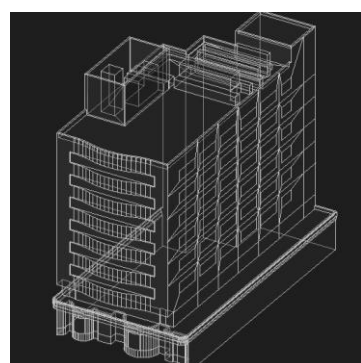
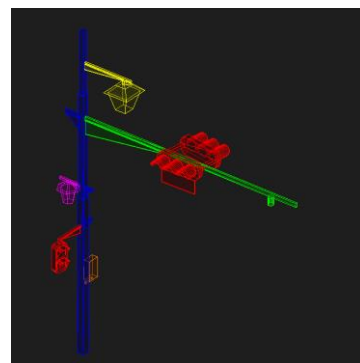
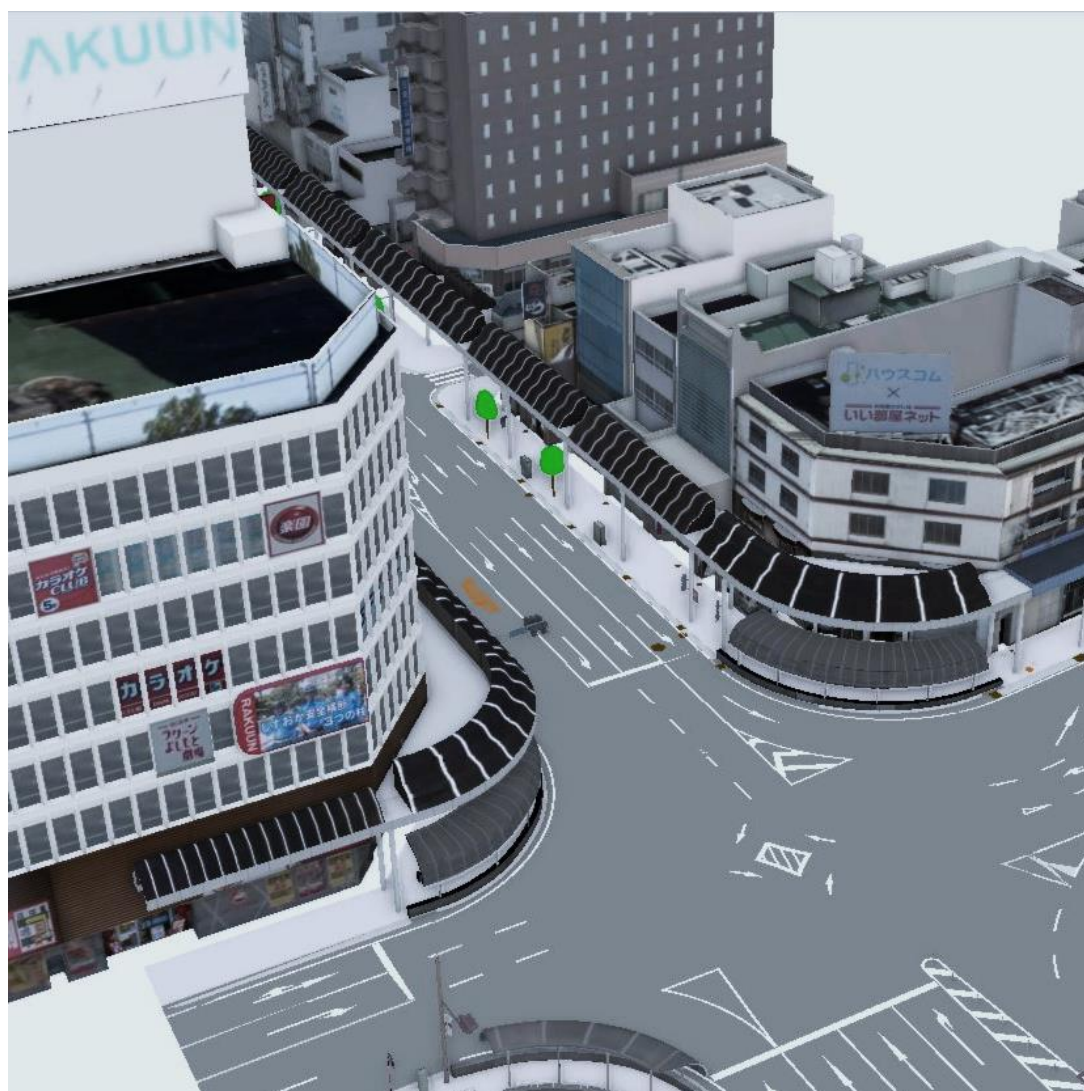


3D都市モデルLOD3 データ作成実証レポート

Technical Report for Development of 3D City Models in LOD3



はじめに

- 2021 年度の Project PLATEAU（プラトー）では、国際標準規格（CityGML2.0）に基づく 3D 都市モデル LOD3 を PLATEAU 標準に取り入れるため、そのデータ作成実証を行った。LOD3 の作成については国際的知見も乏しく、本格的な整備手法の調査は世界的に見てもフロンティアの領域であるといえる。
- 本ドキュメントは、LOD3 のデータ作成実証において得られた知見をもとに、その整備手法や技術的課題等について取りまとめたものである。PLATEAU では、我が国における 3D 都市モデルの整備・活用・オープンデータ化のエコシステム構築に貢献することを目的として、その成果を公開するものである。
- 地方公共団体や民間企業等が、LOD3 の 3D 都市モデルを整備する際には、本ドキュメントとともに、「3D 都市モデル標準製品仕様書」及び「3D 都市モデル標準作業手順書」を参照して頂きたい。

目次

1 データ作成実証の概要	1
(1) データ作成実証の目的	1
(2) データ作成実証の方法	1
(3) LOD の定義	1
2 LOD3 作成実証で使用了測量成果	9
3 作成対象地物	10
4 使用了ソフトウェア	16
5 MMS 測量成果を使用了 LOD3 ジオメトリの作成手順（地図情報レベル 500）	16
5.1 建築物（既存 LOD2 から LOD3 へのアップグレード）	16
(1) 作成フロー	16
(2) 各作業工程の説明	17
(3) 単色の疑似テクスチャによる 3D 都市モデルの表現	24
5.2 道路（交通領域、交通補助領域）	27
(1) 作成フロー	28
(2) 各作業工程の説明	28
5.3 都市設備	35
(1) 作成フロー	35
(2) 各作業工程の説明	35
5.4 植生	46
(1) 作成フロー	46
(2) 各作業工程の説明	46
(3) 単独木のデータ軽量化の方法	49
6 空中写真を使用了 LOD3 ジオメトリ作成手順（地図情報レベル 2500）	55
6.1 建築物	55
(1) 作成フロー	55
(2) 各作業工程の説明	55
(3) 空中写真を用いた LOD3 の建築物の課題とその解決策	60
6.2 道路（交通領域、交通補助領域）	60
(1) 作成フロー	60
(2) 各作業工程の説明	61
(3) 空中写真を用いた LOD3 の道路の課題とその解決策	62
6.3 都市設備	63
(1) 作成フロー	63
(2) 各作業工程の説明	63
(3) 空中写真を用いた LOD3 の都市設備の課題とその解決策	63

7 LOD3 ジオメトリの符号化	66
8 主題属性の作成	68
(1) フットプリント上での主題属性作成.....	68
(2) CityGML (LOD3 ジオメトリ) と主題属性の統合	69
9 品質評価	71
(1) 完全性	71
(2) 論理一貫性	71
(3) 位置正確度	76
10 MMS 点群データ／全方位画像を用いた LOD3 作成のトータルコスト／作業能率	77
(1) トータルコスト	77
(2) LOD3 建築物	77
(3) LOD3 道路／都市設備／植生.....	78
11 LOD3 整備の標準化に向けた検討事項	79
(1) 作成手法	79
(2) 本データ作成実証で採用した地物の取得基準 (MMS 図化の場合 500 レベル)	81
(3) 標準仕様の対象とする主題属性 (道路、都市設備、植生)	83
(4) LOD3 の効率的なテクスチャ作成の考え方.....	89

1 データ作成実証の概要

(1) データ作成実証の目的

スマートシティの社会実装に向けて、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムを構築するため、あらゆる都市データの基盤となる「3D 都市モデル」を構築し、都市が抱える課題の把握やより現実に近い形で具体的・精緻に構想・シミュレーション等を展開（＝デジタルツイン）する取組みが国内外において進められている。

本データ作成実証は、国際標準規格 CityGML2.0 に基づきより詳細に都市の空間情報を 3D 都市モデルとして表現するため、2020 年度に国土交通省都市局が策定した CityGML2.0 の日本ローカライズ版標準仕様である「3D 都市モデル標準製品仕様書」において未定義の領域である LOD3 の建物 (Building)、道路 (Transportation)、都市設備 (CityFurniture)、植生 (Vegetation) の各地物型のジオメトリ作成、主題属性作成、品質評価等を実証し、その知見を取りまとめることで、これら未定義の地物型を「3D 都市モデル標準製品仕様書」に取り込むことを目的とするものである。

また、本報告書は、これらのデータ作成実証の成果とともに、その過程で蓄積された技術的課題や注意点等についても記載することで、今後の 3D 都市モデル作成業務に資する知見を広く一般に提供することを目的に作成するものである。

(2) データ作成実証の方法

本データ作成実証は、次の業務で実施した。

- 業務名：スマートシティとの連携に向けた 3D 都市モデルのデータ作成業務
- 発注者：国土交通省都市局
- 受注者：国際航業株式会社
- 履行期間：令和 3 年 3 月 3 日～令和 4 年 3 月 25 日
- LOD3 データ作成実証実施範囲：静岡県沼津市

本作成実証で作成した 3D 都市モデル（LOD3）の地物型（①建築物、②道路、③都市設備、④植生）は、表 1-1 に示すユースケース実証で使用された。

表 1-1 建物 LOD3 等を活用したユースケース開発

ユースケース	内容	実施主体
モビリティ	自動運転車両に搭載されたカメラ画像から取得した情報と、LOD3 の 3D 都市モデルとの照合による、自己位置推定技術の開発検証と自動運転システムへの活用可能性を検証 (https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/smart-planning/3-007/)。	国土交通省都市局 (株)三菱総合研究所 (株)凸版印刷

(3) LOD の定義

「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 2.0 版」の引用規格「CityGML2.0」は、地物のジオメトリ（幾何）を、その利用や可視化の目的に応じて複数の段階に抽象化する仕組み「LOD（Levels Of Detail）」を定義している。「CityGML2.0」は 5 つの LOD の段階を定義しているが、「3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版」は表 1-2 に示す 4 段階を対象としている。

表 1-2 3D 都市モデル標準製品仕様書が対象とする LOD

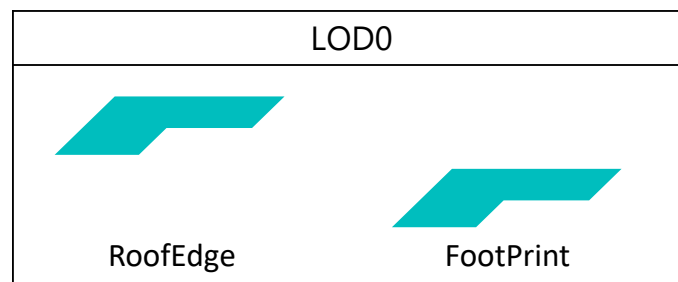
LOD	定義	モデルスケール
LOD0	都市オブジェクトの幾何を平面に投影し、3次元の数値地形モデルに重畳し3次元的に利用することを想定したモデル。	広域
LOD1	都市オブジェクトの幾何に一律の高さを与えた簡易な立体（箱モデル）で表現するモデル。	都市
LOD2	都市オブジェクトの幾何を、意味を持つ境界面に区分した立体（屋根モデル）で表現するモデル。	都市の中の地区、事業エリア
LOD3	都市オブジェクトの幾何を LOD2 よりも詳細に表現する個々の建築物や構造物のためのモデル。	建築モデル

出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版

「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 2.0 版」は、日本全国で均質な 3D 都市モデルの整備を進めるため、表 1-2 に示した LOD の細分化を行っている。本作成実証の対象地物である①建築物、②道路、③都市設備、④植生の LOD3 の詳細を次に示す。

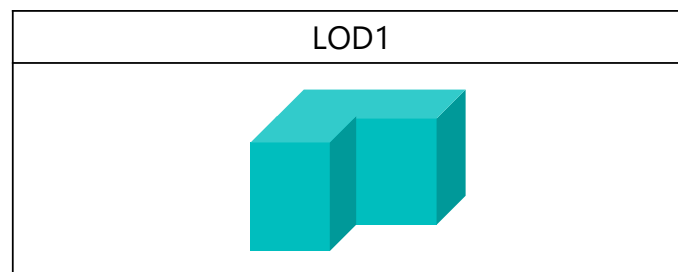
1) 建築物の LOD

建築物の LOD は、「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 2 版」において、LOD0 から LOD2 については図 1-1 から図 1-3 のとおり定義されている。このうち、LOD3 については、出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版図 1-4 に示す細分化が行われている。



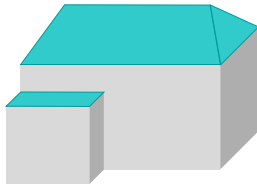
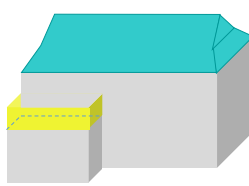
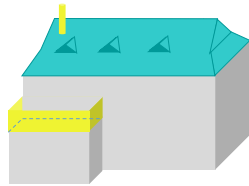
出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版

図 1-1 建築物の LOD0



出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版

図 1-2 建築物の LOD1

	LOD2.0	LOD2.1	LOD2.2
			
屋根	「一辺 3m 以上」の 屋根面を表現	「一辺 3m 以上」または 「面積 3m ² 以上かつ一 辺 1m 以上」の屋根面を表現	「一辺 1m 以上」の屋根面 を表現
	軒の表現なし		
付属物	なし	屋根を含む建物上面に設置 された、「一辺 3m 以上」ま たは「面積 3m ² 以上かつ一 辺 1m 以上」の付属物を表 現	屋根を含む建物上面に設置 された、「一辺 1m 以上」の 付属物を表現
		バルコニー、ベランダ、サ ンルーム、庇、屋外階段、	煙突、看板、アンテナ、給 水タンク、室外機

■ 屋根面 ■ 壁面 ■ 付属物

出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版

図 1-3 建築物の LOD2

	LOD3.0	LOD3.1	LOD3.2	LOD3.3
				
屋根	「一辺 3m 以上」の屋根面を表現	「一辺 3m 以上」または「一辺 1m 以上かつ面積 3m ² 以上」の屋根面を表現	「一辺 1m 以上」または「面積 1m ² 以上」の屋根面を表現	「一辺 1m 未満」の屋根面※を表現
	「3m 以上」の軒を表現	「1m 以上」の軒を表現	「1m 以上」の軒を表現	「1m 未満」の軒※を表現
	ビルに設けられた軒	住宅に設けられた軒のうち、平均よりも大きく、外形を特徴づけるもの	住宅に設けられた軒のうち、平均よりも大きく、外形を特徴づけるもの	住宅に設けられた軒のうち、平均的なサイズのもの
付属物	「一辺 3m 以上」または「一辺 1m 以上かつ面積 3m ² 以上」の付属物を表現	「一辺 3m 以上」または「一辺 1m 以上かつ面積 3m ² 以上」の付属物を表現	「一辺 1m 以上」または「面積 1m ² 以上」の付属物を表現	「一辺 1m 未満」の付属物※を表現
	バルコニー、ベランダ、サンルーム、庇、屋外階段	バルコニー、ベランダ、サンルーム、庇、屋外階段	煙突、給水タンク、室外機、看板、アンテナ	
開口部	「一辺 1m 以上」の扉・窓（壁面）	「一辺 1m 以上」の扉・窓（壁面）	「面積 1m ² 以上」の扉・窓（壁面・屋根）	「一辺 1m 未満」の扉・窓※（壁面・屋根）
	大きな玄関 掃き出し窓、腰高窓	大きな玄関 掃き出し窓、腰高窓	玄関、勝手口 掃き出し窓、腰高窓	はめ殺し窓、ルーバー窓、縦滑り出し窓、上げ下げ窓

 屋根面
  壁面
  付属物
  開口部

出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版

図 1-4 建築物の LOD3

2) 道路の LOD

道路の LOD は、「3D 都市モデル標準製品仕様 第 2 版」において、表 1-3 のとおり定義されている。このうち、LOD3 については、表 1-4 に示す細分化が行われている。

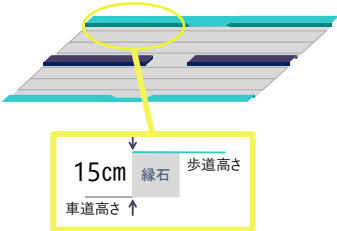
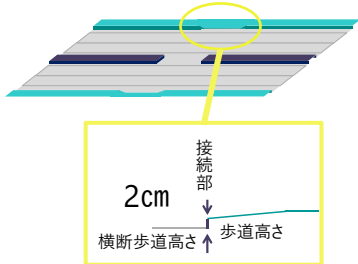
表 1-3 道路の LOD

LOD0	道路の形状を、ネットワーク（線）として表現する。この線は高さをもたない。
LOD1	道路の形状を、面として表現する。道路内を区分しない。また、面は高さをもたない。
LOD2	道路の形状を、面として表現する。道路内を車道、車道交差部、歩道及び分離帯に区別する。ただし、各面は高さをもたない。
LOD3	道路の形状を、面として表現する。道路内を車道や歩道等に区分する。また、各面は高さをもつ。LOD3 は「高さの表現」及び「道路内の区分」の組み合わせが異なる LOD3.0、LOD3.1、LOD3.2、LOD3.3 及び LOD3.4 に分かれる。

表 1-4 道路の LOD3 の定義

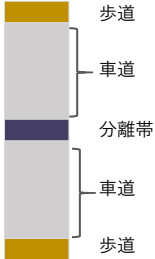
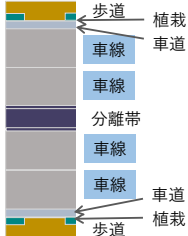
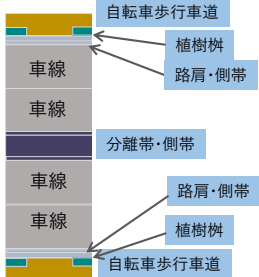
	LOD3.0	LOD3.1	LOD3.2	LOD3.3	LOD3.4
高さの表現	立体交差の上下を区分する。道路の横断方向は一律の高さをもつ（歩道、分離帯の高さは同一となる）。		車道と分離帯、車道と歩道など縁石により設けられた段差（約 15 cm）を表現する。	歩道に設けられた切り下げ部に存在する段差（約 2 cm）を表現する。	
道路内の区分	車道、車道交差部、分離帯及び歩道を区別する（車線は区分しない）。	車道のうち、車線とそれ以外を区分する。また、歩道上の植栽を区分する。			道路内をさらに細分する。細分はユースケースに応じて決定する。

また、LOD3.0 から LOD3.4 に適用する「高さの表現」及び「道路内の区分」は図 1-5 及び図 1-6 となっている。

LOD3.0 及び LOD3.1 での高さの表現	LOD3.2 での高さの表現	LOD3.3 及び LOD3.4 での高さの表現
道路の横断方向は一律の高さをもつ（車道、歩道、分離帯の高さは同一となる）。	車道と分離帯、車道と歩道など縁石により設けられた段差（約 15 cm）を表現する。	歩道に設けられた切り下げ部に存在する段差（約 2 cm）を表現する。
		

出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版

図 1-5 道路の LOD3 における「高さの表現」

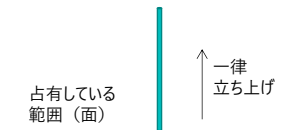
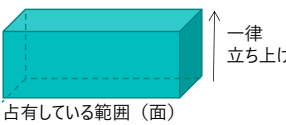
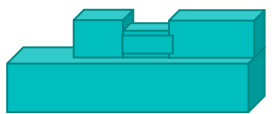
LOD3.0 での道路内の区分	LOD3.1～LOD3.3 での道路内の区分	LOD3.4 での道路内の区分
車道、車道交差部、分離帯及び歩道を区別する。	LOD3.0 の区分を細分する。車道のうち、車線を区分し、歩道のうち、植栽を区分する。	LOD3.1 の区分を細分する。細分はユースケースに応じて決定する。
		

出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版

図 1-6 道路の LOD3 における「道路内の区分」

3) 都市設備の LOD

都市設備とは、「都市の屋外に設置されている小規模な設備」のことをいう。都市設備の LOD は、「3D 都市モデル標準製品仕様 第 2 版」において、図 1-7 のとおり定義されている。

	LOD1	LOD2	LOD3
定義	占有している範囲（面）に一律の高さを与えた立体として表現することを基本とする。 ただし、路面標示、マンホールのように他の地物の面と一体的な設備は面とする。	主要な部分の外形を面の集まり又は立体として表現する。	主要な部分の外形を面の集まり又は立体として、より詳細に表現する。主要な部分同士の接続部は不要とすることを基本とする。 ただし、ユースケースで必要な場合は細部を補足してよい。
2D での表現点			
2D での表現線			
2D での表現面			

出典：3D 都市モデル標準製品仕様 第 2.0 版

図 1-7 都市設備の LOD

4) 植生の LOD

植生とは「独立した樹木のような単独の植物及び森林やその他の植物群落」のことをいう。
植生の LOD は、「3D 都市モデル標準製品仕様 第 2 版」において、図 1-8 のとおり定義されている。

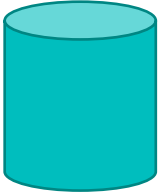
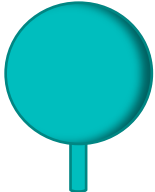
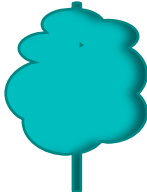
	LOD1	LOD2	LOD3
定義	占有している範囲（面）に一律の高さを与えた立体として表現する。	主要な部分の外形を面の集まり又は立体として表現する。	主要な部分の外形を面の集まり又は立体として、より詳細に表現する。
単独木の場合	樹冠を水平投影した面を樹高で立ち上げた立体。 	樹冠と樹幹をそれぞれ簡略化した立体※を組み合わせた立体。（境界面は平面に分割） ※簡略化した立体とは、楕円体、球体、円錐、角錐、角柱、円柱などの単純な立体図形とする。 	樹冠及び樹幹の外形を構成する特徴点※により作成した立体。 ※一定高さごとに樹冠の横断面を作成し、この頂点を結び外形を構成することを基本とする（樹冠内部の主枝等の表現は行わない。）が、ユースケースの必要に応じて詳細化してよい。 
植被の場合	植被の範囲を水平投影した面を植被の高さの中央値で立ち上げた立体。 	植被の範囲内で比高 3m 以上の場合にこれを区分した面の集まりまたはその面を境界とする立体。 	植被の範囲内で比高 1m 以上の場合にこれを区分した面の集まりまたはその面を境界とする立体。 

図 1-8 植生の LOD

2 LOD3 作成実証で使用した測量成果

沼津市 LOD3 作成実証で使用した測量成果を表 2-1 に示す。

表 2-1 LOD3 作成実証で使用した測量成果

測量成果	静岡県 MMS 測量成果 (点群データ/全方位画像)	国際航業 MMS 測量成果 (点群データ/全方位画像)	沼津市 空中写真	沼津市 空中写真
整備対象	撮影年度：令和元年 点密度：400 点/m ² 写真解像度：5cm 作業機関：朝日航洋	撮影年度：令和 3 年 点密度：1600 点/m ² 写真解像度：5cm 作業機関：国際航業	撮影年度：令和 2 年 LAP 率：60%*60% 解像度：12cm 作業機関：国際航業	撮影年度：平成 29 年 LAP 率：60%*60% 解像度：12cm 作業機関：国際航業
建築物	・ 地図情報レベル 500 ・ 点群データ照射範囲の 道路に面する壁面部の LOD3 作成に使用	・ 地図情報レベル 500 ・ 静岡県 MMS 測量成果 の範囲外での LOD3 作 成に使用	・ 地図情報レベル 2500 ・ MMS 点群データ照射 範囲外の屋根面等の LOD3 作成に使用	・ 地図情報レベル 2500 ・ 2020 年度の LOD2 作 成に使用
道路	・ 地図情報レベル 500	未使用	・ 地図情報レベル 2500	未使用
都市設備				
植生				

二種類の MMS 測量成果は、図 2-1 に示す範囲でそれぞれ 3D 都市モデル作成に使用した。

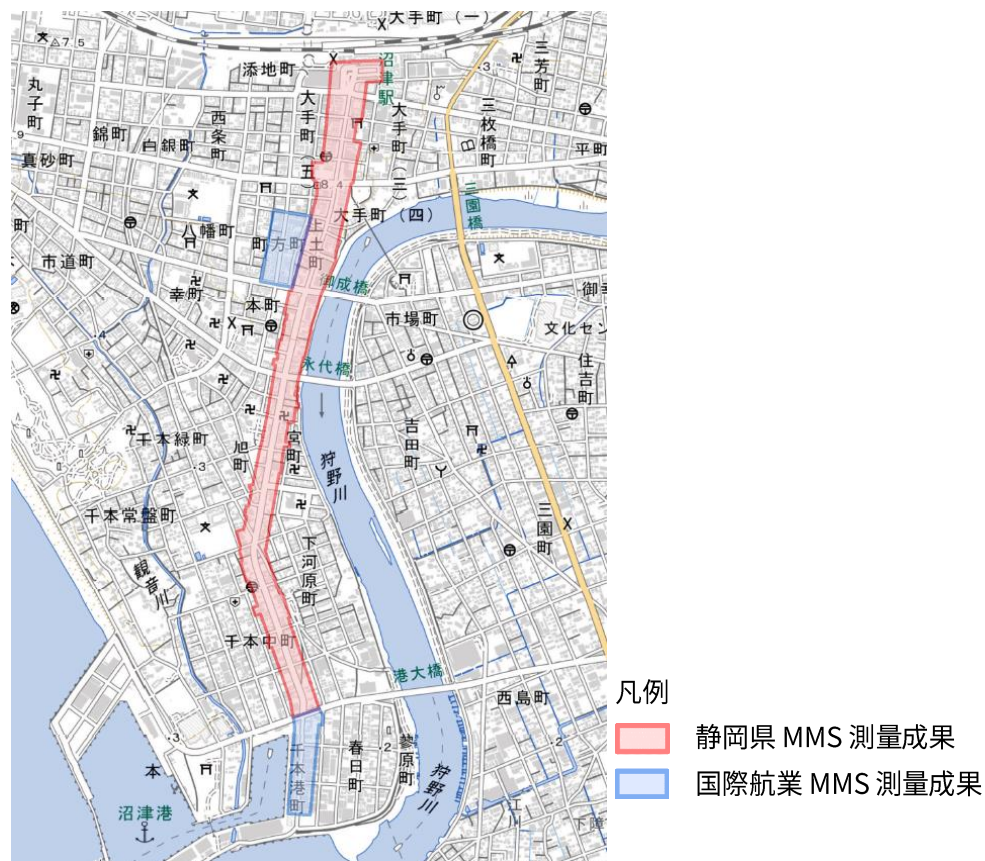


図 2-1 沼津市 3D 都市モデル作成に使用した MMS 測量成果の範囲

3 作成対象地物

沼津市データ作成実証結果に含まれる地物の一覧を表 3-1 に示す。また、表 3-2 に、作成対象とした都市設備の種類を示す。各地物の定義は、「3D 都市モデル標準製品仕様」を参照する。

表 3-1 データ作成実証対象地物

地物	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3
bldg:Building(建築物)	○	○	○	○
bldg:BuildingPart(建築物部分)				
bldg:RoofSurface(屋根)			○	○
bldg:WallSurface(外壁)			○	○
bldg:GroundSurface(接地面)			○	○
bldg:OuterCeilingSurface(外部天井)			○	○
bldg:OuterFloorSurface(外部床面)			○	○
bldg:ClosureSurface(閉鎖面)			○	○
bldg:BuildingInstallation(建築物付属物)			○	○
bldg:Window(窓)				○
bldg:Door(扉)				○
tran:Road(道路)		○		○
tran:TrafficArea(交通領域)				○
tran:AuxiliaryTrafficArea(交通補助領域)				○
frn:CityFurniture(都市設備)				○
veg:SolitaryVegetationObject(単独木)				○
veg:PlantCover(植被)				○

都市設備は、「3D 都市モデル標準製品仕様 第 2 版」が定義する都市設備の主題属性「frn:function(機能)」の分類に基づき、データ作成実証範囲に存在した表 3-2 に示す都市設備を作成した。

表 3-2 作成対象の都市設備の種類

道路標示	情報 BOX
柵・壁	停留所
道路標識	消火栓
建造物	郵便ポスト
視線誘導標	電話ボックス
道路反射鏡	自動販売機
照明施設	記念碑
道路情報管理施設	掲示板
道路情報板	ベンチ
柱	看板（自立式）
交通信号機	水飲み場

本データ作成実証で整備した LOD3 の 3D 都市モデルの外観を図 3-1 に示す。



図 3-1 LOD3 都市モデルの外観

表 3-3 に、本データ作成実証で整備した地物属性及び地物関連の一覧を示す。地物属性及び地物関連の定義は、「3D 都市モデル標準製品仕様 第 2 版」を参照する。

表 3-3 データ作成実証対象属性

地物型	地物属性・地物関連	
bldg:Building(建築物)	gml:name(名称)	
	bldg:class(分類)	
	bldg:usage(用途)	
	bldg:measuredHeight(計測高さ)	
	bldg:bldg:lod0RoofEdge(lod0 屋根外形)	
	bldg:lod1Solid(lod1 立体)	
	bldg:lod2Solid(lod2 立体)	
	bldg:lod3Solid(lod3 立体)	
	bldg:boundedBy(境界)	
	uro:buildingDetailAttribute(建物利用現況)	
		uro:buildingID(建物 ID)
		uro:prefecture(都道府県)
		uro:city(市区町村)
		uro:orgUsage2(建物利用現況 (小分類))
		uro:surveyYear(調査年)
	uro:BuildingRiverFloodingRiskAttribute(建築物洪水浸水リスク属性)	
		uro:description(説明)
		uro:rank(浸水ランク)
		uro:depth(浸水深)
		uro:adminType(指定機関区分)
		uro:scale(浸水規模)
		uro:duration(継続時間)
	uro:BuildingLandSlideRiskAttribute(建築物土砂災害リスク属性)	
		uro:description(説明)
		uro:areaType(区域区分)
	uro:BuildingTsunamiRiskAttribute(建築物津波浸水リスク属性)	
		uro:description(説明)
		uro:rank(浸水ランク)
		uro:rankOrg(浸水ランク (独自))
		uro:depth(浸水深)
	uro:BuildingDataQualityAttribute(データ品質属性)	
		uro:srcScale(地図情報レベル)
		uro:geometrySrcDesc(幾何属性作成方法)
		uro:thematicitySrcDesc(主題属性作成方法)

地物型	地物属性・地物関連	
		uro:appearanceSrcDesc(テクスチャ作成方法)
		uro:lodType(詳細 LOD)
		uro:lod1HeightType(LOD1 の立ち上げに使用する建築物の高さ)
bldg:RoofSurface(屋根)		
	bldg:lod2MultiSurface	
	bldg:lod3MultiSurface	
bldg:WallSurface(壁面)		
	bldg:lod2MultiSurface	
	bldg:lod3MultiSurface	
	bldg:opening(開口部)	
bldg:GroundSurface(接地面)		
	bldg:lod2MultiSurface	
	bldg:lod3MultiSurface	
bldg:OuterCeilingSurface(外部天井面)		
	bldg:lod2MultiSurface	
	bldg:lod3MultiSurface	
bldg:OuterFloorSurface(外部床面)		
	bldg:lod2MultiSurface	
	bldg:lod3MultiSurface	
建築物付属物		
	bldg:lod3Geometry	
bldg:Window(窓)		
	bldg:lod3MultiSurface	
bldg:Door(扉)		
	bldg:lod3MultiSurface	
tran:Road(道路)		
	gml:name(名称)	
	tran:function(機能)	
	tran:usage(用途)	
	tran:trafficArea(交通領域)	
	tran:auxiliaryTrafficArea(交通補助領域)	
	tran:lod1MultiSurface	
	tran:lod3MultiSurface	
	uro:TrafficVolumeAttribute(交通量)	
		uro:weekday12hourTrafficVolume(平日 12 時間交通量)

地物型	地物属性・地物関連		
		uro:weekday24hourTrafficVolume(平日 24 時間交通量)	
		uro:largeVehicleRate(大型車混入率)	
		uro:congestionRate(混雑度)	
		uro:averageInboundTravelSpeedInCongestion(混雑時平均旅行速度（上り）)	
		uro:averageOutboundTravelSpeedInCongestion(混雑時平均旅行速度（下り）)	
		uro:observationPointName(観測地点名)	
		uro:reference(位置図対照番号)	
		uro:surveyYear(調査年)	
	uro:RoadStructureAttribute(道路構造属性)		
		uro:width(幅員)	
		uro:numberOfLanes(車線数)	
	uro:RoadDataQualityAttribute(データ品質属性)		
		uro:srcScale(地図情報レベル)	
		uro:geometrySrcDesc(幾何属性作成方法)	
		uro:thematicSrcDesc(主題属性作成方法)	
		uro:appearanceSrcDesc(テクスチャ作成方法)	
		uro:lodType(詳細 LOD)	
tran:TrafficArea(交通領域)			
	tran:function(機能)		
	tran:lod3MultiSurface		
tran:AuxiliaryTrafficArea(交通補助領域)			
	tran:function(機能)		
	tran:lod3MultiSurface		
frn::CityFurniture(都市設備)			
	frn::class(分類)		
	frn:function(機能)		
	frn:lod3Geometry		
	uro:cityFurnitureDetailAttribute(都市設備詳細属性)		
		uro:facilityType(設備区分)	
		uro:description(内容)	
veg::SolitaryVegetationObject(単独木)			
	veg:class(分類)		
	veg:height(樹高)		

地物型	地物属性・地物関連	
	frn:lod3Geometry	
	uro:VegetationDataQualityAttribute(データ品質属性)	uro:srcScale(地図情報レベル)
		uro:geometrySrcDesc(幾何属性作成方法)
		uro:thematicitySrcDesc(主題属性作成方法)
		uro:appearanceSrcDesc(テクスチャ作成方法)
veg::PlantCover(植被)		
	veg:class(分類)	
	veg:height(平均樹高)	
	veg:lod3MultiSurface	
	uro:VegetationDataQualityAttribute(データ品質属性)	uro:srcScale(地図情報レベル)
		uro:geometrySrcDesc(幾何属性作成方法)
		uro:thematicitySrcDesc(主題属性作成方法)
		uro:appearanceSrcDesc(テクスチャ作成方法)

4 使用したソフトウェア

本データ作成実証で使用したソフトウェアを表 4-1 に示す。

表 4-1 データ作成実証で使用したソフトウェア

ソフトウェア名		使用場面
1	MicroStation CONNECT Edition	ジオメトリ作成、テクスチャ作成（単色テクスチャ）
2	blender(2.93.1)	テクスチャ作成
3	Krita	テクスチャ作成
4	ArcGIS Desktop	主題属性作成
5	FME	CityGML 出力
6	FZK Viewer	品質評価
7	CityDoctor2	品質評価

5 MMS 測量成果を使用した LOD3 ジオメトリの作成手順（地図情報レベル 500）

5.1 建築物（既存 LOD2 から LOD3 へのアップグレード）

(1) 作成フロー

MMS 測量成果（点群データ及び全方位画像）を使い、既存の LOD2 建築物を LOD3（主に建築物の外壁前面部が対象）へアップグレードする手順を次に示す。

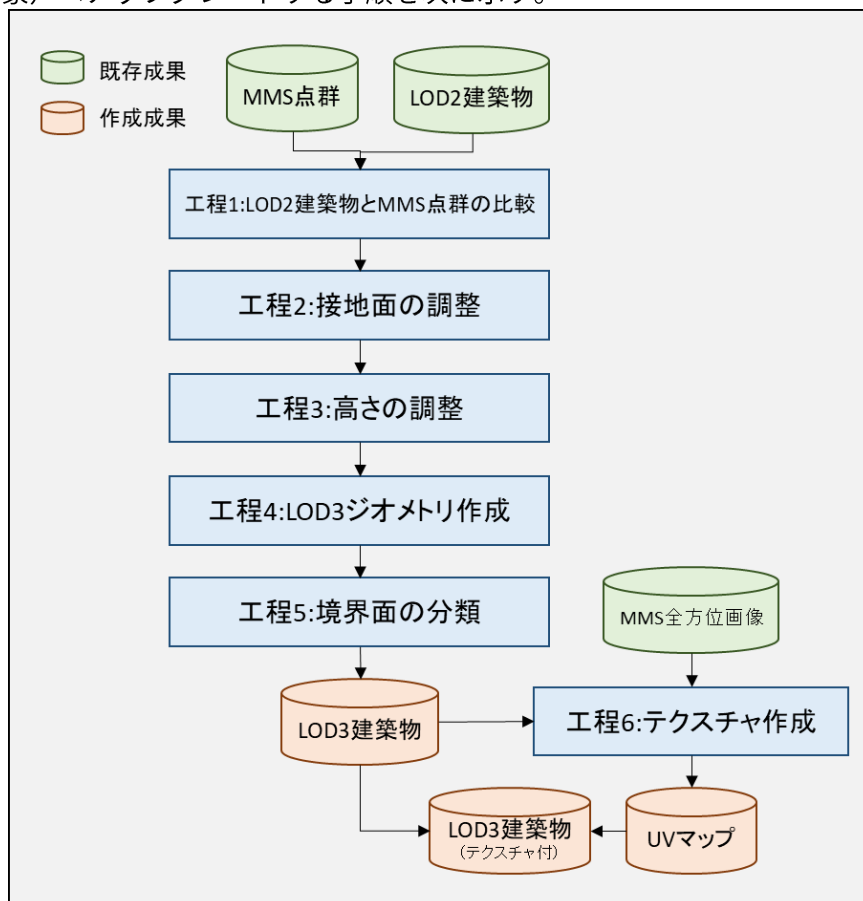


図 5-1 LOD3 建築物の作成フロー（MMS 測量成果を使用する場合）

なお、空中写真を用いた地図情報レベル 2500 建築物の作成手順は、6.1 を参照のこと。

(2) 各作業工程の説明

1) 【工程 1】 LOD2 建築物と MMS 点群の比較

MMS 点群データは、建築物前面部（道路に面する外壁部）を中心に照射されているため、建築物の側面や道路面の反対側の点群を取得することはできない。そのため、建築物全体の LOD3 ジオメトリを作成する場合には、空中写真を用いて建築物全体を作成している LOD2 のジオメトリを活用する必要がある。LOD2 建築物と MMS 点群の比較は、次の観点から行った。

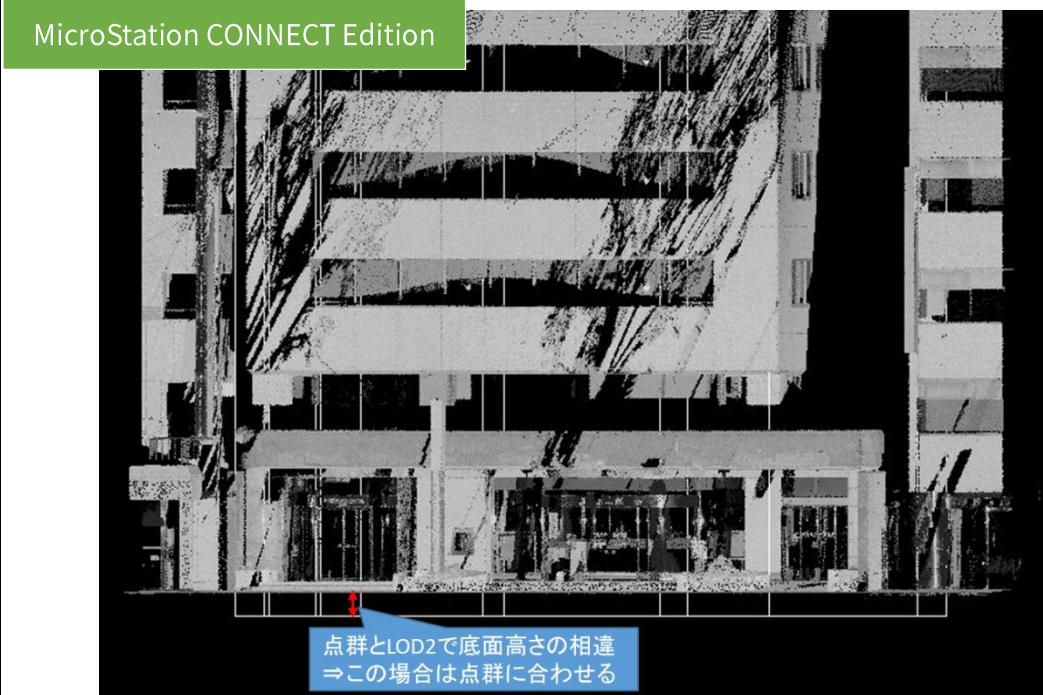
表 5-1 LOD2 建築物と MMS 点群の比較ポイント

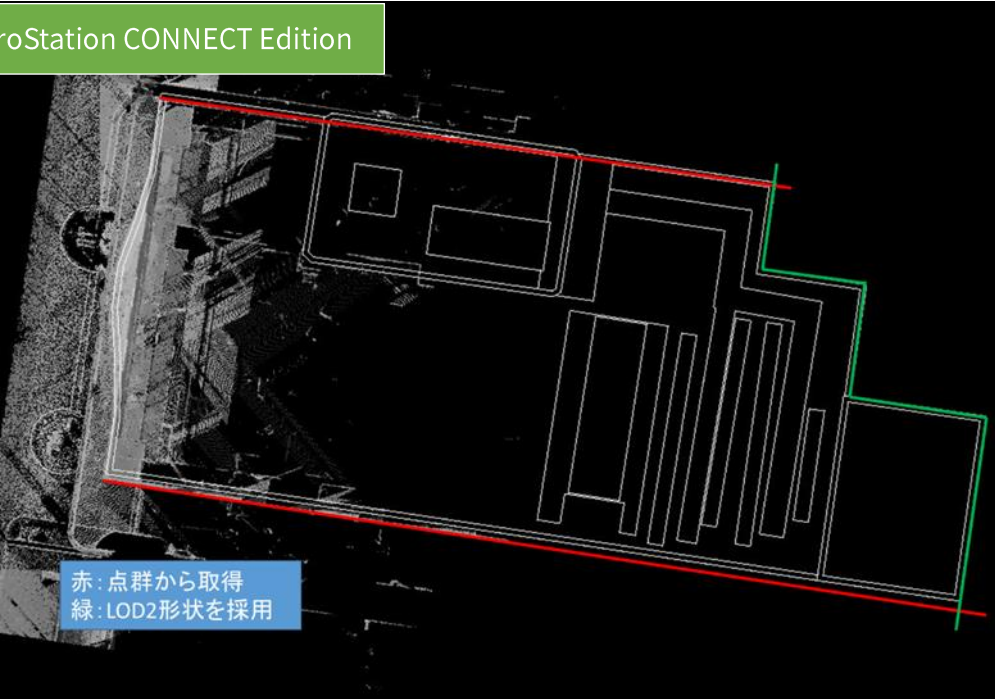
観点 1	LOD3 を作り込んでいく建築物外壁前面部への点群データの照射範囲
観点 2	LOD2 接地面（GroundSurface）と点群データの高さの違い
観点 3	接地面以外の LOD2 ジオメトリと点群データのズレの程度

2) 【工程 2】 接地面（GroundSurface）の調整

工程 2 では、LOD2 ジオメトリの接地面（GroundSurface）を MMS 点群データに合わせ調整した。

表 5-2 LOD2 ジオメトリ 接地面の調整手順

手順	説明
1	LOD2 接地面の高さは DEM（Digital Elevation Model：数値標高モデル）に合わせて作成されている。そのため、MMS 点群データの高さと一致しない場合が多い。LOD3 設置面の高さは、より位置正確度の高い測量成果である MMS 点群の高さに合わせる。  MicroStation CONNECT Edition 点群とLOD2で底面高さの相違 ⇒この場合は点群に合わせる

2	建築物前面（点群データの照射されている外壁）の幅を、点群データに合わせ作成する。MMS 点群データ上では、建築物前面部のエッジが明確に識別でき、これに基づき建築物の幅を決める。 MicroStation CONNECT Edition 
3	手順 2 で作成した建築物前面部を基準に、直角を保ち、建築物の側面部（MMS 点群データが照射されていない面）を作成する。MMS 点群データから側面部の奥行長さを特定できない場合は、LOD2 ジオメトリの側面部の奥行長さを基準とする。MMS 点群データから側面部の凹凸を識別できる場合は、点群データに基づきジオメトリを作成する。識別できる凹凸部分よりさらに奥側の側面部は LOD2 ジオメトリを参考に作成する。
4	MMS 点群データが照射されていない建築物の裏側外壁部は、LOD2 ジオメトリの形状をそのまま採用する。 MicroStation CONNECT Edition  赤：点群から取得 緑：LOD2形状を採用

3) 【工程 3】高さの調整

工程 3 では、建築物の高さを MMS 点群データに合わせ調整した。MMS 点群データ上で屋根又は屋上部のエッジが明瞭に識別できる場合にはそれに合わせる。点群データが建築物上層部まで到達していない場合には、空中写真から作成した LOD2 ジオメトリ（高さ）を基準とする。

屋根面の形状や構造物の有無などは、MMS 点群データから取得できないため、LOD2 ジオメトリを継承した。

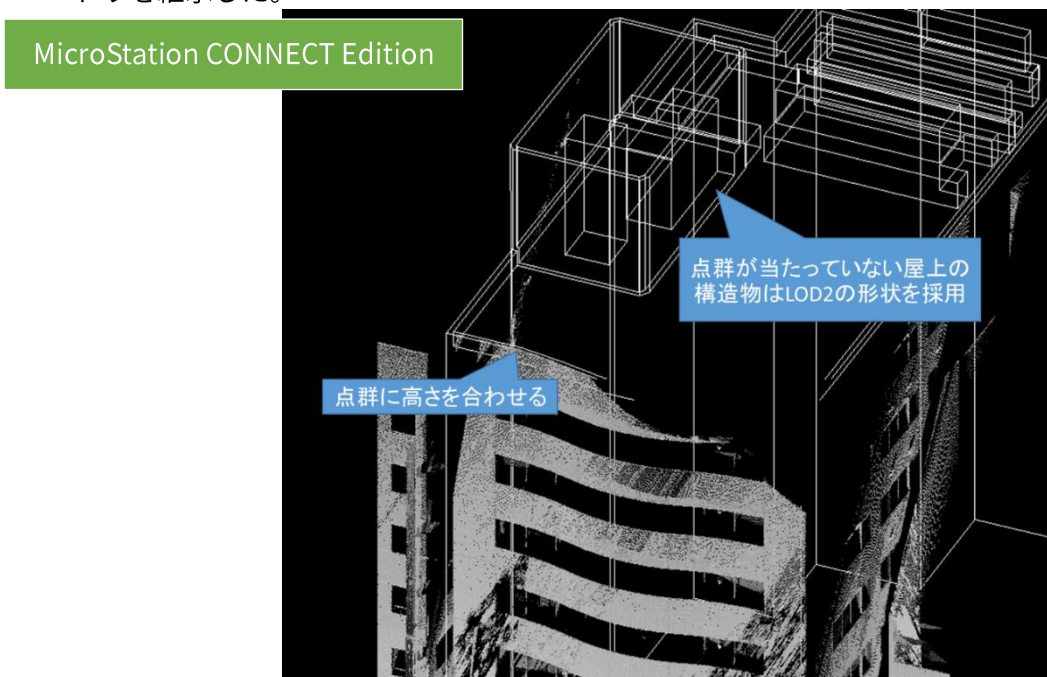


図 5-2 建築物の高さの調整

4) 【工程 4】 LOD3 ジオメトリの作成

MMS 点群データに基づき、建築物外壁前面部の LOD3 ジオメトリを作成した。

点群データを使用すると、数 cm の微細な凹凸まで識別することができるが、今回作成した 3D 都市モデル（LOD3）の位置精度が地図情報レベル 500（水平位置及び標高の標準偏差が 0.25m 以内）として設定されたことを踏まえ、25cm 以上の凹凸を基準に、LOD3 ジオメトリ（窓、ドア、外部床面、外部天井面）を作成した。

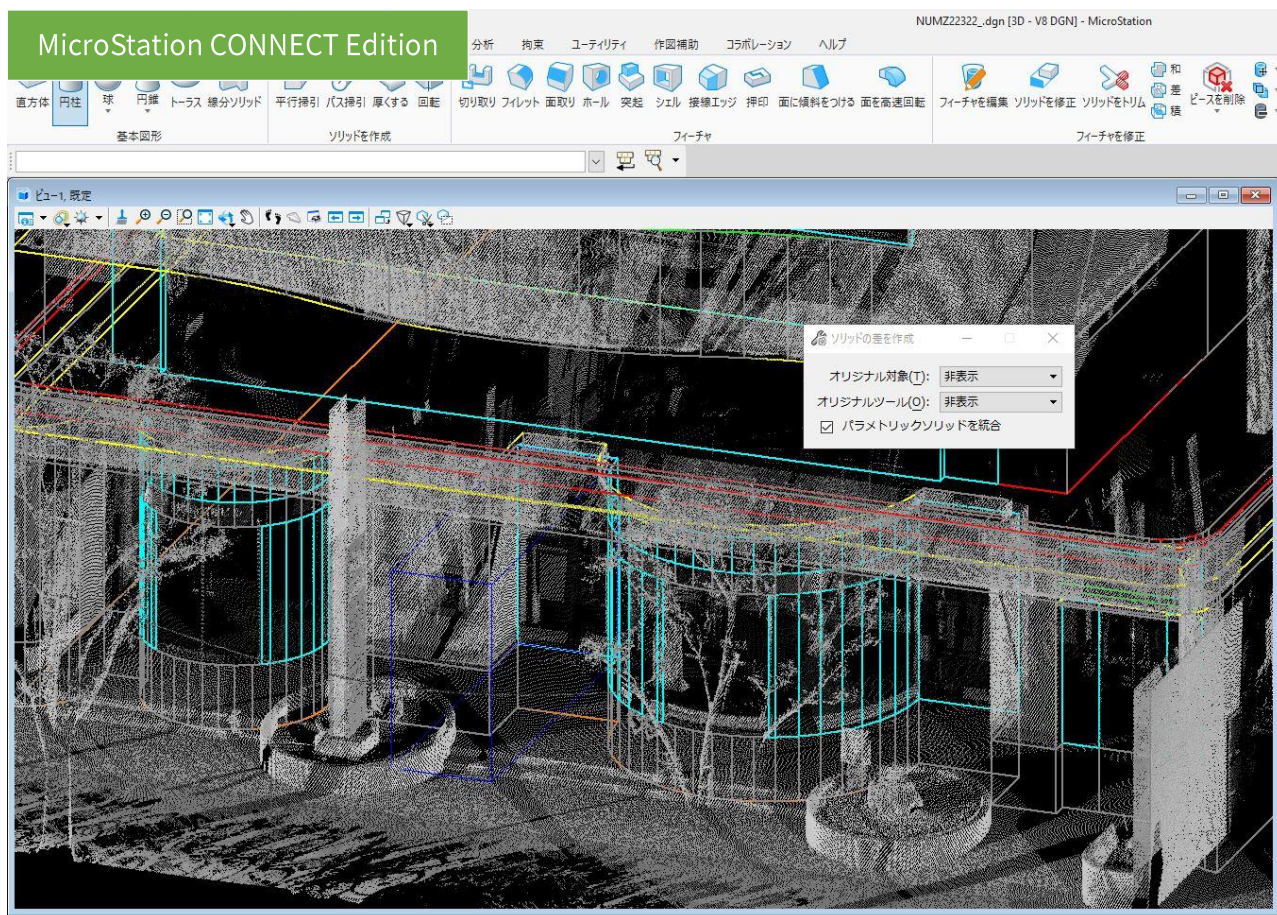


図 5-3 LOD3 ジオメトリの作成

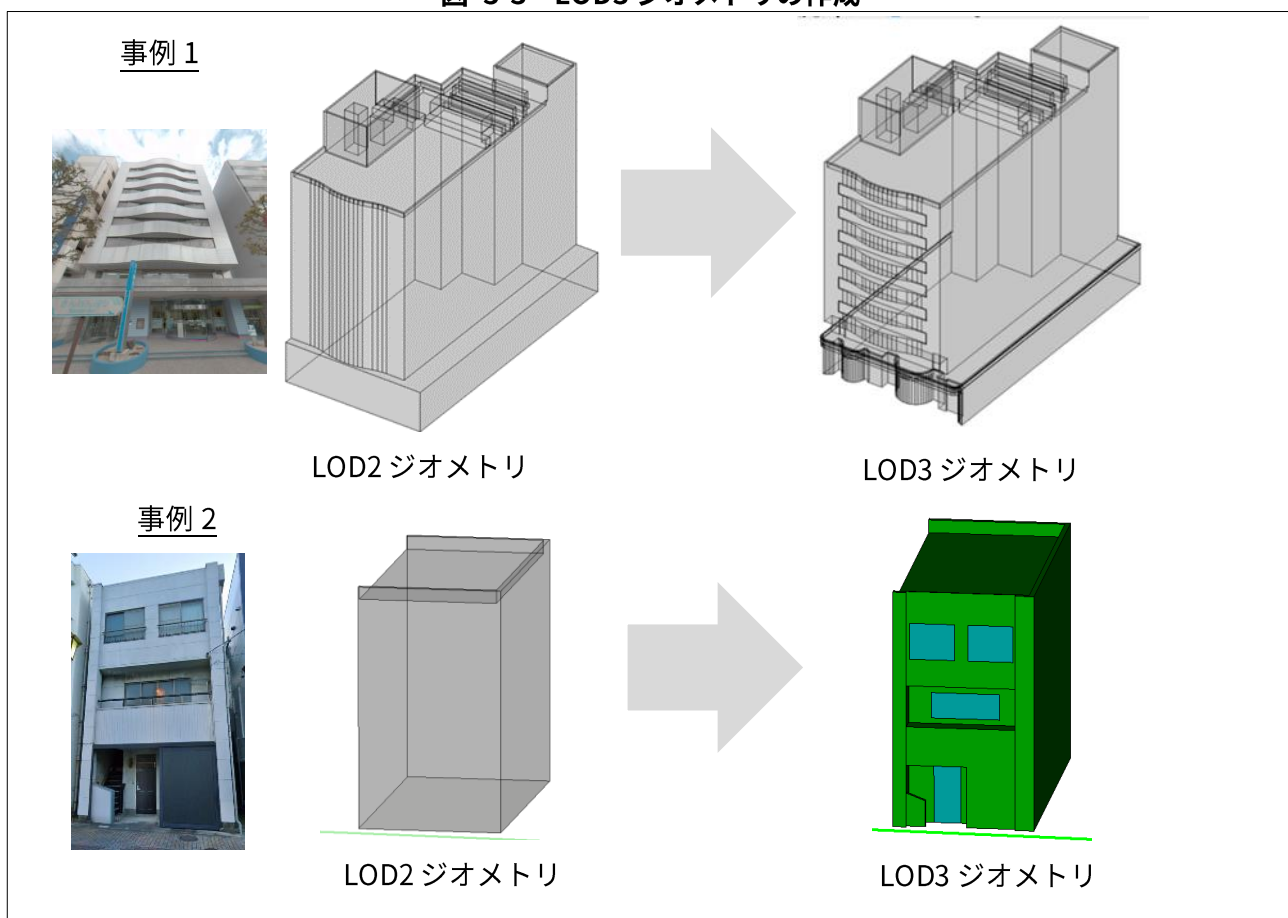


図 5-4 既存 LOD2 から LOD3 ジオメトリの作成事例

5) 【工程 5】境界面の分類

建築物の境界面を次の 8 種類に分類した。境界面の分類は、「3D 都市モデル標準製品仕様 第 2 版」を参照する。

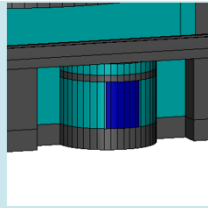
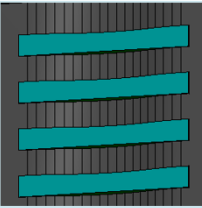
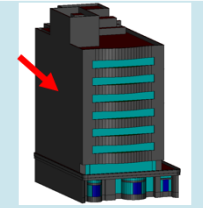
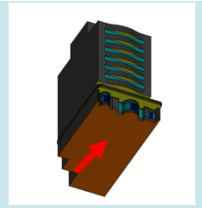
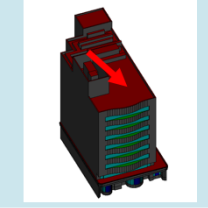
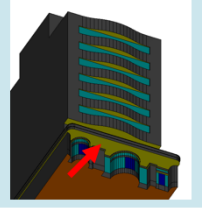
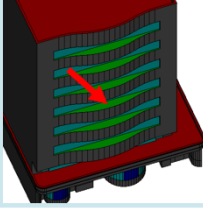
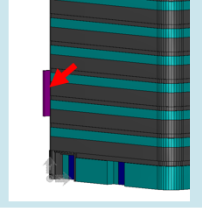
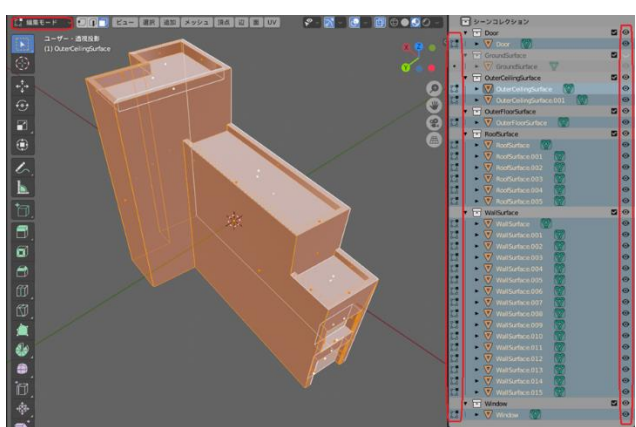
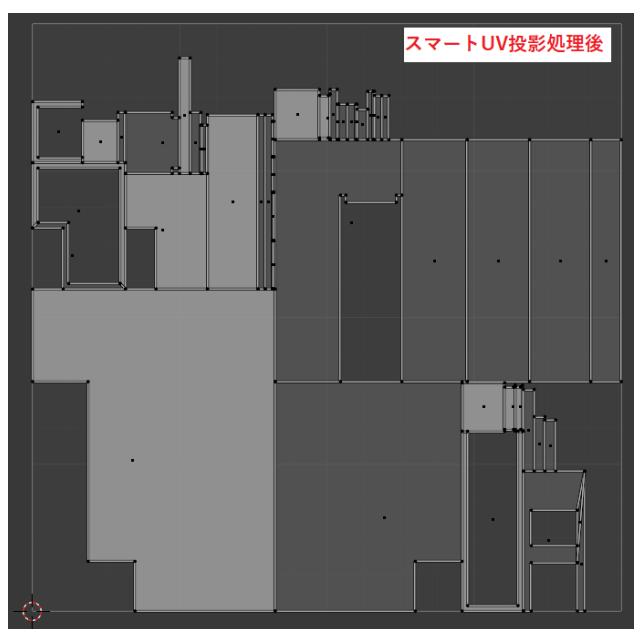
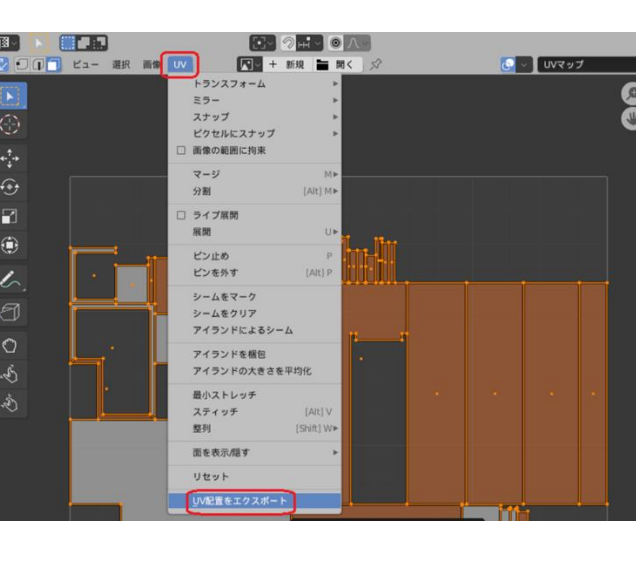
Door : ドア	Window : 窓	WallSurface : 壁	GroundSurface : 床
			
RoofSurface : 屋根	OuterCeilingSurface : 開口部の天井	OuterFloorSurface : 開口部の底面	BuildingInstallation : 看板・広告など
			

図 5-5 境界面の分類

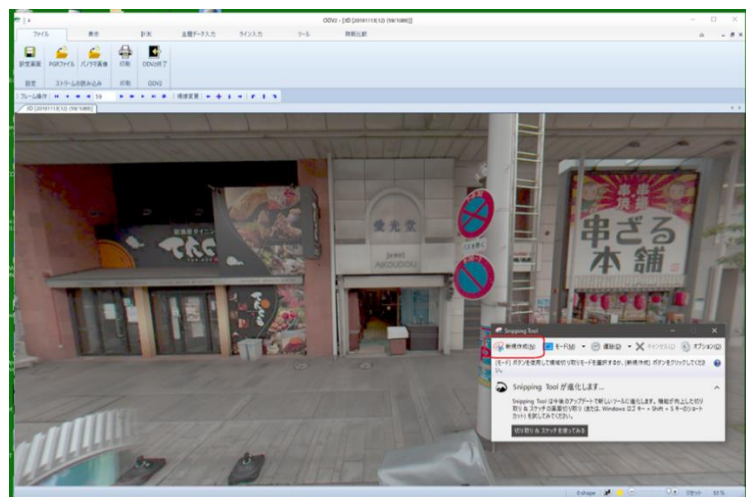
6) 【工程 6】テクスチャ作成

建築物のテクスチャ（CityGML の Apperance パッケージ）は、UV マッピングにより作成した。

表 5-3 建築物テクスチャの作成手順

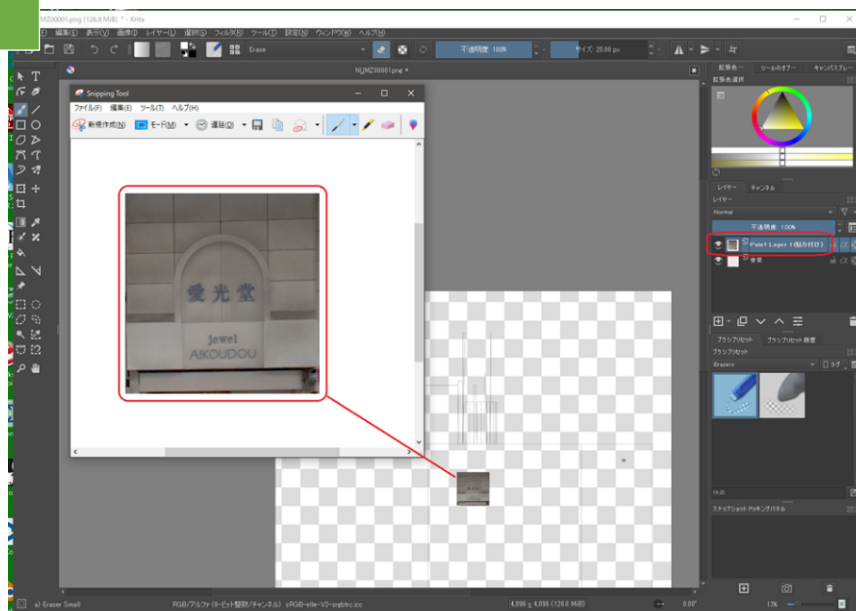
手順	説明
1	全レイヤをアクティブ化し、立方体を全選択する。 blender(2.93.1) 
2	スマート UV 投影処理を行い、UV を配置する。 blender(2.93.1) 
3	展開した UV 配置を画像で保存する。UV マップの解像度は、4096×4096 ピクセルとした。 blender(2.93.1) 

4 MMS 全方位画像ビューアで対象建築物を確認する。

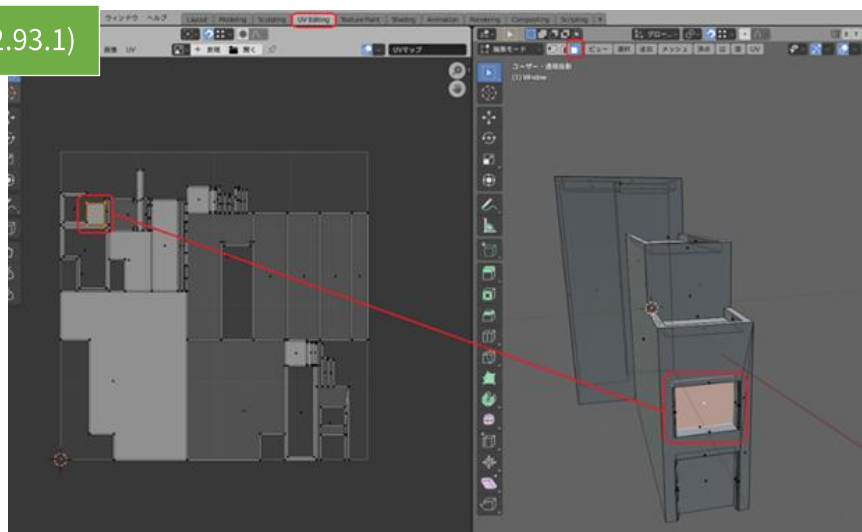


5 画像編集ソフト（Krita）で UV マップを表示し、対応する枠に全方位画像ビューワから切り取った画像データを貼り付ける。UV マップとジオメトリの対応は blender 上で確認を行う。

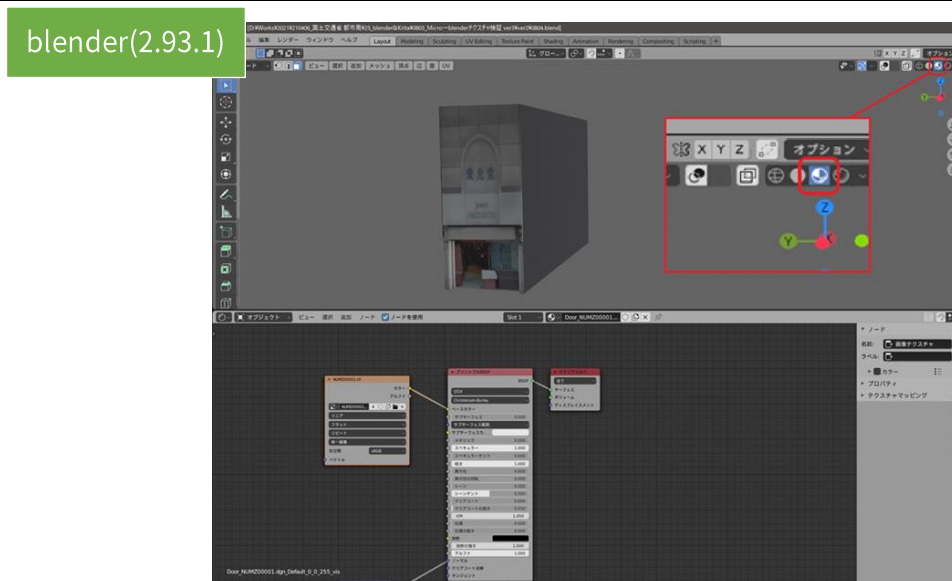
Krita



blender(2.93.1)



6 完成した UV マップを blender でインポートし、LOD3 ジオメトリに貼り付ける。

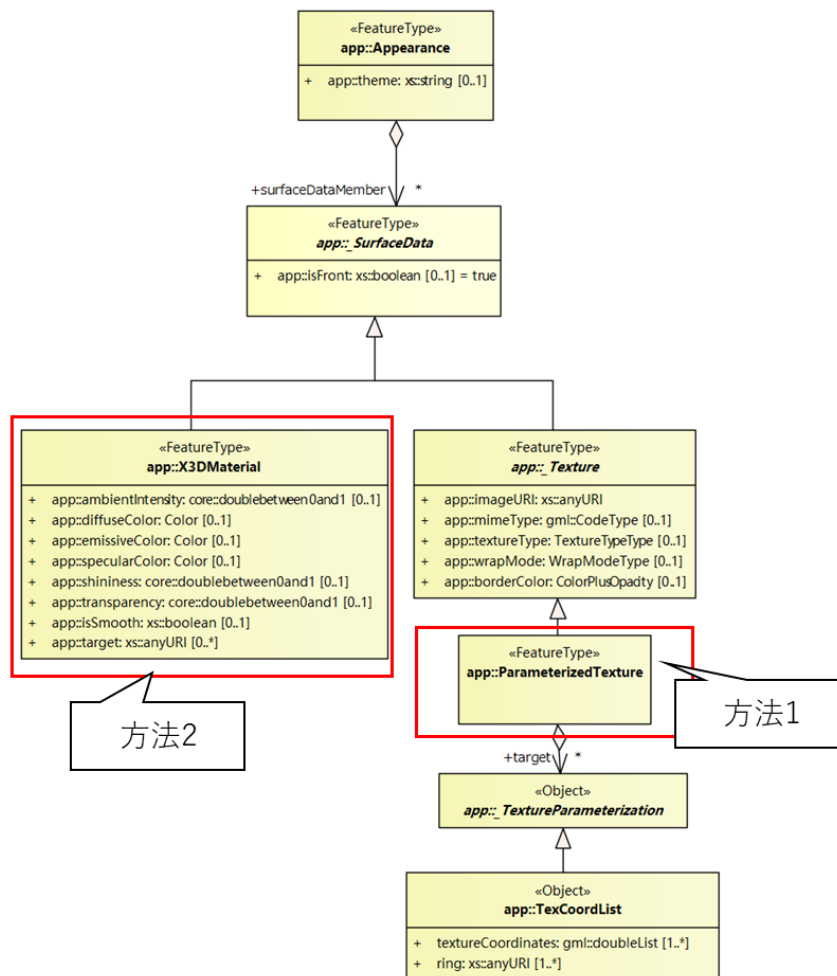


(3) 単色の疑似テクスチャによる 3D 都市モデルの表現

本データ作成実証では、モビリティのユースケース開発の実証エリアの建築物については、MMS 全方位画像及び空中写真を用いてテクスチャの作成を行った。

一方、実証エリア外側にある一部の建築物についても LOD3 の作成を行った。このエリア内の建築物に対しては、疑似テクスチャ（元データ（MMS 全方位画像）から取得した RGB 値の近似値で表したテクスチャ）を採用し、簡易的なテクスチャ作成を行った。

疑似テクスチャの作成は、CityGML2.0 に準拠し作成した。CityGML2.0 の Appearance パッケージでは二つのテクスチャの表現方法を用意している。そこで、それぞれの方法で単色の疑似テクスチャを記述する方法を検討した。



出典：「OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard」
https://portal.ogc.org/files/?artifact_id=47842

図 5-6 単色の疑似テクスチャの表現方法

表 5-4 Appearance を用いたテクスチャの表現方法とその特徴

方法		特徴
1	Appearance パッケージの ParameterizedTexture を使い、画像ファイルを参照する方法	● 単色表現だけでなく、空中写真や MMS 全方位画像の参照にも使用できる。 ● 作成手順は表 5-3 と同じである。
2	Appearance パッケージの X3DMaterial を使い、RGB 値の近似値を記録する方法	● 画像ファイルの参照が不要となるので GML のファイルサイズを小さくでき、描画速度を速くすることができる。 ● 作成手順は表 5-5 に示す。

■方法1のGMLイメージ <pre> <app:ParameterizedTexture> <app:imageURI>appearance/gray1.jpg</app:imageURI> <app:mimeType>image/jpg</app:mimeType> <app:target uri="#Poly_1"> <app:TexCoordList> <app:textureCoordinates ring="#line_1"> 0.518 0.574 0.518 0.578 0.171 0.578 0.171 0.574 0.518 0.574 </app:textureCoordinates> </app:TexCoordList> </app:target> </app:ParameterizedTexture> </pre>	テクスチャに使用する画像 ファイル名 テクスチャの貼り付ける3D都市モデルのサーフェスID UVマップ上の座標	■方法2のGMLイメージ <pre> <app:X3DMaterial> <app:diffuseColor>0 0.29411764705882354 0</app:diffuseColor> <app:target>#Poly_1</app:target> </app:X3DMaterial> </pre>	RGB値 テクスチャの貼り付ける3D都市モデルのサーフェスID
--	--	---	---

図 5-7 Appearance を用いたテクスチャの記述例

上の方法1と方法2で単色のテクスチャを作成した3D都市モデルを、FZK viewerを用いて描画速度を比較したところ、方法2の方がより軽快に描画できることを確認した。そこで、道路、植生及びユースケース開発の実証範囲外側の建築物については方法2（単色テクスチャ）を採用した。一方、都市設備については標識の柱部分など一部のテクスチャにおいて方法1（疑似テクスチャ）を採用した。

表 5-5 に単色テクスチャ、表 5-6 に疑似テクスチャの作成手順を示す。

表 5-5 単色テクスチャの作成手順

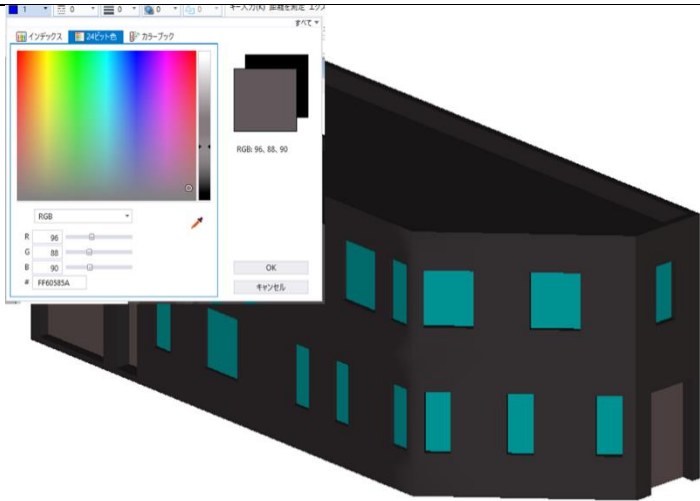
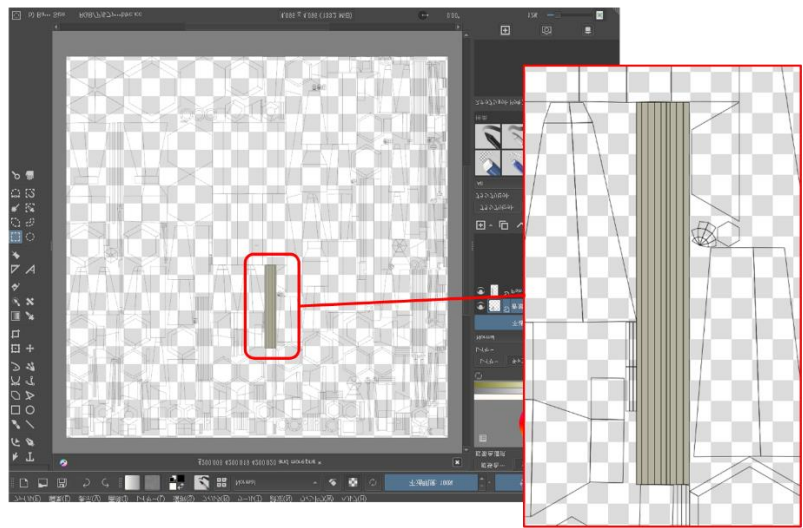
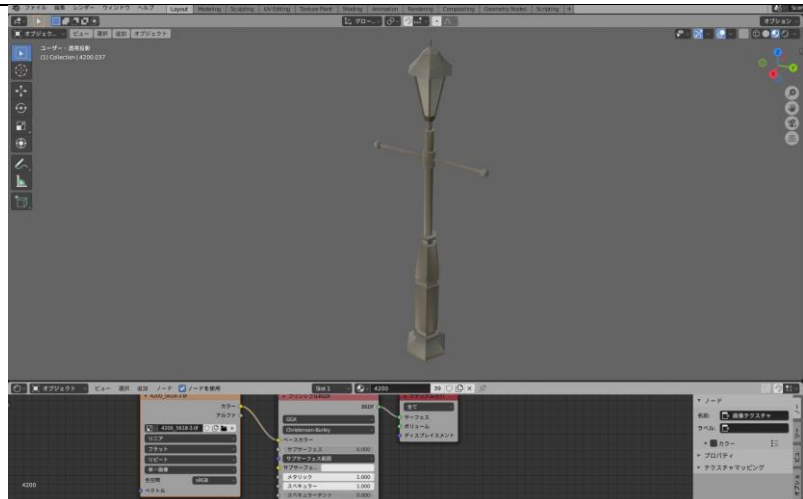
手順	説明
1	MMS 全方位画像ビューワ上で作成対象となる建築物の色（RGB 値）を確認する。 
2	CAD ソフト（MicroStation）上で面ごとに色（RGB 値）を設定する。 

表 5-6 疑似テクスチャ作成の手順

手順	説明
1	MMS 全方位画像を用いて作成対象となる地物の色（RGB 値）を確認する。
	
2	表 5-3 と同じ手順で作成対象地物の UV マップを準備し、対応する枠を手順 1 で取得した RGB 値で塗りつぶす。1つの UV マップ上に MMS 全方位画像を使用した部分と疑似テクスチャの部分が混在するため、UV マップの解像度は 4096×4096 ピクセルで統一する。
	
3	表 5-3 と同じ手順で、完成した UV マップをジオメトリに貼り付ける。
	

5.2 道路（交通領域、交通補助領域）

(1) 作成フロー

MMS 測量成果（点群データ及び全方位画像）を使い、LOD3 道路（交通領域及び交通補助領域）を作成する手順を次に示す。

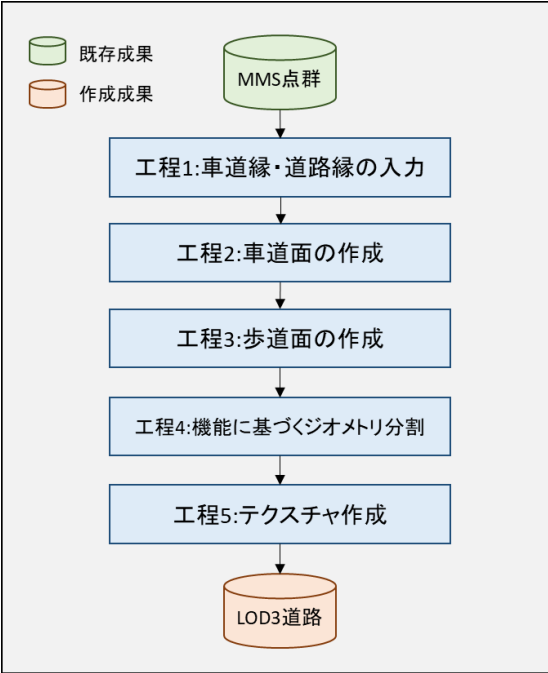


図 5-8 LOD3 道路（交通領域及び交通補助領域）の作成フロー（MMS 測量成果を使用する場合）

(2) 各作業工程の説明

1) 【工程 1】車道縁及び道路縁の作成

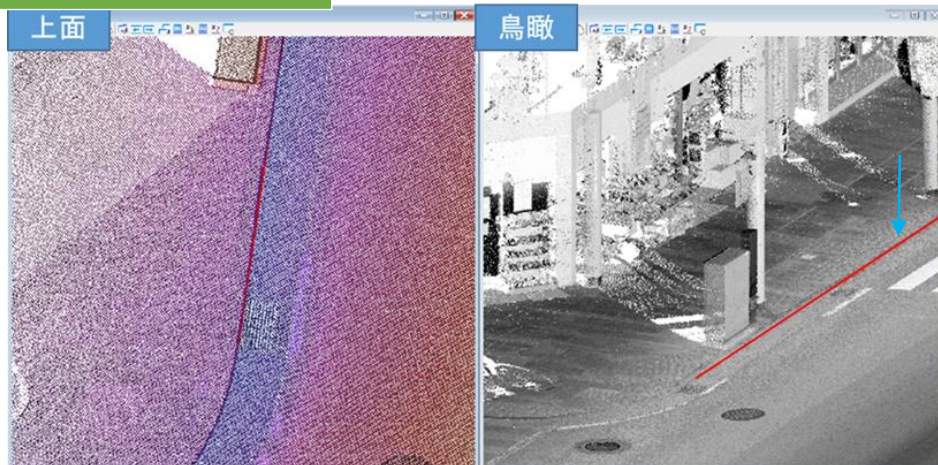
MMS 点群データを基準に、車道縁（車道部の外側線）と道路縁（歩道部の外側線）を作成し、道路の骨格部のデータを作成した。

表 5-7 車道縁及び道路縁の作成手順

手順	説明
1	MMS 点群データを真上から見た視点で、道路骨格部の水平位置 (X,Y) を図化する。高さは任意として、一定の高さを保ちジオメトリを作成する。 MicroStation CONNECT Edition 上面 鳥瞰

- 2 手順1で作成したジオメトリに対し、高さの変化点にMMS点群データから高さ情報を付与する。歩道の段差やスロープ部を表現するため、15cm以上の高さの変化を表現する。また本実証では、高さの変化がない平坦な箇所では図化の品質/作業効率の観点から便宜的に10m間隔で高さ情報を付与した。標準的な手法については今後検討を行う。

MicroStation CONNECT Edition



2) 【工程2】車道面の作成

工程1で作成した車道縁から車道面を作成した。

MicroStation CONNECT Edition

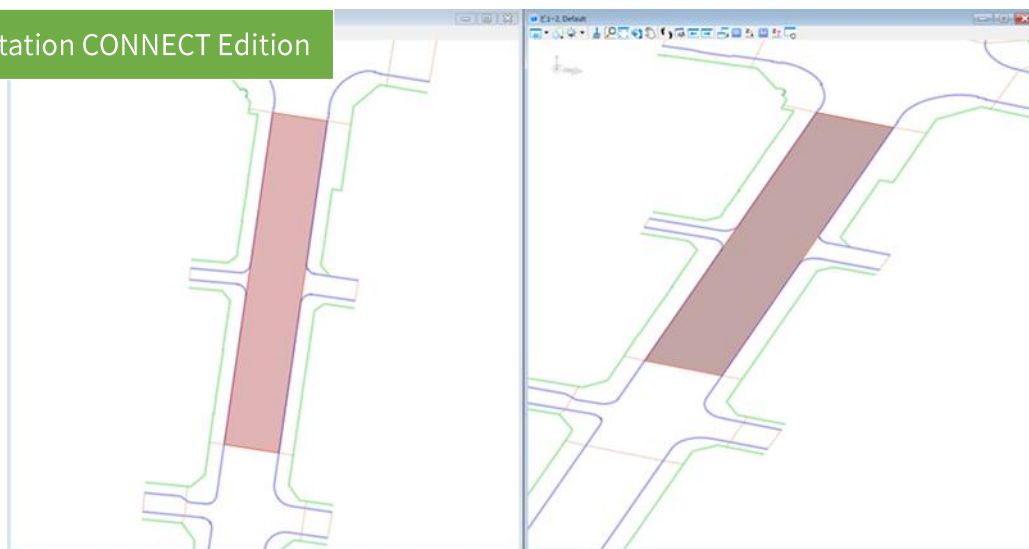
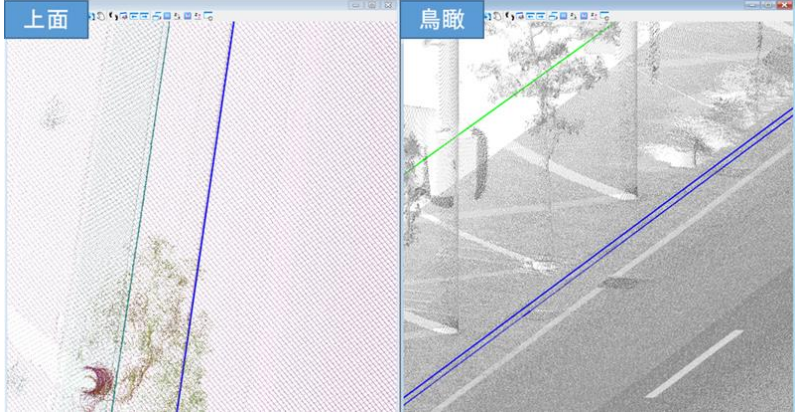
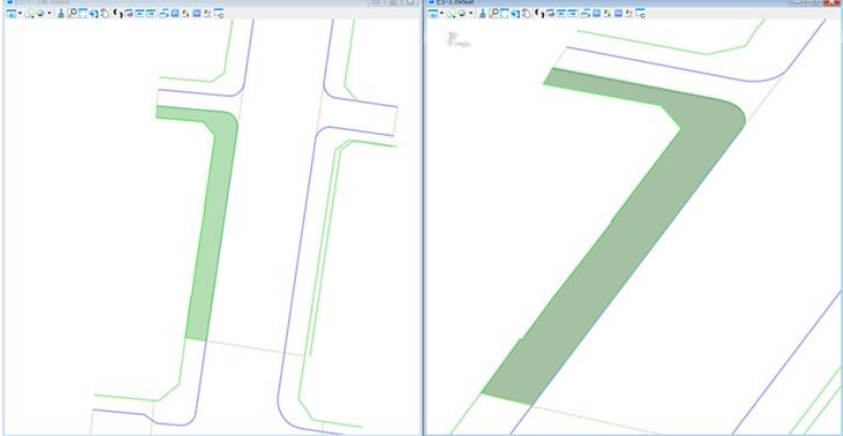
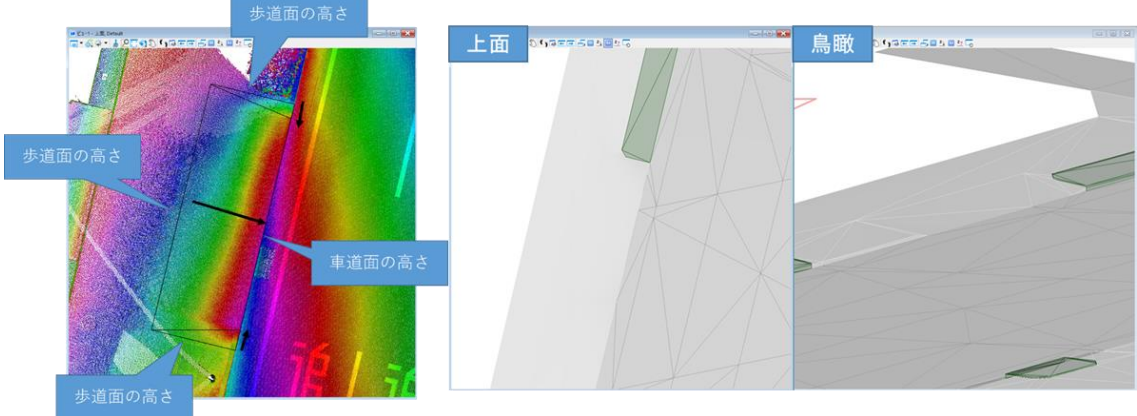


図 5-9 車道面の作成

3) 【工程3】歩道面の作成

工程1で作成した車道縁及び歩道縁から歩道面を作成した。

表 5-8 歩道面の作成手順

手順	説明
1	工程 1 で作成した車道縁（ライン）の XY 座標は変更せず、高さのみを歩道マウントアップの高さに変更したラインを複製する。 MicroStation CONNECT Edition 
2	歩道縁（ライン）と道路縁上端（歩車道境界の立ち上げ部分）から、歩道面を作成する。 
3	MMS 点群データに合わせ、歩道切り下げ部（スロープ部）を作成する。 

4) 【工程 4】機能に基づくジオメトリ分割

点群データを参照し、車道面及び歩道面を車線、車道交差部、路肩、植栽などの機能ごとに、ジオメトリを分割した。

道路の機能に基づくジオメトリの分割は、「3D 都市モデル標準製品仕様 第2版」の交通領域及び交通補助領域の主題属性「tran:function(機能)」の仕様に基づき実施した。

「tran:function(機能)」の詳細な定義については、「道路基盤地図情報（整備促進版）製品仕様書（案）」(<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0848pdf/ks084811.pdf>)」も参考とした。

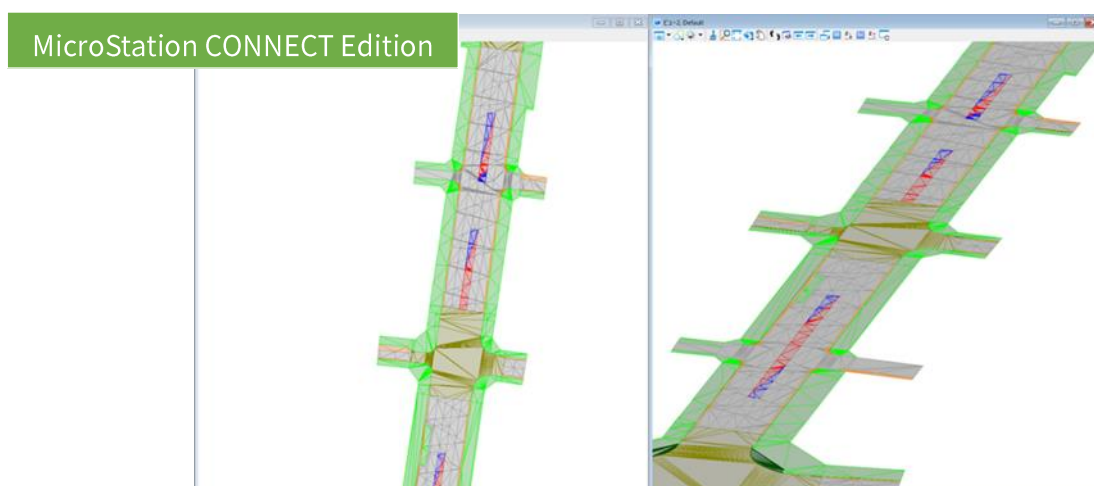


図 5-10 道路の機能に基づくジオメトリ分割のイメージ

表 5-9 交通領域の分類一覧と本データ作成実証で作成した 3D 都市モデルイメージ

大分類		小分類		イメージ
コード	説明	コード	説明	
1000	車道部	1010	車線	
		1020	車道交差部	
		1030	すりつけ区間	

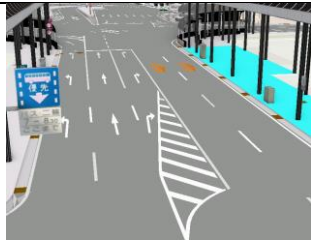
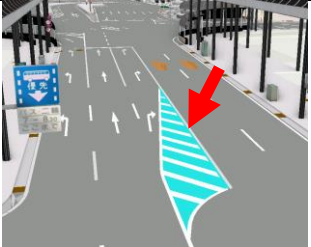
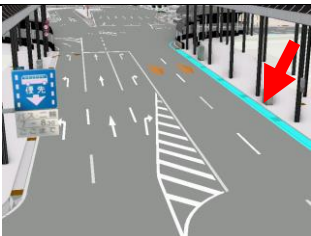
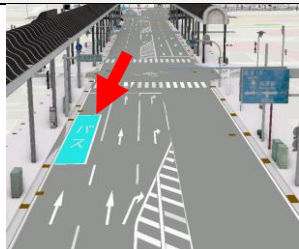
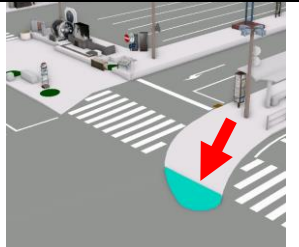
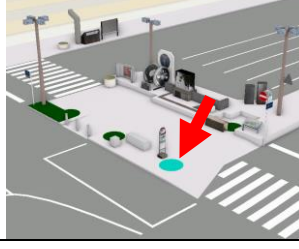
大分類		小分類		イメージ
コード	説明	コード	説明	
		1040	踏切道	(対象なし)
		1050	軌道敷	(対象なし)
		1070	待避所	(対象なし)
		1130	副道	(対象なし)
2000	歩道部			
		2010	自転車歩行者道	(対象なし)
		2020	歩道	
		2030	自転車道	
6000	自転車駐車場			(対象なし)
7000	自動車駐車場			(対象なし)

表 5-10 交通補助領域の分類一覧と本データ作成実証で作成した 3D 都市モデルイメージ

大分類		小分類		イメージ
コード	説明	コード	説明	
1000	車道部			
		1060	非常駐車帯	(対象なし)
		1080	中央帯	
		1090	側帯	
		1100	路肩	
		1110	停車帯	

大分類		小分類		イメージ
コード	説明	コード	説明	
		1120	乗合自動車停車所	
2000	歩道部の段差			
3000	島	3010	交通島	
		3020	分離帯	(対象なし)
4000	路面電車停車所			
5000	植栽	5010	植樹帯	
		5020	植樹ます	
6000	自転車駐車場			(対象なし)
7000	自動車駐車場			(対象なし)

5) 【工程 5】 テクスチャ作成

道路面のテクスチャは、単色による疑似テクスチャとした。疑似テクスチャの作成方法は 5.1(3)を参照のこと。表 5-9 及び表 5-10 に示した道路の単色のテクスチャは、MicroStation CONNECT Edition で設定した。

5.3 都市設備

(1) 作成フロー

MMS 測量成果（点群データ及び全方位画像）を使い、LOD3 都市設備を作成する手順を次に示す。

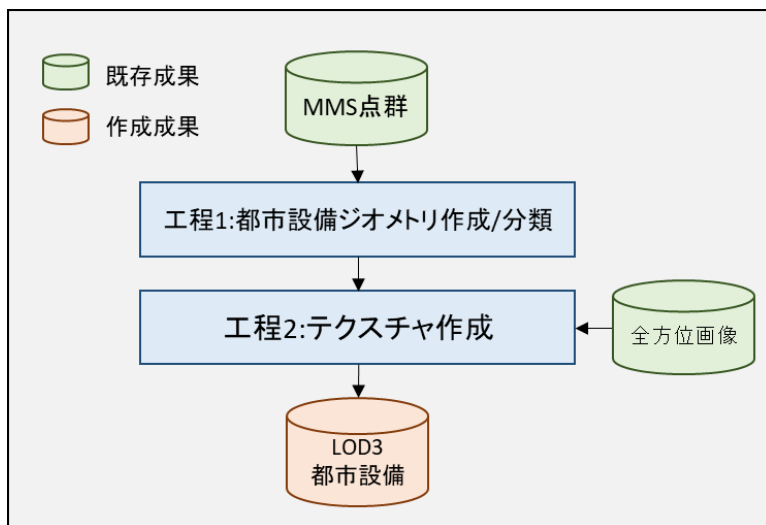


図 5-9 LOD3 都市設備の作成フロー（MMS 測量成果を使用する場合）

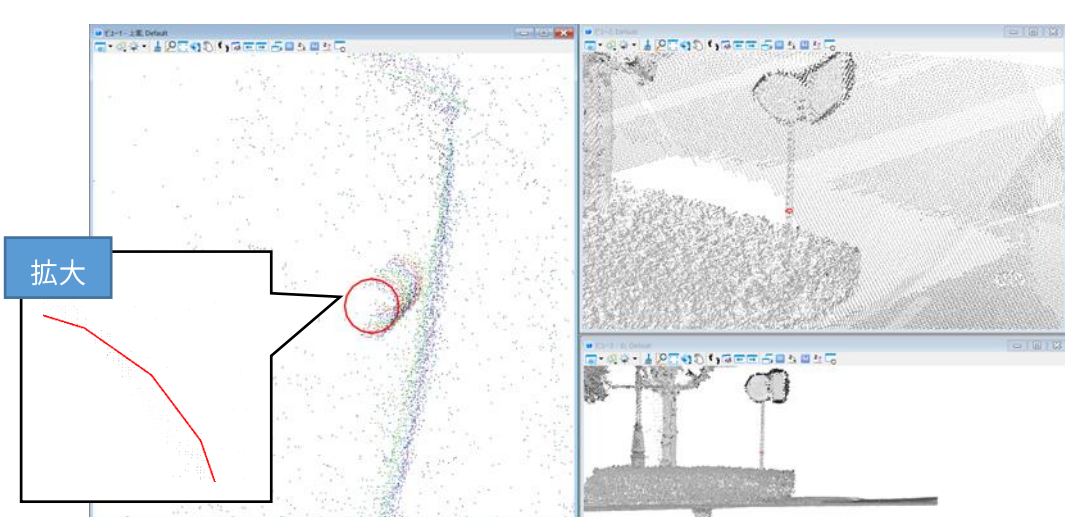
(2) 各作業工程の説明

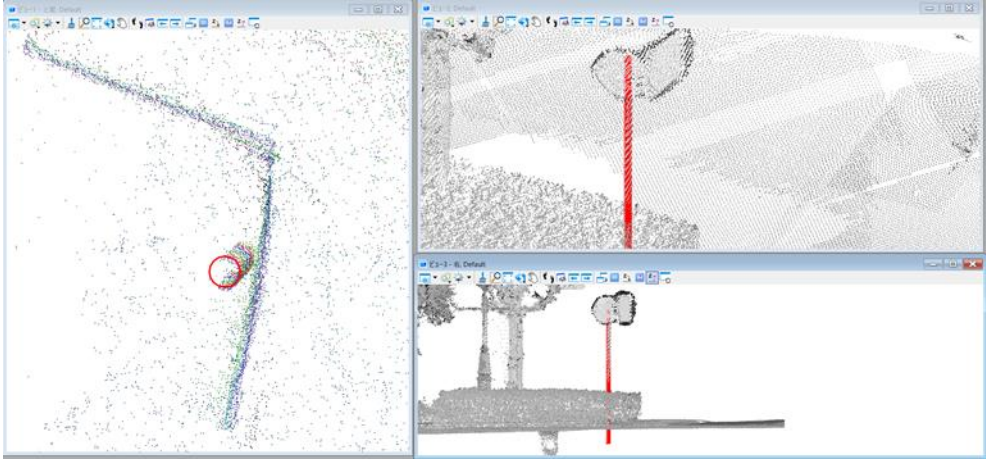
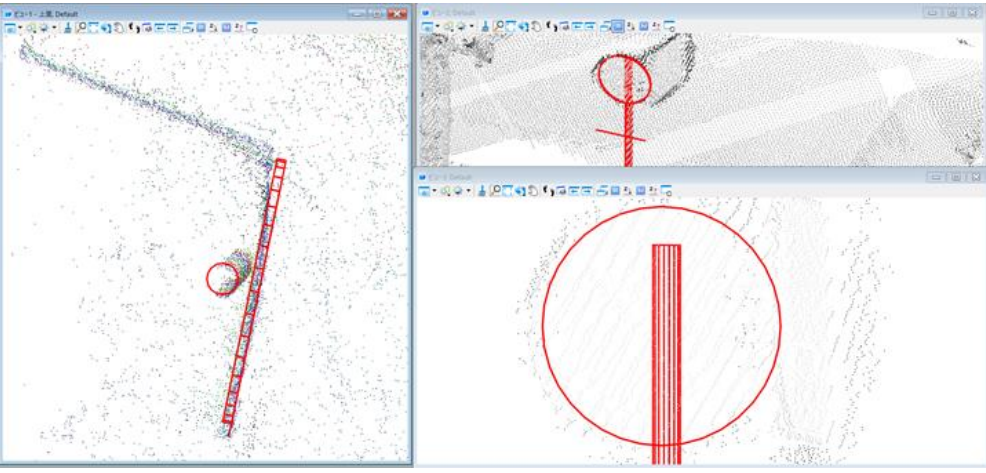
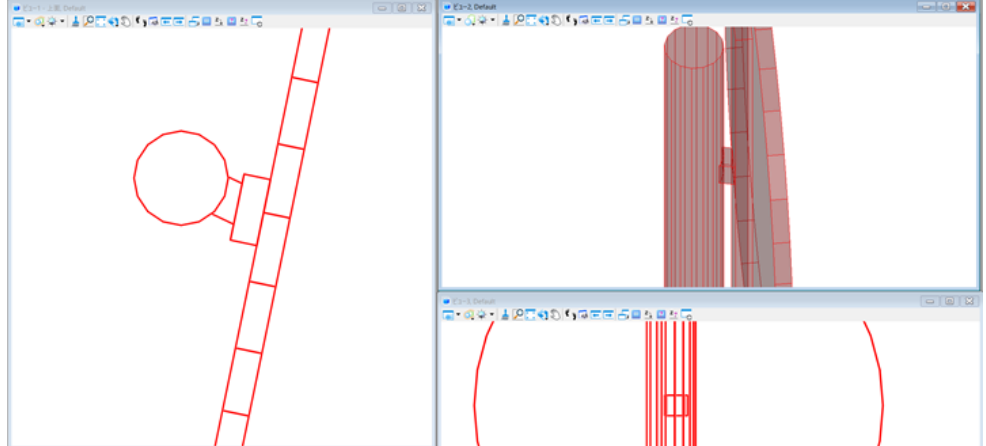
1) 【工程 1】都市設備ジオメトリの作成と分類

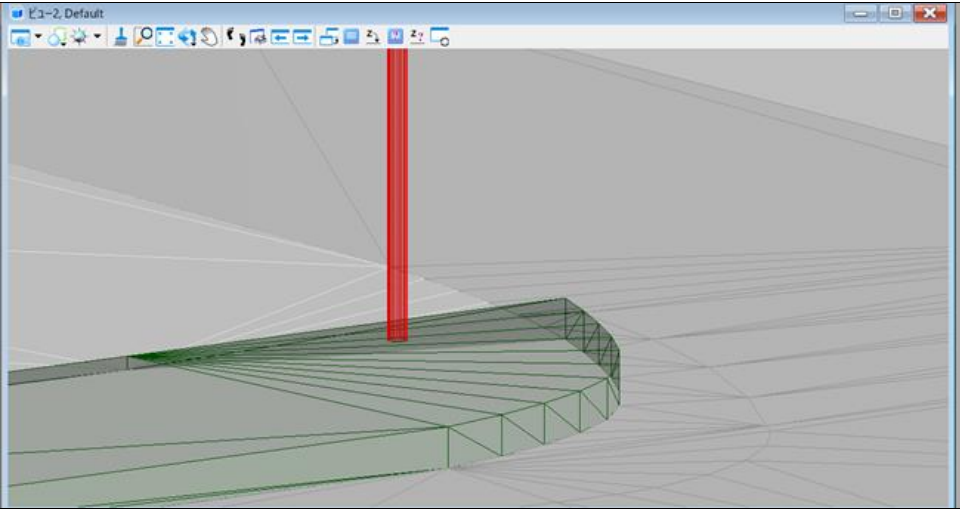
MMS 点群に基づき、各都市設備のジオメトリを作成した。機能の分類は、「3D 都市モデル標準製品仕様 第 2 版」の都市設備の主題属性「frn:function(機能)」の仕様に基づき実施した。作成対象とした都市設備の種類は、表 3-2 を参照のこと。

表 5-11 に、標識を事例とした都市設備の作成手順を示す。なお、他の都市設備の種類の手順もこれと同じである。

表 5-11 都市設備のジオメトリ作成手順（道路標識の例）

手順	説明
1	道路標識の柱部分について、MMS 点群に合わせながら、上面から見た形状を多角形で入力する。 MicroStation CONNECT Edition 

2	手順 1 で作成した多角形を平行掃引 (多角形から Solid を作成する機能) によって上方に伸ばす。 
3	手順 2 までで作成した柱部分と整合するよう、MMS 点群に合わせて標識部分の形状を入力し、さらに標識部分の厚みを付ける。 
4	柱部分と標識部分を接続するパーツを作成する。接続部分のパーツは柱部分、標識部分と接する (図形同士が重複しない) ように作成する。 

5	柱など都市設備の根本部分（地表との接地部分）の高さを道路（歩道）面の高さに合わせる。道路の表面に存在する道路標示やマンホールなどの都市設備についても、同様に道路面の高さとも一致するように作成する。
	

都市設備の主題属性「frn:function(機能)」による分類の例を、図 5-11 に示す。

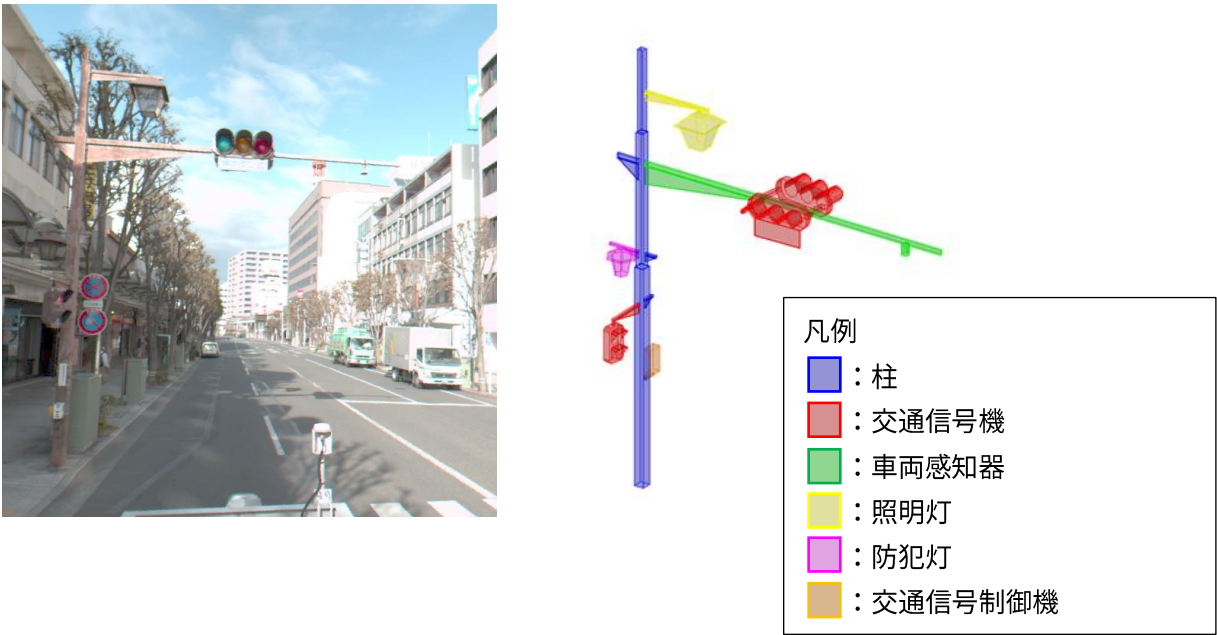
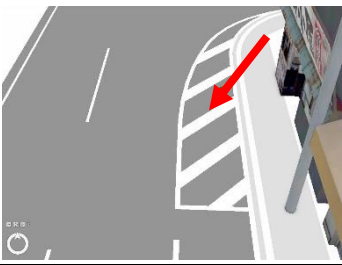
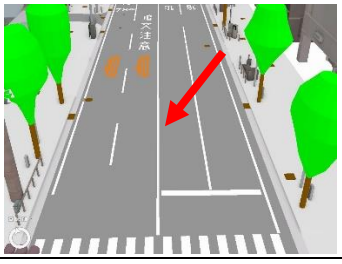
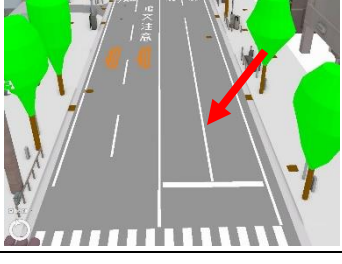
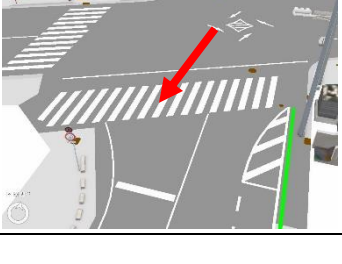
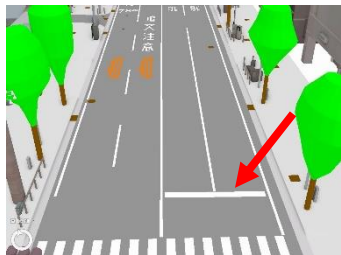
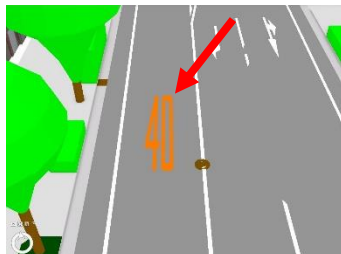
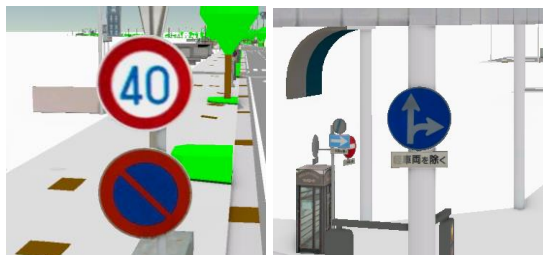
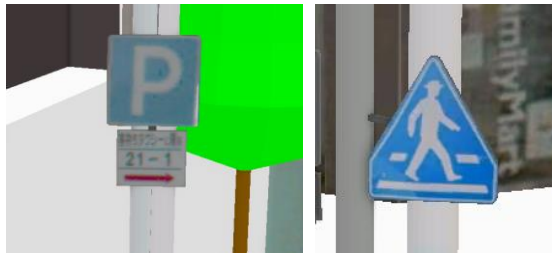


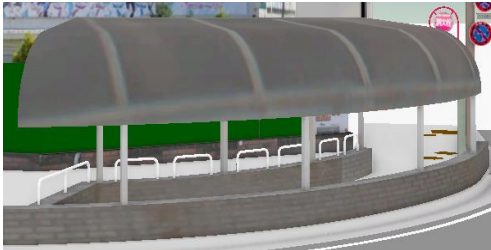
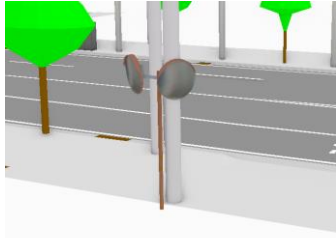
図 5-11 都市設備の主題属性「frn:function(機能)」による分類の例

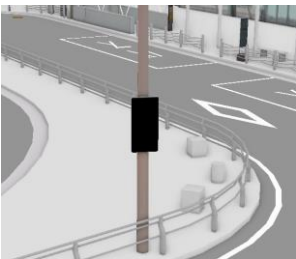
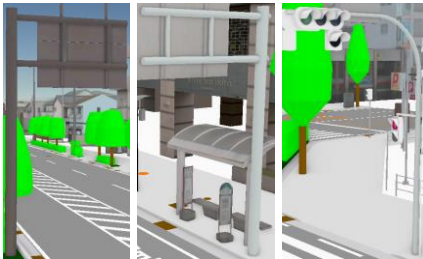
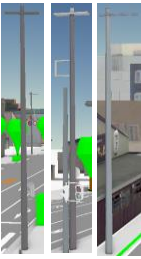
表 5-12 に、都市設備の一覧と、本データ作成実証で作成した 3D 都市モデルイメージを示す。

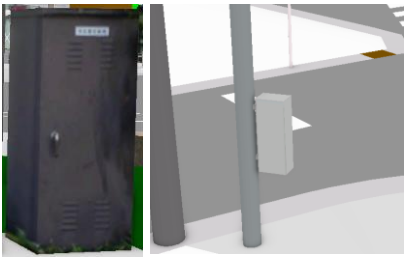
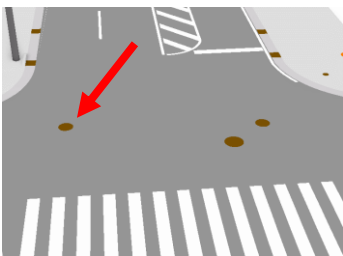
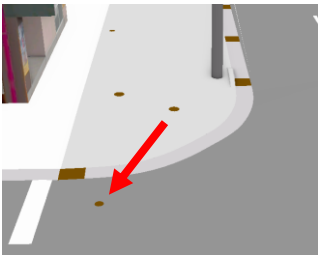
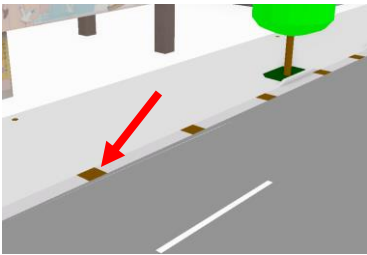
表 5-12 都市設備の一覧と本データ作成実証で作成した 3D 都市モデルイメージ

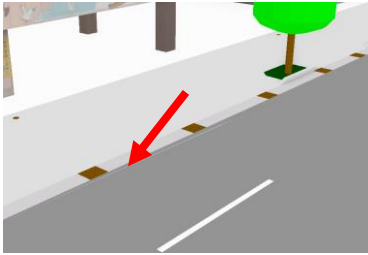
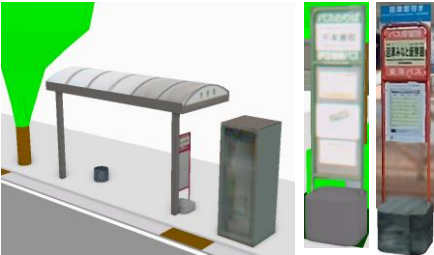
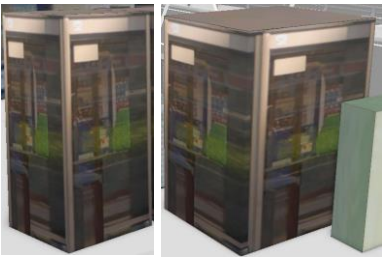
コード	説明	コード	説明	本データ作成実証で作成したモデルイメージ
1000	道路標示	1010	区画線	
		1020	車道中央線	
		1030	車線境界線	
		1040	車道外側線	
		1100	指示標示	
		1110	横断歩道	

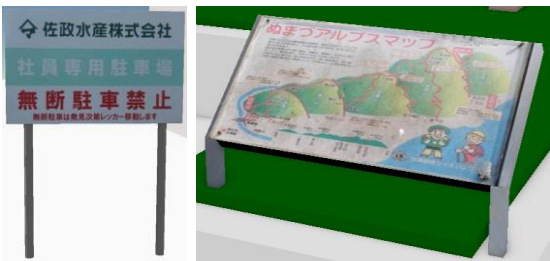
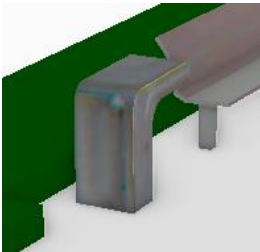
コード	説明	コード	説明	本データ作成実証で作成したモデルイメージ
		1120	停止線	
		1200	規制標示	
2000	柵・壁			
3000	道路標識			
		3110	案内標識	
		3120	警戒標識	(対象なし)
		3130	規制標識	
		3140	指示標識	

コード	説明	コード	説明	本データ作成実証で作成したモデルイメージ
		3150	補助標識	
4000	建造物			
		4010	上屋	
		4020	地下出入口	
4100	視線誘導標			
4120	道路反射鏡			
4200	照明施設			

コード	説明	コード	説明	本データ作成実証で作成したモデルイメージ
4300	道路情報管理施設			
4400	災害検知器			(対象なし)
4500	気象観測装置			(対象なし)
4600	道路情報板			
4700	光ファイバー			(対象なし)
4800	柱			
		4810	路側	
		4820	片持	
		4830	門型	(対象なし)
		4840	電柱	
4900	交通信号機			
5000	階段			(対象なし)

コード	説明	コード	説明	本データ作成実証で作成したモデルイメージ
5010	通路			(対象なし)
5020	エレベータ			(対象なし)
5030	エスカレータ			(対象なし)
5100	管理用地上施設			(対象なし)
5200	電線共同溝			(対象なし)
5300	CAB			(対象なし)
5400	情報 BOX			
5500	管路			(対象なし)
5600	管理用開口部			(対象なし)
		5610	マンホール	
		5620	ハンドホール	
		5630	入孔	(対象なし)
6000	距離標			(対象なし)
6010	境界標識			(対象なし)
6020	道路元標・里程標			(対象なし)
6100	料金徴収施設			(対象なし)
6200	融雪施設			(対象なし)
7000	排水施設			
		7100	集水枳	
		7200	排水溝	(対象なし)

コード	説明	コード	説明	本データ作成実証で作成したモデルイメージ
		7300	側溝	
		7400	排水管	(対象なし)
		7500	排水ポンプ	(対象なし)
8010	停留所			
8020	消火栓			
8030	郵便ポスト			
8040	電話ボックス			
8050	輸送管			(対象なし)
8060	軌道			(対象なし)
8070	架空線			(対象なし)
8080	自動販売機			
8090	墓碑			(対象なし)

コード	説明	コード	説明	本データ作成実証で作成したモデルイメージ
8100	記念碑			
8110	立像			(対象なし)
8120	噴水			(対象なし)
8130	井戸			(対象なし)
8140	掲示板			
8150	点字ブロック			(対象なし)
8160	ベンチ			
8170	テーブル			(対象なし)
9000	その他			(対象なし)
		9001	看板（自立式）	
		9002	水飲み場	

2) 【工程 2】 テクスチャ作成

道路と同じ高さをもつ路面標示、マンホールなどの設備は、単一色を割り当てた疑似テクスチャを作成した。

これら以外の都市設備については、UV マッピング（4096×4096 ピクセル）により作成した。都市設備のジオメトリの平面部分には MMS 全方位画像からテクスチャを作成し、柱などの曲面部分は単色テクスチャを作成した。MMS 全方位画像を用いたテクスチャの作成手順は 5.1(2)6)、単色テクスチャの作成手順は 5.1(3)を参照のこと。



図 5-12 都市設備のテクスチャ作成イメージ

5.4 植生

(1) 作成フロー

MMS 測量成果（点群データ及び全方位画像）を使い、LOD3 植生を作成する手順を次に示す。

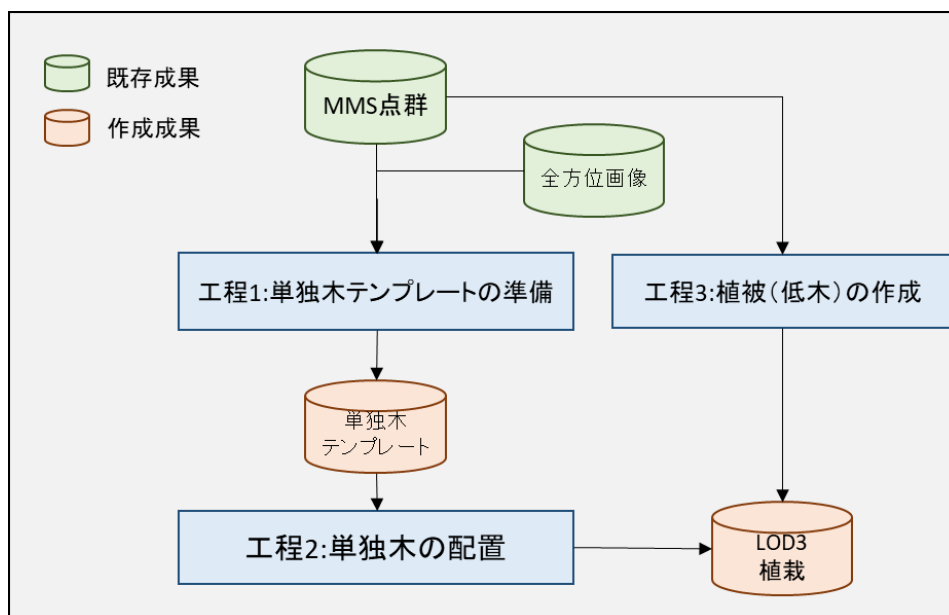


図 5-13 LOD3 植生の作成フロー（MMS 測量成果を使用する場合）

(2) 各作業工程の説明

1) 【工程 1】 単独木テンプレートの準備

点群データ及び全方位画像を用いて、データ整備範囲に存在する単独木のパターンを整理し、ジオメトリのテンプレートを作成した。



図 5-14 単独木のジオメトリテンプレートの例

2) 【工程 2】 単独木の配置

単独木のジオメトリテンプレートを、点群データを参照しながら配置した。配置にあたっては、形状が類似しているテンプレートを選択し、単独木の根元位置に配置した。配置したテンプレートの大きさは、点群データに合わせて調整・変更した。

用意したテンプレートを用いても樹高と樹冠の両方を合致させることが難しい場合には、主題属性に樹高があることから、樹高を優先させた。

単独木の地表部（底面）の標高値は、MMS 点群データから作成した道路面の標高値に合わせて作成した。

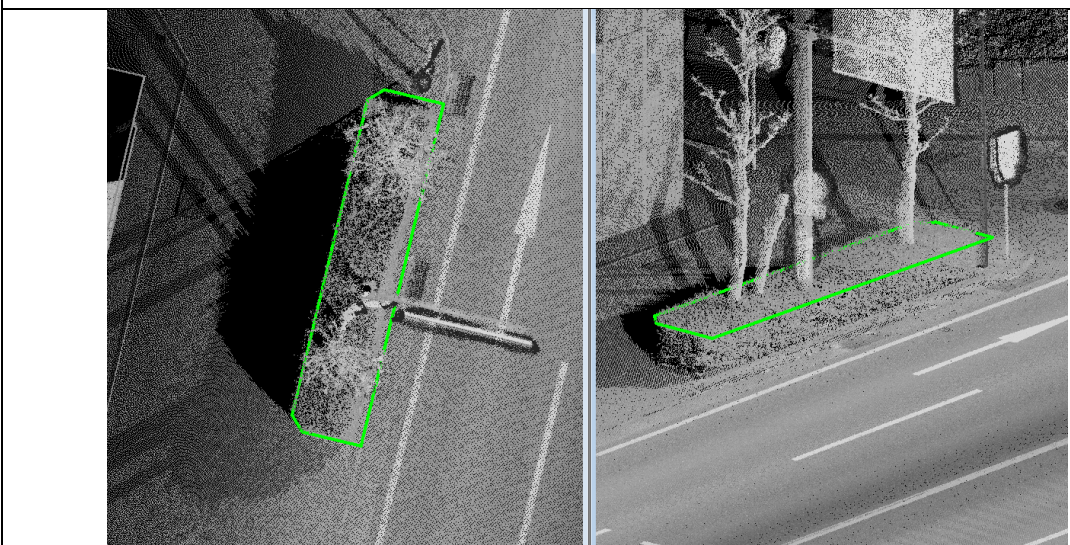
表 5-13 単独木の配置手順

手順	説明
1	CAD ソフト（MicroStation）上で MMS 点群データを参照し、単独木の位置を確認する。 
2	作成対象の単独木の形状に合致するジオメトリテンプレートを選択し、根元の位置に合わせて配置する。 
3	配置したテンプレートの大きさは MMS 点群データに合わせて調整を行う。樹高と樹冠の両方を合致させることが難しい場合には、主題属性に樹高があることから、樹高を優先させる。 

3) 植被（低木）の作成

植被については、点群データを参照し、ボックス形状のジオメトリを作成した。植被の地表部（底面）の標高値は、MMS 点群データから作成した道路面の標高値に合わせて作成した。

表 5-14 植被の作成手順

手順	説明
1	CAD ソフト（MicroStation）上で MMS 点群データを参照し、植被の位置を確認する。 
2	上面から見た形状を多角形で入力する。多角形は植被の最も高い部分の高さに合わせて入力する。 

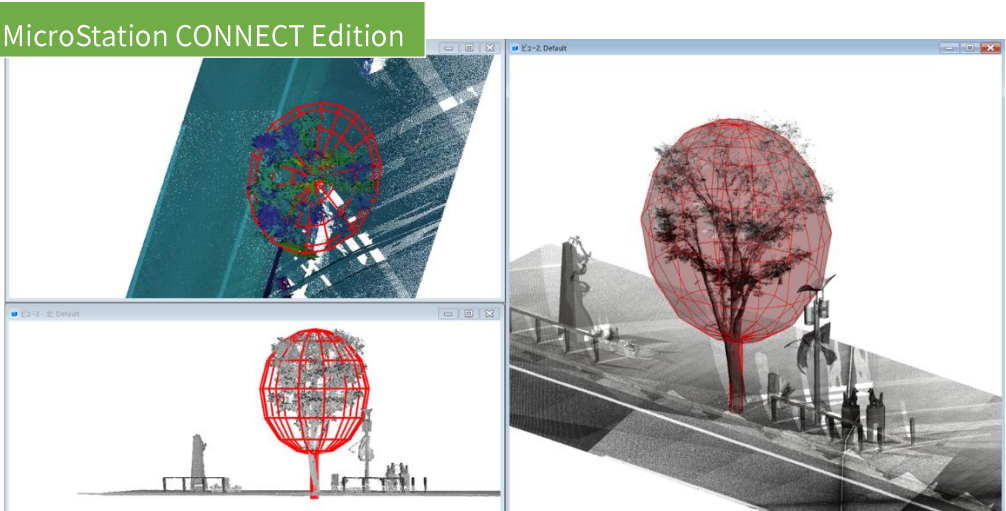
3	2 の工程で作成した多角形から平行掃引することで Solid を作成する。底面は MMS 点群データに合わせて作成する。 
---	--

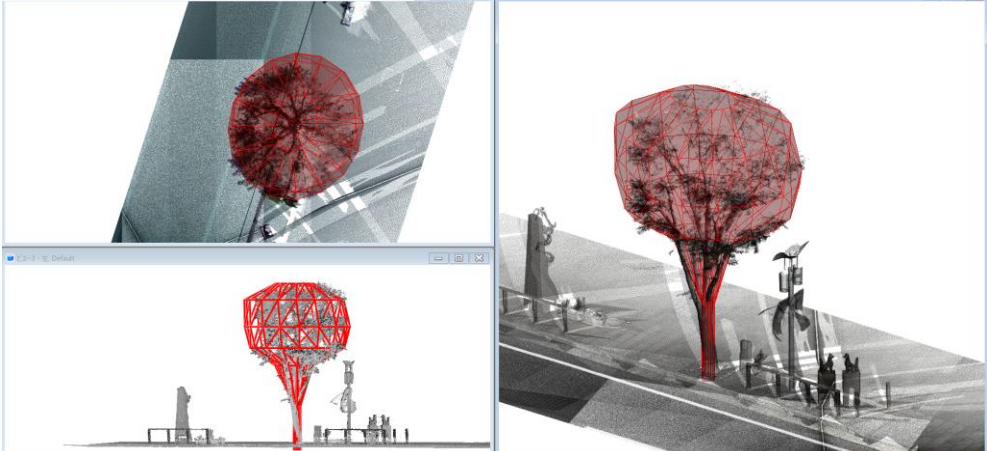
(3) 単独木のデータ軽量化の方法

1) 単独木の取得方法（図化仕様）の検討

本作成実証で作成した単独木は、枝葉部分までも細かくモデリングされていたため、データサイズが非常に大きくなった。そこで、データの軽量化することを目的に、LOD2 と LOD3 の単独木の取得方法を次のとおり検討した。

表 5-15 データサイズを考慮した単独木の LOD2／LOD3 の取得方法

LOD2 取得方法	● 単純な立体（下の例は楕円体）を使い樹冠（枝葉）の広がり/樹冠長を表現 ● 単純な立体をマルチサーフェスへ変換 
----------------------	--

LOD3 取得方法	● 樹冠（枝葉）の一番広がりのある高さで、幹を中心とした楕円（多角形）を作成 ● 作成した楕円（多角形）を上下の枝葉の広がりに合わせて積み重ねていく ● 多角形を繋いで樹冠のマルチサーフェスを作成
MicroStation CONNECT Edition	
	

3次元図化ソフトウェア（MicroStation CONNECT Edition）で作成した図化データと、それを CityGML の形式へ出力し FZK Viewer (<https://www.iai.kit.edu/1302.php>) 上で表示したイメージを次に示す。

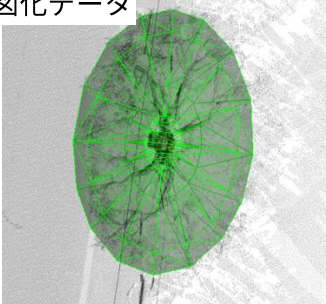
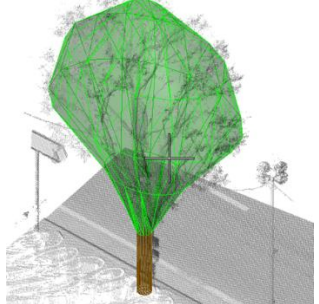
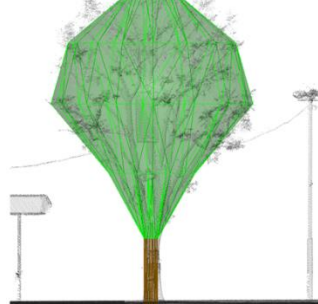
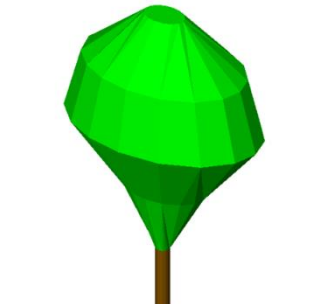
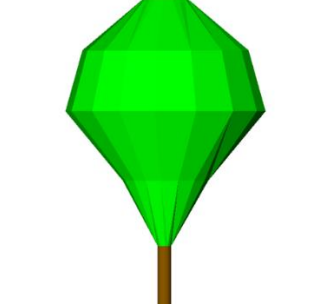
上面	鳥瞰	側面
図化データ 		
CityGML 		

図 5-15 図化データと CityGML 出力したジオメトリのイメージ

枝葉までを細かくモデリングしたデータセットと、表 5-15 に示した LOD3 の取得方法で作成したデータセットのファイルサイズを約 150m の道路区間内で比較した。結果、データサイズを約 1/300 まで軽減することができた。

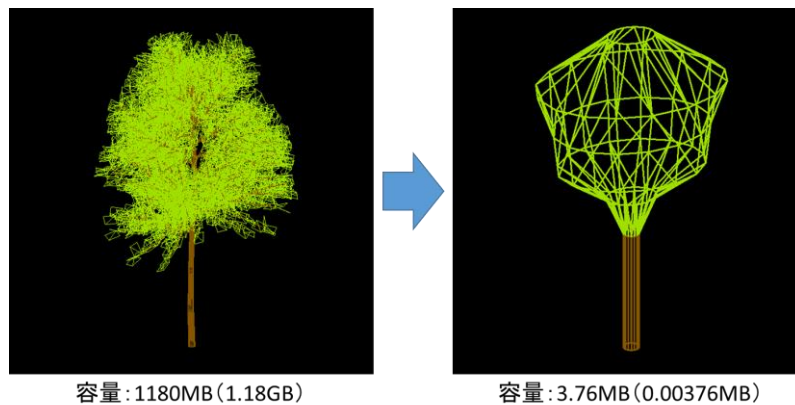
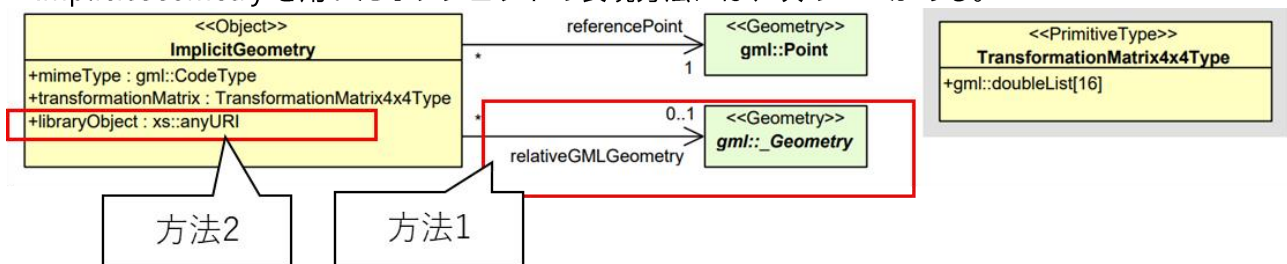


図 5-16 約 150m の道路区間内にある単独木データセットのデータサイズ比較結果

2) ImplicitGeometry の活用

単独木の枝葉の表現は、個々の単独木オブジェクト（インスタンス）がそれぞれ直接ジオメトリを保持するのではなく、共通のテンプレートを間接参照する仕組み（ImplicitGeometry の使用）が望ましい。そうすることで、よりリアルな単独木の枝葉表現をした場合でも、データサイズの増大を防ぐことができる。

ImplicitGeometry を用いたオブジェクトの表現方法には、次の二つがある。



出典：「OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard」
https://portal.ogc.org/files/?artifact_id=47842

図 5-17 ImplicitGeometry を用いたジオメトリ表現（UML クラス図）

表 5-16 ImplicitGeometry を用いた表現方法とその特徴

方法		特徴
1	GML ファイル内に樹木テンプレートを記述し、共通利用する	● 1つの GML ファイルで完結できる ● 1 ファイルで扱うテンプレートの数が増えると GML ファイルのデータサイズが増大 ● ジオメトリの座標参照系によって、一部の CityGML 表示のためのソフトウェアで表示できない場合あり
2	外部ファイルに樹木テンプレートを用意し、GML ファイルから参照する	● さまざまな外部ファイル形式に対応できる ● ジオメトリの座標参照系によって、一部の CityGML の表示のためのソフトウェアで表示できない場合あり

■方法1のGMLイメージ

```

<veg:SolitaryVegetationObject gml:id="単独木1">
  <veg:lod3ImplicitRepresentation>
    <core:ImplicitGeometry>
      <core:transformationMatrix>
        3.0 0.0 0.0 0.0
        0.0 3.0 0.0 0.0
        0.0 0.0 8.0 0.0
        0.0 0.0 0.0 1.0
      </core:transformationMatrix>
      <core:relativeGMLGeometry xlink:href="#prototype_Geometry0"/>
      <core:referencePoint>
        <gml:Point>
          <gml:pos srsDimension="3">2.5 5.0 0.3</gml:pos>
        </gml:Point>
      </core:referencePoint>
    </core:ImplicitGeometry>
  </veg:lod3ImplicitRepresentation>
</veg:SolitaryVegetationObject>
... (略)
<gml:MultiGeometry gml:id="prototype_Geometry0">
  <gml:geometryMember>
    <gml:Polygon gml:id="polygon1">
      <gml:exterior>
        <gml:LinearRing>
          <gml:posList>0.003 -0.001 0.9 ... (略) </gml:posList>
          ... (略)
        </gml:LinearRing>
      </gml:exterior>
    </gml:Polygon>
  </gml:geometryMember>
  <gml:geometryMember>
    <gml:Polygon gml:id="polygon2">
      <gml:exterior>
        <gml:LinearRing>
          <gml:posList>0.016 -0.017 0.9 ... (略) </gml:posList>
          ... (略)
        </gml:LinearRing>
      </gml:exterior>
    </gml:Polygon>
  </gml:geometryMember>
  <gml:geometryMember>
    ... (略)
  </gml:geometryMember>
</gml:MultiGeometry>

```

テンプレートを拡大縮小回転するための属性

テンプレートのジオメトリへの参照ID

テンプレートを配置する座標

テンプレートのジオメトリID

図 5-18 GML ファイル内に樹木テンプレートのジオメトリを記述し共通利用する例

■方法2のGMLイメージ

```

<veg:SolitaryVegetationObject gml:id="単独木1">
  <veg:lod3ImplicitRepresentation>
    <core:ImplicitGeometry>
      <core:mimeType>model/x-3ds</core:mimeType>
      <core:transformationMatrix>
        3.0 0.0 0.0 0.0
        0.0 3.0 0.0 0.0
        0.0 0.0 8.0 0.0
        0.0 0.0 0.0 1.0
      </core:transformationMatrix>
      <core:libraryObject>tree1.3ds</core:libraryObject>
      <core:referencePoint>
        <gml:Point>
          <gml:pos srsDimension="3">2.5 5.0 0.3</gml:pos>
        </gml:Point>
      </core:referencePoint>
    </core:ImplicitGeometry>
  </veg:lod3ImplicitRepresentation>
</veg:SolitaryVegetationObject>

```

テンプレートを拡大縮小回転
するための属性（変換行列）

外部参照するテンプレートファイル名

テンプレートを配置する座標



単独木のテンプレート例

図 5-19 外部ファイルに樹木テンプレートを用意し GML ファイルから参照する例

上の方法 1 と方法 2 で記述した CityGML の読み込み表示の対応状況を、代表的な CityGML 表示のためのソフトウェアで確認した。使用する樹木テンプレートは、m 単位で作成されたものとする。

表 5-17 代表的な CityGML 表示のためのソフトウェアの ImplicitGeometry への対応状況

ImplicitGeometry の作成方法と ジオメトリの座標参照系		CityGML 表示のためのソフトウェア		
		FZK Viewer	FME Inspector	virtualcitySUITE
方法 1 (CityGML への埋め込み)	緯度経度	×	×	○ ※変換行列を m 単位で作成する必要あり
	平面直角座標	○ ※変換行列は m 単位	○ ※変換行列は m 単位	○ ※変換行列は m 単位
方法 2 (外部ファイル参照)	緯度経度	×	×	×
	平面直角座標	○ ※変換行列は m 単位	○ ※変換行列は m 単位	×

なお、CityGML では基本的に空間参照系に緯度経度座標系が用いられており、「3D 都市モデル標準製品仕様書」でも緯度経度座標系である日本測地系 2011 が標準の空間参照系とされている。他方で、表 5-17 に示す通り、ImplicitGeometry を扱う既存のソフトウェアの多くは直角座標系による記述にのみ対応しており、緯度経度を用いた変換行列の指定は実装されていない。CityGML に準拠したデータセット内に異なる空間参照系が混在することは望ましくないため、2021 年度に発行した「3D 都市モデル標準製品仕様書 第 2.0 版」では ImplicitGeometry の標準化は見送られ、ソフトウェア側の対応を待つこととした。

3) ImplicitGeometry を用いた単独木データの作成

1m×1m の単独木テンプレートを用意し、ImplicitGeometry を用いた単独木の CityGML を作成した。



図 5-20 用意した 3 種類の単独木テンプレート（フォーマット：3ds 形式）

データの作成は、表 5-15 に示した図化方法によって作成した LOD3 の単独木から、変換行列のパラメタ値を算出し、道路上の同じ位置にテンプレートを配置した。図化によって作成した LOD3 の単独木と、ImplicitGeometry を用いて表現した単独木をそれぞれ FZK Viewer で表示したイメージを次に示す。

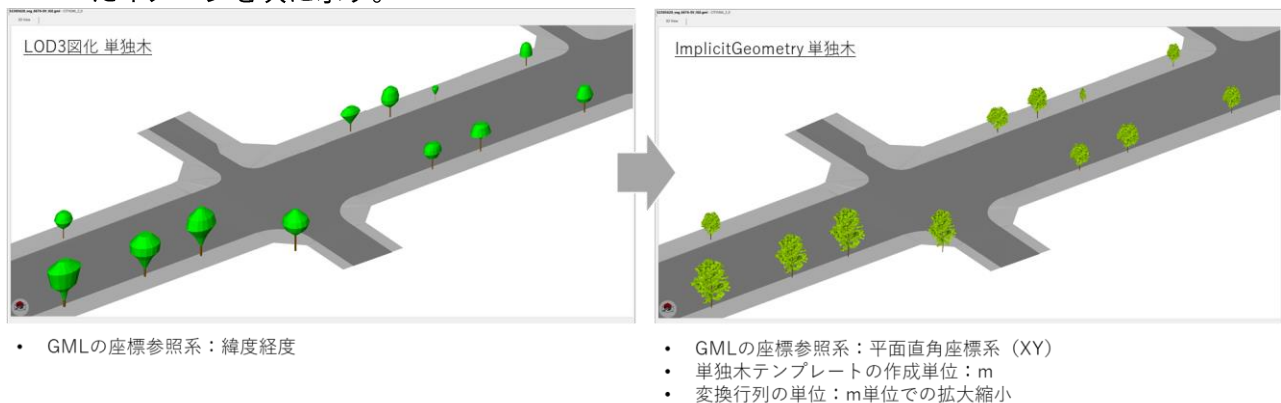


図 5-21 図化によって作成した LOD3 の単独木と ImplicitGeometry 用いて表現した単独木

6 空中写真を使用した LOD3 ジオメトリ作成手順（地図情報レベル 2500）

令和 2 年に撮影された沼津市の空中写真（オーバーラップ率：60%、サイドラップ率：60%、解像度：12cm）を使用し、LOD3 の都市モデルを作成した。

6.1 建築物

(1) 作成フロー

空中写真を使い、LOD3 建築物を作成する手順を次に示す。

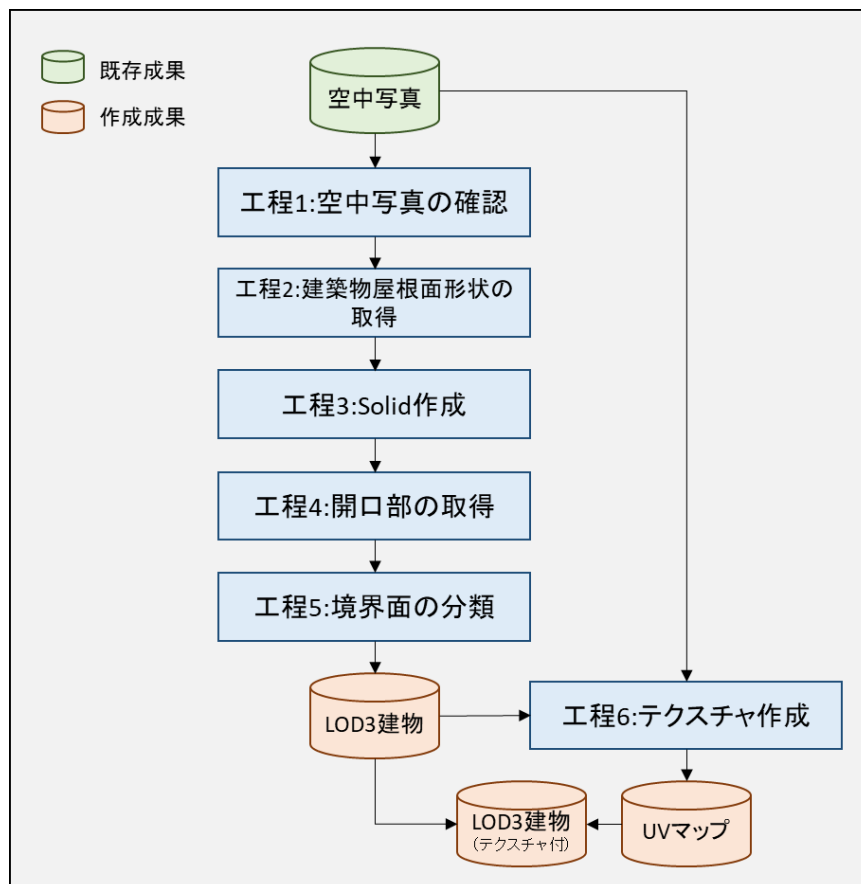


図 6-1 LOD3 建築物の作成フロー（空中写真を使用する場合）

(2) 各作業工程の説明

1) 【工程 1】 空中写真の確認

空中写真が作成対象範囲を網羅していることを確認し、図化環境の整備を行った。

2) 【工程 2】 建築物屋根面形状の取得

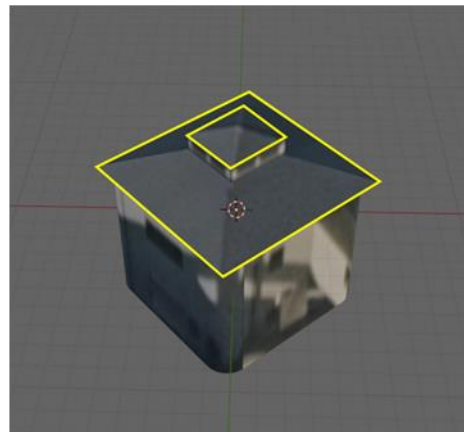
実体視が可能なステレオ図化機を用いて建築物屋根面形状の取得（3次元図化）を行った。

- ✧ 軒先の座標をプロットし、建築物屋根面のポリゴンを作成
- ✧ 1 階と 2 階で建物が二層に分かれている、又は建築物上部に構造物がある場合、それぞれを分離した状態でポリゴンを作成
- ✧ 三角屋根の建築物の場合は、建築物最上部の稜線形状をラインにて取得

① 建築物屋根面形状（軒先）のポリゴン作成



② 二層に分かれている場合は 1 階と 2 階でそれぞれ形状を取得



③ 三角屋根の場合は稜線形状をラインで取得

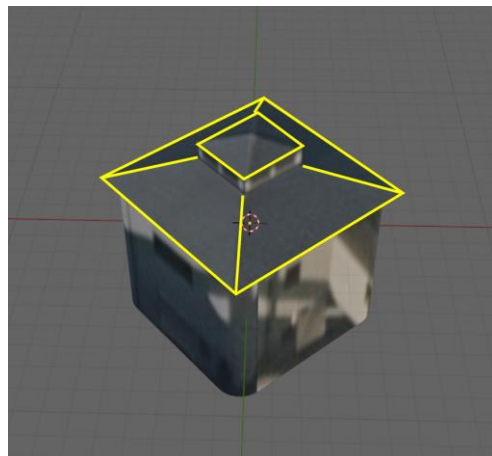
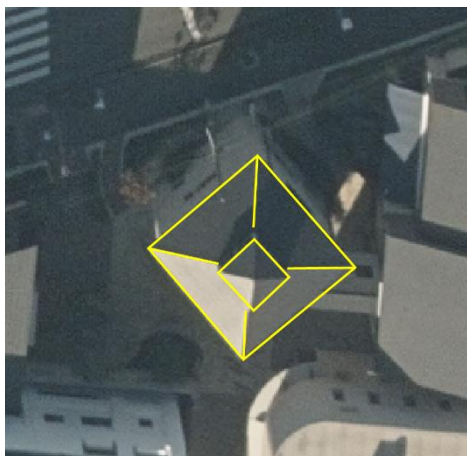
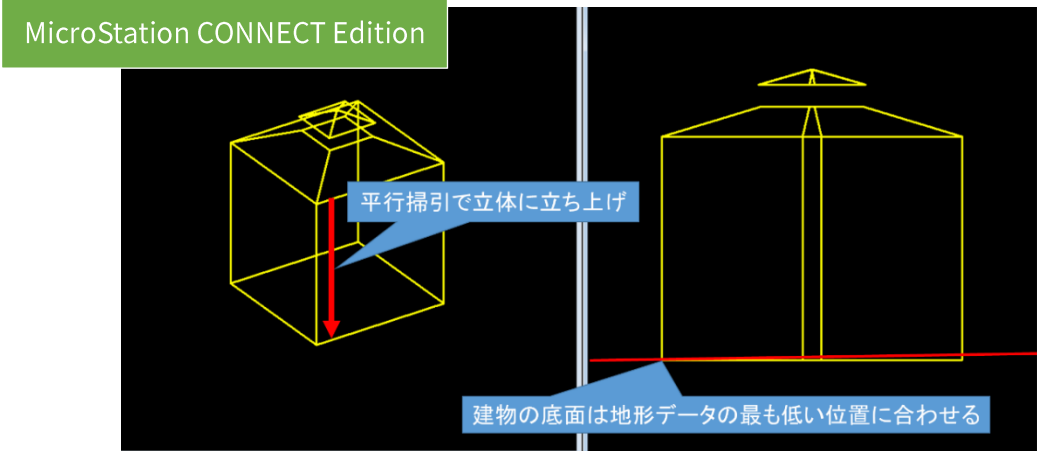
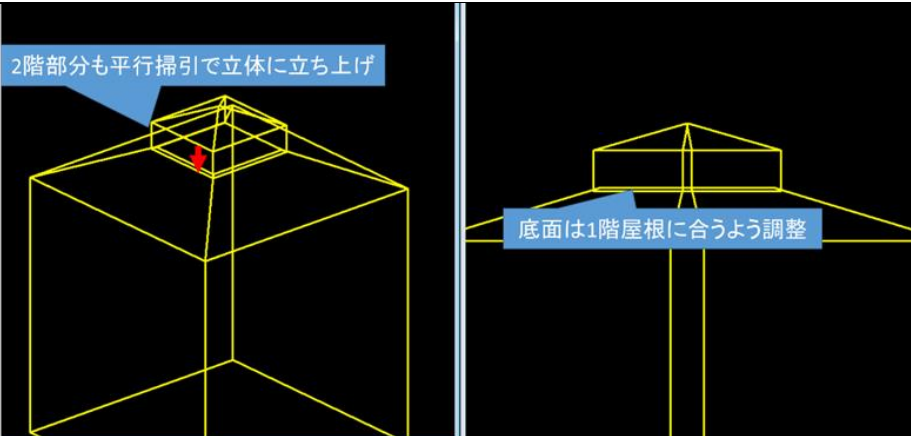
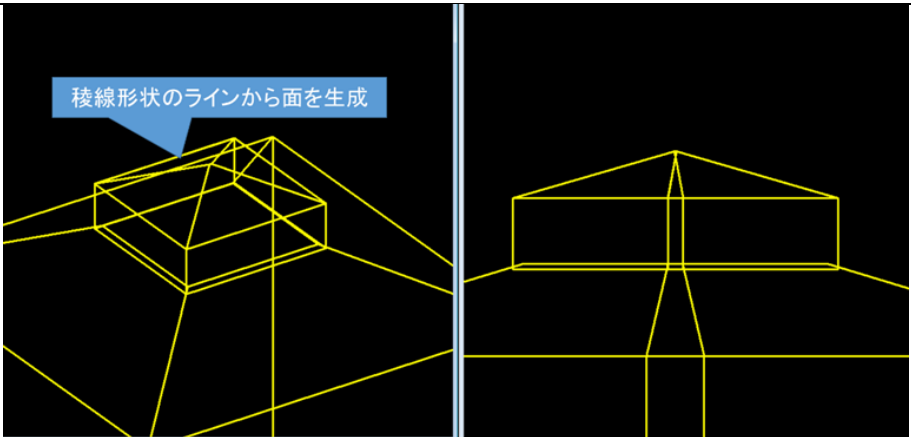


図 6-2 空中写真を用いた建築物屋根面形状の取得

3) 【工程 3】Solid 作成

工程 2 で作成した建築物形状から、次に示す手順で Solid を作成した。

表 6-1 Solid の作成手順

手順	説明
1	建築物屋根面を地面方向へ平行掃引し、Solid を作成する。接地面（GroundSurface）は、地形データ（DEM）と整合するよう調整する。 
2	建築物の 2 階部分や建築物上部の構造物についても、手順 1 と同様に平行掃引で Solid を作成する。これらは、建築物の 1 階又は建築物本体の上に乗る構造となっているので、それぞれ下部が接続するよう調整する。 
3	三角屋根がある建築物は、工程 2 で作成した稜線のラインデータを使い、屋根面形状を詳細化する。 

4) 【工程 4】開口部の取得

開口部（窓と扉）の取得は、建物の倒れこみが多い（建物の壁面部が多く写っている）空中写真を使用して行う。

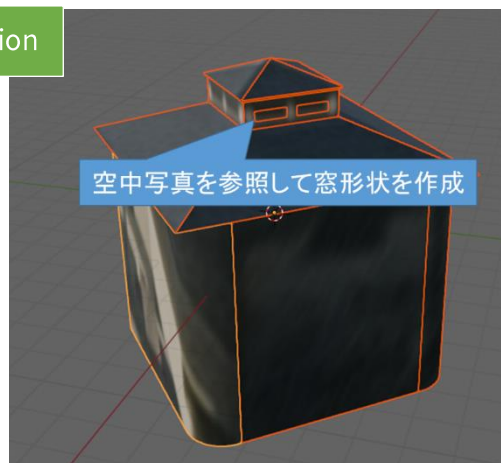
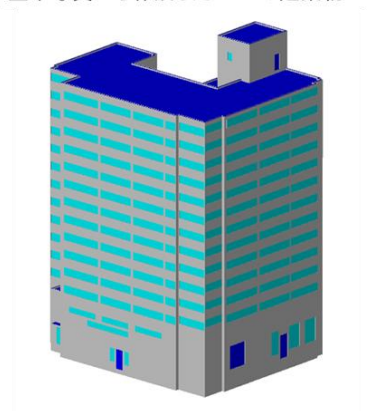


図 6-3 開口部の取得方法

垂直撮影による空中写真は、道路上から撮影する MMS 点群データ及び全方位画像と比べ、建築物の壁面部の窓・扉の識別が困難な場合が多い。表 6-2 に、空中写真から作成した LOD3 の建築物の事例を示す。

表 6-2 垂直撮影による空中写真から作成した LOD3 の建築物の事例

事例	説明		
1	■高層ビル/高層マンション（周囲が開けている場合） 高層階部分については、空中写真において倒れ込みが大きく、比較的正確に開口部を作成することができる。しかし、低層階に向かうにつれ、空中写真上での開口部の識別が不明瞭になっていくため、正確な窓・扉の作成が困難になっていく。		
	MMS全方位画像	空中写真	空中写真から作成したLOD3の建築物
			

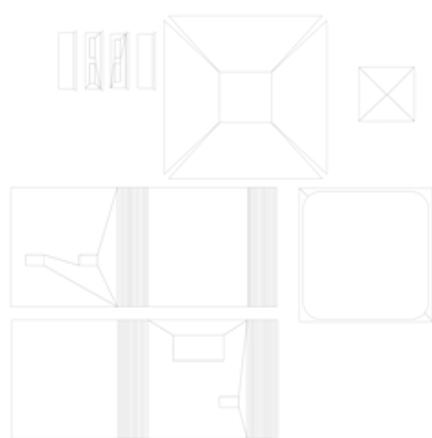
2	■高層ビル/高層マンション（隣接する建築物が存在する場合） 高層な建築物であっても、同等の高さの建築物が隣接する場合には、空中写真上での開口部の視認ができないため、窓・扉の作成ができない。 MMS全方位画像 空中写真 空中写真から作成したLOD3の建築物
3	■低層の建築物 一般家屋等の低層建築物では、空中写真において倒れ込みが小さく、空中写真上で開口部を明瞭に読み取ることが出来ないため、図化作業者によるバラつきが大きくなり、正確性の確保が難しい。 MMS全方位画像 空中写真 空中写真から作成したLOD3の建築物

5) 【工程 5】境界面の分類

図 5-5 で示した境界面の種類と同様の分類を行った。

6) 【工程 6】テクスチャ作成

建築物のテクスチャ（CityGML の Appearance パッケージ）は、UV マッピングにより作成した。空中写真から、それぞれの建築物のパーツに当てはまる部分を切り出し UV マップに貼り付ける。



UV マップイメージ



テクスチャ貼り付けイメージ

図 6-4 空中写真を用いたテクスチャ作成

(3) 空中写真を用いた LOD3 の建築物の課題とその解決策

表 6-2 に示したとおり、空中写真を用いた建築物の窓・扉の作成は、困難な場合が多い。

「11 (1)1)MMS 図化と航測図化による窓／ドアの再現率検証」でそれぞれの方法で作成した開口部（窓・ドア）の再現性を検証したところ、垂直撮影による空中写真を用いた開口部の作成結果は、十分な正確さを保証できる品質ではなかった。この課題の解決策としては、オブリークカメラを使用した斜め方向からの撮影による空中写真の活用が考えられる。

6.2 道路（交通領域、交通補助領域）

(1) 作成フロー

空中写真を使い、地図情報レベル 2500 の LOD3 道路（交通領域及び交通補助領域）を作成する手順を次に示す。

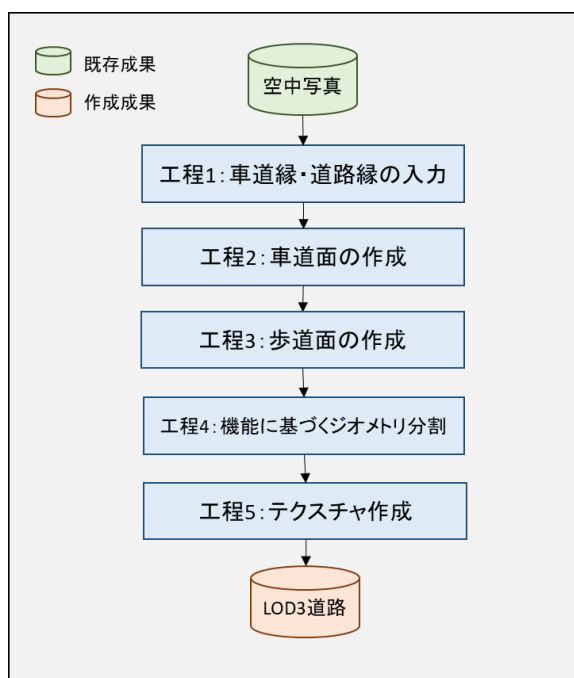


図 6-5 LOD3 道路（交通領域及び交通補助領域）の作成フロー（空中写真を使用する場合）

(2) 各作業工程の説明

1) 【工程 1】車道縁・道路縁の入力

実体視が可能なステレオ図化機を使い、空中写真から車道縁と道路縁を三次元で取得する。

表 6-3 空中写真を用いた車道面・歩道面の作成方法

手順	説明
1	ステレオ図化機にて空中写真を表示し、道路縁（車道・歩道を含めた道路の一番外側）の形状を三次元のラインで取得する。 
2	1と同様に車道縁（車道と歩道の境界）の形状を三次元のラインで取得する。 

手順	説明
3	1,2 で取得した道路縁および車道縁のライン形状を街区や交差部で区切る。 
4	3 までで作成したライン形状から車道面および歩道面を作成する。 

2) 【工程 4】～【工程 5】

5.2(2)で示した工程の説明と同じであり、そちらを参照のこと。

(3) 空中写真を用いた LOD3 の道路の課題とその解決策

MMS 点群データの図化と比較すると、空中写真のほうが広範囲を短時間で図化することができる。一方で、空中写真の図化では 15cm 前後の歩道マウントアップを表現することは難しい。より精緻な道路モデルを作成するには、MMS 測量成果の活用が必要となる。

6.3 都市設備

(1) 作成フロー

空中写真を使い、地図情報レベル 2500 の LOD3 都市設備を作成する手順を次に示す。

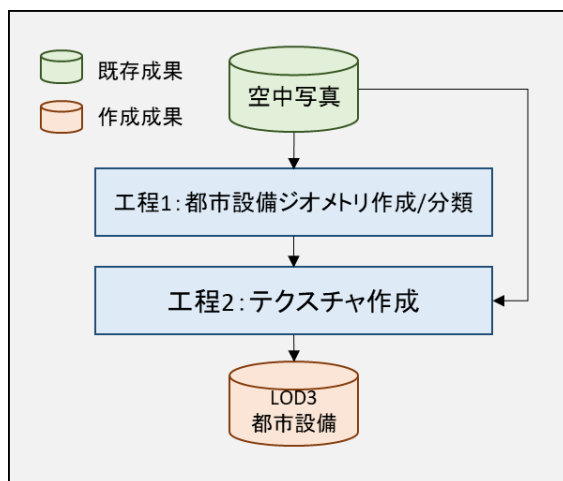


図 6-6 LOD3 都市設備の作成フロー（空中写真を使用する場合）

(2) 各作業工程の説明

1) 【工程 1】都市設備ジオメトリの作成と分類

空中写真からは、都市設備のうち「道路標示」の作成のみを行った。事前に「道路」の LOD3 ジオメトリを作成しておき、「道路標示」の標高値が一致するように作成する。



図 6-7 都市設備「道路標示」の取得イメージ

2) 【工程 2】テクスチャ作成

道路標示のテクスチャは、単色による疑似テクスチャとした。疑似テクスチャは、空中写真を参照しながら色を設定していく。疑似テクスチャの作成方法は、5.1(3)を参照のこと。

(3) 空中写真を用いた LOD3 の都市設備の課題とその解決策

空中写真から直接作成可能な都市設備は、「道路標示」のみであった。その他の都市設備は、空中写真上での地物判読が困難であった。そこで、空中写真に加え、現地調査を併せることにより、都市設備の作成可能な対象地物を増やすことができるか検討した。

現地調査では、当該エリアに存在する都市設備の種類及び写真撮影を行う。この写真がモデリングを行うための原典資料となる。写真撮影は様々な角度から対象を撮影する。また、空中写真を出力した現地調査図を用意し、対象地物が空中写真上の位置を確認し、マーキングする。



図 6-8 現地調査で撮影した照明施設（防犯灯）



図 6-9 現地調査図へのマーキング

現地調査にて撮影した写真を参考に、空中写真上での対象地物の位置を特定し、三次元図化を行う。細部の形状は、現地撮影写真を参考にモデリングを行う。



図 6-10 空中写真での図化イメージと出来上がりのモデル

空中写真のみから作成可能な都市設備地物と、現地調査を併用することで取得可能となる地物を次の表に整理した。

表 6-4 空中写真から取得できる／現地調査との併用で取得できる地物の整理結果

コード	名称	空中写真	空中写真+現地調査
1000	道路標示	○	○
2000	柵・壁	×	○
3000	道路標識	×	○
4000	建造物	×	○
4100	視線誘導標	×	×
4120	道路反射鏡	×	○
4200	照明施設	×	○
4300	道路情報管理施設	×	×
4400	災害検知器	×	×
4500	気象観測装置	×	×
4600	道路情報板	×	×
4700	光ファイバー	×	×
4800	柱	×	○
4900	交通信号機	×	○
5000	階段	×	○
5010	通路	×	×
5020	エレベータ	×	×
5030	エスカレータ	×	×
5100	管理用地上施設	×	×
5200	電線共同溝	×	×
5300	CAB	×	×
5400	情報BOX	×	×
5500	管路	×	×
5600	管理用開口部	×	×
6000	距離標	×	×
6010	境界標識	×	×
6020	道路元標・里程標	×	×
6100	料金徴収施設	×	○
6200	融雪施設	×	×
7000	排水施設	×	×
8010	停留所	×	○
8020	消火栓	×	○
8030	郵便ポスト	×	○
8040	電話ボックス	×	○
8050	輸送管	×	×
8060	軌道	×	○
8070	架空線	×	×
8080	自動販売機	×	○
8090	墓碑	×	○
8100	記念碑	×	○
8110	立像	×	○
8120	噴水	×	○
8130	井戸	×	○
8140	掲示板	×	○
8150	点字ブロック	×	○
8160	ベンチ	×	○
8170	テーブル	×	○

7 LOD3 ジオメトリの符号化

LOD3 ジオメトリの符号化は、FME Desktop を使用した。LOD3 ジオメトリを CityGML2.0 への出力に使用したワークスペースのイメージを図 7-1 に示す。

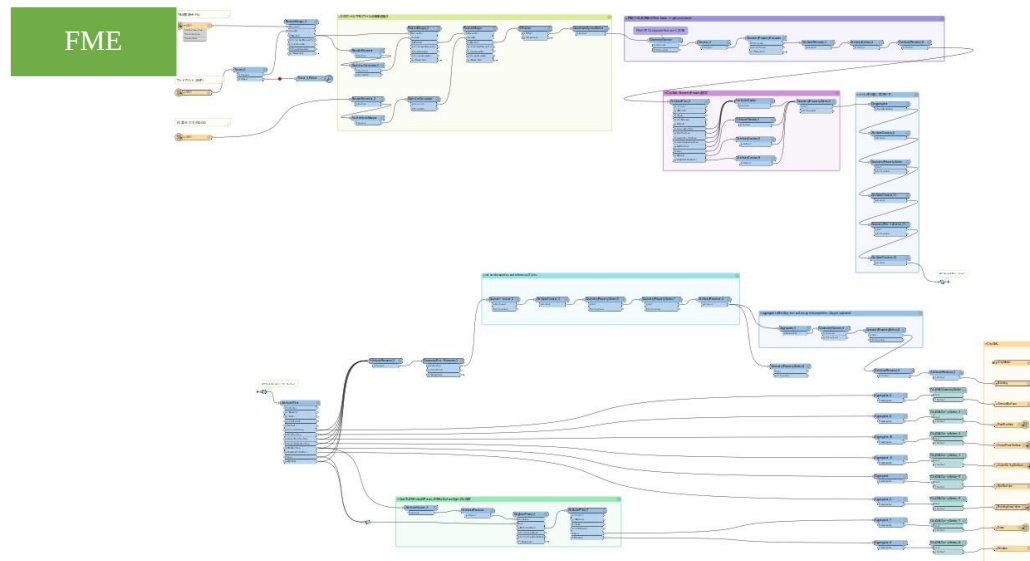


図 7-1 FME Desktop を使用した LOD3 ジオメトリの CityGML2.0 への出力

各地物の符号化処理手順の概要を表 7-1 から表 7-4 に示す。

表 7-1 建築物の LOD3 ジオメトリの FME Desktop による符号化処理手順の概要

建築物の処理手順の概要	
Step1	CAD で作成したモデルの各レイヤ（壁、屋根、ドア、窓など）に、LOD3 のジオメトリプロパティ（FME Desktop で CityGML に変換する際に識別するジオメトリのプロパティ：ここでは lod3MultiSurface）を FME トランスフォーマ「GeometryPropertySetter」を利用して割り当てる。
Step2	Building は、FME トランスフォーマ「Aggregator」で Building を構成する面に該当する CAD データのレイヤを建物ごとに統合し、FME トランスフォーマ「GeometryCoercer」で Solid に変換し、FME トランスフォーマ「GeometryPropertySetter」で LOD3 のジオメトリプロパティ「LOD3Solid」を割り当てる。
Step3	ドアおよび窓は、FME トランスフォーマ「NeighborFinder」で、Opening として付属させる壁（WallSurface）を識別し、割り当てる。
Step4	X3DMaterial として出力する単色の疑似テクスチャは、FME トランスフォーマ「AppearanceStyler」及び「AppearanceSetter」で CAD データに着色されている色を各面に付与する。CAD データが参照しているテクスチャ画像（Tiff）は、自動的に CityGML のテクスチャとして出力される。
Step5	上記処理された各レイヤを該当するクラス（Building、WallSurface、Door、Window など）ごとの「CityGML」ライターを利用して、CityGML として出力する。

表 7-2 道路の LOD3 ジオメトリの FME Desktop による符号化処理手順の概要

道路の処理手順の概要	
Step1	CAD で作成したモデルに、該当する LOD3 のジオメトリプロパティ (lod3MultiSurface) を FME トランスフォーマ「GeometryPropertySetter」を利用して割り当てる。
Step2	CAD で作成したモデルの機能ごとに整理された各レイヤ（車線、歩道、中央帯、路肩、側帯など）に、属性「tran:function(機能)」のコード値を FME トランスフォーマ「AttributeCreator」で付与する。
Step3	X3DMaterial として出力する単色の疑似テクスチャは、FME トランスフォーマ「AppearanceStyler」および「AppearanceSetter」を利用して CAD データで着色されている色を各面に付与する。
Step4	上記処理された各レイヤを該当するクラスごと(Road、TrafficArea、AuxiliaryTrafficArea)の「CityGML」ライターを利用して、2) で付与した属性「tran:function(機能)」のコード値を含めて CityGML として出力する。

表 7-3 都市設備の LOD3 ジオメトリの FME Desktop による符号化処理手順の概要

都市設備の処理手順の概要	
Step1	CAD で作成したモデルに該当する LOD3 のジオメトリプロパティ (LOD3Geometry) を、FME トランスフォーマ「GeometryPropertySetter」を利用して割り当てる。
Step2	CAD で作成したモデルの機能ごとに整理された各レイヤ（各路面標示、各標識、道路情報版、照明施設、消火栓、郵便ポスト、自動販売機など）に、属性「frn:function(機能)」のコード値を FME トランスフォーマ「AttributeCreator」で付与する。
Step3	単色疑似テクスチャは、FME トランスフォーマ「MapnikRasterizer」を利用して参照画像を生成し、その画像を FME トランスフォーマ「AppearanceSetter」でテクスチャとして付与する。 CAD データが参照しているテクスチャ画像 (Tiff) は、自動的に CityGML のテクスチャとして出力される。
Step4	上記処理された各レイヤを CityFurniture の「CityGML」ライターで 2) で付与した属性「frn:function(機能)」のコード値を含めて、CityGML として出力する。

表 7-4 植生の LOD3 ジオメトリの FME Desktop による符号化処理手順の概要

植生の処理手順の概要	
Step1	CAD で作成したモデルの各レイヤ（単独木、植被）に、該当する LOD3 のジオメトリプロパティ (lod3MultiSurface) を FME トランスフォーマ「GeometryPropertySetter」を利用して割り当てる。
Step2	X3DMaterial として出力する単色の疑似テクスチャは、FME トランスフォーマ「AppearanceStyler」および「AppearanceSetter」を利用して CAD データで着色されている色を各面に付与する。
Step3	X3DMaterial として出力する単色の疑似テクスチャは、FME トランスフォーマ「AppearanceStyler」および「AppearanceSetter」を利用して CAD データで着色されている色を各面に付与する。

8 主題属性の作成

(1) フットプリント上での主題属性作成

各地物の主題属性の作成は、LOD3 ジオメトリから作成したフットプリント（LOD0 ジオメトリ）上で行った。フットプリントの属性として LOD3 ジオメトリの地物の gm_lid を保存することにより、LOD3 ジオメトリと紐づけられるようにする。

各地物のフットプリント上での主題属性作成イメージを図 8-1 に示す。

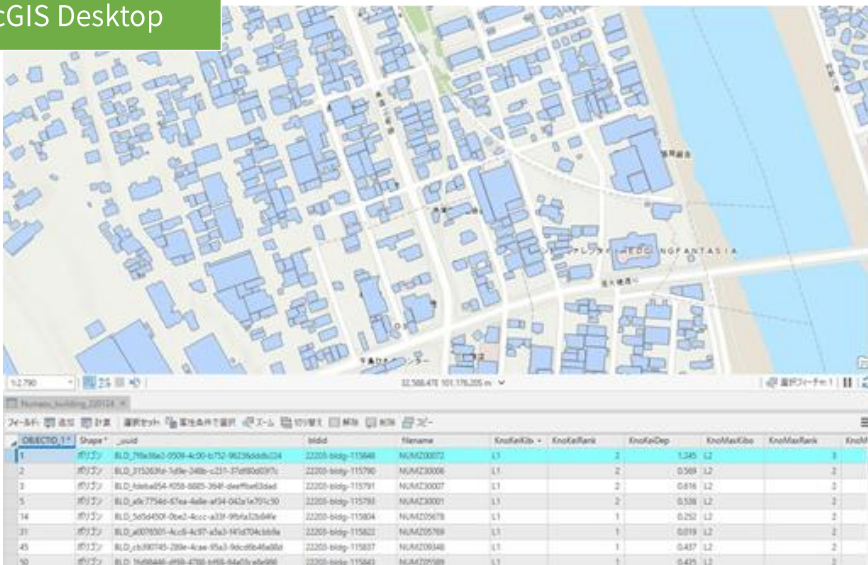
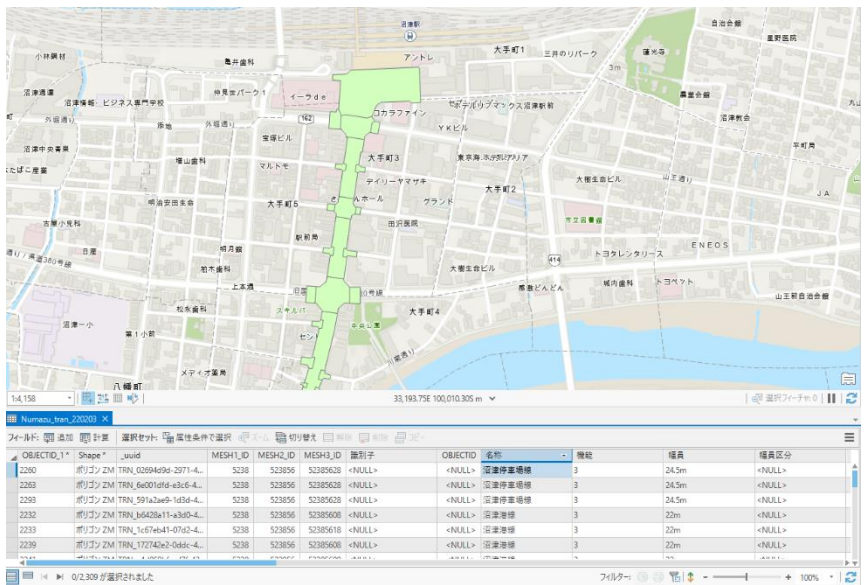
地物	フットプリント上での主題属性作成イメージ																																																																																									
建築物	ArcGIS Desktop 																																																																																									
道路	 <table><thead><tr><th>OBJECTID</th><th>Shape</th><th>gm_lid</th><th>MESH_ID</th><th>MESH2_ID</th><th>MESH3_ID</th><th>識別子</th><th>OBJECT</th><th>名称</th><th>幅員</th><th>幅員区分</th></tr></thead><tbody><tr><td>2230</td><td>ポリゴン</td><td>TRN_0269409d-2971-4...</td><td>5238</td><td>523856</td><td>52385628</td><td><NULL></td><td><NULL></td><td>道路停車帯</td><td>3</td><td>24.5m</td></tr><tr><td>2231</td><td>ポリゴン</td><td>TRN_6e0016dd-1d36-4...</td><td>5238</td><td>523856</td><td>52385628</td><td><NULL></td><td><NULL></td><td>道路停車帯</td><td>3</td><td>24.5m</td></tr><tr><td>2232</td><td>ポリゴン</td><td>TRN_591a2ae9-1d3d-4...</td><td>5238</td><td>523856</td><td>52385628</td><td><NULL></td><td><NULL></td><td>道路停車帯</td><td>3</td><td>24.5m</td></tr><tr><td>2233</td><td>ポリゴン</td><td>TRN_b43d3d1f-1d3d-4...</td><td>5238</td><td>523856</td><td>52385608</td><td><NULL></td><td><NULL></td><td>道路停車帯</td><td>3</td><td>22m</td></tr><tr><td>2234</td><td>ポリゴン</td><td>TRN_1c77a4d1-07d2-4...</td><td>5238</td><td>523856</td><td>52385618</td><td><NULL></td><td><NULL></td><td>道路停車帯</td><td>3</td><td>22m</td></tr><tr><td>2235</td><td>ポリゴン</td><td>TRN_17742d27-0d66-4...</td><td>5238</td><td>523856</td><td>52385608</td><td><NULL></td><td><NULL></td><td>道路停車帯</td><td>3</td><td>22m</td></tr><tr><td>2236</td><td>ポリゴン</td><td>TRN_17742d27-0d66-4...</td><td>5238</td><td>523856</td><td>52385608</td><td><NULL></td><td><NULL></td><td>道路停車帯</td><td>3</td><td>22m</td></tr></tbody></table>		OBJECTID	Shape	gm_lid	MESH_ID	MESH2_ID	MESH3_ID	識別子	OBJECT	名称	幅員	幅員区分	2230	ポリゴン	TRN_0269409d-2971-4...	5238	523856	52385628	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	24.5m	2231	ポリゴン	TRN_6e0016dd-1d36-4...	5238	523856	52385628	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	24.5m	2232	ポリゴン	TRN_591a2ae9-1d3d-4...	5238	523856	52385628	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	24.5m	2233	ポリゴン	TRN_b43d3d1f-1d3d-4...	5238	523856	52385608	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	22m	2234	ポリゴン	TRN_1c77a4d1-07d2-4...	5238	523856	52385618	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	22m	2235	ポリゴン	TRN_17742d27-0d66-4...	5238	523856	52385608	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	22m	2236	ポリゴン	TRN_17742d27-0d66-4...	5238	523856	52385608	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	22m
OBJECTID	Shape	gm_lid	MESH_ID	MESH2_ID	MESH3_ID	識別子	OBJECT	名称	幅員	幅員区分																																																																																
2230	ポリゴン	TRN_0269409d-2971-4...	5238	523856	52385628	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	24.5m																																																																																
2231	ポリゴン	TRN_6e0016dd-1d36-4...	5238	523856	52385628	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	24.5m																																																																																
2232	ポリゴン	TRN_591a2ae9-1d3d-4...	5238	523856	52385628	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	24.5m																																																																																
2233	ポリゴン	TRN_b43d3d1f-1d3d-4...	5238	523856	52385608	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	22m																																																																																
2234	ポリゴン	TRN_1c77a4d1-07d2-4...	5238	523856	52385618	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	22m																																																																																
2235	ポリゴン	TRN_17742d27-0d66-4...	5238	523856	52385608	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	22m																																																																																
2236	ポリゴン	TRN_17742d27-0d66-4...	5238	523856	52385608	<NULL>	<NULL>	道路停車帯	3	22m																																																																																



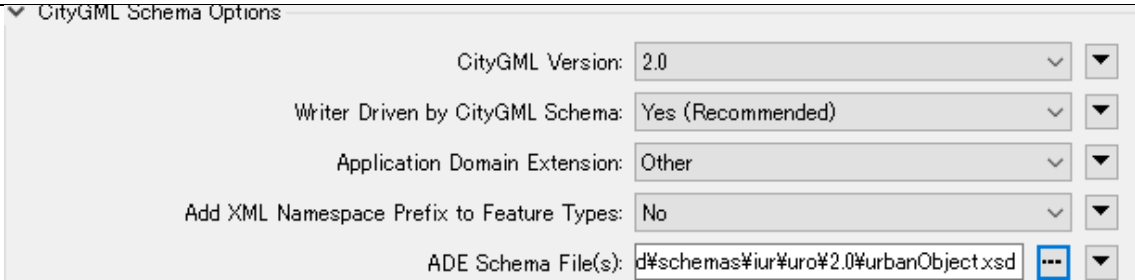
図 8-1 フットプリント (LOD0) 上での主題属性作成イメージ

(2) CityGML (LOD3 ジオメトリ) と主題属性の統合

CityGML (LOD3 ジオメトリ) と主題属性の統合は、FME Desktop で行った。ここでは、i-UR.ver2.0 (Data Encoding Specification of i-Urban Revitalization -Urban Planning ADE- ver.2.0 (内閣府地方創生推進事務局)) の XML Schema (拡張子 .xsd) を使用した。

表 8-1 CityGML (LOD3 ジオメトリ) と主題属性の統合手順の概要

CityGML (LOD3 ジオメトリ) と主題属性の統合手順の概要	
Step1	FME トランスフォーマ「FeatureMerger」を利用して、ジオメトリとフットプリント属性を地物の gml_id をキーとして紐づけ、FME トランスフォーマ「AttributeManager」を利用して、属性名を CityGML ライターで認識・出力するための属性名 (汎用属性は汎用属性名に、i-UR 拡張属性名は FME で指定された属性名) に変更する。

CityGML (LOD3 ジオメトリ) と主題属性の統合手順の概要	
Step2	「CityGML」ライターで出力する。この時、i-UR 拡張属性を認識し適切に出力できるように、「CityGML」ライターの CityGML Schema Options 設定で Application Domain Extension で「Other」を選択し、ADE Schema File(s)で i-UR の xsd ファイルを指定する。 
Step3	出力された CityGML の空のタグは、FME トランスフォーマ「XML Formatter」を利用し XML Clean-up 設定の Remove Empty Elements で「Yes」を選択することで除去する。

9 品質評価

今回の作成実証に適用した品質評価手法を示す。

(1) 完全性

完全性の評価は、MMS の全方位画像と作成した LOD3 都市モデルを目視照合し、ジオメトリの過不足、テクスチャの不具合を検査した。



図 9-1 完全性の品質評価（MMS 全方位画像との照合例）

(2) 論理一貫性

昨年度の Project PLATEAU で開発された位相一貫性の論理検査ツール

(<https://github.com/Project-PLATEAU/CityGML-geometry-validator>) に加え、LOD3 作成の中間工程で作成される 3 次元図化データ（Microstation 出力データおよび blender 出力データ）の検査に対応するための ① CityGML 変換前の 3 次元図化データ検査ツールと、建築物の LOD3 構成要素である「窓」と「扉」を含めた CityGML ジオメトリを検証するための②既存のフリーソフトウェア「CityDoctor2 (<https://www.hft-stuttgart.com/research/projects/current/citydoctor-2>)」を生産ラインに組み込み検査を実施した。また、エラー箇所の目視での確認は、③FZK Viewer も使用した。

1) 3 次元図化データ（Microstation 出力データおよび blender 出力データ）の検査ツール

LOD3 作成では、中間工程で Microstation 出力データ及び blender 出力データが作成され、これらから CityGML に変換される。そこで、これらのデータについてもジオメトリの検証ツール（FME 利用）を用意し、CityGML 変換前のエラー修正に使用した。

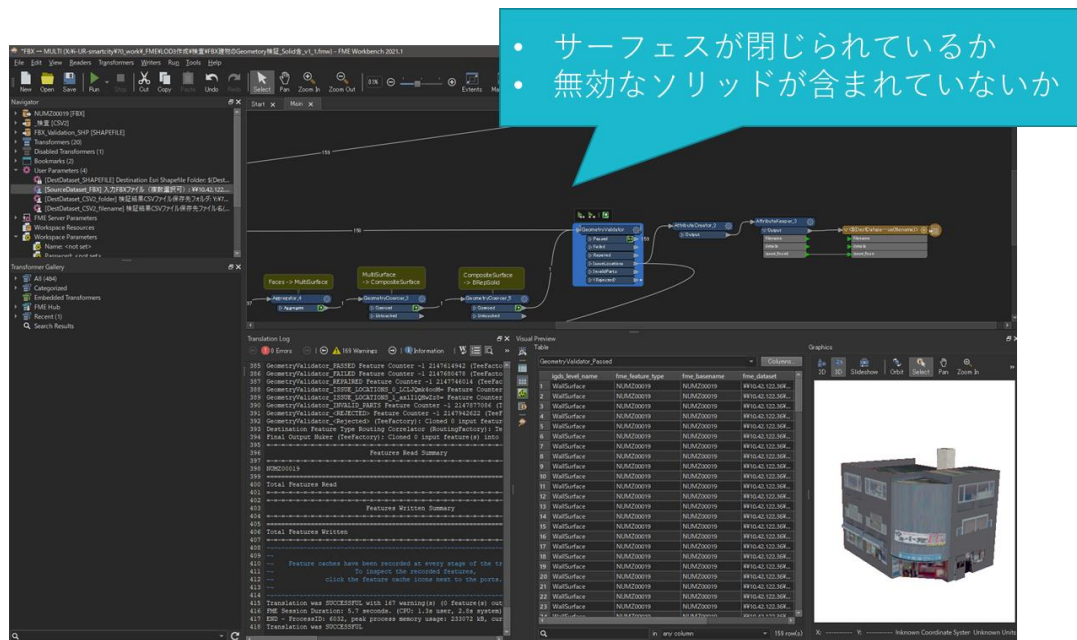


図 9-2 FME での検査画面イメージ

2) CityDoctor 2

CityDoctor2 は、ドイツのシュトゥットガルト大学が提供している CityGML の論理検査ツールである。建築物の LOD2 構成要素に加え LOD3 構成要素（窓・扉）も対象とした位相一貫性の検査機能をもっており、また、検査結果を付属するビューア上で確認することができる。

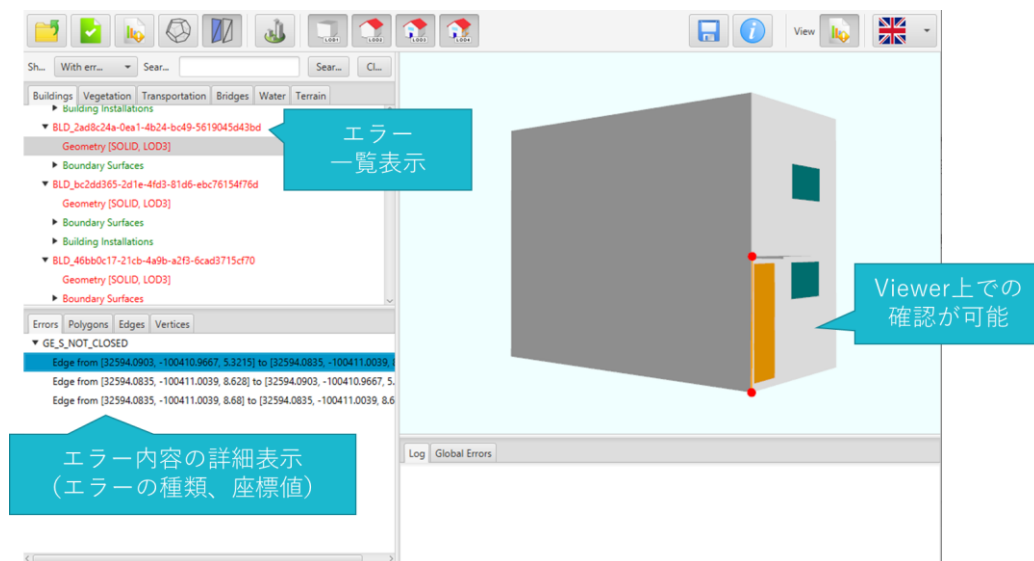


図 9-3 CityDoctor2 の検査結果表示画面

Project PLATEAU の位相一貫性論理検査ツールと CityDoctor2 のそれぞれのチェック項目を比較した表を次に示す。比較に際しては、Project PLATEAU の位相一貫性の論理検査ツールのエラーコード一覧 (<https://github.com/Project-PLATEAU/CityGML-geometry-validator/blob/main/doc/log.pdf>) と、CityDoctor2 のエラーコード一覧

(<https://gitlab.com/volkercoors/CiD4Sim/-/wikis/validation/Error-Codes>) を参照した。

エラーの検出能力に関しても、Project PLATEAU の位相一貫性論理検査ツールと同等であることを確認できたので、LOD3 の建築物の位相一貫性検査に活用した。

表 9-1 Project PLATEAU 位相一貫性論理検査ツールと CityDoctor2 の機能比較

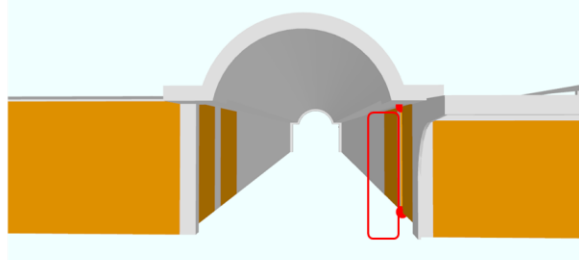
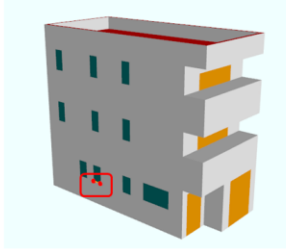
Project PLATEAU品質評価システム		CityDoctor2
Geometry Errors - Linear Ring Level		
100	Contains NaNs, Infinities, Null Geometry Parts or -0	
102	Duplicate Consecutive Points	GE_R_CONSECUTIVE_POINTS_SAME
104	Self-Intersections in 2D	GE_R_SELF_INTERSECTION
105	Degenerate or Corrupt Geometries	GE_R_COLLAPSED_TO_LINE
		GE_R_NOT_CLOSED
		GE_R_TOO_FEW_POINTS
Geometry Errors - Polygon Level		
201	Donut: Overlapping or Touching Rings	GE_P_INTERSECTING_RINGS
202	Donut: Duplicate Rings	GE_P_DUPLICATED_RINGS
203	Non Planar Polygon: Thickness	GE_P_NON_PLANAR_POLYGON_DISTANCE_PLANE,
204	Non Planar Polygon: Normal Deviation	GE_P_NON_PLANAR_POLYGON_NORMALS_DEVIATION
205	Donut: Disjoint Interior	GE_P_INTERIOR_DISCONNECTED
206	Donut: Hole Outside Shell	GE_P_HOLE_OUTSIDE
207	Donut: Nested Hole	GE_P_INNER_RINGS_NESTED
208	Incorrect Orientation	GE_P_ORIENTATION_RINGS_SAME
Geometry Errors - Shell Level		
300	Not a Valid 2-Manifold	
301	Not Enough Faces	GE_S_TOO_FEW_POLYGONS
302	Surface Not Closed	GE_S_NOT_CLOSED
305	Multiple Connected Components	GE_S_MULTIPLE_CONNECTED_COMPONENTS
306	Surface Self Intersects	GE_S_SELF_INTERSECTION
307	Face Wrong Orientation	GE_S_POLYGON_WRONG_ORIENTATION
308	Surface Wrong Orientation	GE_S_ALL_POLYGONS_WRONG_ORIENTATION
309	Vertices Not Used	
303		GE_S_NON_MANIFOLD_VERTEX
304		GE_S_NON_MANIFOLD_EDGE
Geometry Errors - Solid Level		
401	Shells Intersect	
402	Duplicate Shells	GE_S_MULTIPLE_CONNECTED_COMPONENTS
403	Inner Shell Outside Outer	
404	Interior of Shell Not Connected	GE_S_NOT_CLOSED
405	Incorrect Solid Orientation	GE_S_ALL_POLYGONS_WRONG_ORIENTATION
Top Level Feature Errors		
609	Building with no Solid primitive*	
610	LoD2 Building No GroundSurface*	
611	LoD2 Building No WallSurface*	
612	LoD2 Building No RoofSurface*	
614	Feature Overlap in 2D*	
617	LoD2 Solid contains unlinked boundedBy Surfaces*	
619	LoD2 Solid contains Invalid xlinked surface*	
Dataset Errors		
905	Duplicate gml:id*	
999	Unknown	

エラーの出現頻度としては、表 9-1 に示す「302：Surface Not Closed（面が閉じていない）」、「306：Surface Self Intersects（面同士が交差）」が多かった。また、出現頻度は多くはないが「104：Self-Intersections in 2D（始終点以外の自己交差または自己接触）」のエラーもあった。CityDoctor2 で確認したエラー事例を図 9-4 から図 9-6 に示す。

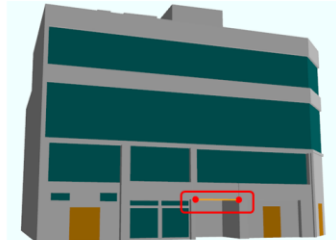
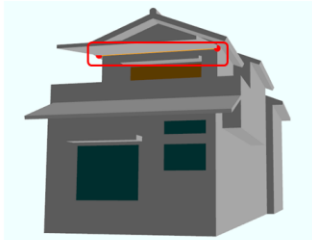
「Surface Not Closed」のエラー事例



原因 1：窓/ドアと壁に隙間がある場合



原因 2：庇と壁に隙間がある場合



原因 3：屋上に隙間がある場合

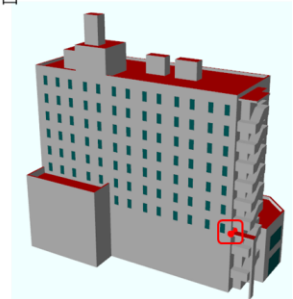
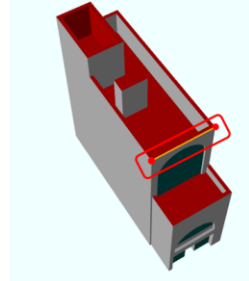


図 9-4 302：Surface Not Closed（面が閉じていない）のエラー事例

「Surface Self Intersects」のエラー事例

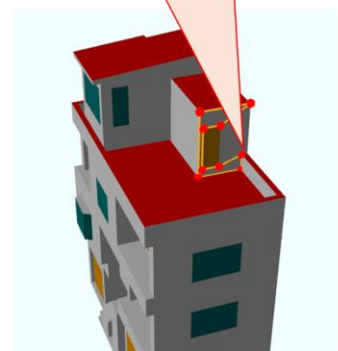
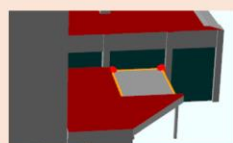
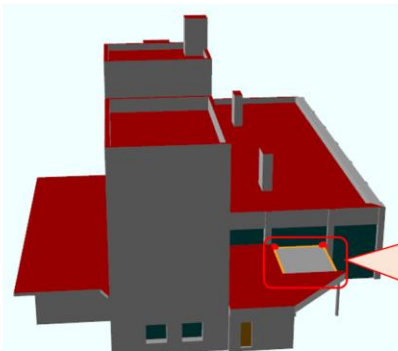
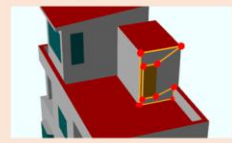
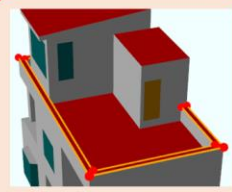
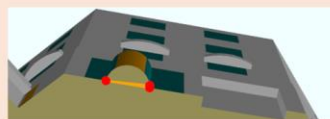
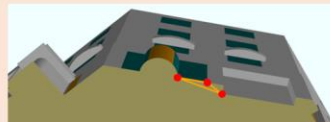
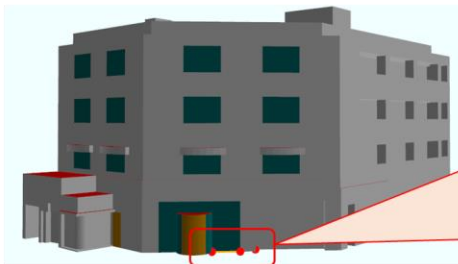


図 9-5 306：Surface Self Intersects（面同士が交差）のエラー事例

「Self-Intersections in 2D」のエラー事例

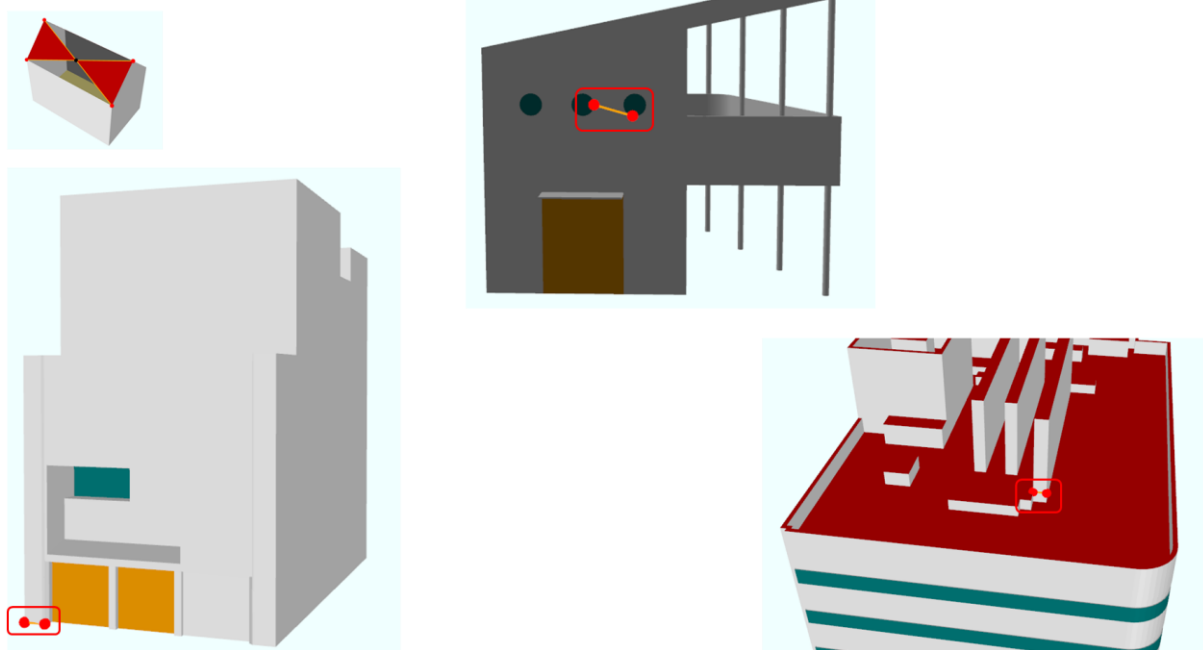


図 9-6 104 : Self-Intersections in 2D（始終点以外の自己交差または自己接触）のエラー事例

いずれのエラーも Solid を構成する頂点の接続関係の構築が不十分であったり、不要な頂点・線分が残っている場合が多い。ジオメトリ作成段階では、これらの点に注意し図化作業を進める必要がある。

なお、CityDoctor2 の使用上の留意点として、窓のようなリング構造の面において、本来エラーではない箇所をエラーとして判定される場合があると開発者から報告を受けている。エラーが出現した箇所については、次に示す FZK Viewer による目視確認と併用し品質評価を進めた。

3) FZK Viewer

3D 都市モデル全体としての妥当性を、FZK Viewer によって検査した。



図 9-7 FZK Viewer によるモデル全体の妥当性検証

(3) 位置正確度

MMS 点群データを真値として、外壁のエッジ部分、ドア・窓などの特徴点で座標値を比較検査した。

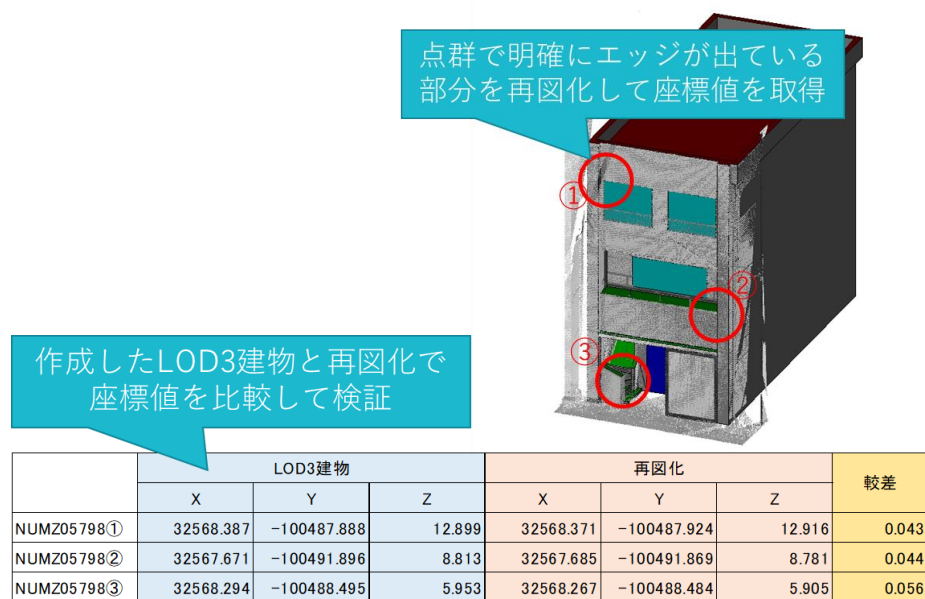


図 9-8 位置正確度の検査手法

10 MMS 点群データ／全方位画像を用いた LOD3 作成のトータルコスト／作業能率

沼津市データ作成実証に基づく、MMS 点群データ／全方位画像を用いた LOD3 作成（地図情報レベル 500）のトータルコストと作業能率のそれぞれの概算を次に示す。

(1) トータルコスト

表 10-1 LOD3 データ作成実証のトータルコスト（地図情報レベル 500）

地物	数量	ジオメトリ	テクスチャ	合計	(参考) 2500 レベル空中写真図化
建築物	307 棟	2282 時間 (326 人/日)	2079 時間 (297 人/日)	4361 時間 (623 人/日)	35 時間 (5 人/日)
道路	2.2km	154 時間 (22 人/日)	0.14 時間 (0.02 人/日)	154 時間 (22 人/日)	35 時間 (5 人/日)
都市設備	3531 個(側溝/アークト 5104m)	546 時間 (78 人/日)	623 時間 (89 人/日)	1169 時間 (167 人/日)	—
植生	606 個	42 時間 (6 人/日)	0.28 時間 (0.04 人/日)	42 時間 (6 人/日)	—
合計		3024 時間 (432 人/日)	2702 時間 (386 人/日)	5726 時間 (818 人/日)	70 時間 (10 人/日) ※建物道路のみ

(2) LOD3 建築物

表 10-2 LOD3 建築物の作業能率（概算）

パターン	パターン 1	パターン 2	パターン 3	パターン 4	パターン 5
対象	面数が少ない建物 (2-3 階程度)	小規模で面数が多い建物 (4-5 階程度)	三角屋根の一軒家	大規模で面数が多い建物	面数が多く複雑な建物
					
ジオメトリ	3 時間	1 日	1.5 日	3 日	5 日
テクスチャ	3 時間	1 日	1 日	3 日	5 日
合計	6 時間	2 日	2.5 日	6 日	10 日
整備エリア 全体棟数	129 棟	97 棟	57 棟	16 棟	8 棟

(3) LOD3 道路／都市設備／植生

表 10-3 LOD3 道路／都市設備／植生の作業能率（概算）

地物 対象	道路	都市設備				植生	
		道路標識 照明灯	交通信号機	柱_片持	ガードパイプ	単独木	植被
ジオメトリ	1 日/100m	15 分/1 モデル	30 分/1 モデル	20 分/1 モデル	90 分/10m	5 分	3 分
テクスチャ	10 分 (疑似)	15 分/1 モデル (写真+疑似)	20 分/1 モデル (写真+疑似)	15 分/1 モデル (疑似、複数モデル一括処理可)	15 分 (疑似、複数モデル一括処理可)	10 分 (疑似、複数モデルの一括処理可)	
合計	1 日/100m	30 分/1 モデル	50 分/1 モデル	20-35 分/1 モデル	90-105 分/10m	5-15 分	3-13 分

(4) 今後の検討課題

今回の地図情報レベル 500 の LOD3 データ作成実証のトータルコストは、表 10-1 に示すとおり、地図情報レベル 2500 の LOD2 作成と比較しても非常に高い結果となった。この結果の理由としては以下の理由が考えられる。

- 空中写真図化と比べ、MMS 点群データの図化作業の難易度が高い（特に今回は地図情報レベル 500 の位置正確度が求められたこと、点群データから建築物をモデル化するための高度な図化技術が必要となった）。
- ユースケース開発において高解像度のテクスチャが必要となったため、MMS 全方位画像、現地撮影写真と空中写真を併用して UV マップを作成しなければならなかった。そのため、テクスチャの自動生成ができず作業能率が悪くなった。

MMS 点群データ及び全方位画像を用いた LOD3 の 3D 都市モデル整備の効率化に向けては、図化作業等の自動化技術の開発が求められると考える。また、次章 11 にも、作業能率改善策の考察を示す。

11 LOD3 整備の標準化に向けた検討事項

(1) 作成手法

LOD3 の 3D 都市モデルの作成手法について表 11-1 のとおり整理した。

表 11-1 LOD3 の作成手法（一部想定）

作成手法		LOD3				特徴
		建築物	道路	都市設備	植生	
1	航測図化	×	○	△	×	・ 建築物の窓／ドアの取得は困難 ・ 道路構成要素の作成は可能 ・ 都市設備は道路標示のみ作成可能 ・ LOD1 レベルの植被は作成可能
2	MMS 図化＋航測図化	○	○	○	○	・ 建築物は既存 LOD2 から LOD3 へのアップグレード（建物前面部） ・ 建築物高層部や遮蔽部は取得困難。
3	オブリークカメラを用いた航測図化	○	○			・ 窓／ドアの品質向上
4	BIM データ変換	○				・ 測量座標への位置合わせが必要

1) MMS 図化と航測図化による窓／ドアの再現率検証

沼津市データ作成実証では、と MMS 図化と航測図化の二つの手法によって、LOD3 建築物（窓／ドア）の作成を行った。MMS 図化によって作成した LOD3 を正としたときの、航測図化 LOD3 による窓／ドアの再現率（建築物外壁前面部の完全性の品質評価）を、抜取検査によって検証した（表 11-2）。

その結果、航測図化による窓／ドアの再現は困難であることを確認したため、航測図化による LOD3 建築物の作成は困難であるとした。

表 11-2 MMS 図化と航測図化による窓／ドアの再現率検証結果（20 棟）

抜取対象 建物 No	MMS 図化(500)		航測図化(2500)		比較結果
	窓の個数	ドアの個数	窓の個数	ドアの個数	
NUMZ00250	2	1	4	1	ドアのみ一致
NUMZ05168	4	2	3	0	不一致
NUMZ05176	8	3	3	0	不一致
NUMZ05799	6	1	9	1	ドアのみ一致
NUMZ05936	6	1	7	0	不一致
NUMZ06397	7	2	5	1	不一致
NUMZ21525	8	1	4	1	ドアのみ一致
NUMZ00110	7	1	0	1	ドアのみ一致
NUMZ00380	2	2	3	1	不一致
NUMZ00469	5	2	6	0	不一致
NUMZ00740	3	2	11	1	不一致
NUMZ02798	7	2	10	2	ドアのみ一致
NUMZ03033	3	1	8	1	ドアのみ一致
NUMZ03037	23	3	32	0	不一致
NUMZ03214	4	2	5	2	ドアのみ一致
NUMZ03217	3	2	12	1	不一致
NUMZ05143	2	1	2	0	窓のみ一致
NUMZ05587	2	2	3	1	不一致
NUMZ05675	4	1	2	1	ドアのみ一致
NUMZ05796	6	1	0	2	不一致
ドアの一致率					40%
窓の一致率					5%

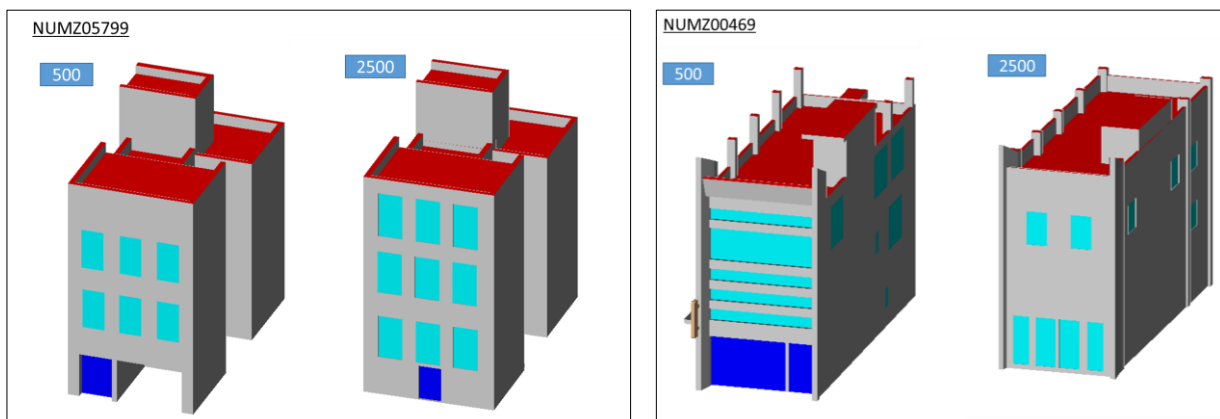


図 11-1 LOD3 建築物 作成手法による窓／ドアの違いの例

2) 航測図化手法による LOD3 道路の作成限界

MMS 図化と比較し、航測図化手法のほうが LOD3 道路の作成はコスト面で優位性が高い。一方で、空中写真からは歩道部のマウントアップ部の表現が難しいことがわかった。次の図は、空中写真による図化を行い、歩道下部と上部の高さを算出した結果である。段差が、-0.03cm から 29cm と空中写真測量の精度の限界があることがわかる。

	歩道下部(m)	歩道上部(m)	段差(m)
P1	7.49	7.60	0.11
P2	7.33	7.31	-0.02
P3	7.03	7.08	0.05
P4	6.86	6.95	0.09
P5	6.72	6.80	0.08
P6	6.42	6.58	0.16
P7	6.24	6.25	0.01
P8	6.01	6.04	0.03
P9	5.85	5.95	0.10
P10	5.65	5.78	0.13
P11	5.31	5.57	0.26
P12	7.18	7.47	0.29
P13	6.64	6.90	0.26
P14	6.46	6.57	0.11
P15	6.17	6.25	0.08
P16	6.10	6.07	-0.03
P17	5.81	5.90	0.09
P18	5.52	5.74	0.22
P19	5.35	5.46	0.11



図 11-2 空中写真からの歩道部マウントアップの立ち上げの検証図化結果

(2) 本データ作成実証で採用した地物の取得基準（MMS 図化の場合 500 レベル）

本データ作成実証は、LOD3 の 3D 都市モデル標準製品仕様書及び標準作業手順書の検討と並行して実施した。表 11-3 に、本データ作成実証で採用した地物の取得基準を示す。ここでの検討結果は、標準製品仕様書及び標準作業手順書の検討にフィードバックした。

表 11-3 本データ作成実証で採用した地物の取得基準（MMS 図化の場合）

No	対象	データ作成実証で採用した地物の取得基準		備考
1	全体	取得対象の大きさ	・ 一辺が 1m 以上	・ 本データ作成実証では一辺が 25cm 以上の形状を作成したため整備コストへの影響大 ・ 一辺 1m以上のオブジェクトとすることでコストを約 30%低減可能
2	全体	地表面の高さ	・ 複数のリソース（DEM と点群データ等）がある場合は、位置正確度の高い標高を採用	・ 本データ作成実証では MMS 点群データの高さを採用

No	対象	データ作成実証で採用した地物の取得基準		備考
3	建築物	階段の表現方法	・ 階段の一段一段の形状表現はせずスロープで表現 ・ 階段手すりのジオメトリは作成せずテクスチャで表現	・ 本データ作成実証では、ユースケース開発の要件として一段一段の形状表現/手すりの作成は求められなかった ・ 整備コストを考慮し階段はスロープ表現して手すりはテクスチャで表現
4	建築物	建物側面部の点群が当たっていない範囲の窓/ドアの図化	・ 全方位画像から視認できかつ窓/扉のパターンがある場合はパターンを複製 ・ 品質評価の対象外	・ LOD3 による実空間の再現性を優先 ・ 点群データを直接図化せずに窓/扉のパターンを複製した場合は原典資料との比較ができないため品質評価のサンプリング対象から除外
5	道路（車道部）	車道部の横断勾配等の傾斜表現	・ 表現しない（車道縁を基準に車道部の構成要素を作成する）	・ 整備コストを考慮 ・ ユースケースで必要な場合は取得基準を拡張して対応
6	道路（歩道）	歩道切り下げ部と道路面の接続部	・ 実際には数 cm の段差が存在するが道路面の高さに合わせて接続	・ 整備コストを考慮 ・ ユースケースで必要な場合は取得基準を拡張して対応
7	道路（歩道）	歩道縁の位置	・ 現況の道路縁を図化する（舗装などの境界が目安）→公共測量ではこちらが一般的 ⇒図 11-3 を参照	・ 建築物と歩道の間に空白部が発生する場合あり ・ 建築物の接地面に合わせ歩道縁を作成する方法あり→道路との位置合わせで BIM を測量座標へ変換可能 ・ ユースケースに応じ取得基準を変更
8	都市設備	標識と柱など設備同士の接続ルール	・ 接続部のモデリングは省略可能とする（標識などは柱から浮いた状態となる） ⇒図 11-4 を参照	・ 接続部のモデリングを省略することで整備コストが現在の 3-5 割減
9	単独木	LOD3 のジオメトリ	・ 葉っぱの表現は不要 ⇒表 5-15 を参照	・ データサイズを考慮

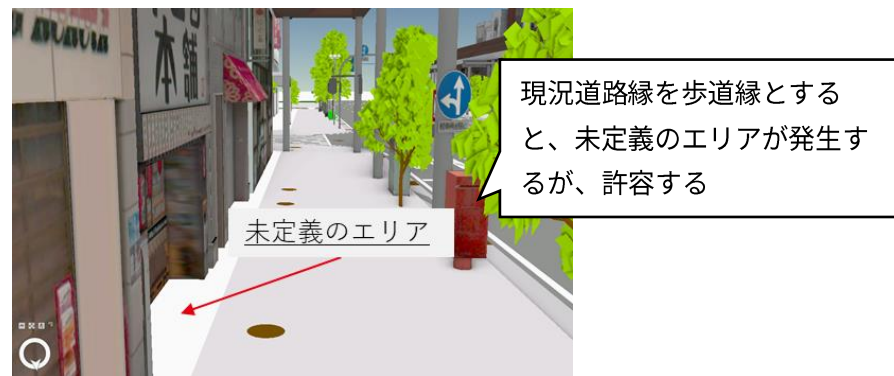


図 11-3 歩道縁の位置の決め方

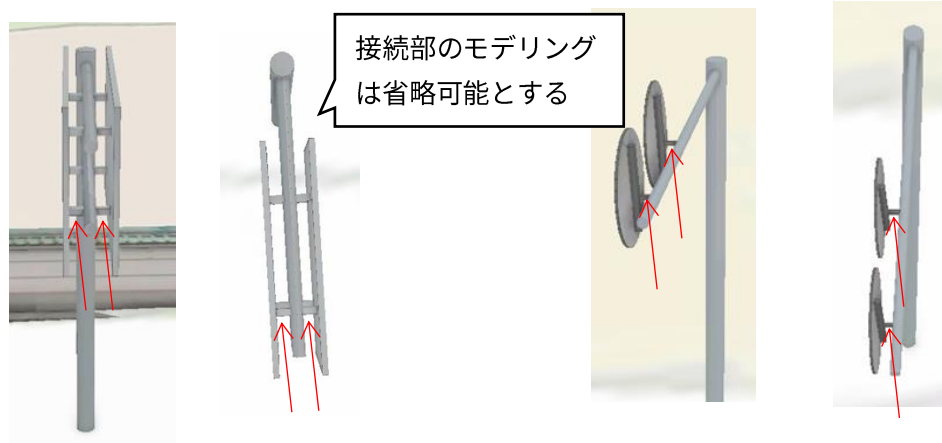


図 11-4 都市設備 柱と標識の接続部の例

(3) 標準仕様の対象とする主題属性（道路、都市設備、植生）

道路、都市設備及び植生の主題属性の原典資料及び作成方法を整理した。

1) 道路「gml:name(名称)」 「tran:function(機能)」

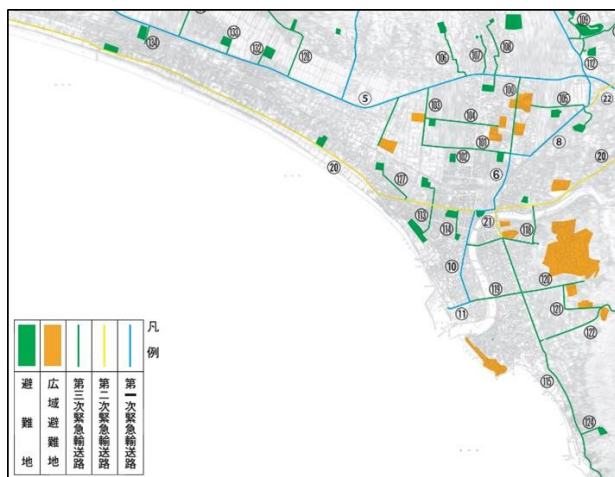
道路の主題属性「名称」と「機能」の原典資料は次の資料を使用する。なお、道路の「名称」は、政令・告示等による正式な路線名とする。

表 11-4 道路「gml:name(名称)」 「tran:function(機能)」の原典資料

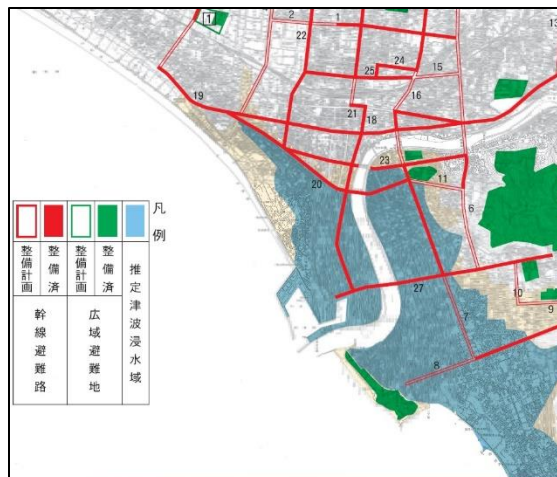
道路の種類	原典資料	入手先
高速自動車国道	高速道路案内図、道路網図	高速道路会社
一般国道	管内図	国道事務所
都道府県道	路線網図、管内図	土木事務所
市町村道	路線網図	市区町村
建築基準法の道路	指定道路図	市区町村

2) 道路「tran:usage(用途)」

道路の主題属性「用途」の原典資料は、「地域防災計画」とする。



地域防災計画 緊急輸送道路



地域防災計画 避難道路

図 11-5 地域防災計画の例

3) 道路「uro:widthType(幅員区分)」

道路の主題属性「幅員区分」の原典資料は、「都市計画基礎調査」とする。都市計画基礎調査の結果がない場合は、この属性は作成しない。

4) 道路「uro:width(幅員)」

道路の主題属性「幅員」の原典資料／作成方法は表 11-5 に示す 5 つの手法のいずれかとする。なお、どの手法で幅員値を取得したか、メタデータに記載する。

表 11-5 道路「uro:width(幅員)」の原典資料／作成方法

手法		説明
1	都市計画基礎調査の値を採用	自治体で実施している基礎調査に幅員値が含まれている場合
2	国土地理院ベクトルタイルの値を採用	ベクトルタイルの道路中心線に「実幅員」がある場合 https://github.com/gsi-cyberjapan/vector-tile-experiment
3	全国道路・街路交通情勢調査（一般交通量調査）の値を採用	調査対象は、高速道路、一般国道、都道府県道 https://www.mlit.go.jp/road/census/h27/
4	GIS の機能で幅員を算出	道路の区間面積と道路延長から幅員値を算出
5	道路台帳の幅員値から計算	道路管理者から道路台帳を借用し、幅員値を算出



図 11-6 国土地理院ベクトルタイルの例

道路種別	幅員構成 (m)											
	路線		道路部幅員	車道部幅員	車道幅員	中央帯幅員	歩道幅員		自転車道幅員		停車帯等幅員	
	路線番号	路線名					上り	下り	上り	下り	上り	下り
4	52	沼津停車場線	24.50	16.00	14.50	.00	4.25	4.25	.00	.00	.00	.00
6	159	沼津港線	22.00	13.00	12.00	.00	4.50	4.50	.00	.00	.00	.00
6	159	沼津港線	22.00	13.00	12.00	.00	4.50	4.50	.00	.00	.00	.00

図 11-7 全国道路・街路交通情勢調査（一般交通量調査）の例



図 11-8 GISでの幅員算出例



図 11-9 道路台帳からの幅員算出例

5) 道路及び交通領域の「uro:numberOfLanes(車線数)」

道路及び交通領域の主題属性「車線数」の原典資料は、「一般交通量調査」とする。一般交通量調査 (<https://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>) が実施されていない道路（主に市町村道）は、空中写真又はMMS全方位画像等を使用し車線数を判読する。

交通基本 調査 区間 番号	世代管理 番号	道路種別		路線 番号	路線 名	車 線 数	交通安全施設等										バス路線		交差点密度 (箇所/km)	代表信号 交差点	鉄道との平面交差	指定最高速度	箇所の有無		付加車線及び 登坂車線設置 箇所の有無	中央分離帯				自走車通行 可能区分	通行規則区分	異常検知等	リバーシブル レーン	運用上有無																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		十の位	一の位				歩道設置率	自転車歩行者 歩道設置率	自転車歩行者 歩道設置率	自転車歩行者 歩道設置率	自転車歩行者 歩道設置率	自転車歩行者 歩道設置率	自転車歩行者 歩道設置率	自転車歩行者 歩道設置率	バス優先・専用	レーン設置率	上	下					中央分離帯の 設置状況	中央分離帯の 設置状況		中央分離帯の 設置状況	中央分離帯の 設置状況																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		▼	▼				▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼					▼	▼		▼	▼	▼	▼						▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼

図 11-10 一般交通量調査の例

6) 交通領域及び交通補助領域の「tran:function(機能)」

交通領域及び交通補助領域の主題属性「機能」は、①道路基盤地図情報、②道路台帳、③空中写真又はMMS全方位画像の優先順位で原典資料とする。各原典資料から判読可能な「機能」の分類は表 11-6 のとおりである。

表 11-6 各原典資料から判読可能な「tran:function(機能)」の分類

交通領域				交通補助領域			
大分類	小分類	道路台帳	道路基盤地図情報 空中写真・MMS	大分類	小分類	道路台帳	道路基盤地図情報 空中写真・MMS
車道部	車線	×	○	車道部	非常駐車帯	×	○
	車道交差部	○	○		中央帯	×	○
	すりつけ区間	×	○		側帯	×	○
	踏切道	○	○		路肩	×	○
	軌道敷	×	○		停車帯	×	○
	待避所	×	○		乗合自動車停車所	×	○
	副道	×	○	歩道部	自転車歩行者道	×	○
歩道部	自転車歩行者道	×	○		歩道	○	○
	歩道	○	○		自転車道	×	○
	自転車道	×	○	島	交通島	○	○
					分離帯	○	○
				路面電車停車所		○	○
				植栽	植樹帯	○	○
					植樹ます	○	○
				自転車駐車場		×	○
				自動車駐車場		×	○

7) 交通領域及び交通補助領域の「tran:surfaceMaterial(表面材質)」

交通領域及び交通補助領域の主題属性「表面材質」は、①工事完成図書、②道路台帳、③現地調査の優先順位で原典資料とする。

工事図面の場合、平面図・横断図・縦断図で1セット⇒横断図に舗装の記載あり

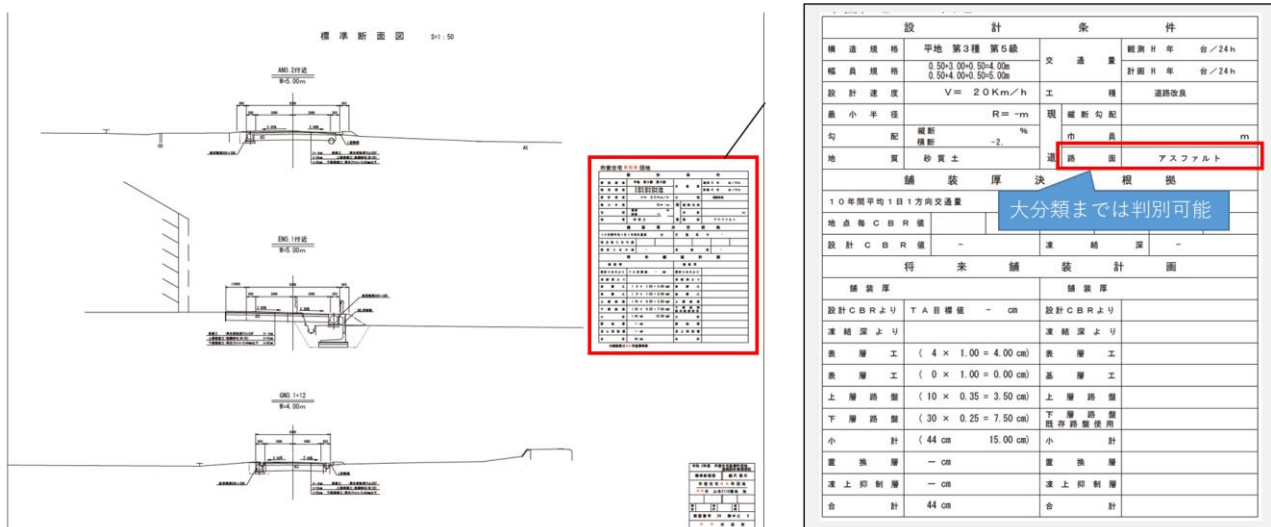


図 11-11 工事完成図書からの表面材質の取得例

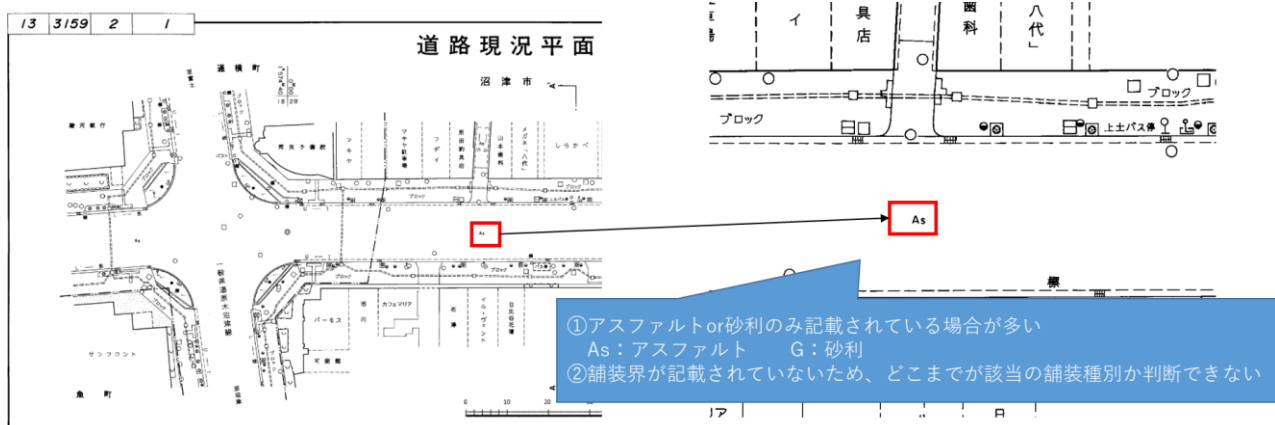


図 11-12 道路台帳からの表面材質の取得例

8) 道路「uro:TrafficVolumeAttribute(交通量)」

道路「交通量」の主題属性は、①都市計画基礎調査又は②一般交通量調査を原典資料とする。主題属性「交通量」に含まれる「混雑時平均旅行速度」は都市計画基礎調査で収集されている場合にのみ作成する。

交通量調査データ（沼津市の事例）

交通量調査番号	道路種別	道路番号	道路名	交通量観測地点地名 市区町村	観測時期 観測年月日	基幹12時間自動車交通量 (上下合計)				24時間自動車交通量 (上下合計)				混雑時 12時間 平均 旅行速度	混雑時 12時間 平均 旅行速度	平成22年度 旅行速度調査 単位区間番号				混雑時 旅行速度 単位区間番号			
						小型車	大型車	合計	小型車	大型車	合計	小型車	大型車	合計	小型車	大型車	合計	小型車	大型車	合計	小型車	大型車	合計
22400520010	0	0	52	沼津市下河原24	20151111	18914	1186	20100	26169	2977	28146	1.40	11.2	5.9	1.10	22000	41070	19748	26462	22000	41070	19748	26462
22601590010	0	0	159	沼津市下河原24	20151111	7980	790	8770	8990	1231	10221	1.30	9.4	9.7	27	22000	60900	9269	12392	22000	60900	9269	12392
22601590020	0	0	159	沼津市下河原24	20151111	7980	790	8770	8990	1231	10221	1.30	9.4	9.7	27	22000	60900	9269	12392	22000	60900	9269	12392

図 11-13 一般交通量調査での「uro:TrafficVolumeAttribute (交通量)」に該当する項目

9) 都市設備「frn::class(分類)」「frn:function(機能)」「uro:facilityType(設備区分)」「uro:description(内容)」

都市設備の主題属性の原典資料は、MMS 全方位画像がある場合はこれを優先し、道路標識一覧、道路標示一覧と照合し入力する。一部の都市設備（照明施設等）については、道路施設台帳を参照してもよい。

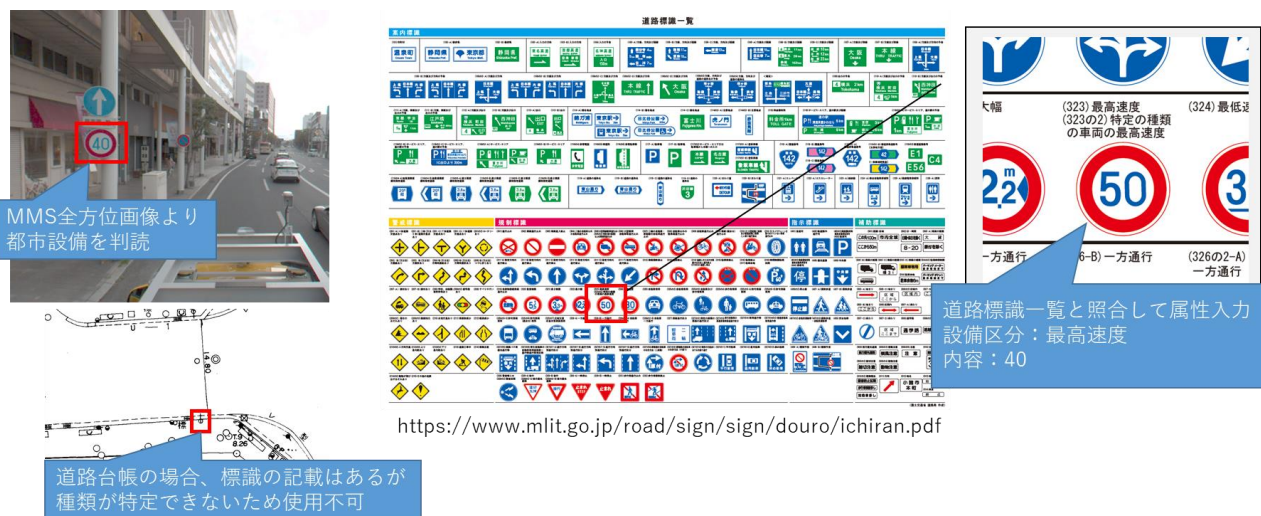


図 11-14 道路標識一覧／道路標示一覧を使用した主題属性作成例

- 10) 単独木「veg:name(名称)」 「veg:class(分類)」 「frn:function(機能)」 「veg:height(樹高)」 「veg::trunkDiameter(幹径)」 「veg::crownDiameter (樹冠幅)」 / 植被「veg:name(名称)」 「veg:height(平均樹高)」

単独木及び植被の主題属性の原典資料は、①道路台帳（街路樹台帳）、②3D モデルから自動計算（単独木「分類」「樹高」/植被「平均樹高」の優先順位とする。

(4) LOD3 の効率的なテクスチャ作成の考え方

本データ作成実証を踏まえた、LOD3 の効率的なテクスチャ作成の考え方を、表 11-7 のとおり整理した。

表 11-7 LOD3 の効率的なテクスチャ作成の考え方

テクスチャの種類	対象地物	備考
疑似テクスチャ（単一色）	・ 建築物（壁、窓、ドアは分離してテクスチャ作成） ・ 道路 ・ 都市設備_路面標示 ・ 都市設備_柱、信号、照明灯、電話 BOX など ・ 植被	・ 建築物のテクスチャを疑似テクスチャとすると、整備コストが現在の 3-5 割減となる
写真テクスチャ	・ 建築物付属物_看板 ・ 都市設備_標識、看板、自動販売機 など	・ ジオメトリでは表現できない文字情報を対象とする

写真テクスチャの素材として、空中写真、MMS 全方位画像及び現地撮影写真の三種類がある。本データ作成実証では、モビリティのユースケース開発側の要求に基づき、現地撮影写真を用いた高解像度テクスチャを 116 件の建築物及び都市設備で作成した。現地撮影の計画、撮影及びテクスチャ作成の流れを表 11-8 に示す。

表 11-8 現地撮影写真を用いた高解像度テクスチャ作成の流れ

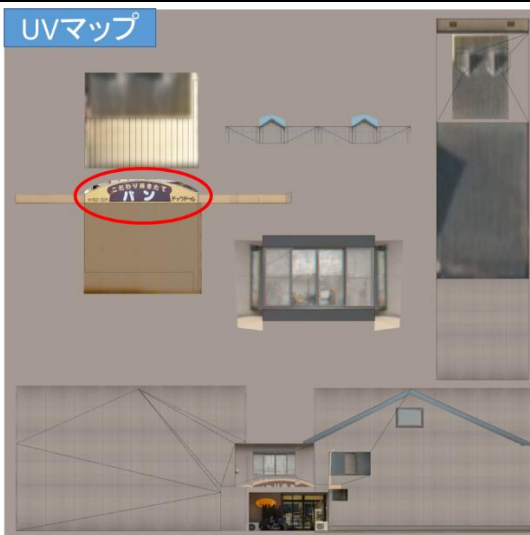
手順	説明
1	高解像度テクスチャの現地撮影を行う対象地物について、次の点を図面上に整理する。 ①該当地物の位置 ②該当地物の種類 ③テクスチャの現地撮影を行うパーツ（看板、文字の書いてある窓など） 高解像度テクスチャの主な対象は次の三種類であった。 ①建物に付属する看板 ②文字や絵が描かれている、特徴的な外壁・窓 ③道路標識
	MMS全方位画像上での確認  整理した図面 

手順	説明
2	手順1で準備した図面を持参して現地撮影を実施した。撮影を行う際は、次の点について留意し作業を実施する。 ①対象の地物を正面から撮影する。 ②なるべく人や影等が写り込まないように撮影する。 ③対象の地物が大きく写るよう撮影する。
3	Blender および Krita を使用し、現地撮影した画像を写真テクスチャとして建物に貼り付ける。現地撮影写真が複数枚ある場合は、MMS 全方位画像から作成した写真テクスチャとも比較し、自然な色合いとなる写真を選択する。

現地撮影写真例



UVマップ



現地撮影写真反映後イメージ



3D 都市モデル LOD3 データ作成実証レポート

令和 4 年 3 月 発行

委託者： 国土交通省 都市局 都市政策課

受託者： 国際航業株式会社

本報告書は、国際航業株式会社が国土交通省との間で締結した業務委託契約書に基づき作成したものです。受託者の作業は、本報告書に記載された特定の手続や分析に限定されており、令和 4 年 3 月までに入手した情報にのみ基づいて実施しております。従って、令和 4 年 4 月以降に環境や状況の変化があったとしても、本報告書に記載されている内容には反映されておりません。