

札幌市公共下水道施設の 3次元モデル化に関する検討

山崎 俊夫¹

¹正会員 函館工業高等専門学校 社会基盤工学科 (〒042-8501 北海道函館市戸倉町14-1)

E-mail:toshi_ya@hakodate-ct.ac.jp

札幌市公共下水道を事例に、公共下水道施設平面図から3次元立体モデルを作成する方法について検討した。札幌市ではWebページにより下水道台帳情報を提供するサービスを実施している。札幌市下水道台帳情報提供サービスより得た図面を基に、一般的なGISソフトを用いてGISデータを再現した。次いで、BIM/CIMの標準フォーマットであるIFCフォーマットにより、下水道管渠の3次元モデルを作成する方法を検討した。GISデータより下水道管渠の属性情報と位置・形状情報（ジオメトリー）を抽出し、これよりIFCフォーマットにより3次元モデルを作成した。さらにGISデータから3次元モデルを一括で作成する自動化プログラムを作成するためのアルゴリズムを検討した。

Key Words : public sewer system, geographic information system, industry foundation classes

1. 序論

道路地下には重要なライフラインがあるが、日頃は意識されることが少ない。一方、道路の陥没などによるライフラインの障害は、我々の生活に多大な影響を与える。道路空間等の公共空間の地下を可視化することは、下水道計画の実務などに活用できる可能性がある。

筆者ら¹⁾は札幌市の駅前通り（JR札幌駅前～大通公園）を対象として、地下埋設物の可視化に取り組んだ。3次元モデルによる可視化は、地下埋設物の視覚的な確認を容易にする。こうした取り組みを拓げるためには、既存の地下埋設物のデータを自動化プログラムにより3次元モデル化することが必要である。そこで本研究では、札幌市公共下水道を事例に、公共下水道施設平面図から3次元モデルを作成する方法について検討した。

2. 研究の手順

本研究は以下の手順のように進めた。

- ① 札幌市下水道台帳情報提供サービスに基づくGISデータの作成
- ② IFCフォーマットによる3次元モデル作成方法の検討
- ③ GISデータから3次元モデルへの自動化プログラムの作成

3. 札幌市下水道台帳のGISデータ化

札幌市ではWebページにより下水道台帳情報を提供するサービスを実施している。札幌市下水道管理局下水道施設課に問い合わせたところ、下水道台帳施設平面図は一般的なGISソフトウェア「SIS（Spatial Informaion System）」により管理されていた。そこで札幌市下水道台帳情報提供サービス（http://www.jamgis.jp/jam_sapporostp/html/index.jsp）より得た図面を、GISソフトウェア（cadcorp社SIS6.2及びQGIS）を用いて再現した。

下水道台帳情報提供サービス（以下、下水道情報）では、管渠データ、公共ますデータ、人孔（マンホール）データの3種が表示されている。管渠データの管路種別は図-1のように線種と色により区分して表示している。

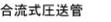
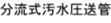
管路種別	凡例	管路種別	凡例
合流式枝線	 紫	合流式圧送管	 紫
合流式幹線	 紫	分流式汚水圧送管	 赤
合流式汚水拡充管	 赤	送泥管	 赤
合流式雨水拡充管	 紺	真空式下水道	 赤
分流式汚水枝線	 赤	浸透管	 紺
分流式汚水幹線	 赤	管理受託管	 茶
分流式雨水枝線	 紺	その他	 紺
分流式雨水幹線	 紺		
処理水送水管	 水		

図-1 管渠データの管路種別

表-1 管渠の管種区分

C	コンクリート管	I	铸铁管
H	ヒューム管	S	鋼管
V	塩ビ管	T	陶管・レンガ
R	リブ付硬質塩ビ管	X	その他

管路種別	凡例	管路種別	凡例
公共汚水ます	○	施設ます	▶
公共継足汚水ます	⊖	エア抜きます	⊠
公共特殊汚水ます	⊙	管理の分界点	
公共宅地雨水ます	⊠	その他	×
公共継足雨水ます	⊠		
公共特殊宅地雨水ます	⊠		
公共雨水浸透ます	▷		

図-2 公共ますデータのます種別

人孔種別	凡例	人孔種別	凡例
1号型人孔	○ または 1	制水ゲート	■
2号型人孔	⊙ または 2	吐き口 (フラップゲート付き)	⊠
3号型人孔	Ⅲ または 3	吐き口 (河川・池等)	▷
4号型人孔	Ⅳ または 4	管接合・属性変化点	⊙
5号型人孔	Ⅴ または 5	処理場・ポンプ上	▶
6号型人孔	Ⅵ または 6	マンホールポンプ所	Ⓟ
7号型人孔	Ⅶ または 7	空気弁	⊙
その他特殊 (階段・管理)	□	泥吐	⊙
雨水吐き室 (特殊人孔)	■	制水弁	⊙
分水人孔 (特殊人孔)	⊠	マシンホール	Ⓜ
小型人孔	●	その他	□
通路ます	⊖		

図-3 人孔データの人孔種別

対象範囲は前述した札幌駅前通周辺である。当該区域では合流式枝線と合流式幹線の2種が存在した。管渠を示す線の上下に、管径 (cm) , 勾配 (%), 延長 (m) , 起点および終点の管底高 (m) , 竣工年度, 管種が表示されている。管種内容は表-1のとおりであり管の材質等が判る。

公共ますデータのます種別は図-2のように区分して表示されている。当該区域では、公共汚水ます、公共継足汚水ます、公共特殊汚水ます、管理の分界点、その他が存在した。公共ますデータは、凡例記号と線により表示されている。この線の延長上に、管径 (cm) , 取付管延長 (m) , 下流人孔からの距離 (m) が表示されている。

人孔 (マンホール) データの人孔種別は図-3のように表示されている。当該区域では1号型~5号型人孔と7号型人孔、管接合・属性変化点、通路ます、その他が存在した。凡例記号を指し示す引出線の上下に人孔番号、地盤高 (m) , 竣工年度が表示されている。図-4にこれら属性の表示例を示す。

GISソフトウェアにおいては、管路・ます・人孔を地物として取り扱う。下水道情報をGISソフトで再現するため、下水道情報を表示したWebページを画面キャプチャし、対象区域全体を1枚の画像データとして作成した。これをGISソフトに下絵として読み込み、作図機能で管路、ます、人孔をトレースして作成した。管路とますは「ライン」、人孔は「ポイント」の図形とした。GISソフトのレイヤ機能により、管路、ます、人孔の種別に応じてレイヤ分けした。その結果、図-5のように16種のレイヤに分けることになった。また、下水道情報の属性表示に応じ、管路・ます・人孔の属性情報を作成した。なお、人孔については人孔種別も属性情報に追加した。例えば、下水道幹線の属性情報は図-6、公共汚水ますと1号型人孔の属性情報は図-7のとおりである。このようにして作成したGISの地物は、管路が2種・152件、ますが5種・131件、人孔が9種・161件である。

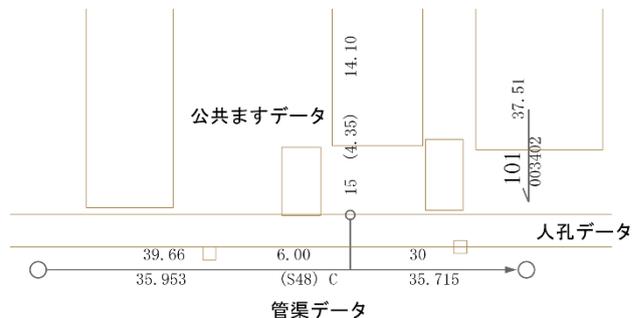


図-4 属性表示例



図-5 GISソフトにおけるレイヤ構成



図-6 下水道幹線の属性情報

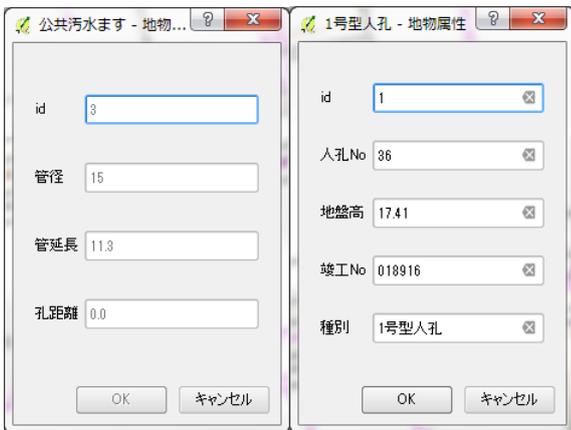


図-7 公共汚水ます・1号型人孔の属性情報

4. IFCフォーマットによる3次元モデル作成方法

(1) IFCフォーマットの概要

一般社団法人building SMART Japanによると、IFCとは Industry Foundation Classesの略であり、建物を構成する全てのオブジェクトのシステムの表現方法を定義する仕様と説明されている。IFCは中立でオープンなCADモデルの仕様であり、建設業務における今後のBIM/CIMの進展を支える重要なファイルフォーマットになると考えられる。

IFCはSTEP準拠であり、STEP (Standard for Exchange of Product Model data) とは、ISO 10303シリーズの別称である。このSTEPをコンピュータで理解できる形に記述するための言語がEXPRESS言語である。「ISO 10303-21」とは、EXPRESSの記述をデータファイルに置き換えるための仕様やファイル内容に関する規格を示すものである。ISO 10303-21のファイル形式であるPart21 (STEP21)形式は、アスキーテキストファイルであり、ヘッダー部とデータ部で構成されている。ヘッダー部には、データの全体的な情報を記述する。

図-8にヘッダー部 (HEADERセクション) の例を示す。「FILE_NAME」「FILE_DESCRIPTION」「FILE_SCHEMA」の記述が必要である。(/*と*/の間はコメントであり属性を示す。実際のファイルでは記述されない。)

データ部 (DATAセクション) には、エンティティインスタンス (個々のデータ) を記述する。エンティティインスタンスの記述ルールは次のとおりである。

- ・エンティティインスタンスは、「=」の左辺に識別子が、右辺にその内容が記述される。
- ・識別子は「#」で始まり数字が続く。数字は行番号を表すが昇順に並んでいなくとも問題ない。
- ・右辺の内容はエンティティ名または「(」で始まる。
- ・エンティティ名で始まるのは上位のエンティティが一意に決まるもの、「(」で始まるのはそうでないもの (上位のエンティティが一意に決まらないもの) である。
- ・後者の場合、「()」内に上位のエンティティ及びアトリビュート (属性) が全て記述される。
- ・省略可能な属性は「\$」で示される

(2) SketchUpProによるIFCファイルの出力

IFCフォーマットの公式ドキュメントは、building SMARTのWebサイトに掲載されている。(英語版、<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/>) 詳細な日本語マニュアルが存在しないため、SketchUpProにより下水道 (直径100cm、長さ100m) をモデリングし、これをIFCファイルで出力したものから、IFCファイルを解析した。

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(
  /*description */('Sample Data'),
  /*implementation_level */('2;1'));
FILE_NAME(
  /*name */('Sample File'),
  /*time_stamp */('2017-03-28T00:00+09:00'),
  /*author */('The User'),
  /*organization */('The Company'),
  /*preprocessor_version */('The name and version of the IFC
preprocessor'),
  /*originating_system */('The name of the originating software
system'),
  /*authorization */('The name of the authorizing person'));
FILE_SCHEMA(
  /*schema_identifies */('IFC2x2_FINAL'));
ENDSEC;
```

図-8 ヘッダー部の記述例

[ファイルの履歴など]

IFCPROJECT(GlobalId, **IfcOwnerHistory**, Name, Description, ObjectType, LongName, Phase, RepresentationContexts, **IfcUnitAssignment**);

IFCOWNERHISTORY(**IfcPersonAndOrganization**, **IfcApplication**, State, ChangeAction, LastModifiedDate, LastModifiedUser, LastModifyingApplication, CreationDate);

IFCPERSONANDORGANIZATION(**IfcPerson**, **IfcOrganization**, Roles);

IFCPERSON(Id, FamilyName, GivenName, MiddleNames, Titles, SuffixTitles, Roles, Address);

IFCORGANIZATION(Id, Name, Description, Roles, Address);

IFCAPPLICATION(**IfcOrganization**, Version, ApplicationFullName, ApplicationIdentifier);

[ユニット(単位)の定義]

IFCUNITASSIGNMENT(Units:SET of **IfcSIUnit**);

IFCSIUNIT(Dimensions, UnitType, Prefix, Name);

(以下, **IFCSIUNIT** が必要だけ続く)

[座標系の定義]

IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT(ContextIdentifier, ContextType, CoordinateSpaceDimension, Precision, WorldCoordinateSystem:**IfcAxis2Placement3D**, TrueNorth:**IfcDirection**);

IFCAXIS2PLACEMENT3D(Location, Axis, RefDirection);

IFCCARTESIANPOINT(Cordinates); *X・Y・Z 座標*

IFCDIRECTION(DirectionRatios); *真北の方向*

[平面直角座標系の定義]

IFCSITE(GlobalId, **IfcOwnerHistory**, Name, Description, ObjectType, ObjectPlacement, Representation, LongName, CompositionType, RefLatitude, RefLongitude, RefElevation, LandTitleNumber, SiteAddress);

IFCLOCALPLACEMENT(PlacementRelTo:**IfcAxis2Placement3D**, RelativePlacement:**IfcAxis2Placement3D**);

IFCAXIS2PLACEMENT3D(**IfcCartesianPoint**, **IfcDirection**, **IfcDirection**);

IFCCARTESIANPOINT(Cordinates); *X・Y・Z 座標*

IFCDIRECTION(DirectionRatios);

IFCDIRECTION(DirectionRatios);

[モデルの定義]

IFCBUILDING(GlobalId, OwnerHistory, Name, Description, ObjectType, ObjectPlacement:**IfcLocalPlacement**, Representation, LongName, CompositionType, ElevationOfRefHeight, ElevationOfTerrain, Building Address : **IfcPostalAddress**);

[形状の定義]

IFCCLOSEDSHELL(CfsFaces:SET of **IfcFace**);

IFCPOLYLOOP(Polygon : LIST of **IfcCartesianPoint**);

IFCCARTESIANPOINT(Cordinates); *X・Y・Z 座標*

(以下, **IFCCARTESIANPOINT** が必要数続く)

IFCFACEOUTERBOUND(Bound:**IfcPolyLoop**, Orientation);

IFCFACE(Bounds:SET of **IfcFaceOuterBound**);

(実際のファイルではエンティティの前に #行番号=が付く)

図-9 DATA セクションの構造

IFCファイルで出力した下水管のモデルは、円管（円筒）ではなく24角柱としてIFCエンティティにより出力された。DATAセクションの構造は図-9のとおりであった。IfcProjectからIfcOwnerHistory, IfcPersonAndOrganization, IfcPerson, IfcOrganization, IfcApplicationまでは、このIFCファイルに関する履歴などの情報である。IfcProjectでは、IfcOwnerHistoryとIfcUnitAssignmentが参照されている。

IfcUnitAssignmentとIfcSIUnitは、ファイルで使用するユニット（単位）を定義している。

IfcGeometricRepresentationContextは、座標の次元数や精度など、幾何学的表現のための座標系や真北の方向を示す。IfcSiteにおいては平面直角座標系の経緯度が記述され、これを原点として3次元座標系の原点座標が定義される。IfcAxis2Placement3Dは、IfcCartesianPointが示す座標値を原点とする3次元の座標系を示す。

IfcBuildingはIfcLocalPlacementとIfcPostalAddressを参照し、モデルの属性を定義している。

IfcClosedShellは24角柱の各面（シェル）の行番号を記述し、IfcPolyLoopは各面（シェル）を定義する境界線の頂点を行番号で示し、IfcCartesianPointが頂点座標を表している。IfcFaceには各面（シェル）の境界線を示すIfcFaceOuterBoundが記述され、この境界線を定義する頂点座標であるIfcCartesianPointがIfcPolyLoopで列挙されている。24角柱の場合、IfcFaceに関するデータが24面分必要となる。

下水管をこのようにして24角柱で表現することは、データが冗長になりデータ量も多くなる。また、この24面体はサーフェイスモデルであるため、管の厚みを表現するためには、さらにデータ量が増大し、自動化プログラムも複雑になることが想定される。よって、下水管のモデリングは、掃引体もしくは押し出し形状によるソリッドモデルとするのが適当であると判断した。

(3) 押し出し形状のソリッドモデルのモデリング

下水道情報を見ると、下水管の径は区間毎に一定である。よって、一定の管径の管（パイプ）を管の厚みと共に押し出し形状でソリッドモデルでモデリングすることは、24角柱のサーフェイスモデルでモデリングするよりも現実の下水道に近いといえる。

押し出し形状をモデリングするためのエンティティは、IfcExtrudedAreaSolidである。よって、このエンティティを用いたモデリング方法について検討した。

表-2 IfcExtrudedAreaSolid の属性

属性	定義データ
SweptArea	IfcProfileDef (IfcCircleHollowProfileDef)
Position	IfcAxis2Placement3D
ExtrudedDirection	IfcDirection
Depth	「長さ」

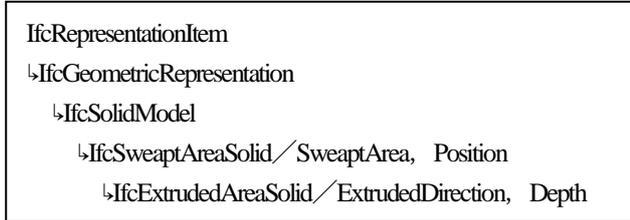


図-10 IfcExtrudedAreaSolid のクラス構造

表-3 IfcCircleHollowProfileDef の属性

属性	定義データ
ProfileType	IfcProfileDef
ProfileName	OPTIONAL (必須ではない)
Position	IfcAxis2Placement2D
Radius	「半径」
WallThickness	「壁 (管) の厚み」

IfcExtrudedAreaSolid の属性は表-2のとおりである。SweptArea は、押し出しする平面形状を定義する。Position は 3 次元空間内の座標系 (Z 値) を定義する。ExtrudedDirection は押し出しの方向ベクトル (Z 値) を定義する。Depth は押し出し長さを定義する。

IfcExtrudedAreaSolid は IfcSweptAreaSolid の下位クラスであり、SweptArea と Position の属性を継承する。この 2 つの属性は IfcSweptAreaSolid の上位クラスである IfcSolidModel から継承されている。上位からの構造と属性を示すと図-10のとおりである。

下水管は円筒形状であり円 (二重円) による押し出し形状でモデリングする必要がある。そこで IfcProfileDef は下位クラスの IfcCircleHollowProfileDef を用いる。その属性は表-3のとおりである。ProfileType は「AREA」により押し出す形状を面 (サーフェイス) として定義する。Position は押し出し形状の 2 次元平面の座標である。Radius は円の半径、WallThickness は管の厚みを定義する。

IfcAxis2Placement2D は 2 次元の座標系を表し、原点を定義する「Location」と X 軸方向を表す「RefDirection」の属性を持つ。「Location」のエンティティである IfcCartesianPoint は「Coordinates」の属性を持ち、「Coordinates」は座標値を示す (1~) 3 個のデータの集まりである。表-2 の IfcAxis2Placement3D は 3 次元の座標系を表し、IfcAxis2Placement2D に Z 軸方向を表す「Axis」の属性が加わる。同じく表-2 の IfcDirection は「DirectionRatio」の属性を持ち、2 または 3 次元を実数 [2:3] のリストで定義する。

5. GISデータによる 3次元モデリング

(1) 3次元モデリングのためのデータ設定

管渠データの合流式幹線の 4 件の内 2 件を対象として 3 次元化のためのデータ定義の方法を検討した。表-4 に 2 件の管渠データの属性情報を示す。図-11 に GIS ソフトでの表示イメージを示す。

ID48 の管渠は屈曲点を持っている。ID144 の管渠は公共ますとの接続点を持つ。ゆえに両者の X・Y 座標値は 3 組となっている。

IfcCircleHollowProfileDef の Radius は管の厚み (30mm) を含む半径とする必要があるため、ID:44 は 580mm、ID:144 は 480mm となる。全体の延長は 117.65m、73.01m であるが、2 分節するため X・Y 座標値よりそれぞれの延長を計算して求める。さらに分節点における管底高は勾配と分節点までの距離により求めた。両管渠の 3 点の X・Y・Z 座標値は表-5 のとおりである。

表-4 管渠データの属性情報

ID	管径	勾配	延長	管底高 1	管底高 2
48	110	10.9	117.65	12.082	11.979
144	90	12.3	73.01	14.871	4.703

注) ID は本研究のために独自に設定したものである

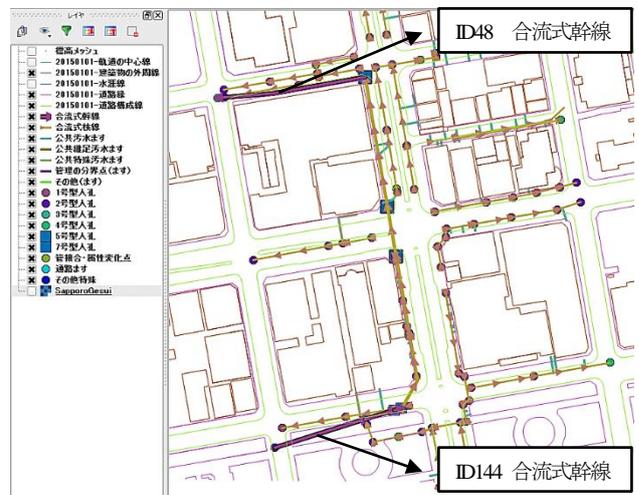


図-11 合流式幹線の GIS ソフトにおける表示

表-5 分節後の管渠の座標データ

ID		起点	分節点	終点
48	X	-73202.335	-73272.582	-73315.265
	Y	-103690.705	-103703.360	-103706.829
	Z	12.082	12.018	11.979
144	X	-73271.493	-73205.653	-73202.403
	Y	-103977.053	-103956.014	-103954.975
	Z	14.871	14.712	14.703

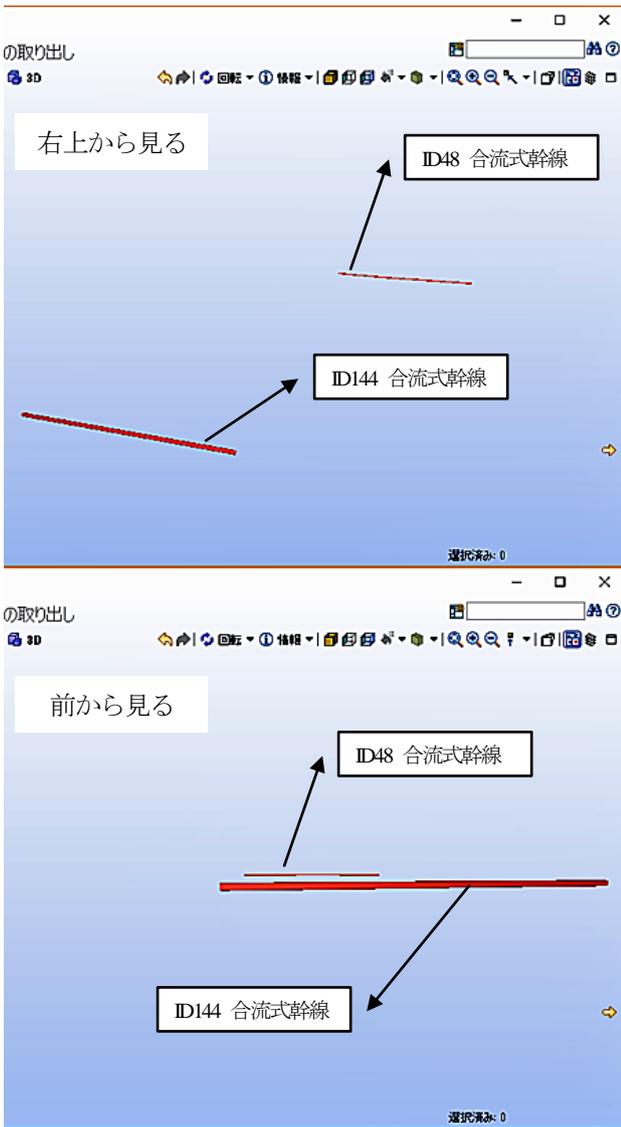


図-12 管渠の3次元形状のモデリング結果

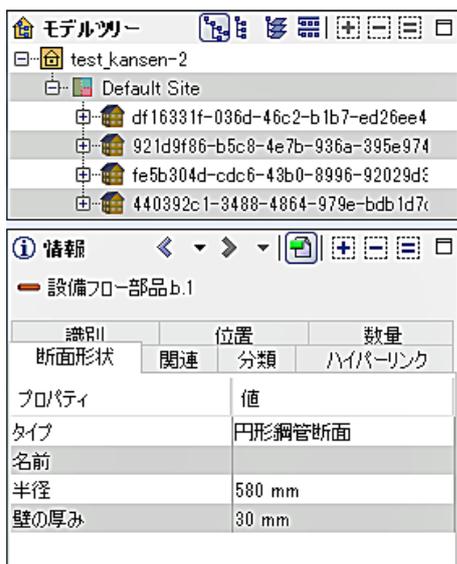


図-13 属性情報の表示

2本の管渠のデータ（属性情報・幾何形状）を用いて IFCファイルを作成し、モデリングした結果を図-12に示す。なお、それぞれは2分節しておりデータ数は4件である。また、図-13に属性情報の表示結果を示す。管渠の半径と管厚が表示されている。IFCファイルによる3次元モデルの表示には、「Solibli Model Viewer v9.7」（フリーウェア）を用いた。

(2) プログラムによる3次元化の方法

以下に、GISデータを用いて3次元モデルを作成するプログラムの手順について述べる。

① GISソフトウェアからのファイル出力とテキスト前処理

①-1 GISデータをGeoJSON形式（アスキーファイル）で出力する。

①-2 不要な文字「() [] “ ‘ ; など」を除去し、CSV（カンマ区切り）形式にする。

② データの分割と高さ計算

②-1 各データ（行単位）の頂点数を調べる。

②-2 3頂点以上の場合、頂点間の距離をX・Y座標から計算する。

②-3 分節点の高さを距離と勾配から計算し、2頂点となるように分割する。その際、管径と管厚を元データから継承する。

②-4 起点と終点のX・Y・Z座標より方向ベクトルを計算する。

③ IFCファイルの出力

IFCファイルとして要件を満たす最小限ファイルを基本として、必要に応じて内容を適宜修正・追加変更する方法によりIFCファイルを構成する方法を採用する。

③-1 ヘッダ部分を出力する。

③-2 データ部分の「ファイルの履歴など」と「ユニット（単位）の定義」を出力する。

③-3 座標系の定義を平面直角座標系の経緯度に応じて出力する。

③-4 モデルの定義（IfcBuildingエンティティ）を出力する。

③-5 形状の定義をIfcExtendedAreaSolidエンティティにより、各データごとに出力する。その際、距離（Depth）、方向ベクトル（ExtrudedDirection）、管の半径（Radius）、管厚（WallThickness）及びX・Y座標（Position）を、各データに基づいて出力する。

③-6 ファイルの終端情報（ENDSEC;など）を出力する。

④ IFCファイルの確認

④-1 IFCファイルの読み込みに対応したソフトウェアによりモデリング結果を確認する。

6. 結論

下水道管渠のGISデータより3次元モデルを作成する方法について示した。今後は、python, Rubyなど入手が容易なプログラム言語を用いてプログラミングに取り組み、3次元モデルの自動化プログラムを公開する予定である。無償で開発環境を整えられ、さらに無償のソフトウェアで閲覧できることは、多様な主体による情報共有を可能にする。地下空間に可視化に対する理解が得られ、関係者等における機運が醸成し、地下空間の可視化が実現することを期待するものである。

参考文献

- 1) 山崎俊夫・佐藤侑樹：3次元可視化による公共空間の管理に関する研究－道路地下インフラの立体的把握－, 土木計画学研究・講演集 Vol.53, 06-01, 2016.

(受付)

A STUDY ON THREE-DIMENSIONAL MODELING OF SAPPORO CITY PUBLIC SEWERAGE FACILITIES

Toshio YAMAZAKI

A case study of the public sewer system in Sapporo city, we examined a method to create a three-dimensional model from the plan of the public sewer system. The city of Sapporo provides information on sewerage facilities by its website. Based on the map of sewer facilities, we created GIS data using general GIS software. Next, we examined a method to create a three-dimensional model of sewage drainage pipe in CIF format which is the standard format of BIM / CIM. From the GIS data, we got attribute information, position and shape information of the sewer pipe, then we created a 3D model by IFC format. We also examined an algorithm of a program that collectively creates 3D models from GIS data.