5-2 本検証で作成しヒアリングに使用した高速道路モデル（都心環状線）

アプリケーションの仕様

- ArcGISをベースとする
- 主に左図の3つの画面で構成
- 地図上の3Dモデルと管理台帳の連携・検索が可能
 (検証時は橋脚モデルについてデモ用管理台帳を作成※道路面や主桁は分割できない仕様で作成していたため)
- PLATEAUの建築物モデル（オープンデータ）との重ね合わせで三次元での現地位置関係の可視化が可能

搭載データ一覧



管理台帳・点検記録

図 5-3 点検支援アプリケーションの仕様説明

現場前の点検対象の位置・管理情報検索

管理情報の一元化と3次元での可視化による検索作業の省力化

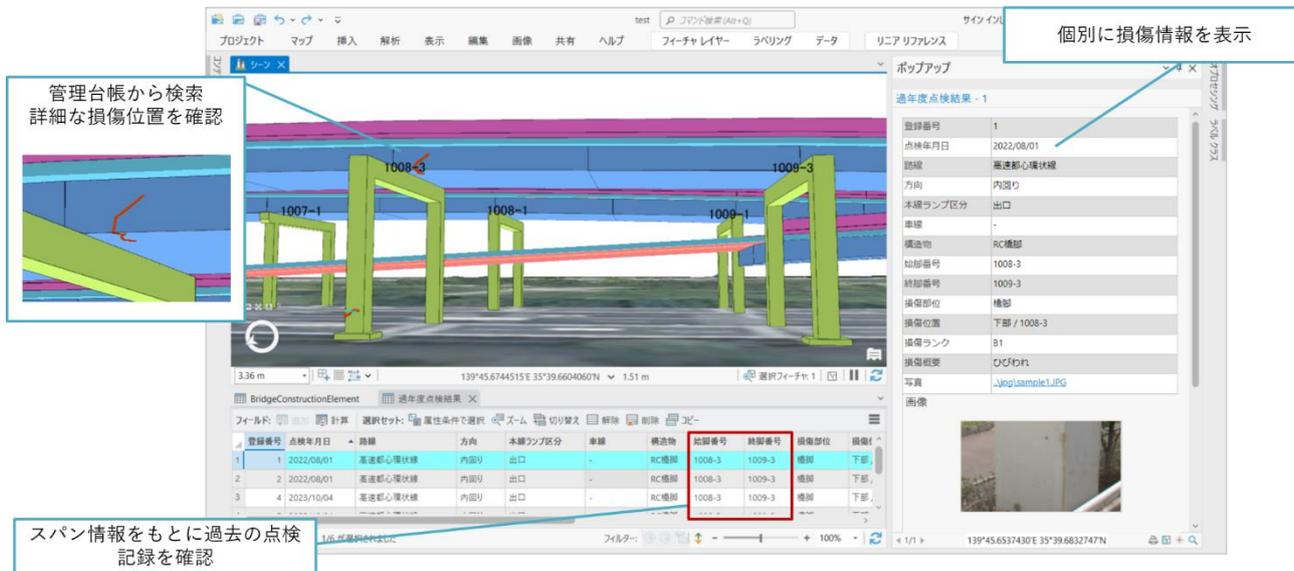


図 5-4 点検支援アプリケーション機能の紹介①

点検後の損傷情報入力

点検結果の3次元空間でのイメージ共有により認識齟齬のリスクを低減

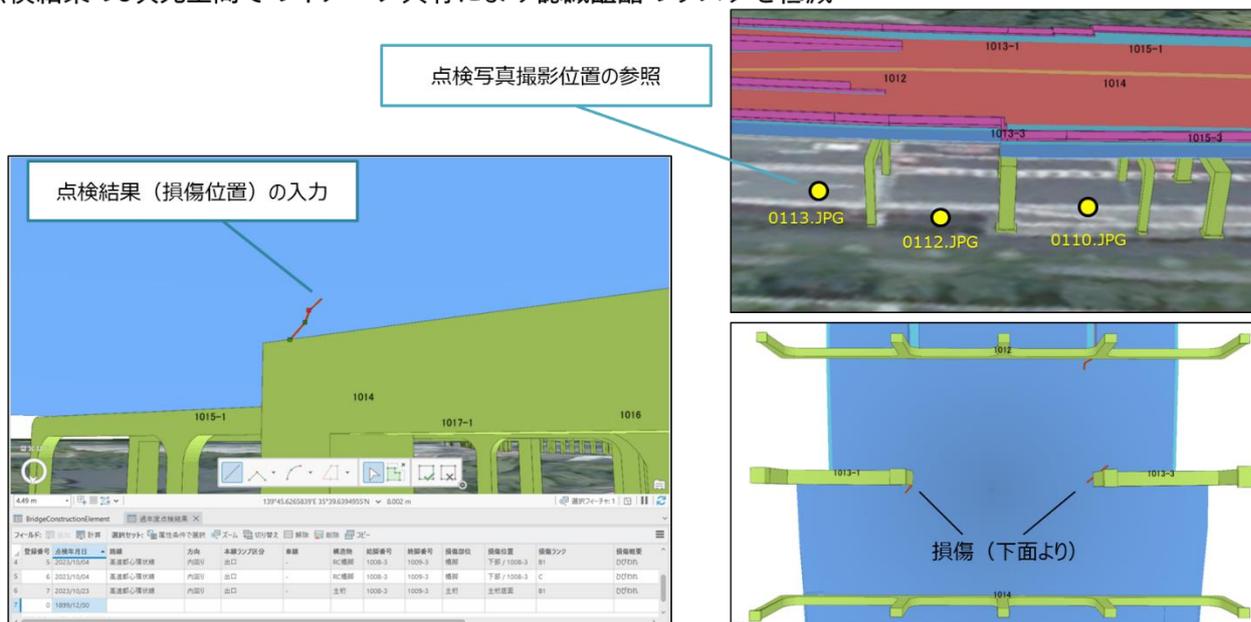


図 5-5 点検支援アプリケーション機能の紹介②

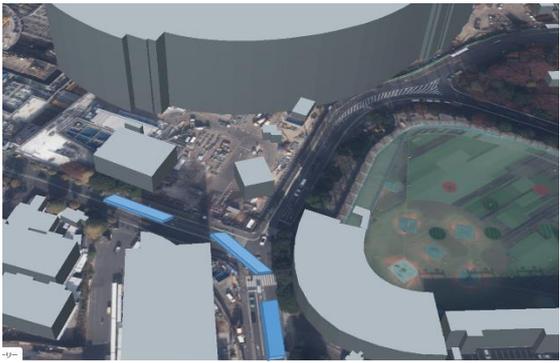
5-4-3. 検証項目と評価方法

表 5-4 検証項目と評価方法

検証観点	No.	検証項目	定量評価	定性評価
1) 課題の特定ができたか	1	インプットするデータの条件をイメージ/整理しやすいか	<ul style="list-style-type: none"> ● ヒアリングを実施 ● ヒアリングは「とても満足」「満足」「やや満足」「どちらでもない」「やや不満」「不満」「とても不満」の七つで設定 ● 回答を集計し、各選択肢の選択率から評価 ● 「とても満足」「満足」「やや満足」が全体の70%を占める 	● 道路行政サービスの新しいソリューションを提供できるかヒアリングを実施
	2	従来手法と同等の課題の抽出ができていますか		
	3	従来手法では見つけられなかった課題の抽出ができていますか		
	4	必要な情報が正しく可視化されているか		
2) 対策の導出ができたか	5	課題解決の具体策の導出ができたか		
3) 効率化に寄与したか	6	既存の点検業務と比較して関係者の対応工数の削減につながるソリューションとして利用することができるか		
4) ユーザビリティに問題はないか	7	結果が視覚的に分かりやすいか		
	8	設定できる条件・使える機能は十分か		
	9	反応速度・レスポンスは十分か		
5) その他に考えられる活用用途の有無	10	その他の道路維持管理業務における活用用途について	● 道路管理者毎の有無確認のため実施なし	

No10 その他に考えられる活用用途について、一般道も含め点検支援以外の業務での3D都市モデル活用の可能性についても以下の道路維持管理業務で想定される活用事例（ソリューション）5件を提示する。各事例について道路管理者に自身の業務に関係しているかおよび意見をヒアリングした。その上でさらに他にも活用できると考えられる意見も集約した。

表 5-5 その他に考えられる活用用途の業務内容・課題・ソリューション（参考）

No.	項目	対象	内容・課題	ソリューション
1	道路占用	国、都道府県、市区町村	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路空間に電柱や看板などを置くと、その施主は道路管理者に対し、占用料金を支払う ● 道路管理者が現場で調査し、請求書を送る行為を行っている 	<ul style="list-style-type: none"> ● 図示している通りに電柱等が表現できたとすれば、PLATEAU 上での道路占用物調査が可能となる ● 今回、3D 点群データを使用して道路構造物の 3D モデルを作成したため、同様に電柱も作成可能  <p>図 5-6 3D 都市モデルに仮定の電柱モデルを配置したイメージ</p>
2	特殊車両通行許可申請	国、都道府県、市区町村、高速道路管理者	<ul style="list-style-type: none"> ● 特殊車両とは橋や新幹線等の規格外のものを運ぶ車両 ● 幅員があり、障害物のない道路を選定する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の特殊車両通行許可申請は 2 次元上で行われ、審査されていた ● それだと歩道橋などの高さのある障害物に対し判定ができない ● PLATEAU が地図情報レベル 500 で作成されれば 3 次元上での審査が行えるようになる  <p>図 5-7 3D 都市モデルに仮定の特殊車両モデルを配置したイメージ</p>
3	新設道路計画	国、都道府県、市区町村、高速道	<ul style="list-style-type: none"> ● 新設道路は、計画→概略設計→ルート検討→予備設計→詳細設計→（工 	<ul style="list-style-type: none"> ● 新規で道路を造る際は地図情報レベル 2500 で概略設計を行っている ● PLATEAU を利用すれば 3 次元での概略設

		路管理者	<p>事) というフローになる</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 新規に測量を行っている 	<p>計が可能となる</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 新しく道路が作られる場所は、郊外であることが多いため PLATEAU の整備範囲ではない可能性があるが場所が合っていればそのまま使用が可能となる  <p>出典：山口河川国道事務所養生長野バイパス紹介動画 (https://www.cgr.mlit.go.jp/yamaguchi/movies/hujuunagano.html)</p> <p>図 5-8 3D モデルを利用した道路設計のイメージ⁸</p>
4	交通安全対策シミュレーション	国、都道府県、市区町村、高速道路管理者	<ul style="list-style-type: none"> ● 高速道路の逆走対策は高齢社会本番を見据え、急務である 	<ul style="list-style-type: none"> ● 逆走対策は効果的な対策が打てるよう仮想空間の中で何通りもシミュレーションを行って決定する ● 3D 都市モデル（都市高速モデル：地図情報レベル 500）で仮想空間を作ることによってよりリアルにシミュレーションを行うことができる  <p>図 5-9 道路安全対策シミュレーションの作成イメージ</p>
5	BIM/CIM	国、都道府県、市区町	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路構造物の計画、設計、工事、維持管理をしてい 	<ul style="list-style-type: none"> ● BIM/CIM との連携には、生成した高速道路モデルをもとに追加で属性情報等の整

⁸ 公式 HP より抜粋：<https://www.cgr.mlit.go.jp/yamaguchi/movies/hujuunagano.html>

		村、高速道路管理者	く上で原則 BIM/CIM 適用となっている。	理が必要  <p>出典：国土交通省BIM/CIMポータルサイト(https://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/training/pdf/3/3.4.5.pdf)</p> 図 5-10 BIM/CIM を想定した道路設計のイメージ ⁹
--	--	-----------	-------------------------	--

5-4-4. 実証実験の様子

点検支援アプリケーションをもとに、機能や操作の説明を行い業務効率に寄与するか、また改善要望などのヒアリングを行った模様。



図 5-11 点検支援アプリケーションのデモ

⁹ 公式 HP より抜粋： <https://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bimcim/bimcimindex.html>

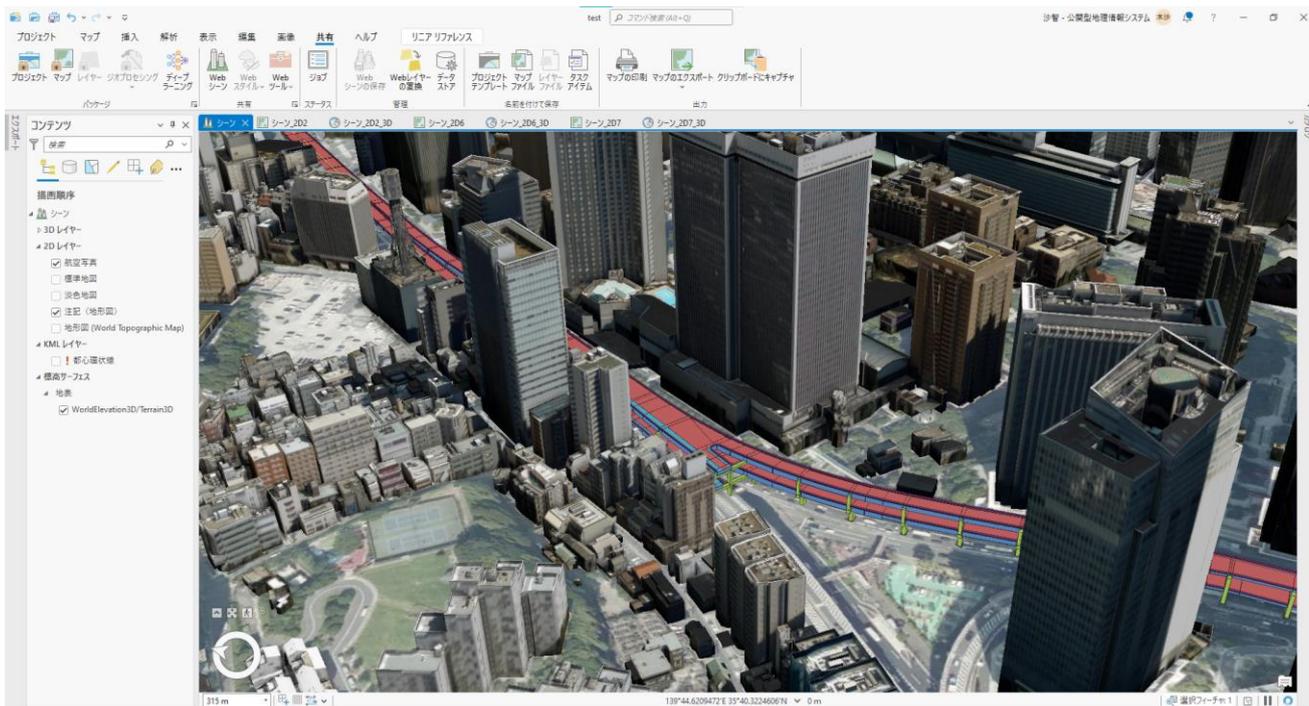


図 5-12 システムデモ画面（建築物データとの同時表示説明）

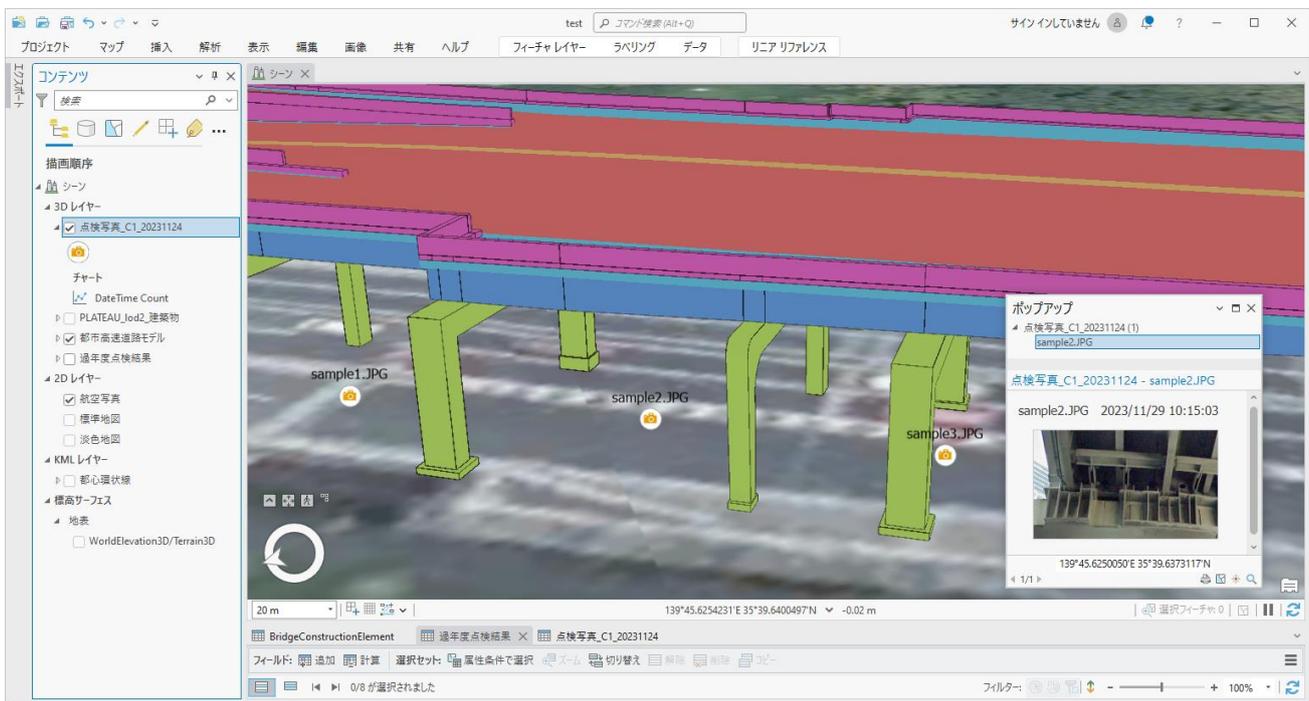


図 5-13 システムデモ画面（点検結果写真読み込み・表示）



図 5-14 システムデモ画面（管理台帳からの目的地物検索表示）

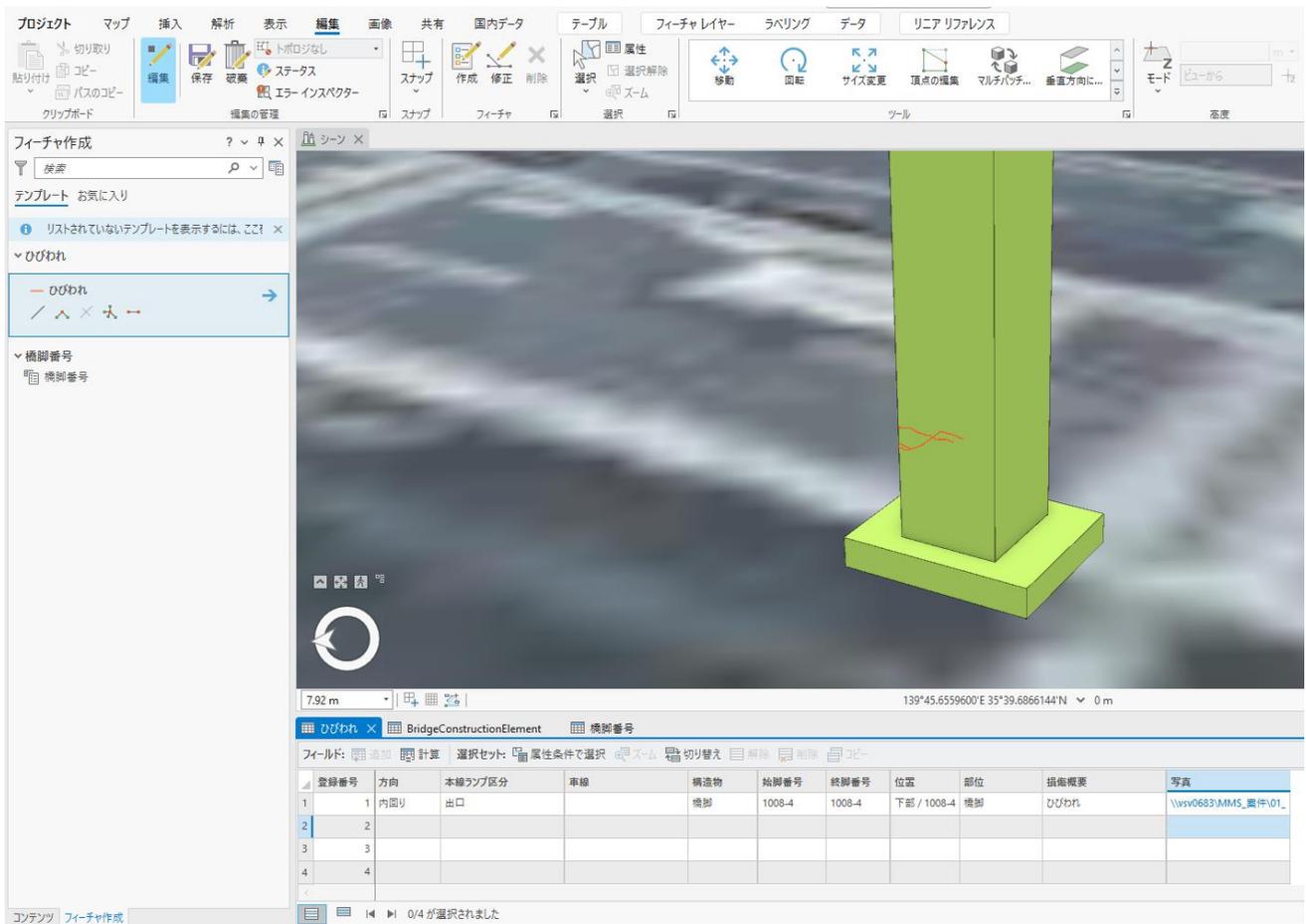


図 5-15 システムデモ画面（損傷情報の入力）

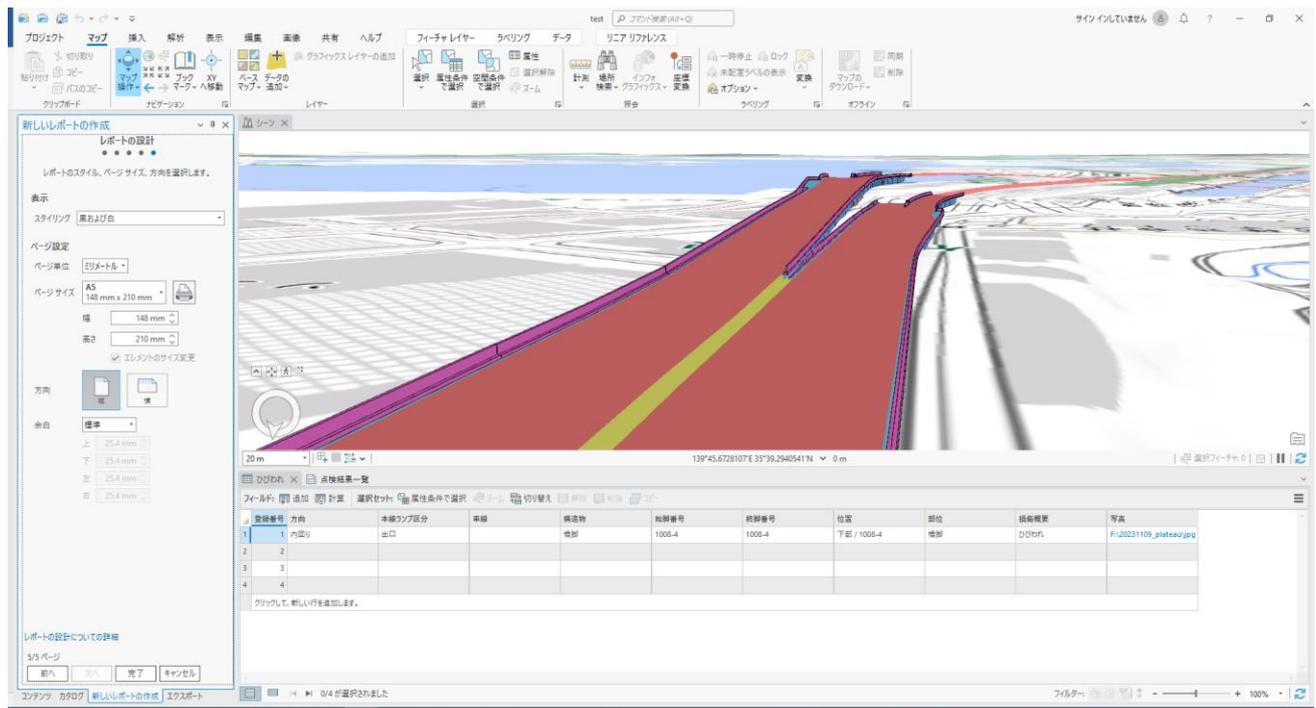


図 5-16 システムデモ画面（点検台帳からの一覧表出力）

5-5. 検証結果

5-5-1. アウトプット評価

点検支援機能として構造物の台帳情報検索、構造物点検結果をもとにした損傷箇所を入力管理と位置情報の特定機能を持ったアプリケーションを作成し、有用性について道路管理者に被験者として様々な意見をいただいた。

高速道路 3D モデルで生成した構造物のイメージのしやすさ、表示の速さについては 3D モデルをまだ使用していない担当者にも興味を持っていただけた。また、ジャンクションやトンネル等複雑な形状を分かりやすく表現できることや、管理する単位で 3D モデルを分け属性情報（台帳）を関連付けできる等、多様な構築が可能点についても評価いただいた。

課題としては、点検支援機能を実現するにあたり、より詳細度の高い 3D モデルが求められる点、点検結果の入力を自動化するところまでいかないと省力化にならない、他団体が管理する道路施設の情報が欲しいといった意見が多く、求められている機能が明確になった。

- 1) 課題の特定ができたか

Q1 インプットするデータの条件をイメージ/整理しやすいか

全回答者のうち、75% (3/4 名) が「どちらでもない」～「不満」と回答。インプットするデータのイメージ、整理について要望や改善があることが分かった。

以下、未回答の場合を除いて記載する。

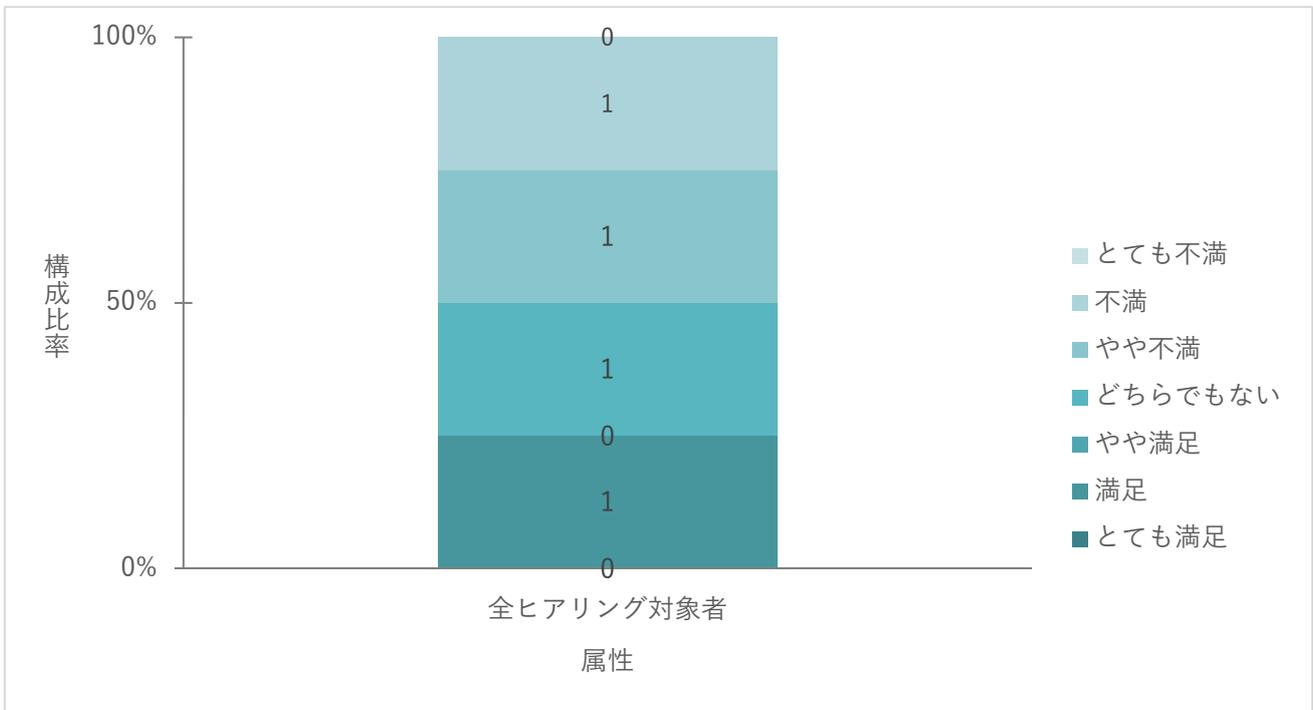


図 5-17 インプットするデータの条件をイメージ/整理しやすいか

定性評価では、使用するデータへのイメージに相違はなかったが、データの作成・更新は誰がどのように行うのか、客先で使用しているデータ（2D・3D）を入れたいなど、課題・要望があった。

表 5-6 関連する定性コメント

No.	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	インプットするデータに不明点・不安点があることが分かった	● 台帳を3次元化できるとよい。但し台帳更新は誰がやるかの問題はある（埼玉県）
2	インプットするデータに求められる仕様が使用者によって異なる	● 点検を記録する単位になっていない（首都高速道路）

Q2 従来手法と同等の課題の抽出ができていますか

全回答者のうち、100%（2/2名）が「どちらでもない」と回答。

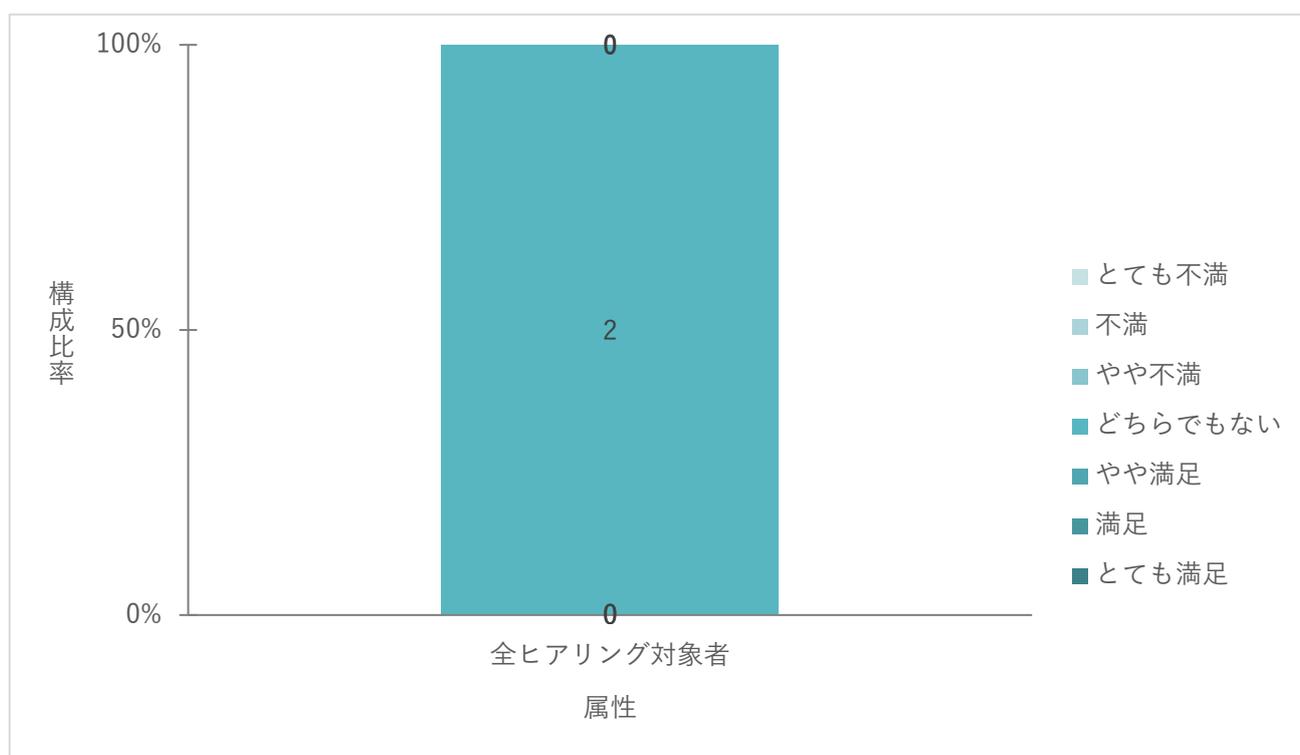


図 5-18 従来手法と同等の課題の抽出ができていますか

従来手法による課題について以下のコメントが得られた。

表 5-7 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	従来手法と共通する課題が抽出された	● 点検結果の入力を現場から送信し、自動で蓄積されるようになるとうい（首都高速道路）

Q3 従来手法では見つけれなかった課題の抽出ができていますか

全回答者のうち、67% (2/3 名) が「やや不満」と回答。

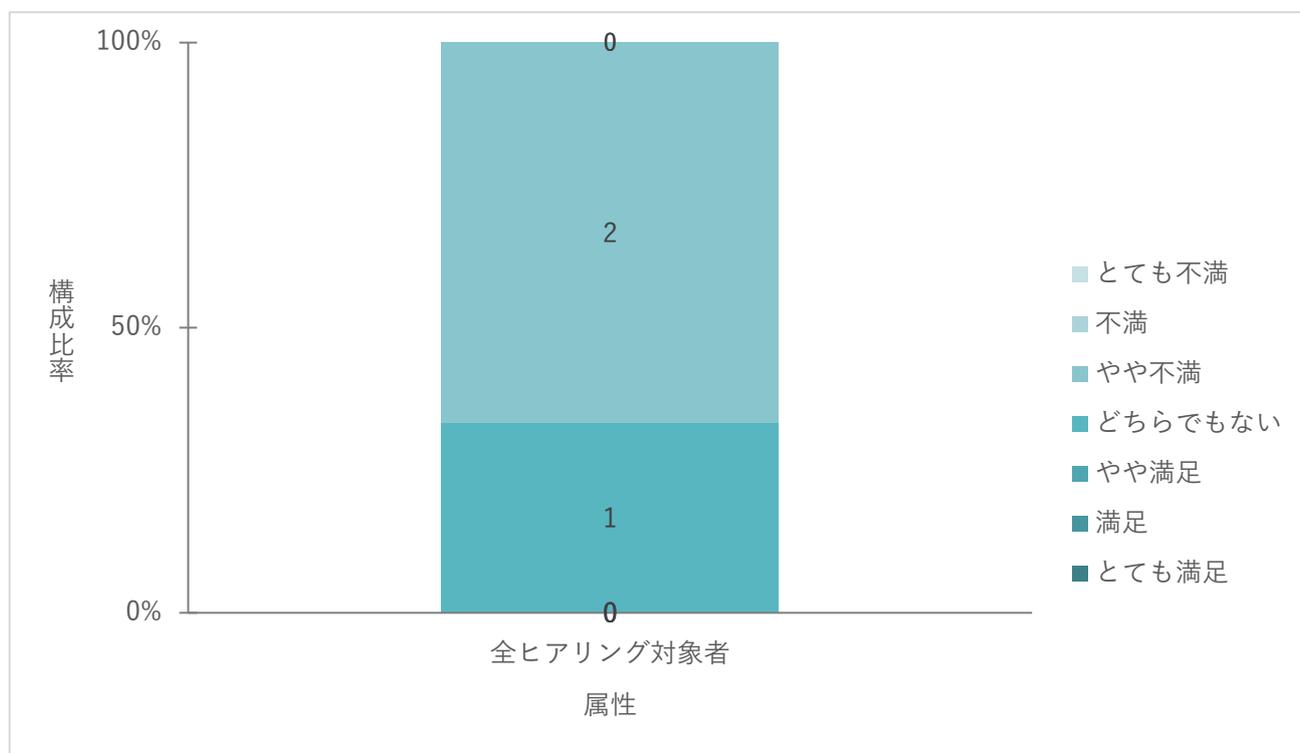


図 5-19 従来手法では見つけれなかった課題の抽出ができていますか

定性評価ではデータベース更新に対して以下の問題点が挙げられた。

表 5-8 関連する定性コメント

No.	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	本システムの仕様を想定した点検手法に対して、課題及び改善点があることが判明した	<ul style="list-style-type: none"> ● 点検の仕方・損傷の数え方に事業者ごとに違いがあるため、一定のルール化をするか、フレキシブルに対応可能なユーザーインターフェースが必要（首都高速） ● 損傷位置が外観上であれば、大まかな位置把握までは可能だが、具体的な部材が何かということや、内部損傷である場合に把握出来ない（首都高速） ● 国のデータベースに損傷情報を入力公開する義務があり、県で管理するシステムにも入力している状況があるため、重複する入力項目は連携し自動で入力できるようなシステムがあるとよい（埼玉県）

Q4 必要な情報が正しく可視化されているか

全回答者のうち、100% (5/5 名) が「やや不満」または「不満」と回答。

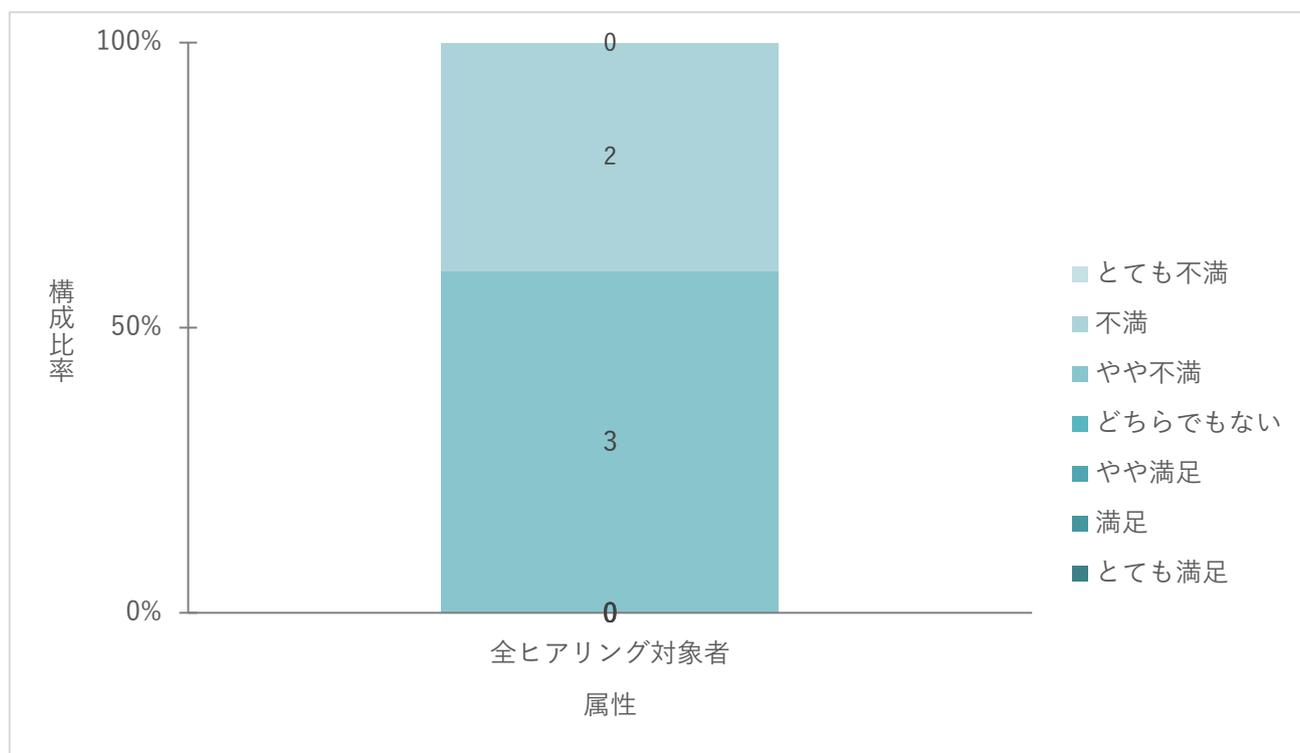


図 5-20 必要な情報が正しく可視化されているか

定性評価では、今後に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-9 関連する定性コメント

No.	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	必要な情報については他にも要望がある	<ul style="list-style-type: none"> ● 上下水道、電気、通信インフラ、ガス等の地下インフラについて記載が必要（埼玉県） ● 見えないところ（地中）のモデルがオープン化されていれば、工事の際の掘削接触事故を防ぐメリットがある（首都高速道路） ● コンクリート構造物には使用できそうだが、首都高に多いメタル構造物は LOD3 では再現できていないため、データ粒度の詳細化が必要（首都高速道路） ● 高架下の街路情報も付加することで、点検の際、何車線まで交通規制すれば良いかのシミュレーションが可能（首都高速道路） ● 点検においては構造物内部等の不可視部が重要なため、外観のみでは不足するところが多い（首都高速道路）

- 2)対策の導出ができたか

Q5 課題解決の具体策の導出ができたか

全回答者のうち、33%（2/2名）が「どちらでもない」と回答。

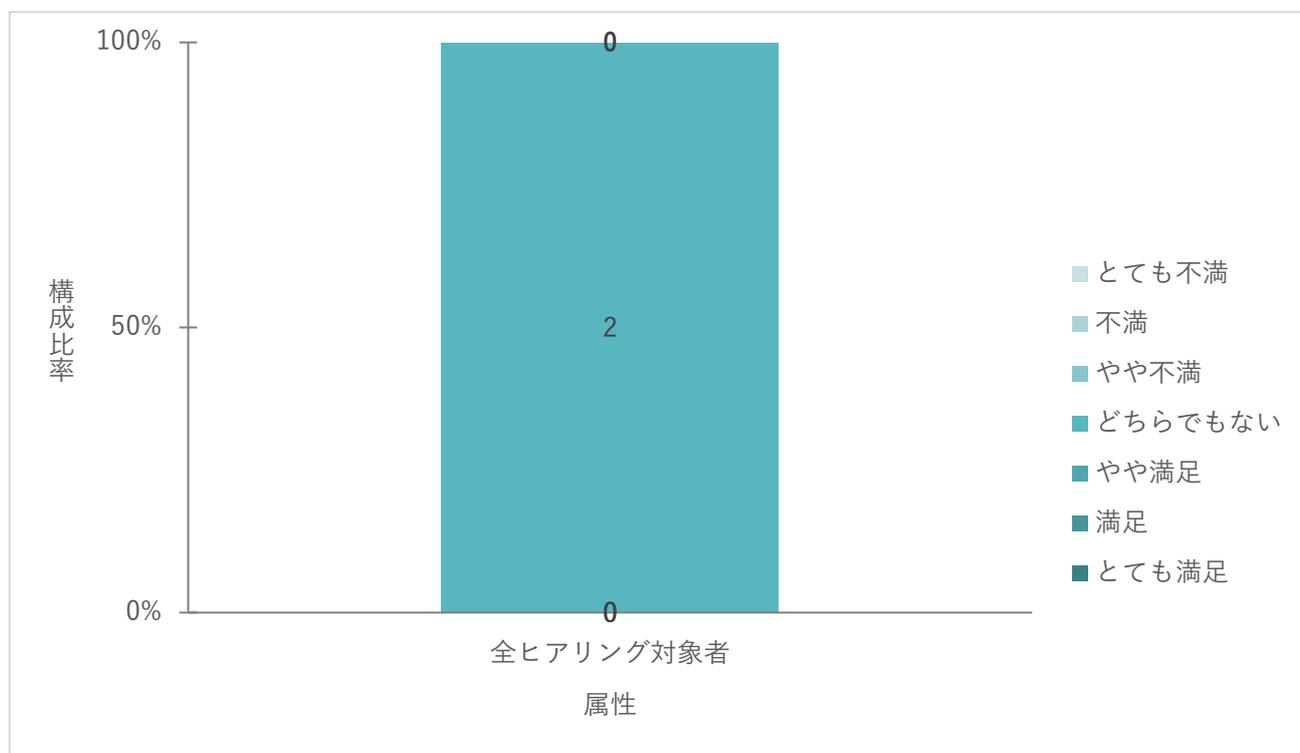


図 5-21 課題解決の具体策の導出ができたか

定性評価では、今後に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-10 関連する定性コメント

No.	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	課題解決の具体策導出には至っておらず、今後も引き続き検討が必要である	● 損傷位置の入力、ナビゲーション機能については、屋内及び構造物内の測位技術も活用したナビゲーションが必要（首都高速）

● 3)効率化に寄与したか

Q6 既存の点検業務と比較して関係者の対応工数の削減につながるソリューションとして利用することができるか

全回答者のうち、100%（4/4名）が「やや不満」または「不満」と回答。

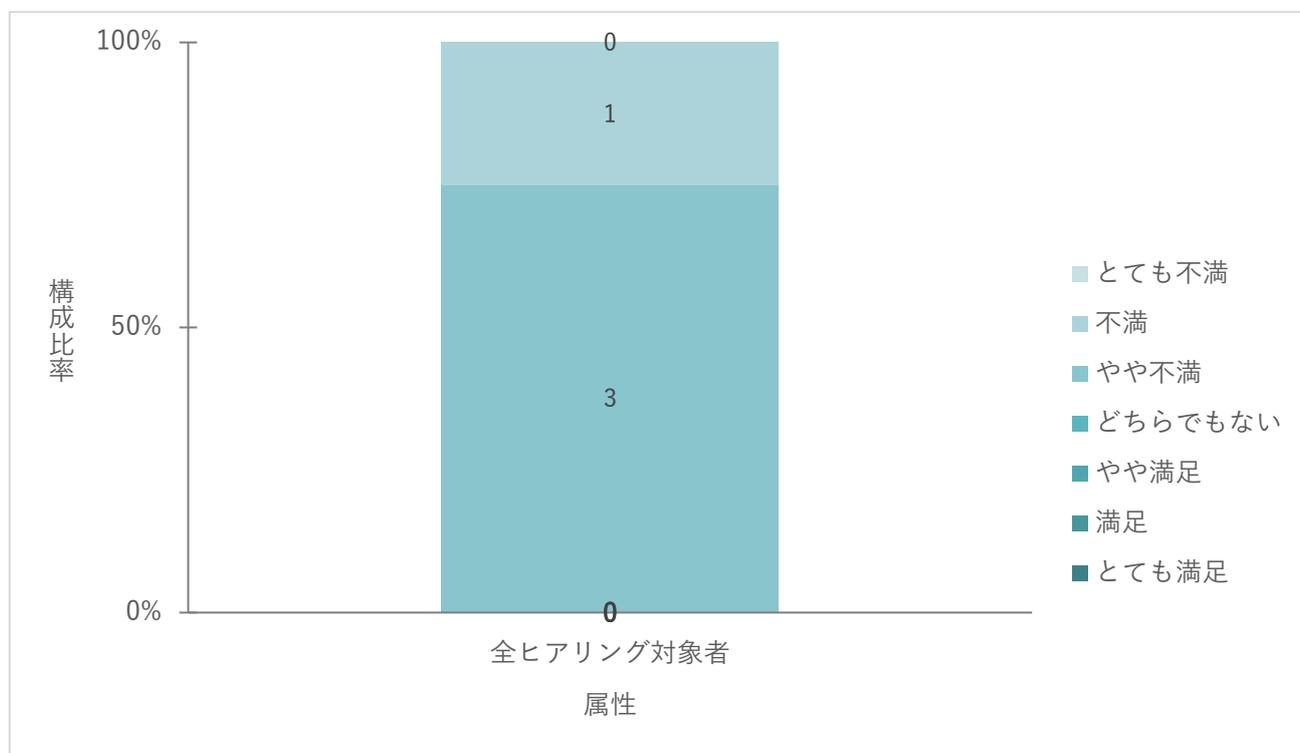


図 5-22 既存の点検業務と比較して関係者の対応工数の削減につながるソリューションとして利用することができるか

定性評価では、効率化の前提として使用するデータについての課題が挙げられた。

表 5-11 関連する定性コメント

No.	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	都市高速道路 3D モデルを点検支援及びその他の業務に使用するには現状のものよりも詳細度が求められる	<ul style="list-style-type: none"> ● 構造物をより詳細に確認できる仕様にしたなら利用用途が見いだせる（埼玉県、狭山市） ● 首都高速道路の BIM/CIM 要件とより近づけることが必要（首都高速） ● アプリケーション上の機能でも良いが、管理者ごとに点検項目へのメモ等、カスタマイズが出来る仕様が必要（首都高速）

- 4)ユーザビリティに問題はないか

Q7 結果が視覚的に分かりやすいか

全回答者のうち、100% (2/2名) が「どちらでもない」と回答。

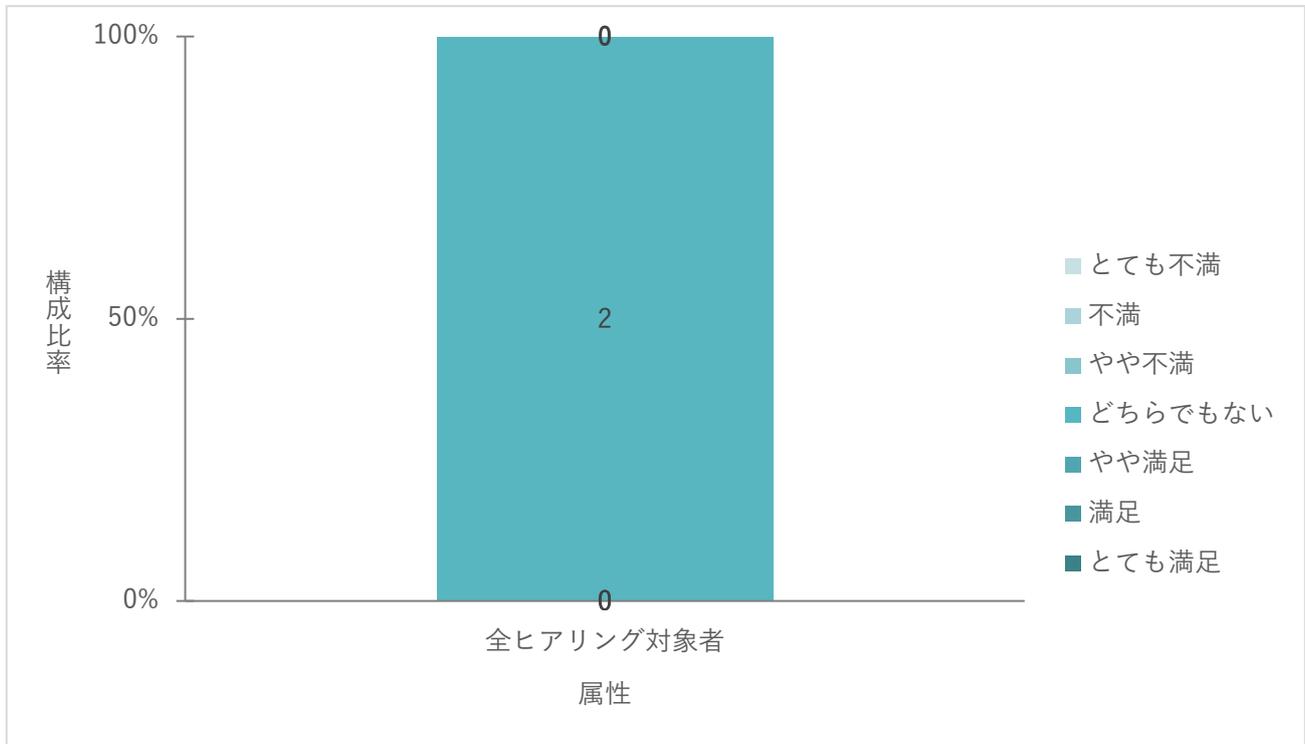


図 5-23 結果が視覚的に分かりやすいか

定性評価では、一定の評価及び視覚的効果についての利点について意見が得ることができた。

表 5-12 関連する定性コメント

No.	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	点検対象に関しての位置関係が視覚的にわかりやすく、他者との共有に優れていることが分かった	<ul style="list-style-type: none"> ● 点検支援アプリを3次元化すると次のような利点が考えられる（首都高速） <ol style="list-style-type: none"> 1. 高速道路自体の構造確認 2. 周辺環境の確認 3. 管理の高度化 4. 診断の高度化 5. 現場との連携強化 ● 首都高のトンネル配置位置をオープンデータ化することで、工事調整会議が必要だということを工事業者に認識させたい。例えば、首都高に隣接する建物の工事でも、敷地上は問題ないが、基礎部分の工事を行うときに問題がある場合がある。（首都高速）

Q8 設定できる条件・使える機能は十分か

全回答者のうち、100% (2/2名) が「どちらでもない」と回答。

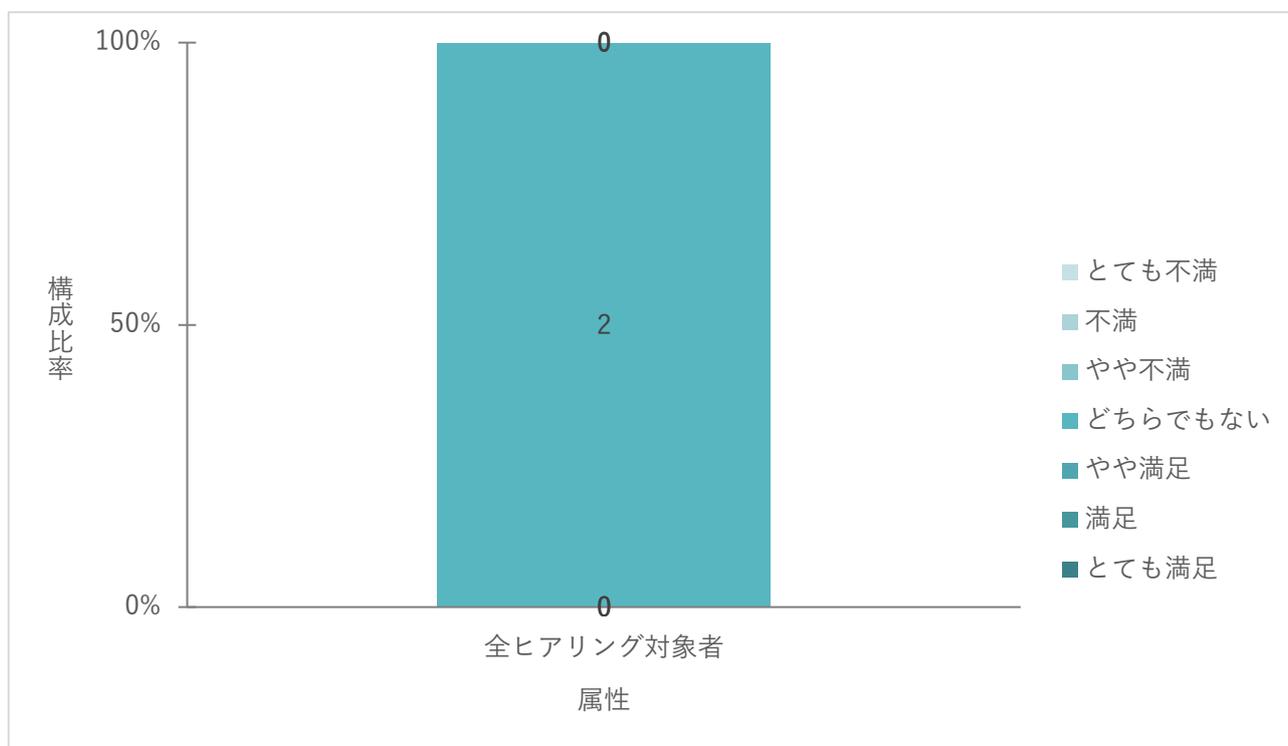


図 5-24 設定できる条件・使える機能は十分か

定性評価では、点検支援機能に付随する関連情報の入力についても省力化する必要がある点、3D 点群データ等ではできない 3D モデルの特性を生かした機能開発が必要である点が課題として挙げられた。

表 5-13 関連する定性コメント

No.	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	使用できる機能としては十分ではなく、より省力化になるような機能開発が必要	<ul style="list-style-type: none"> ● ヒビの経年変化による広がり写真を写真から AI 判定し表示する試みは実施している、自動入力機能まで欲しい (首都高速) ● 付属部材が落下した時の第三者被害の想定にも利用することが出来る (首都高速) ● 3D 都市モデルの利点としては、属性を付けることで部材単位の評価ができ、構造的に負荷のかかっている箇所の属性なども付与する点のため、汎用属性を活用して管理できる項目を増やしていくべきではないか (首都高速)

Q9 反応速度・レスポンスは十分か

全回答者のうち、100% (3/3 名) が「どちらでもない」または「満足」と回答。

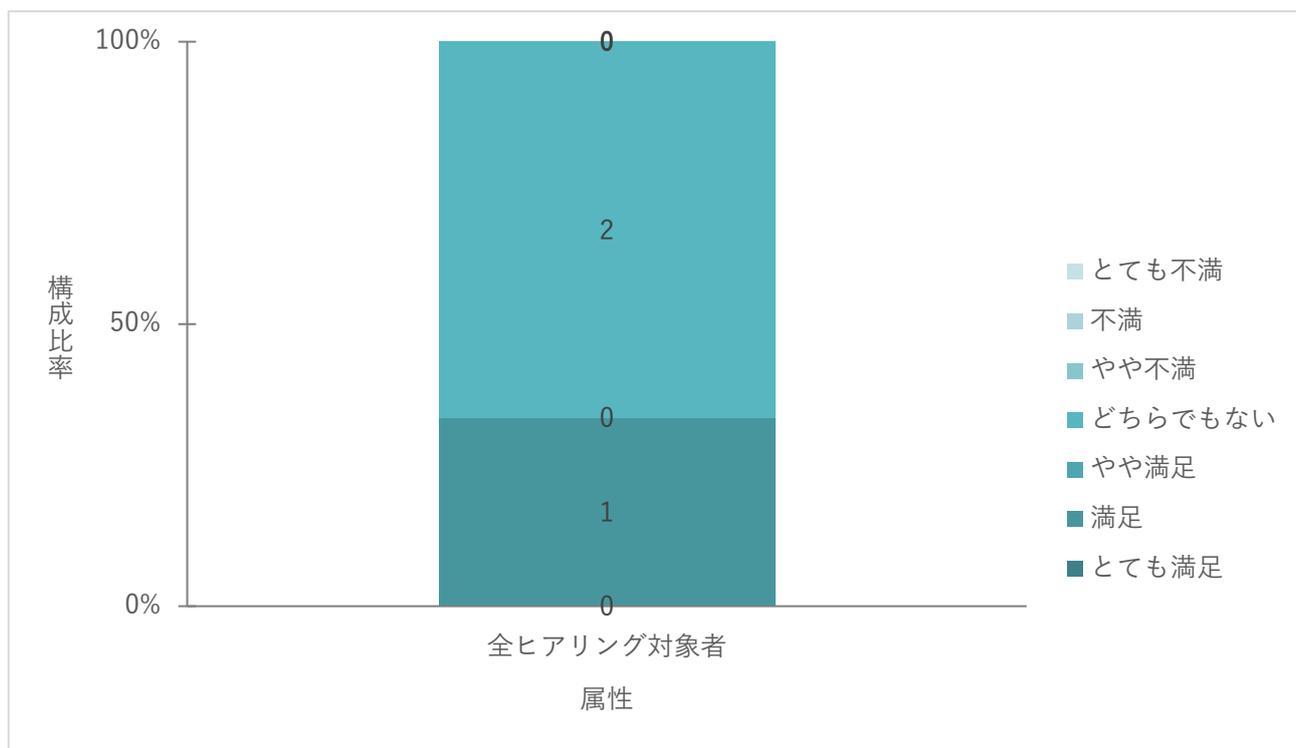


図 5-25 反応速度・レスポンスは十分か

定性評価では、現在の動作速度（データの表示等）であればユーザーの負担にならないことを確認できた。

表 5-14 関連する定性コメント

No.	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	操作性については特に遅く感じるなどの問題はなかった	<ul style="list-style-type: none"> 3D 点群データよりも 3D モデルの方が容量が軽いため、画面の視認性を担保したまま、広範囲の構造物を包括的に確認することが出来る（首都高速）

Q10 その他の道路維持管理業務における活用用途について

3D 都市モデルのその他に考えられる活用用途について前項で提示した事例について、各道路管理者における実施有無および活用に関してのヒアリングを行った結果を以下に示す。

表 5-15 被験者の業務実施有無

No.	項目	首都高速道路	埼玉県	狭山市
1	道路占用	×	○	○
2	特殊車両通行許可申請	○	○	○
3	新設道路計画	○	○	○
4	交通安全対策シミュレーション	○	○	×
5	BIM/CIM	○	○	×

○：業務として実施している ×：業務として実施していない

表 5-16 3D 都市モデルの活用用途に関するコメント（首都高速道路）

No.	項目	実施有無	コメント
1	道路占用	×	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路占用物の管理では、道路区域と全ての占用物（形状、情報）がモデルに含まれていることが前提となる ● 首都高としては、管理している構造物が地下部も含めて見える化し、近接の影響範囲に入る場合は協議をして貰える仕組みにつながると良い ● 占用ではないが、近接協議の際に位置関係を把握し、おおまかな離隔や角度を測れるとよい（首都高においては全線3D点群データがあるため、必要性は低い） ● 新規路線を作る場合の土地の買収範囲を決める際に役立つのではないと思われる
2	特殊車両通行許可申請	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 首都高を通行できる車両（大きさ、重量、危険物搭載等）は決まっており、それを超える場合は許可を受けて頂く必要がある ● ただし、道路の幾何構造、耐荷に関わるデータを保有しているため、細かい走行シミュレーションは実施出来ない ● 街路で交差点等の通行車両の軌跡を照査するので、高速のモデル化はあまり関係ないと思われる
3	新設道路計画	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 概略計画を可視化する目的で、VR用元データとして活用できる可能性がある ● 事業化前に「見せる」ことは基本的にはないが、事業化後はBIM/CIMに記載の用途になる

			<ul style="list-style-type: none"> ● 建物等の影響範囲（地下構造物があると尚良いが）を確認するのに役立つと思われる
4	交通安全対策シミュレーション	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 実際の走行空間を再現できれば、活用の可能性はあると思う ● 現実空間に近いほど、安全対策のシミュレーション効果が高いと思われるので、今回再現したモデルの線形や高欄幅や附属物が再現できていると良い
5	BIM/CIM	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 構造物や施設の管理単位に区分することができれば、活用の可能性はあると思う ● 既設構造物の塗装塗り替えなどで景観検討が必要な場合は PLATEAU のモデルを使えるとよい ● 構造物の管理単位が団体によって異なるので、ある程度の共通のモデルがあり、その先は各団体がモデルを改良することにすれば、各団体活用すると思われる
	その他	—	<ul style="list-style-type: none"> ● JCT 等複雑な箇所での 3D で交通状況の見える化（通常は定点カメラ映像）ができると、監視のしやすさの向上、渋滞原因の分析に応用できるのではないかと ● 防災面での活用も期待できそうである

表 5-17 3D 都市モデルのその他活用用途に関するコメント（埼玉県）

No.	項目	実施有無	コメント
1	道路占用	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 電柱があれば、無電柱化の計画に使用できそう
2	特殊車両通行許可申請	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在は 2D で実施しているが、3D になれば見やすくなる
3	新設道路計画	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 新設道路検討の際は買収用地の境界しか見ていないが、建物モデルがあると残地（買収できない中途半端な土地ができてしまうことが課題、用地課担当）や、屋根のはみ出しも含めてルート検討ができると思う。住民との交渉等に使用できる可能性もある
4	交通安全対策シミュレーション	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 管理道路に壁面があまりないので 2D でのシミュレーションで現状は問題ない
5	BIM/CIM	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路改良の事例は多いが、データ自体の粒度の面で使用不可。より細かい構造物で管理が出来る仕様が必要 ● 委託業務でイメージの伝達に使用できる可能性あり
	その他	—	<ul style="list-style-type: none"> ● 3（用地買収）と同様の理由で都市計画の策定にも利用できそう ● 防災のシミュレーションにも使用できるのではないかと

表 5-18 3D 都市モデルのその他活用用途に関するコメント（狭山市）

No.	項目	実施有無	コメント
1	道路占用	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 電柱、看板が 3D モデルとしてあったら、自動集計、位置、占用料計算、専用の許可システムとの連携、書類の発行まで自動可能なツールになる ● 流れが逆で、これから占有するものに関して申請が来たら受動的に対応、見つけに行くことはしない
2	特殊車両通行許可申請	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 国からの問い合わせが来ることがあり、国のシステムを使用している（2D）
3	新設道路計画	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路新設に当たって、土量計算などができるとよいかもしれない
4	交通安全対策シミュレーション	×	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在シミュレーションはあまり実施していないが、新設道路で新しい交差点での見え方を想定できれば警察との交通協議の際に材料になるかもしれない
5	BIM/CIM	×	—
	その他	—	—

5-5-2. 3D 都市モデルの仕様検討結果

1. 実施内容

本業務にて作成した 3D 都市モデルの仕様は以下の通りである。

検証の対象：走行可能区間（並走する街路がある）3.1km の道路、橋梁

モデル詳細度：道路 LOD3.0、橋梁 LOD3、トンネル LOD3

モデル分類：道路 3 分類（歩道部、車道部、島）

橋梁 4 分類（床板、主桁、橋脚、高欄）

トンネル 4 分類（坑門、開口部、屋根、外壁）

モデル属性：下表のとおり

表 5-19 本業務で使用したモデル属性

地物名	属性名	説明
tran:Road		道路
	gml:name	名称
	tran:class	分類
	tran:function	機能
	tran:usage	用途
	uro:surveyYear	調査年
brid:Bridge		橋梁
	brid:class	分類
	brid:function	機能
tun:Tunnel		トンネル
	tun:class	分類
	tun:function	機能
	tun:lod3Solid	Lod3 立体

2. ヒアリングの結果より想定される製品仕様

ヒアリングの結果を踏まえ、必要とされる 3D 都市モデルの仕様について検討を行った。

結果として道路管理者の意見をより仕様を整理すると、3D モデルの高度利用のため LOD4.0 が求められている。高度利用とは、構造物点検、詳細な部材等が必要なシミュレーション、BIM/CIM との連携などが想定される。但し、高密度点群から作成できるのは LOD3.0 までとなる。LOD4.0 は、以下の概念図に示すような点群の当たらない場所（鋼橋の桁や橋梁の基礎、付属物など）まで必要となる。

● モデル分類について

表 5-20 必要とされるモデル分類

地物名	モデル分類	必要条件
高架道路 (自動車専用道路)	橋脚	<ul style="list-style-type: none"> ● 構成する部材単位であること 例：舗装、床板、主桁、橋脚（橋台）、橋脚（柱部）、排水管、縦横補剛材、リブ、フランジ 等 ● 管理単位毎であること（首都高速では橋脚から橋脚までの1径間及び上下線） ● 地図情報レベル 500 以上
	道路	
	主桁	
	高欄	
	島	

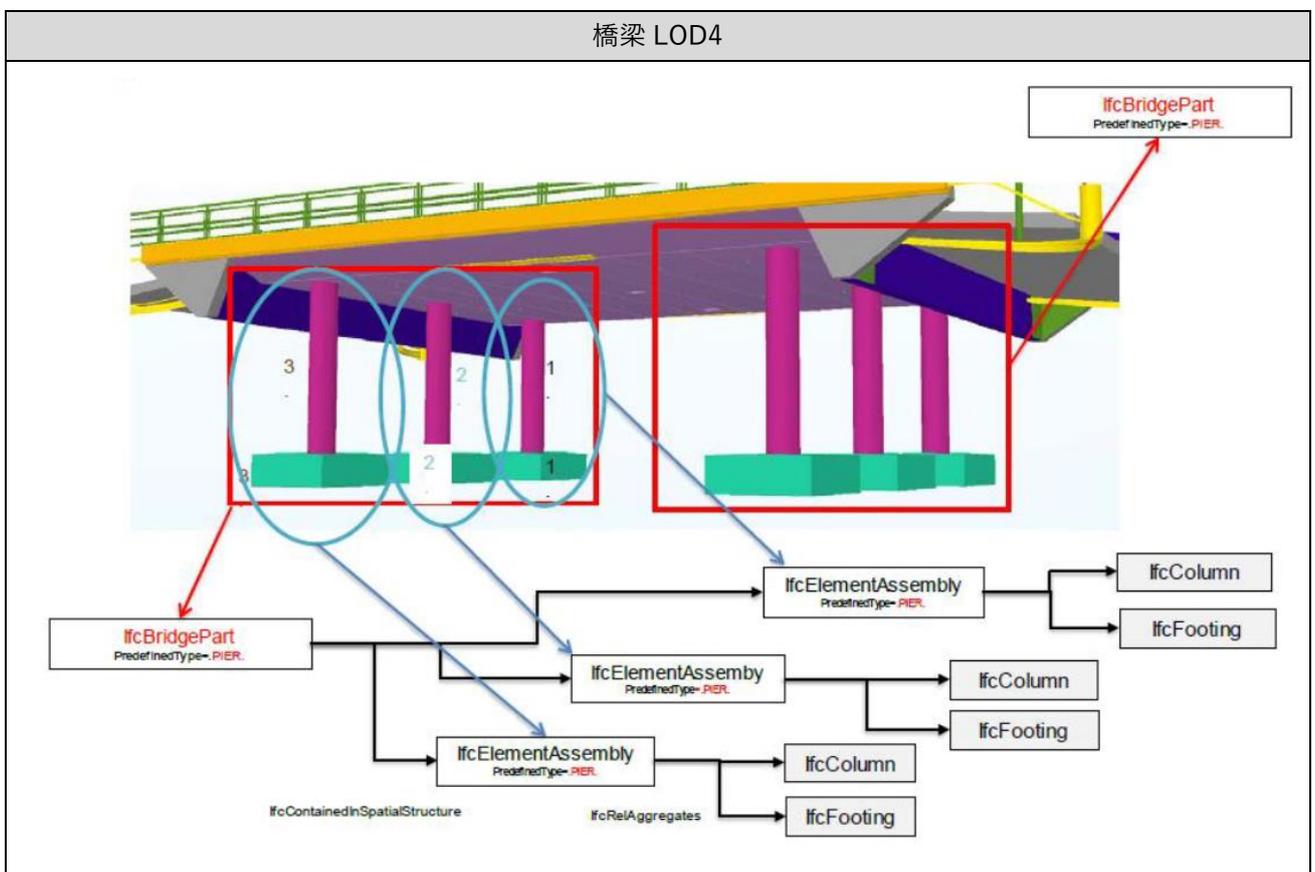


図 5-26 LOD4 の概念図

モデル属性：

- 構造物の属性情報については管理台帳を想定して以下のような属性が必要と考えられる。
 - 管理番号、路線名、所管部署名、部材名、部材材質、製造年月、等
- 点検記録として高速道路モデル上に損傷を表す図形データを配置する手法を想定しているが、関連する属性として以下のような情報を図形データに登録できることが必要と考えられる。
 - 点検日時、損傷位置座標、損傷ランク、損傷の大きさ、部材種別、等
- 現行の道路管理者が使用している管理情報（管理番号、所属路線名称、車線番号、走行方向、種別・構造

物種類、施工年月日、図面データ、写真データなど) がすべて含まれていることは必須である。

- 3D モデル化する利点として、汎用属性を利用することで管理番号や高速道路の路線名などの構造物の基礎情報を管理者が付与することができ、防災や交通シミュレーション等に応用できることが望ましいと考えられる。

6. 成果と課題

6-1. 本実証で得られた成果

6-1-1. 3D 都市モデルの技術面での優位性

実証実験を通じて、以下のような 3D 都市モデルの技術面での優位性が示された。

表 6-1 3D 都市モデルの技術面での優位性

大項目	小項目	3D 都市モデルの技術面での優位性
システム・機能	セグメンテーションとサーフェスモデルの半自動化によるモデル作成の効率化	● すべて手作業で 3D モデルを作成した場合と比較して 60% の工数削減となった（検証エリアの工数から算出）
	データの軽量化	● 3D 点群データは容量が大きいため、3D モデルにすることでより広範囲の表示、画面表示の高速化が可能、管理が必要なデータ容量・ファイル数の削減が可能
	視点の変更、表示切換による閲覧しやすい情報の表示	● 部材ごとに表示・非表示の切換が可能で、高速道路のジャンクションやトンネルなど重畳している道路も見やすい
	利用者の知識依存の解消	● 2D 図面のように見る側の専門性が必要なく、誰にでも見たときにイメージがしやすい

6-1-2. 3D 都市モデルの政策面での優位性

表 6-2 3D 都市モデルの政策面での優位性

大項目	小項目	3D 都市モデルの政策面での優位性
道路管理業務自体の価値/品質向上	可視化による議論の具体化、合意形成の容易化	● 3D 都市モデルを活用した立体的な、リアルな都市空間の可視化により、近隣住民、道路利用者へのイメージ共有と合意形成を容易化し認識の齟齬リスクを低減可能

6-2. 実証実験で得られた課題と対応策

表 6-3 実証実験で得られた課題

大項目	小項目	実証実験で得られた課題	課題に対する対応策
システム (機能)	損傷の入力	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在は手作業での入力としているが、将来的には現地写真からのAI自動判定、入力までの自動化が求められている 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後追加される機能を考慮し、汎用性のあるシステムを作成する必要がある
	点検手法の相違	<ul style="list-style-type: none"> ● 構造物点検は道路管理者ごとにそれぞれのノウハウを有しており、点検方法やルール（損傷の数え方等）の違いがある 	<ul style="list-style-type: none"> ● 各社の点検手法に対応可能な点検支援システムを構築する必要がある
システム (UI・UX)	操作のわかりやすいビューワの開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在は ArcGIS Pro を使用しているため、使用しない操作ボタンが多くわかりづらい 	<ul style="list-style-type: none"> ● 実装に向けて、使用する機能のみとし配置のわかりやすいビューワを作成する必要がある
アルゴリズム	セグメンテーション	<ul style="list-style-type: none"> ● LOD を上げようとするほど、今回分類した構造物以外の細かな構造物も点群から高精度で分類する必要がある ● 一方で、計算コストも社会実装においては重要であり、都市レベルの点群データの場合は点密度が小さくても膨大なデータ量と計算コストとなる ● 細かな構造物を分類したいと考えるほど、点密度は大きくなり、計算コストが上がる ● 主桁や高欄部における点群データの欠落及び点群データを軽量化のため間引いたことに起因する誤分類 ● 複雑な形状を有する当該箇所を欠落することなく計測する手法や、欠落したデータの補完手法等が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後も引き続き様々な構造物を分類しつつ、それらを精度良く分類するためアルゴリズムの研究開発を続けていく ● 様々なトレードオフを考慮する必要がある ● MMS で計測が困難である箇所について、ハンディレーザ等による補完計測作業を実施 ● 欠落箇所について、隣接するデータ等からの補完処理技術を検討 ● 特徴のある形状を残したデータ削減手法を検討
	サーフェスモデル生成	<ul style="list-style-type: none"> ● 点数が多い点群データの活用により精度の高いサーフェスモデルを自動生成できることが確認できた 	<ul style="list-style-type: none"> ● 処理する点群データの質を落とし、処理範囲を細分化することで、自動生成するサーフェスモデルのデー

		<p>一方、生成したサーフェスモデルのデータ容量が大きく後続作業の操作性を十分に確保できなかった</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 主桁や高欄部における点群データの欠落及びデータ削減に起因するメッシュ欠落箇所あり ● 複雑な形状を有する当該箇所を欠落することなく計測する手法や、欠落したデータの補完手法等が必要 	<p>タ容量が大幅に小さくなるようにした</p> <ul style="list-style-type: none"> ● サーフェスモデルの自動生成のみならず、エッジのある完全な面データとして 3DCAD 化 (IFC 形式や DXF 形式等) する部分までを全自動で行うことができるように開発を進めていく ● MMS にて計測が困難である箇所について、ハンディレーザ等による補完計測作業を検討 ● 欠落箇所について、隣接するデータ等からの補完処理技術を検討 ● 特徴のある形状を残したデータ削減手法を検討
サービス運用	利用者保有データの活用	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路管理者が自ら過年度に取得した 3D 点群データなどを保有しており活用したい場合がある 	<ul style="list-style-type: none"> ● 仕様を満たす 3D モデルを生成するための基準を明記する必要がある
	他団体管理施設情報の取得	<ul style="list-style-type: none"> ● 道路管理には対象構造物のデータの他にも他団体の管理する道路・鉄道や地下埋設物など周辺の様々なデータが必要で、一定の精度を持ったものが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 隣接する施設の 3D 点群データが取得可能であれば、3D モデルを生成可能である ● 地下埋設物は管理者からのデータ提供が必要であるが、PLATEAU の標準製品仕様に基づくインフラ各社のデータ整備が徐々に進んでいるため、今後取り組みが拡大すれば一定の精度を持った各種データの供用という課題にも対応可能となる。

6-3. 今後の展望

都市高速道路のインフラ管理の効率化のために、高密度 3D 点群データを保有する道路管理者が増えている。しかし、3D 点群データのままでは構造物単位のみや形状そのものがわかりづらく、データ容量も巨大であるためハンドリングには難がある。他方で、点群からサーフェスである 3D モデルを生成すればデータ容量や構造物単位のみという課題は解消できるが、コスト及び工数負荷が大きい。また、幾何形状のみを持つ CAD データでは、構造物単位の定義や地理座標の保持ができないため、広域でインフラ管理を行うデータとしては使いづらい。

これらの課題に対して、今回の実証実験で開発した 3D 点群データから 3D 都市モデルを低コストかつ効率的に生成する技術は、多くの道路管理者にとってメリットが大きいツールになり得る。

更なる実用化に向けては、「半」自動化にとどまる要因となった複雑な構造物への対応と、3D 都市モデルをインフラ管理に優位性のあるデータとして活用できるように整備・拡充していくことが必要だと考えられる。前者についてはアルゴリズムの高度化が必要である。セマンティックセグメンテーションでは研究開発を進めることによって自動分類の精度向上や分類可能な構造物を追加し、サーフェスモデル自動作成機能ではデータの欠落箇所を隣接するデータ等から補完する技術を確立することで 3D 点群データを軽量化しても高精細なモデル作成を可能とすることで、より全自動に近い状態で 3D 都市モデルを生成することが可能になる。

また、後者のインフラ管理業務に沿うという観点では、道路管理者へのヒアリング結果として、3D 都市モデルを活用した点検支援シミュレーションアプリが 2D の図面やテキストをベースとした手法及び、徐々に使用が拡大している CAD や点群データを用いた点検・管理ツールに比べ優位である点を確認できた。2D 図面やテキストの視認性の低さ、管理の難しさはもとより、3D データを活用するツールであっても、CAD では対象の構造物の位置情報を紐づけられないことや、点群データでは位置情報はあるがデータ容量が膨大になってしまい、対象の高速道路全体を包括的に管理することが出来ないという問題がある。この点について 3D 都市モデルは地理座標及び、施設管理番号などの属性情報を持たせつつ、データが軽量であることから広範囲のデータをアプリケーション上で扱うことが可能である。そのため、高速道路の構造及び周辺施設との位置関係の視認性が向上した点や、過年度の点検結果を同一のインタフェース上で参照・確認できることに加え、対象となるインフラ設備全体のリスク分析や点検計画の作成が可能となるといった管理の効率化・高度化を目指すことが出来る。

将来的には、施工者が取得した 3D 点群データを用いて全自動的に 3D 都市モデルの生成を可能にすることに加え、管理・保全業務のアプリケーションと組み合わせることで、InfraBIM (CIM) と互換性と持ちつつ、低コストかつ効率的な道路インフラ管理業務の実現を目指す。

7. 用語集

A) アルファベット順

表 7-1 用語集(アルファベット順)

No.	用語	説明
1	3DTiles	建築物等、様々なオブジェクトを広い範囲にわたって表示することのできるデータフォーマット。3D モデル、3D 点群データ、CAD データ等、多岐にわたるコンテンツを軽量かつ最適化し扱うことが可能
2	3D 点群データ	実空間の物体を 3 次元の点によって表現したデジタルデータ。各点には 3 次元座標等の Class 情報を持つことが可能
3	3D 都市モデル	都市空間に存在する建物等のオブジェクトに名称や用途、建設年といった都市活動情報を付与することで、都市空間そのものを再現した 3D 都市空間プラットフォーム
4	BIM	Building Information Modeling の略。建築物を 3D データでモデル化し、材質、コスト等といった属性情報を付与し建設工事等に活用する
5	CityGML	City Generalized Markup Language の略。3D 都市モデルを定義するための統一データフォーマット
6	DWG	CAD ソフト「AutoCAD」で作成する図面ファイルのデータフォーマットの一つ。2D/3D 共に表現可能
7	GDB	GIS データを格納するための ArcGIS Pro の標準データフォーマット。複数種類の GIS データ（点、線、面）を格納可能
8	GIS	地理情報システム（Geographic Information System）。位置に関する情報を持つデータを管理・加工、表示、分析することが可能な技術
9	IFC	Industry Foundation Classes の略。BIM モデルを保存するためのデータフォーマットの一つ
10	InfraBIM (CIM)	Infra Building Information Modeling の略。又は、CIM (Construction Information Modeling)。ダムや道路等の比較的大規模なインフラを 3D データでモデル化し、材質、コスト等といった属性情報を付与し土木工事等に活用する
11	JGD2011	日本測地系（Japanese Geodetic Datum 011）。日本が定める緯度経度原点、高さ等の基準
12	KML	Google Earth によって広められた地理データ（座標、地名等）を格納することのできるデータフォーマットのの一つ
13	LAS	3D 点群データのデータフォーマットのの一つ。3 次元座標や色情報等の属性を持つことが可能
14	MMS	Mobile Mapping System の略。自動車にレーザスキャナ等の機器を搭載し走行することで道路等の 3 次元デジタルデータを取得する移動体計測システム

15	OBJ	3D モデルのデータフォーマットの一つ。頂点、面、曲線や曲面の情報を持つ
16	PLY	3D 点群データや 3D モデルを表現するデータフォーマット。モデルを構成する平面情報のほか、色、透過性、座標等の情報を持つ
17	SHP	GIS データフォーマットのの一つ。地物の位置、形状等の属性情報を持つ点、または線、または面データを格納可能
18	WGS1984	世界測地系 (World Geodetic System 1984)。世界で共通に利用できる位置の基準 (緯度経度原点、高さなど)

B) 五十音順

表 7-2 用語集(五十音順)

No.	用語	説明
1	クラス	3D 都市モデル等に付与する属性を格納するための枠組み
2	航空レーザ測量	航空機に搭載したレーザスキャナを使用し、地上の標高や地形の形状を調べる測量方法
3	サーフェス	3DCG で立体を表現する手法の一つ。幾何学的な数値計算により算出した曲面で構成される
4	ジオデータベース	Esri 社が GIS データを格納するために考案した ArcGIS の標準データフォーマット
5	ダウンサンプリング	3D 点群データの点数を減らしデータ容量を削減する手法
6	地図情報レベル	数値地形図データ※の地図表現精度。レベルごとに水平位置、標高、等高線の精度が定められている 例) 地図情報レベル 500 の場合 水平位置 : 0.25m 以内、標高 : 0.25m 以内、等高線 : 0.5m 以内 ※数値地形図データとは、地形、地物等に係る地図情報を位置、形状を表す座標データ、内容を表す属性データ等として表現したもの
7	ノイズ処理	3D 点群データの不要な点 (ノイズ) を削除する手法
8	平面直角座標系	地球を 2 次元の平面上に投影して原点とそこからの X Y 座標で表現する座標系の一つ
9	メッシュ	3DCG で立体を表現する手法の一つ。各頂点を結ぶ線を覆う多数の面で構成される
10	ラインデータ	GIS データの種類の一つ。線形状と属性により構成される
11	レイヤ	現実世界の地物や事象を GIS で管理・表現するために、主題ごとに分類したそれぞれの層

以上

都市高速道路管理の効率化
技術検証レポート

2024年3月 発行

委託者：国土交通省 都市局

受託者：朝日航洋株式会社 / ローカスブルー株式会社