

# セマンティック Web を用いたシールドトンネルのデータモデルに関する研究

室蘭工業大学 工学部建設システム工学科  
講師 矢吹 信喜

平成19年9月

## 助成研究者紹介

やぶき のぶよし

矢吹 信喜

現職：室蘭工業大学工学部准教授（Ph.D.）

主な著書・論文：

- 土木情報ガイドブック（建通新聞社 平成 17 年）
- サイバーインフラストラクチャ構築による価値創造に向けて（土木学会論文集, No.805/VI-69, 1-13, 2005）
- PC 橋梁の 3 次元プロダクトモデルの開発と応用（土木学会論文集, No.784/VI-66, 171-187, 2005）
- 土木設備の維持管理体系における巡視点検と IC タグの活用（土木学会論文集, No.777/VI-65, 161-173, 2004）

## 目次

1.	はじめに.....	1
2.	既往の研究.....	2
2. 1	IAI の IFC.....	2
2. 2	シールドトンネル.....	2
2. 3	セマンティック Web.....	2
3.	シールドトンネルの概念的プロダクトモデル.....	5
3. 1	モデリングの手順.....	5
3. 2	構築した概念的プロダクトモデル.....	5
	(1) Product.....	5
	(2) Process.....	8
	(3) Organization.....	8
	(4) 調査計測データ.....	8
	(5) 知識.....	8
4.	IFC の拡張によるシールドトンネルのプロダクトモデルの構築.....	9
4. 1	IFC2x3.....	9
	(1) IfcObjectDefinition.....	11
	(2) IfcPropertyDefinition.....	11
	(3) IfcRelationship.....	11
	(4) IfcRepresentationItem.....	11
4. 2	開発したクラス.....	11
	(1) 空間構造要素.....	12
	(2) シールドトンネルと部材.....	12
	(3) 仮設備.....	15
	(4) 地層と地下水.....	15
	(5) それぞれのオブジェクトに関する属性クラス.....	16
	(6) オブジェクト間の関係.....	16
4. 3	開発したクラスの定義.....	19
5.	プロダクトモデルの実装例.....	21
5. 1	インスタンスファイルの作成.....	21
5. 2	コンバータプログラムの作成.....	22
5. 3	コンバータプログラムによる実装.....	23
6.	おわりに.....	24
	参考文献.....	24

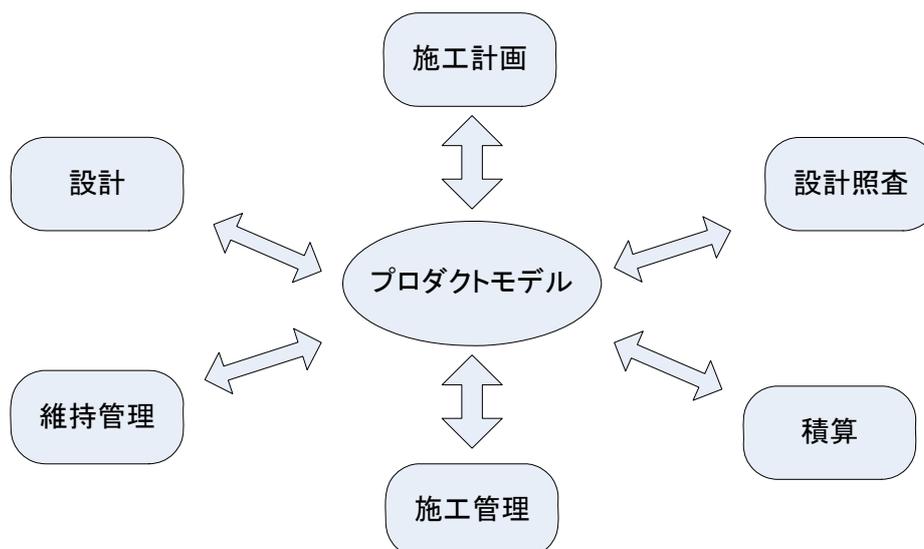
## 1. はじめに

土木構造物のライフサイクルには、計画、調査、設計、設計照査、積算、施工管理、維持管理などの様々な作業が含まれる。各作業は、コンピュータでのアプリケーションシステムを用いた自動化による効率化を図っている。しかし、アプリケーションシステム間でのデータ互換性が乏しいため、人の手により作業を行わなくてはならず、「自動化の島問題」が指摘されている<sup>1)</sup>。

このような問題を解決するため近年プロダクトモデルの研究開発が行われている。プロダクトモデルは、構造物や製品などを構成する各オブジェクトの形状、様々な属性情報、オブジェクト間の関係等を定義する、ある程度標準化されたデータモデルである。一般的には構造物、製品に関するデータをテキストファイルとして表現し、コンピュータで実装する。プロダクトモデルを用いることにより、アプリケーションシステム間のデータの相互運用を自動化することが可能となり、効率化が図れる他、人の手入力によるミスを防ぐ事にも繋がる（図—1. 1）。

プロダクトモデルに関しては、ISO（International Organization for Standardization）が国際標準としてSTEP<sup>2)</sup>（Standard for the Exchange of Product model data : ISO-10303）を開発しており、機械分野を主対象として規定化されている。一方建築分野は、IAI（International Alliance for Interoperability）がIFC<sup>3)</sup>（Industry Foundation Classes）を開発している。土木分野は遅れていたが、最近では、道路、橋梁等のプロダクトモデルが開発、提案されている<sup>4)~7)</sup>。

しかし、トンネルのように既に固体が存在する地盤の中を掘削して空洞を作成し、その後コンクリートなどで支保する構造物のプロダクトモデルを開発した例は見当たらない。そこで本研究では、トンネルを対象としてプロダクトモデルを開発することとし、特にシールドトンネルを対象とした。シールドトンネルの施工実績は、世界の約2分の1を日本が占めている。しかし、プロダクトモデルの開発は未だ行われていない。また、実際の施工データの多くは工事に携わった個々の技術者が所有しており、近い将来逸散してしまう可能性があることがわかった。今後の国際貢献や国際展開を考慮し、またシールドトンネルの貴重な施工実績データを利用可能な形態で後世に残すためにも、シールドトンネルのプロダクトモデルを開発する必要があると考えた。



図—1. 1 プロダクトモデルによるデータ相互運用例

そこで、本研究では、シールドトンネルの設計・施工プロセスを調査し、モデル化の範囲や目的についての基礎的な検討を行い、概念的なプロダクトモデルを構築することとした。次に、IFC を拡張することにより、構築した概念的なシールドトンネルのプロダクトモデルの一部をコンピュータに実装し、プロダクトモデルと3次元CADシステムとの間のデータの互換性の確認を行うこととした。

## 2. 既往の研究

### 2.1 IAIのIFC

IFCとは、建設業界（元来は主に建築分野）での情報の共有のための方法を提供するために、建設プロジェクトで最小限必要とされるデータ（例えば、梁や柱等）をクラスとして定義し、そのクラスから実態となるオブジェクトの生成、各オブジェクトへのアクセスや演算を行うためのクラスライブラリである。すなわち、IFCは建築構造物の要素ならびに設計・施工・維持管理等の情報をまとめた業界ベースのオブジェクトを提供している。よって、施主、建築家、構造技術者、設備業者、施工業者等の各プレーヤーがプロジェクトモデルを共有することが可能となると考えられ、ライフサイクルを通じた各種業務の大幅な効率化が期待されている。

### 2.2 シールドトンネル

シールドトンネル<sup>8)</sup>は主に都市部で開削工事が不向きな箇所にある道路トンネル、鉄道トンネル、地下河川、下水道等に採用され、シールド工法で建設が行われる。シールド工法には多くの種類があるが、シールドマシンによって掘削された土砂を泥土に変換し、泥土圧でシールドマシンの前面（カッターヘッド）の安定管理を行う土圧シールド工法が主流を占めている。掘削土砂を泥土に変換できるため、砂礫層、シルト粘土層、シラス層など広範囲の土質に適応が可能となっている。

具体的な施工法としてはまず立坑を掘削し、クレーンによって降下されたシールドマシンを立坑内で組立てて掘進を行う。掘進と同時にマシン内部では、あらかじめ工場製作されたセグメント（トンネル本体を幾つかに分割した円弧の部材）を、機械により組みあげてセグメントリングを構築する。一つのセグメントリングが完成すると、シールドマシンはセグメントリングにジャッキの反力をとってシールドマシンを前進させ、さらに掘進を行う。以上の工程を繰り返し行いトンネル建設が行われる。必要に応じて、セグメントリングの上からコンクリートなどによる支保が行われ、二次覆工と呼ばれている。

本研究では、実際のシールドトンネルの工事現場に行き現地調査を行った。現地で撮影したトンネル工事の様子を図—2.1、図—2.2に示す。現場は首都高速中央環線新宿線、SJ11工区（1・2）SJ13工区トンネル工事現場、平成18年11月29日撮影のものである。

### 2.3 セマンティック Web

インターネットのWWW（World Wide Web）には、極めて多くの情報が記述され、Googleなどの検索エンジンによって、ユーザはニーズに合ったサイトを探し出し、利用している。しかし、WWWのコンテンツ群の多くは、HTML（Hyper-Text Markup Language）で記述されているため、リレーショナルデータベース

スのデータ等に比べて、コンピュータで自動的に処理しにくい、という問題があった。そこで、HTML で記述されているコンテンツのメタデータ（データに関するデータ）を記述し、コンピュータで処理し易くすることにより、「人工知能」とまではいかなくても、現状の WWW よりは、より知的な振る舞いをさせよう、というのが、セマンティック Web の動機といわれている。

セマンティック Web は、W3C のティム・バーナーズ＝リーによって提唱された、ウェブページの意味を扱うことを可能にする標準やツール群の開発によって、WWW の利便性を向上させるプロジェクトである（図—2. 3）。現状の WWW は HTML で主に記述されており、コンテンツの意味を伝えるものではない。これに対し、セマンティック Web では、XML によって記述した文書に、そのメタデータをタグとして付け加える。タグは、RDF（Resource Description Framework）で記述され、〈リソース、プロパティ、値〉の組合せで、メタデータが表現される。このタグが文書を含む意味を形式化し、コンピュータによる種々の知的処理を可能にすると期待されている。

そのためには、メタデータだけでなく、その上位にオントロジーが必要となる。オントロジーとは、概念化の明示的かつ形式的な仕様であり、対象となる分野を有限個の用語（term）のリストと、それらの間の関係記述からなる。用語は、その分野の重要な概念（物事のクラス）を示す。オントロジーは、OWL（Web Ontology Language）で記述される。

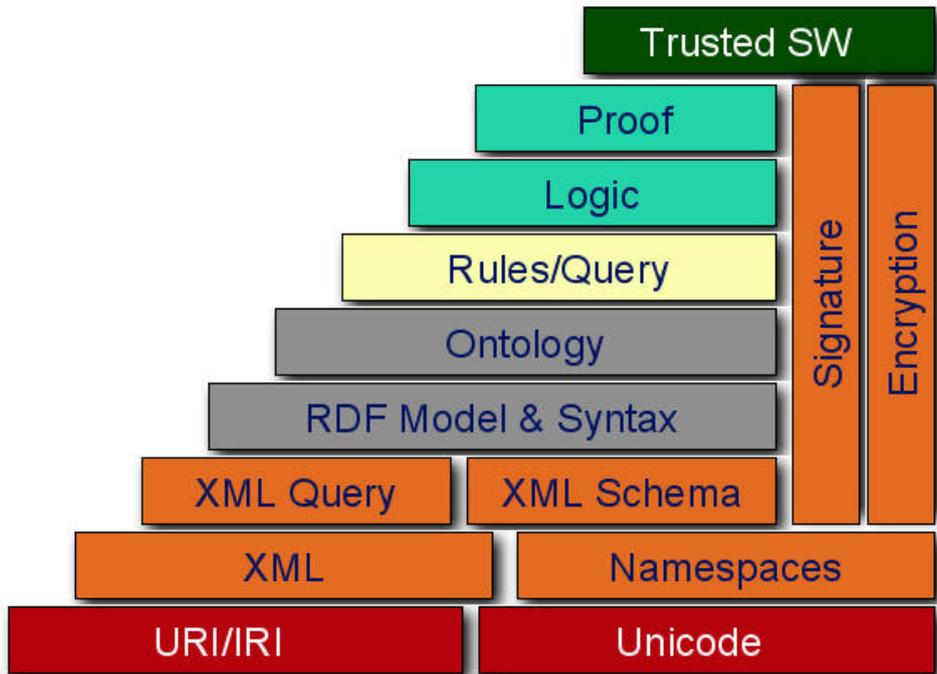
オントロジーの上位には、述語論理が位置し、推論や証明、あるいは推論、証明の説明が可能である。但し、セマンティック Web での推論は、人工知能やエキスパートシステムのような高いレベルの知能活動を狙っているわけではない。



図—2. 1 シールドトンネル工事現場の様子



図—2. 2 セグメントリングの様子

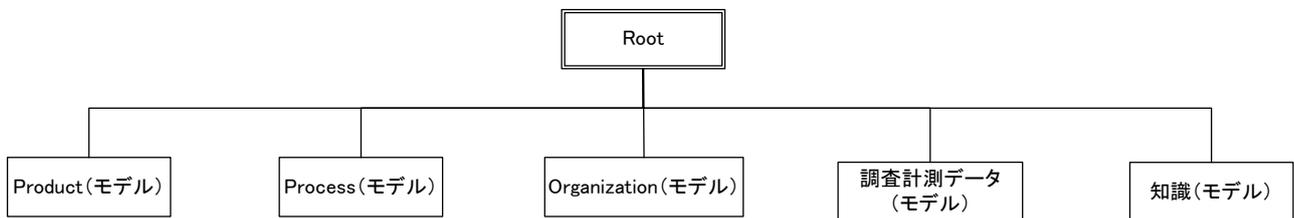


図—2. 3 ティム・バーナーズ＝リーが描いたセマンティック Web の階層図

### 3. シールドトンネルの概念的プロダクトモデル

#### 3. 1 モデリングの手順

プロダクトモデルの構築の際、必要なデータは、いわゆる 5W1H (いつ, 誰が, どこで, 何を, 何故, どのように) に帰結すると考えられる。「何を」と「どこで」の情報は、狭義のプロダクト, すなわち, 物 (オブジェクト) を表すクラスを定義すればよい。「いつ」と「どのように」は、プロセスモデルで表現でき、「誰が」は、組織 (オーガナイゼーション) モデルで表現できる。プロダクト, プロセスおよび組織の 3 つのモデルを構築し、組み合わせずという考え方は、IFC でも基本となっている。これに「何故」を加えれば、5W1H の情報を表現することが可能になるが、そのためには、筆者らは、「知識」と「計測データ」のデータモデルが必要だと考えた。計測データは事実であり、知識は事実と論理の組合せであり、事実と論理は理由を説明するための根幹であるからである。従って、シールドトンネルの概念的プロダクトモデルの構築に当たっては、全クラスの根 (Root) の下には、オブジェクトを定義する Product, 施工内容を定義する Process, 施工に携わる組織関係を定義する Organization, 施工に関する種々の計測データを定義する調査計測データ, 施工記録を定義する知識という 5 つのクラスをモデルとして配置することとした (図—3. 1)。尚、モデリングに当たっては、シールドトンネルの専門書<sup>9) ~ 11)</sup>を調査すると共に、シールドトンネルの専門家に意見を聞きながら矛盾や漏れがないよう注意しながら構築した。その際、技術用語、概念、論理に関して、セマンティック Web 技術を用いて、クラスの構成や用語の選択などを実施した。

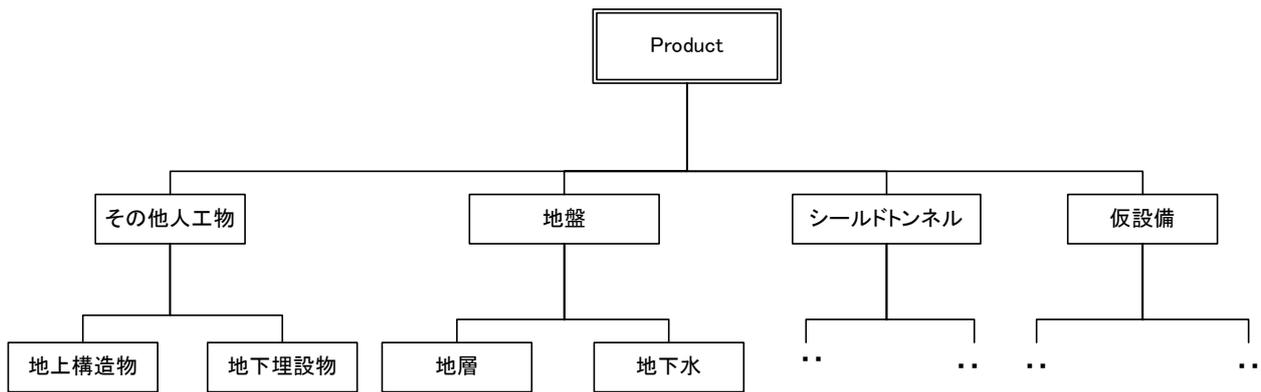


図—3. 1 シールドトンネルの概念的プロダクトモデル図の一部 (これより下は別図参照)

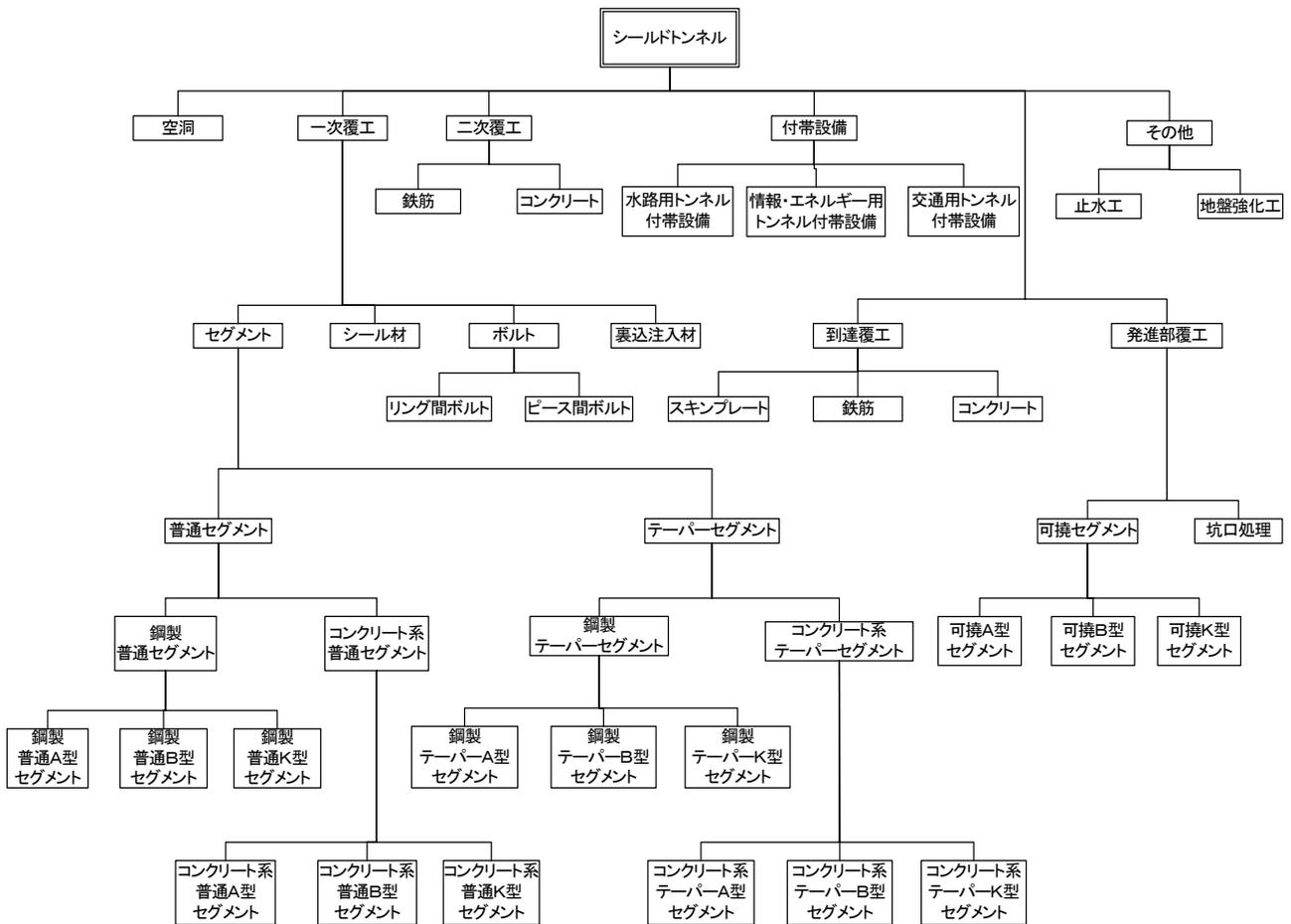
#### 3. 2 構築した概念的プロダクトモデル

##### (1) Product

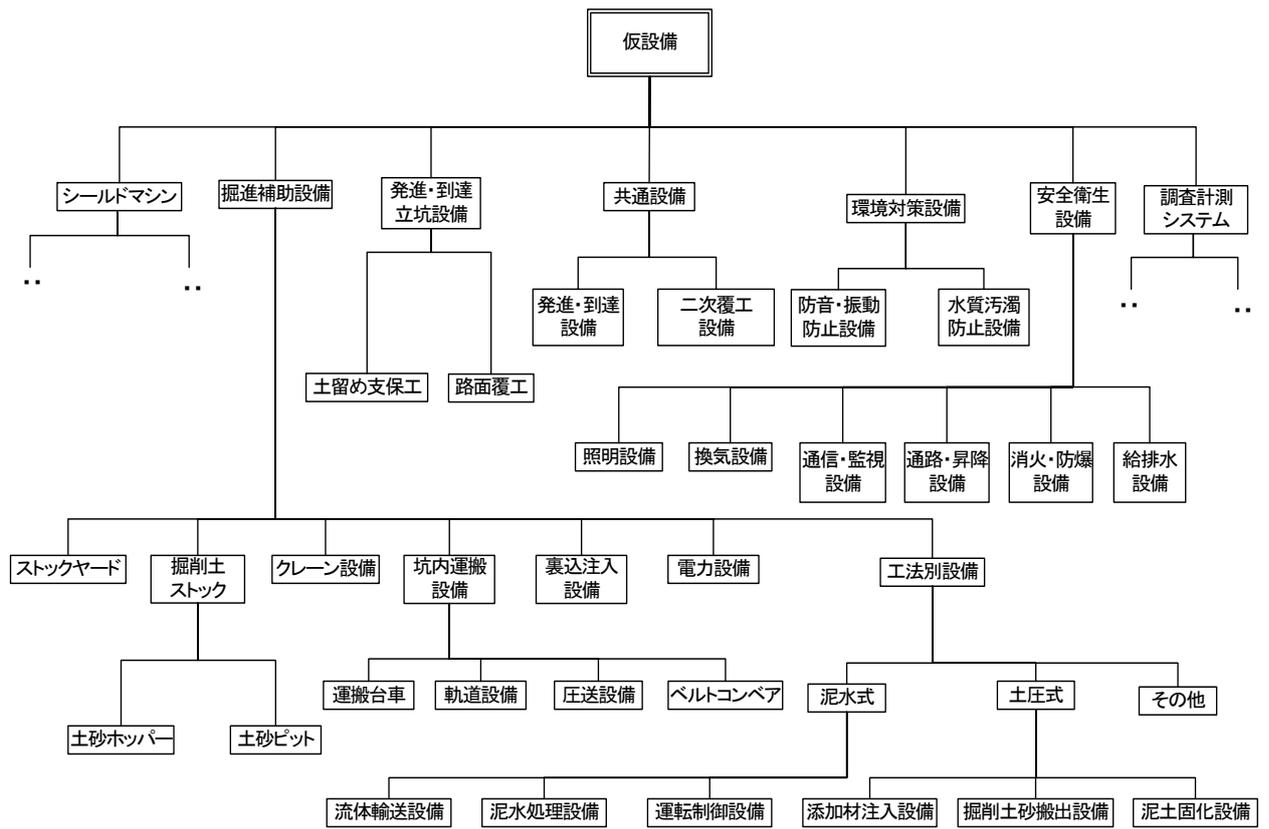
Product クラスでは、単にシールドトンネルの部分の構造を表現するだけではなく、地盤、地上と地下の人工物、およびシールドマシン等の仮設備を表現できるモデルとする必要があると考え、図—3. 2に示すように分類した。さらに、シールドトンネルについては、図—3. 3に示すようなクラスを定義した。これまでに構築されてきた道路や橋梁などの構造とシールドトンネルが異なる概念は、前者は通常、固体などの物がない空間に部材を配置して構造物を建造していくのに対し、後者は地盤という既に固体が詰まっている空間に空洞を掘削し、その後、セグメント等で空洞内部に構造物を建設するという点である。道路でも掘削部分はあるが、シールドトンネルの場合は、全線にわたって、空洞そのものが構造物の主要部分となる点異なる。そこで、シールドトンネルクラスの下に空洞クラスを設けた。仮設備のクラスを図—3. 4に、その中のシールドマシンを図—3. 5に、さらに調査計測システムを図—3. 6に示す。



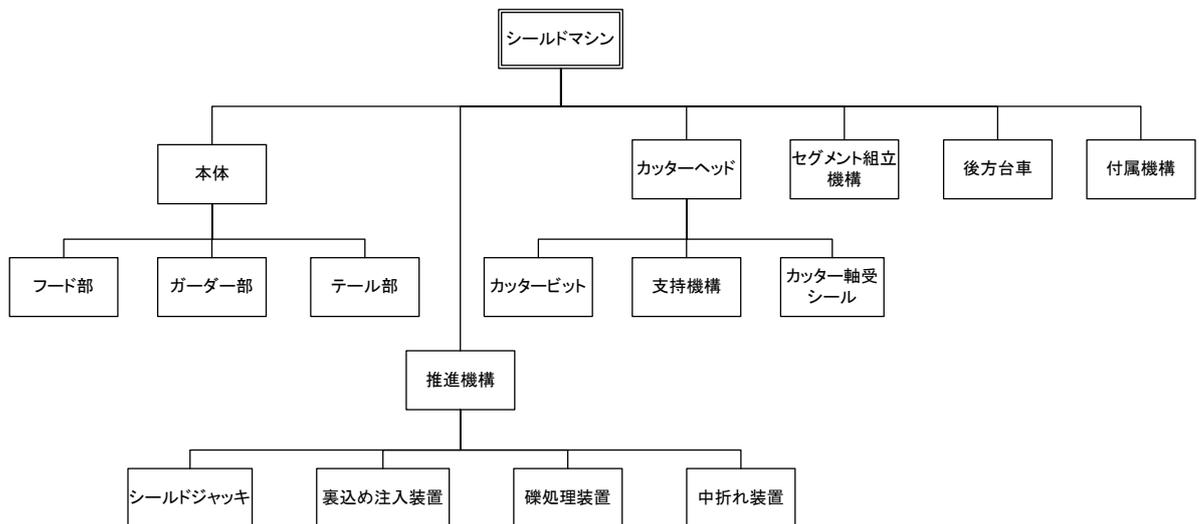
図—3. 2 Product の概念的プロダクトモデルの一部



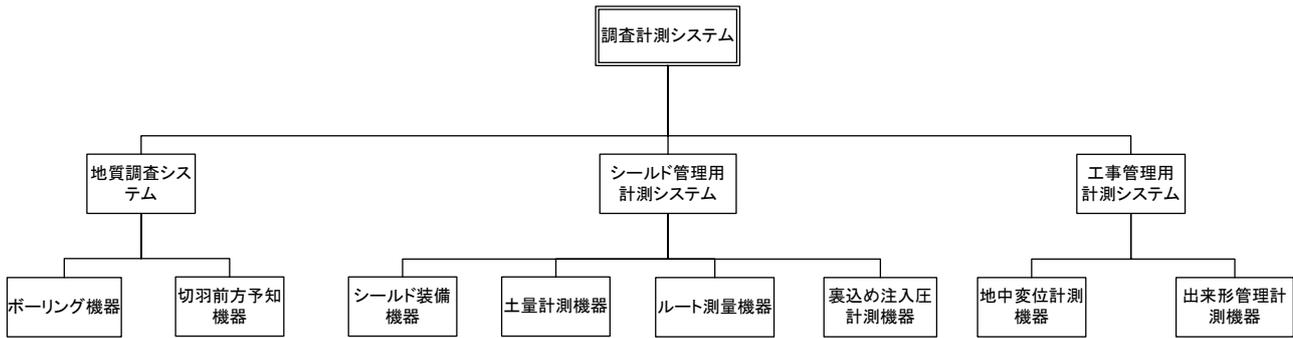
図—3. 3 シールドトンネル本体の概念的プロダクトモデル



図—3. 4 仮設備の概念的プロダクトモデル



図—3. 5 シールドマシンの概念的プロダクトモデル



図—3. 6 調査計測システムの概念的プロダクトモデル

### (2) Process

Process モデルは、図—3. 7に示すように、主な施工過程を表現する。但し、これらのクラスは必ずしも施工の順番通りに並んでいるわけではなく、各作業をクラの順番通りに並んでいるわけではなく、各作業をクラスとして表現するものである。各作業のクラスのインスタンスの中に、いつからいつまでどのような機械を使って行うのかといった情報が属性として記入されて始めて順番が決まる。

### (3) Organization

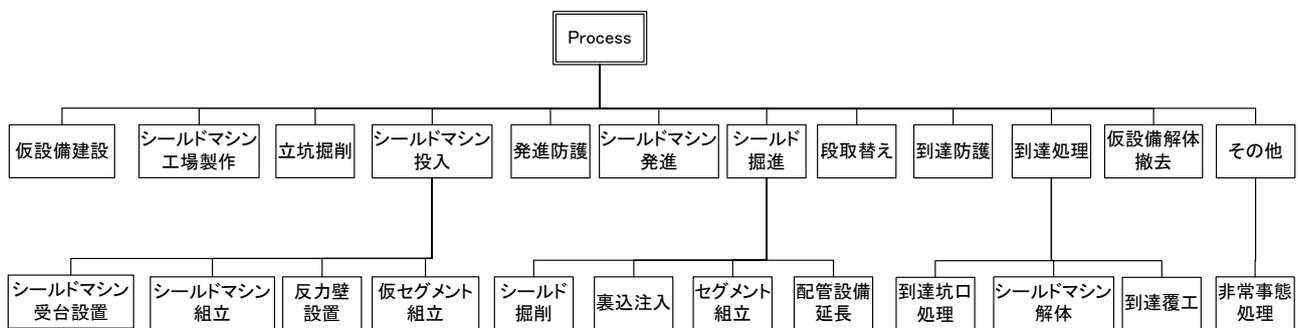
組織モデルは、組織をどう捉えるかによって、モデル化が大きく異なってくる。本研究では、単純に発注者、コンサルタント、施工業者の3者のみをクラスとして表現し、その下は、図—3. 8に示すように単純にした。

### (4) 調査計測データ

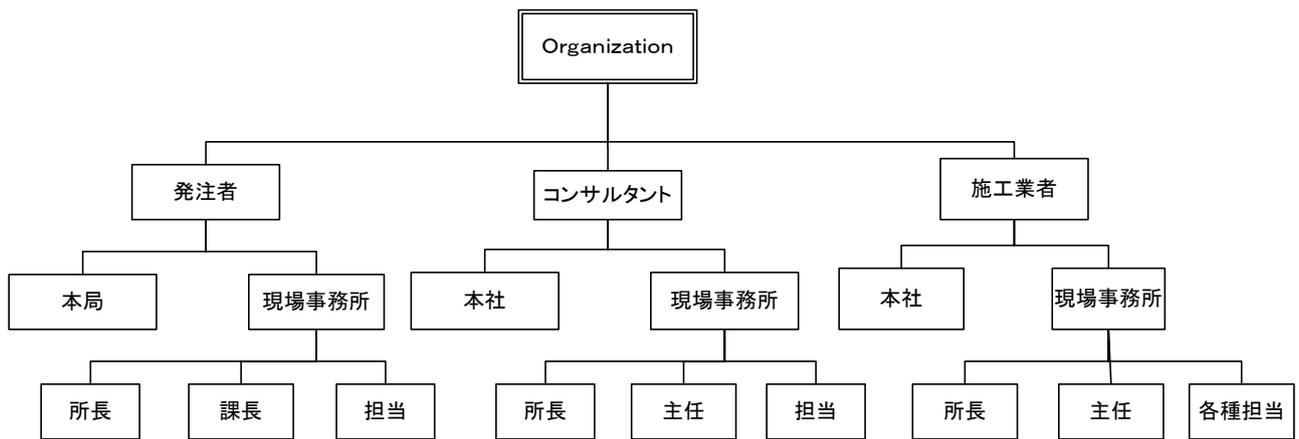
調査計測データクラスとしては、地質調査、シールド管理用、工事管理用の3つの種類のデータに分類し、それぞれ必要に応じて細かいクラスを定義した(図—3. 9)。

### (5) 知識

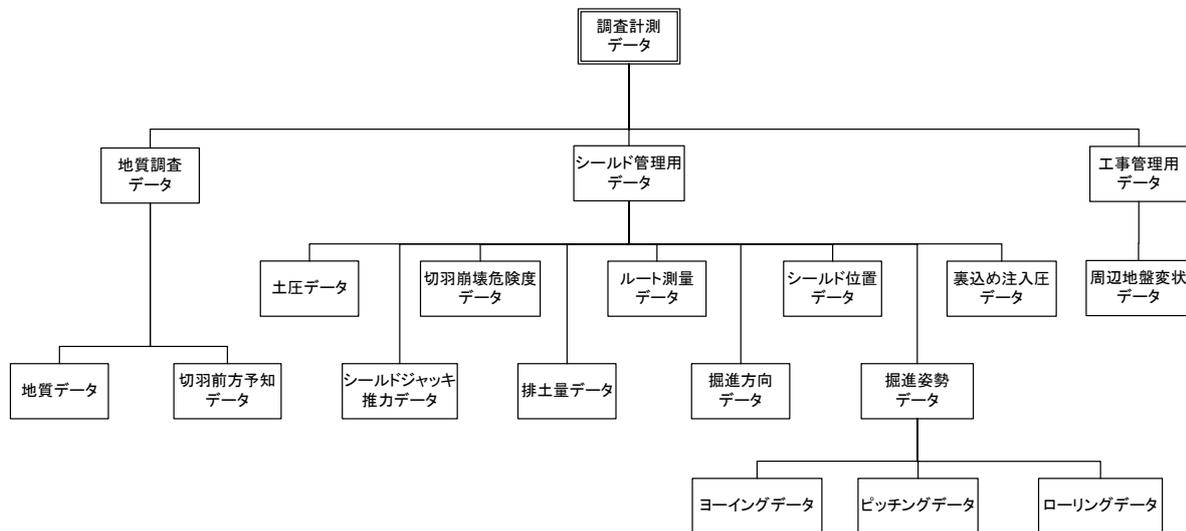
知識については、モデリングの手法としては、述語論理、ルール、セマンティックネットなどがある。



図—3. 7 Processの概念的プロダクトモデル



図—3. 8 Organization の概念的プロダクトモデル



図—3. 9 調査計測データの概念的プロダクトモデル

## 4. IFC の拡張によるシールドトンネルのプロダクトモデルの構築

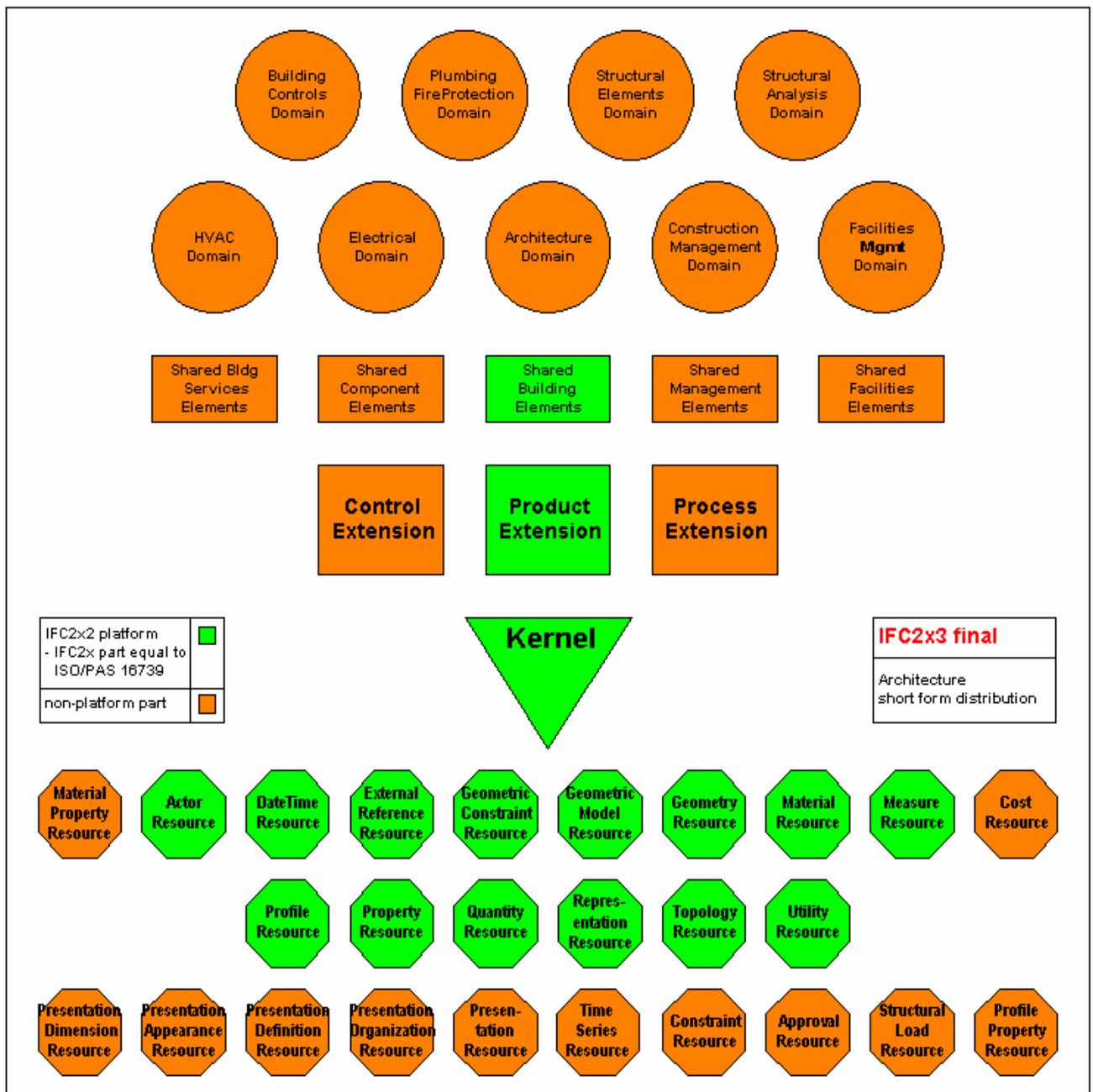
### 4. 1 IFC2x3

前章で記したのはあくまで概念的なプロダクトモデルであり、コンピュータに実装して処理できるようにするためには、クラス間の関係や各クラスの属性などを詳細に定義する必要がある。我々は、これまでも橋梁のプロダクトモデルを開発する際にも、既に建築分野で構築が進んでいる IFC を拡張することにより、IFC が保有している豊富な情報資源を多少の変更作業で利用してきた<sup>1 2)</sup>。そこで、本研究でも同様なアプローチを採用した。

IFC の現在のバージョンは IFC2x3<sup>1 3)</sup> であり、4つの構成要素、すなわち、1) ドメイン要素：建設業界のライフサイクルに携わる様々な業種での使用に特化したクラス、2) 相互運用要素：構造物を構成する部材のように、形状及び属性を有するクラスの定義が行われている、3) コア要素：オブ

ジェクトを定義するクラスであり，3種の基本構造クラス IfcObjectDefinition， IfcRelationship， IfcPropertyDefinition を有する，4) リソース要素：オブジェクトを定義するために用いられる形状表現のためのクラス（線や点，面など）や，オブジェクトが有する属性（材料，重量など）を定義するクラス，により構成されている（図—4. 1）。

Ifc2x3 においては，コア要素の中に3種の基本構造クラス IfcObjectDefinition， IfcRelationship， および IfcPropertyDefinition が， IfcRoot のサブクラスとして存在し，そのまたサブクラスとして各種のオブジェクトが定義されている．オブジェクトの形状や位置表現に関しては，リソース要素である IfcRepresentationItem というクラスを用いて行う．以下にそれぞれのクラスについて詳しく述べる．



図—4. 1 IFC2x3 を構成するリソース

### (1) IfcObjectDefinition

IfcObjectDefinition は、構造物や部材などのように現実世界に実在するものを定義するクラスである。そのため、現在の IFC では建設現場位置を表す IfcSite や施工者を表す IfcActor などとも既往の研究で開発されている。また、IfcObjectDefinition のサブクラスには IfcProduct というクラスが存在し、一般的にはこのクラスのサブクラスで構造物や部材などの形を有するオブジェクトを定義する。また、ここで定義されたオブジェクトは形を有するため形状表現を行わなくてはならない。しかし形状表現については IfcRepresentationItem というクラスで定義をする。形状表現の方法については後に述べる。

### (2) IfcPropertyDefinition

IfcPropertyDefinition は、IfcObjectDefinition クラスが有していない属性値を定義するクラスである。例として IfcObjectDefinition のコンクリート構造物を対象として考えた場合、コンクリート構造物の形状は IfcObjectDefinition のサブクラスで定義可能であるが、このオブジェクトのセメントタイプ、弾性係数、単位重量などは定義が不可能である。このような属性情報を定義する役割を有するのが IfcPropertyDefinition クラスである。またオブジェクトの属性情報は、複数のオブジェクトが同時に共有する事が可能となっている。そのためオブジェクトは属性を毎回定義する必要はなく、作業効率の上昇効果となっている。

### (3) IfcRelationship

IfcRelationship は、オブジェクト間の関係を定義するクラスである。また、IfcObjectDefinition と IfcPropertyDefinition 間の関係を定義する役割も有している。このクラスのサブクラスには特定の関係を定義するクラスがそれぞれ存在し、オブジェクト間の関連付けを行うクラスと IfcObjectDefinition と IfcPropertyDefinition 間の関連付けを行うクラスはそれぞれ別々に存在する。

### (4) IfcRepresentationItem

IfcRepresentationItem は、前述の通り今まで述べた 3 つのクラスと違い、IfcRoot というスーパークラスのサブクラスとして定義されていない。このクラスはオブジェクトの形状表現のためのクラスであり、形状表現は IfcRepresentationItem を基に定義される。このクラスのサブクラスには、点 (IfcCartesianPoint) や線 (IfcLine), 面 (IfcSurface), ソリッドモデル (IfcSolidModel) などが定義されている。オブジェクトの形状を定義する際、ユーザは任意の形状をこのクラスのサブクラスを自由に組み合わせて定義をする。

また、各オブジェクトの配置に関する情報も定義を行う必要があり、ユーザはオブジェクトの配置位置や向き、形状を定義する時のベクトル方向も任意で定義しなくてはならない。

## 4. 2 開発したクラス

本研究では、IFC の拡張によるアプローチの基本的な検討として、概念的プロダクトモデルの中から、掘削される地盤とシールドトンネルのクラスの一部をモデリングの対象として選定した。開発したシールドトンネルのプロダクトモデルのクラスと関連する IFC のクラスを図—4. 1に示す。本研究で IFC に新たに加えたクラスの名前は IFC 内でのクラスのように Ifc で始まる。以下に開発したクラ

スについて述べる。また、本研究で拡張開発を行ったクラスについてはハッチングを行い既存のクラスと区別した。以下、主なクラスについて説明する。

### (1) 空間構造要素

まず、一般的に、建物やシールドトンネルは、用地あるいは敷地など「建設空間」に建てられる。IFCの拡張については、まず建設空間を定義しているクラスがないかを調査し、既存のクラスに `IfcSite` という建設現場を定義するクラスが存在する事がわかった。`IfcSite` は IFC 内で `IfcSpatialStructureElement` のサブクラスとして定義されている。このクラスは空間構造物を定義する場所であり、ここで定義されたクラスは、`IfcRelationship` のサブクラスである `IfcRelContainedInSpatialStructure` を用いる事により、内部に構造物要素 (`IfcElement`) が存在する事を定義可能である事がわかった。そこで本研究では、`IfcSite` のように地盤という概念を加えようと考えた。ユーザが理解しやすいよう地盤である `IfcGround` という名前のクラスを定義した (図—4. 2)。

さらに、IFC を検討してみると、`IfcRelContainedInSpatialStructure` クラスが、建築の梁、柱、壁、床、階段等の `IfcBuildingElement` が `IfcBuilding` というビルディングのクラスに「含まれる」関係も表現するのに用いられている。`IfcBuilding` の基本形状は `IfcFacetedBrep` (`Brep` 若しくは `B-Rep` とも言う) によって表現されるが、`Brep` はサーフェスで構成される閉じた立体であり、内部に関する情報を持つことが可能である。そこで、我々は、図—4. 2に示すように、すべての部材や設備などを含まるシールドトンネルを、`IfcBuilding` と同じ性質を持ったオブジェクトと考えて、`IfcBuilding` と同じ階層に `IfcShieldTunnel` クラスを新しく拡張し定義することとした。また、地盤に付属する地上構造物、地下埋設物等にも適用可能とするために、クラス `IfcShieldTunnel` と同様に `IfcOngroundStructures` と `IfcUndergroundInstallation` クラスを同階層に定義した。

### (2) シールドトンネルと部材

シールドトンネルは、本研究で新たに加えた地盤というクラスの中に含まれる要素であると考えた。前述の通り、`IfcSpatialStructure` のサブクラスとして定義した `IfcGround` の中に `IfcElement` およびそのサブクラスが含まれるという表現は、`IfcRelationship` のサブクラスを用いる事により可能となる。そこで本研究では土木構造物要素を定義する `IfcCivilElement` のサブクラスにシールドトンネル要素である `IfcShieldTunnelElement` という名前のクラスを定義した。

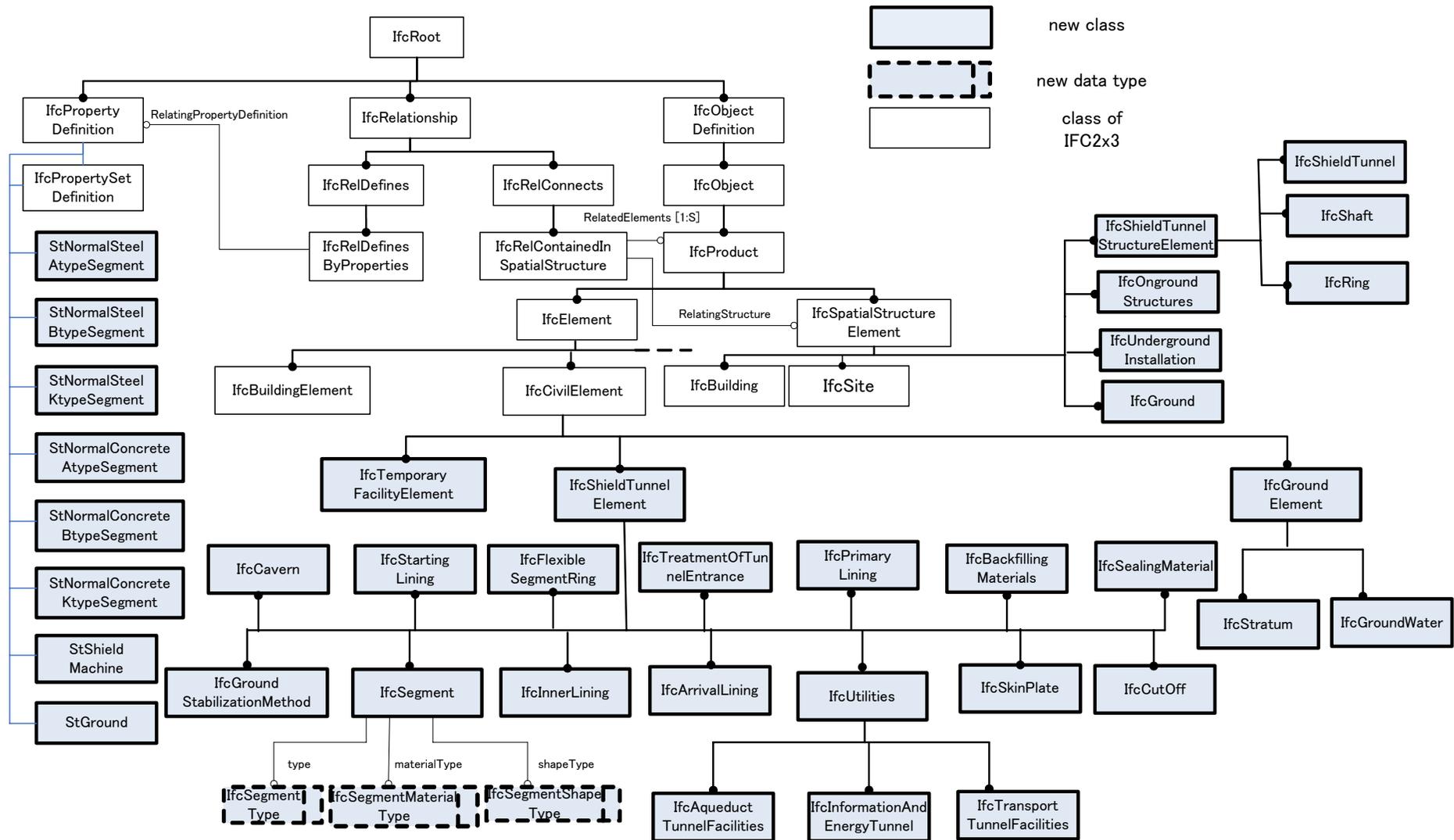
さらに、`IfcShieldTunnelElement` のサブクラスとして、`IfcCavern` (掘削空洞) や、`IfcPrimaryLining` (一次覆工)、`IfcInnerLining` (二次覆工)、`IfcStartingLining` (発進部覆工)、`IfcFlexibleSegmentRing` (可撓セグメント)、`IfcTreatmentOfTunnelEntrance` (坑口処理)、`IfcSegment` (セグメント)、`IfcSealingMaterial` (シール材)、`IfcBackfillingMaterials` (裏込注入材)、`IfcArrivalLining` (到達覆工)、`IfcSkinPlate` (スキンプレート)、`IfcUtilities` (付帯設備)、`IfcCutOff` ( ), `IfcGroundStabilizationMethod` (地盤強化工) などクラスをそれぞれ定義した。

一次覆工である `IfcPrimaryLining` は `IfcShieldTunnelElement` のサブクラスとして定義された。一次覆工の主体としたセグメントである `IfcStSegment` を定義した。セグメントは、材料や形状によってさまざまな種類が存在するので、`IfcSegmentType`、`IfcSegmentMaterialType`、`IfcSegmentShapeType` を定義し、種類を表現する。

```
TYPE IfcSegmentType = ENUMERATION OF
    (Atype,Btype,Ktype);
END_TYPE;
```

```
TYPE IfcSegmentMaterialType = ENUMERATION OF
    (steel,concrete);
END_TYPE;
```

```
TYPE IfcSegmentShapeType= ENUMERATION OF
    (normal,taper);
END_TYPE;
```



図—4. 2 本研究で開発したシールドトンネルのプロダクトモデル

### (3) 仮設備

前述のように、トンネルに専用仮設備の以外、土木や建築に汎用する仮設備が多い。そこで、仮設備は、IfcShieldTuunnelElement のサブクラスではなく、IfcCivilElement のサブクラスとして IfcTemporaryFacility という名前のクラスを定義した(図—4. 2)。仮設備は構造的仮設備(例えば、型枠)と機械的仮設備(例えば、crane や shield machine など)の二つの種類がある。掘削を行うシールドマシンは、仮設備であると考え、仮設備を定義したクラスのサブクラスにシールドマシンである IfcShieldMachine を定義した。

### (4) 地層と地下水

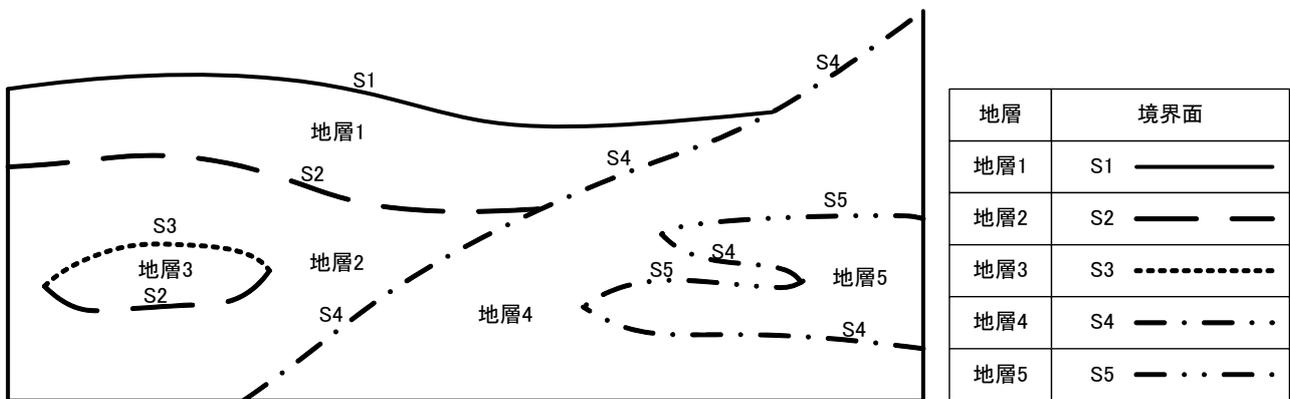
図—4. 3に示すように、地盤は複数の地層の集合で表し、地層を複数の境界面や側面、底面の集合で表すこととした。3次元空間に位置する地層は、単純なものではなく、レンズ状に別の地層の中に存在するものや、図—4. 3の「地層 5」のように別の「地層 4」が間に貫入しているようなものがある。そのため、地層と境界面との関係を数学的に表現できる「地層モデル」の考え方が必要となる。本研究では、地盤の3次元CADシステムで一般的に利用されている以下の地層モデルを利用することとした。

本モデルでは、地層の境界面をまず規定する。境界面は、他の境界面と交差する箇所では切断する。したがって、図—4. 3の境界面「S4」のような場合、他の境界面「S1」、「S2」と交差しているため、交差している箇所では切断し、全部で3枚の面に分解しなければならない。こうして作成した境界面には、名称を付けるが、その付け方は、その面の下の地層の番号をSに付けるというものである。「地層 4」のように間に「地層 5」がある場合でも、この原則は変わらない。各境界面の下の地層が何なのか、という点だけに注目して、名称をつける。各地層は、その地層の番号が付いた境界面から下で、別の番号が付いた境界面までの範囲とする、という決まりで規定できる。あらゆる平面上の点から鉛直な直線を伸ばした場合、各境界面とその直線とが交差する点により、直線上のどの範囲がどの地層なのかをシステムティックに表現できるのである。

本研究では、この地層モデルを採用し、境界面はTINを利用して表現した。

さらに、実装では、地層は、IFCモデルを利用して、次のように表した：

- 地層 ENTITY の IfcShapeRepresentation.RepresentationIdentifier を 'Facetation' とする
- 地層 ENTITY の IfcShapeRepresentation.RepresentationType を 'SurfaceModel' とする
- IfcFaceBasedSurfaceModel を利用して地層を表現する。



図—4. 3 地盤と地層の表現

#### (5) それぞれのオブジェクトに関する属性クラス

4. 2で定義したそれぞれのクラスには、形以外の属性値を有するものもある。そこで本研究では、固有属性値が定義可能となるよう `IfcPropertySetDefinition` のサブクラスに、本研究で新たに加えたセグメント、シールドマシン、地盤についての属性値定義が可能となるクラスをそれぞれ定義した。

また、`IfcPropertyDefinition` のサブクラスは、関連するオブジェクトの関連付けをしなくてはならない。そこで `IfcRelationship` のサブクラスである `IfcRelDefinesByProperties` が、`IfcObjectDefinition` と `IfcPropertyDefinition` の関連付けを行うためのクラスであり、このクラスを用いて関連付けをした (図—4. 2)。

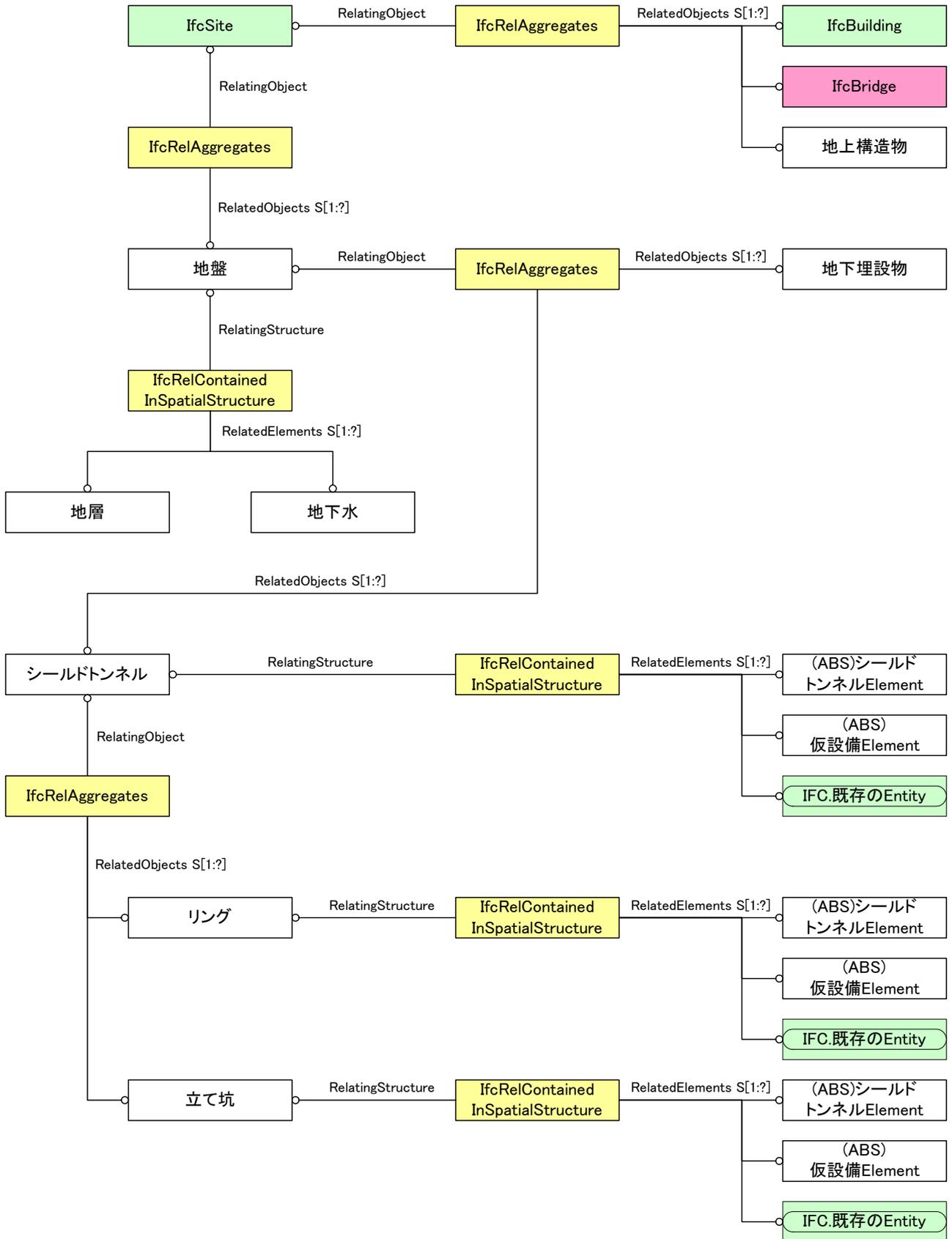
#### (6) オブジェクト間の関係

`IfcRelAggregates` による関係：

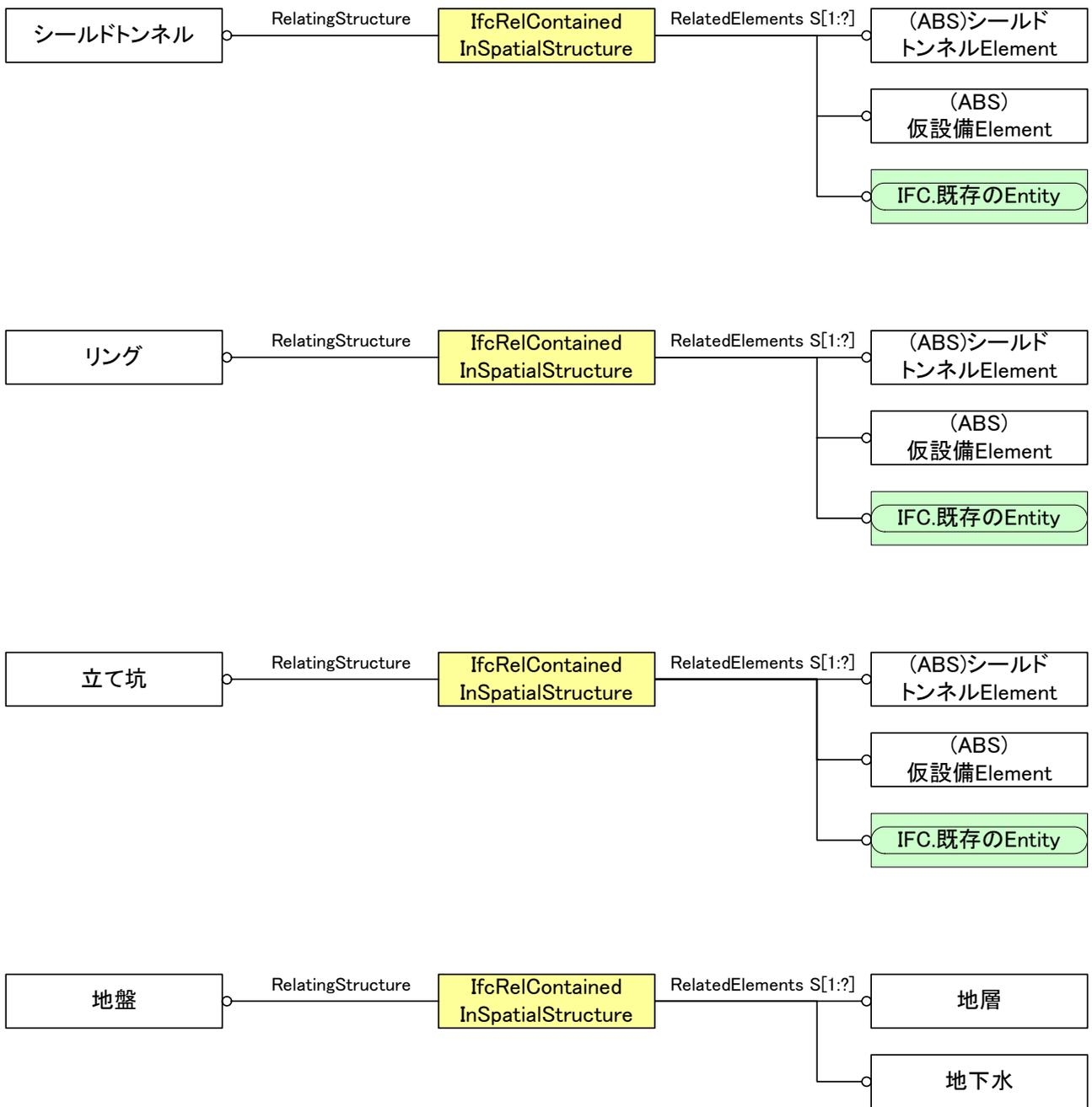
前述のように、地盤はシールドトンネルや地下埋設物から成り立っている。このような関係は `IfcRelAggregates` で表現する。同様に、シールドトンネルはリングや立て坑などから成り立っているので、`IfcRelAggregates` で表現する (図—4. 4)。

`IfcRelContainedInSpatialStructure` による関係：

`IfcRelContainedInSpatialStructure` というクラスは何か何かを含む関係を表す。シールドトンネルにおいて、シールドトンネルのなかで、シールドトンネルの部材や、仮設備などがある。そのほか、建て坑やリングもシールドトンネルの部材や、仮設備などを含む。地盤は地層と地下水を含む。これらの関係はすべて `IfcRelContainedInSpatialStructure` を利用して表現される (図—4. 5)。



図—4. 4 IfcRelAggregates による関係



図—4. 5 IfcRelContainedInSpatialStructure による関係

### 4. 3 開発したクラスの定義

プロダクトモデル構築は、モデル図にクラスを追加するだけでは終わりではなく、Express 言語を用いて新たに加えたクラスを定義しなくてはならないため、Express 言語によりそれぞれを Express スキーマに定義した。下は IfcShieldTunnelElement を例として Express スキーマを説明する。

```
ENTITY IfcShieldTunnelElement
  ABSTRACT SUPERTYPE OF (ONEOF(
    IfcCavern,
    IfcStartingLining,
    IfcFlexibleSegmentRing,
    IfcTreatmentOfTunnelEntrance,
    IfcPrimaryLining,
    IfcSegment,
    IfcSealingMaterial,
    IfcBackfillingMaterials,
    IfcInnerLining,
    IfcArrivalLining,
    IfcSkinPlate,
    IfcUtilities,
    IfcCutOff,
    IfcGroundStabilizationMethod))
  SUBTYPE OF (IfcCivilElement);
END_ENTITY;
```

また、IfcPropertyDefinition クラスは Express スキーマでの定義のような決まりというのは特になく、しかし本研究では、新たに加えた IfcStNormalSteelAtypeSegment, すなわち、普通鋼製 A 型セグメントを対象として具体的な属性内容を実験的に表形式でまとめる事とした。具体的な属性としては、鋼タイプ (SteelType), 溶接タイプ (WeldingType), 溶接継手タイプ (WeldingJointType), 塗装材 (CoatingMaterial), 設計強度 (DesignStrength), セグメント重量 (SegmentWeight) を定義した。鋼タイプ, 溶接タイプ, 溶接継手タイプに関しては、あらかじめ使用すると考えられるものを幾つか挙げ、ユーザが自由に選べる方法をとった。図—4. 6内での DataType が PEnum と宣言されている場合、ユーザは幾つかの選択肢から該当するものを選べるという機能を利用した。その他に関しては、ユーザが手入力でデータを定義するという方法を選定した。

Property Sets associated to the IfcStNormalSteelAtypeSegment

<b>PropertySet Name</b>	Pset_IfcStNormalSteelAtypeSegment
<b>Applicable Entities</b>	IfcStNormalSteelAtypeSegment
<b>Applicable TypeValue</b>	
<b>Definition</b>	Properties common to the definition of all occurrences of IfcStNormalSteelAtypeSegment.

Name	Property Type	Data Type	Definition
SteelType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_SteelType <ul style="list-style-type: none"> <li>• SS400</li> <li>• SM400</li> <li>• SM490Y</li> <li>• SMA490</li> <li>• Other</li> </ul>	Steel Type
WeldingType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_WeldingType <ul style="list-style-type: none"> <li>• Shielded Metal Arc Welding</li> <li>• Submerged Arc Welding</li> <li>• Gas Metal Arc Welding</li> <li>• Other</li> </ul>	Welding Type
WeldingJointType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_WeldingJointType <ul style="list-style-type: none"> <li>• Groove Welding</li> <li>• Fillet Welding</li> <li>• Other</li> </ul>	Welding Joint Type
CoatingMaterial	IfcPropertySingleValue	IfcLabel	Coating Material
DesignStrength	IfcPropertySingleValue	IfcReal	Design Strength
SegmentWeight	IfcPropertySingleValue	IfcReal	Segment Weight

図—4. 6 作成した IfcStNormalSteelAtypeSegment の属性定義

## 5. プロダクトモデルの実装例

### 5. 1 インスタンスファイルの作成

本研究ではプロダクトモデル構築後、3次元CADシステム間との間でデータの受け渡しができるか検討した。まず、ifcXML<sup>14)</sup>を用いてプロダクトモデルの各オブジェクトのインスタンスファイルを作成した(図—5.1)。ifcXMLは、IFCにおけるオブジェクトデータを実装するために制定された実装形式である。ifcXMLによるインスタンスファイルは、オブジェクトの形状だけでなく、配置情報を与えたり、複数のオブジェクトを同時に組み合わせる事が可能となっている。インスタンスファイル作成の対象としたオブジェクトは、地盤、掘削空洞、セグメント(A, B, K型)である。

インスタンスファイル内での具体的な形状表現方法について述べる。本研究では、対象としたオブジェクトの表現にIfcRepresentationItemのサブクラスであるIfcSweptAreaSolidというクラスを用いて表現した。このクラスは面を押し出してSolidModelを作成するという概念である。地盤は直方体であるため任意の寸法で四角形の面を作成し、その面に厚さ(奥行き)を与えてSolidModelとした。掘削空洞も同様に作成したが、掘削空洞の場合はシールドマシンによって構築されるため、面の形状は円で表現した。セグメントは、セグメントを構成する外側と内側それぞれの弧の半径を定義し、2つの弧の始点と終点を与えて面を作成した。面の作成後は他と同様に厚さを与えてモデルを作成した。

```
<IfcGeometricRepresentationContext href="B1001" />
</ContextOfItems>
- <Items>
- <IfcExtrudedAreaSolid>
- <SweptArea>
- <IfcArbitraryClosedProfileDef>
  <ProfileType>AREA</ProfileType>
- <OuterCurve>
- <IfcCompositeCurve>
- <Segments>
- <IfcCompositeCurveSegment>
  <Transition>CONTINUOUS</Transition>
  <SameSense>FALSE</SameSense>
- <ParentCurve>
- <IfcPolyLine>
- <Points>
- <IfcCartesianPoint>
- <Coordinates ex:cType="list">
  <IfcLengthMeasure pos="0">150</IfcLengthMeasure>
  <IfcLengthMeasure
    pos="1">259.8076</IfcLengthMeasure>
  <IfcLengthMeasure pos="2">0</IfcLengthMeasure>
</Coordinates>
</IfcCartesianPoint>
- <IfcCartesianPoint>
- <Coordinates ex:cType="list">
  <IfcLengthMeasure pos="0">175</IfcLengthMeasure>
```

図—5.1 作成したオブジェクトのインスタンスファイル (一部)

## 5. 2 コンバータプログラムの作成

作成したインスタンスファイルを、そのままの形式で 3 次元 CAD システムはデータ処理する事が不可能である。そこで、作成したインスタンスファイルを CAD ソフトが読み込む事により、そのデータが CAD 画面上にモデリングをするコンバータプログラムを Visual Basic for Application を用いて開発した (図—5. 2)。

本研究で開発したコンバータは、ユーザがモデリングをしたいファイルを選択しユーザインタフェース (図—5. 3) にファイル名を入力する事により、CAD 画面上にオブジェクトのモデリングを行うシステムとなっている。

```
*****
*****モデリング開始*****
*****
' This example extrudes a solid from a region.
' The region is created from an arc and a line.

Dim regionObj As Variant
Dim segmentNodeList As IXMLDOMNodeList ' "CompositeCurveSegment" の NodeList
Dim segmentNode As IXMLDOMNode
Set segmentNodeList = doc.getElementsByTagName("IfcExtrudedAreaSolid")
Set segmentNode = segmentNodeList.Item(0)
Dim eleCom As IXMLDOMElement
Set eleCom = segmentNode
If eleCom.getElementsByTagName("IfcCompositeCurve").length > 0 Then
    Set node = eleCom.getElementsByTagName("IfcCompositeCurve").Item(0)
    Set eleCom = node
    regionObj = createRegion(eleCom) ', WCS)
ElseIf eleCom.getElementsByTagName("IfcCircleProfileDef").length > 0 Then
    Set node = eleCom.getElementsByTagName("IfcCircleProfileDef").Item(0)
    Set eleCom = node

    Dim CenterPoint(0 To 2) As Double
    Dim Radius As Double
    Dim arc(0 To 1) As AcadEntity

    Set node = node.childNodes(1) 'Position
    Set node = node.firstChild 'IfcAxis2Placement3D
    Set node = node.firstChild 'Location
    Set node = node.firstChild 'IfcCartesianPoint
    Set node = node.firstChild 'Coordinates
    For i = 0 To 2
        text = node.childNodes(i).text
        CenterPoint(i) = Cdbl(text)
    Next i

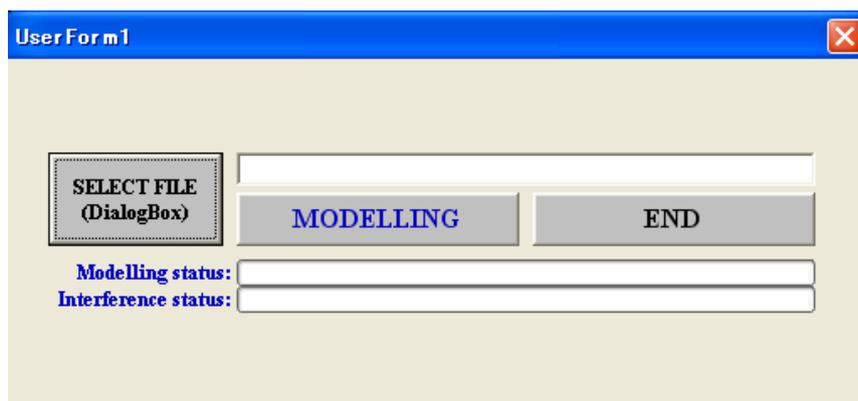
    Set node = eleCom.childNodes(2) 'Radius

    text = node.text
    Radius = Cdbl(text)

    Set arc(0) = ThisDrawing.ModelSpace.AddArc(CenterPoint, Radius, 0, PI)
    Set arc(1) = ThisDrawing.ModelSpace.AddArc(CenterPoint, Radius, PI, 2 * PI)
    regionObj = ThisDrawing.ModelSpace.AddRegion(arc)

End If
```

図—5. 2 作成したコンバータプログラム (一部)



図—5. 3 作成したコンバータプログラムのユーザインタフェース

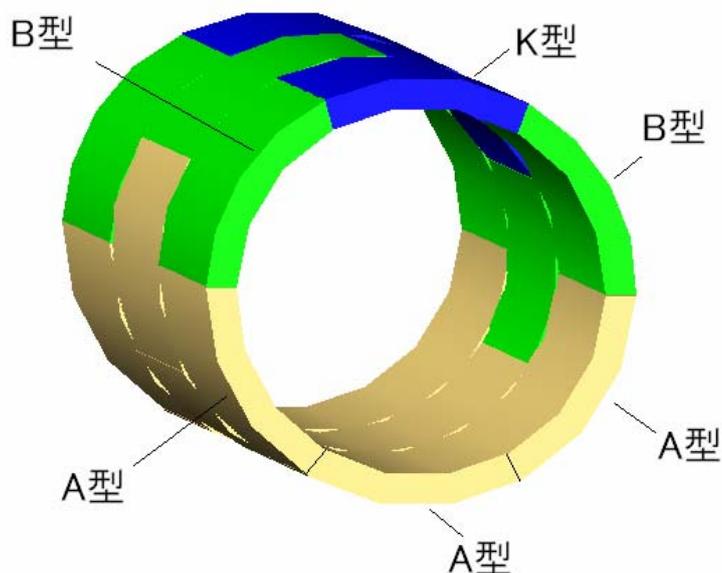
### 5. 3 コンバータプログラムによる実装

コンバータプログラム開発後、実際にそれぞれのインスタンスファイルを実装した。まず簡単な地盤をモデリングし、次にその地盤から掘削空洞を差し引くという表現をしなくてはならなかったが、本研究では、AutoCAD2004のSolidObject同士の差を求めるsubtractという機能を利用し、地盤から掘削空洞データを差し引くようにプログラミングを行い表現した(図—5. 4)。

セグメントは、A, B, K型のインスタンスファイルを実装し、それぞれに位置情報を与えてセグメントリングを作成した(図—5. 5)。



図—5. 4 掘削空洞内でのトンネル表現



図—5. 5 セグメントリングの実装例

## 6. おわりに

本報告書では、シールドトンネルを対象とした概念的なプロダクトモデルを構築し、IFC を拡張することにより概念的プロダクトモデルの中から主なクラスの一部を定義した。さらに、ifcXML を用いて簡単なシールドトンネルのモデルの実装を行い 3 次元 CAD システムとの間でデータのやりとりを実施した。

今後の課題は、本研究で対象としていないモデルの実装、土木構造物のライフサイクルにおける各種アプリケーションシステムとの相互運用を可能とし、実際の工事への適用、さらに計測データモデルの構築などが挙げられる。

## 参考文献

- 1) 矢吹信喜, 志谷倫章 : PC 橋梁の 3 次元プロダクトモデルの開発と応用, 土木学会論文集, No.78 4/VI-66, pp.171-187, 2005.3.
- 2) ISO10303, Industrial Automation Systems and Integration – Product Data Representation and Exchange, 1994.
- 3) IFC : <<http://www.iai-international.org/index.html>>
- 4) 本郷延悦, 石村久治 : 橋梁鋼上部工を対象とした JHDM 構築に関する研究, 土木情報利用技術論文集, Vol.12, pp.11-20, 2003.
- 5) 矢吹信喜, 町中啓樹 : 鋼桁橋プロダクトモデルと VR-CAD の開発及び立体視の有効性検討, 土木情報利用技術論文集, Vol.14, pp.87-94, 2005.10.
- 6) IFC-BRIDGE : <<http://www.iai-france.org/bridge/>>
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所 : 道路中心線形データ交換標準 (案) 基本道路中心線形編

Ver.1.0, 2006.12.

- 8) 土木学会：土木用語大辞典，1999.
- 9) 土木学会：2006年制定トンネル標準示方書 [シールド工法]・同解説，2006.
- 10) 土木施工編集委員会編：トンネル・シールド工事，山海堂，2003.
- 11) 日本トンネル技術協会：トンネル技術ステップアップ研修会ーシールドトンネルー，2005.
- 12) 矢吹信喜，志谷倫章：IFCに基づいたPC中空床版橋の3次元プロダクトモデルの開発，土木情報システム論文集，Vol.11，pp.35-44，2002.10.
- 13) IFC2x3 (Online documentaion)： [http://www.iai-international.org/Model/R2x3\\_final/index.htm](http://www.iai-international.org/Model/R2x3_final/index.htm)
- 14) ifcXML： <<http://www.iai-international.org/ifcXML2/RC2/>

# DEVELOPMENT OF A SHIELD TUNNEL PRODUCT DATA MODEL USING SEMANTIC WEB

Yabuki, N.  
Muroran Institute of Technology

Although about half of the shield tunnel works done in the world exist in Japan, their product model has not been developed and detail construction related data are owned by engineers who worked at the construction sites. Considering the international contribution and business chances, in order to preserve the precious construction data for the future use, we have decided to develop a product model for representing shield tunnel construction. As its first step, we investigated the characteristics of shield tunnels and developed a conceptual product model, deploying semantic web technology. Then, we implemented some part of the model by expanding Industry Foundation Classes (IFC) of International Alliance for Interoperability (IAI). We successfully performed experiments of exchanging product model data with a 3D CAD system.

.  
. .

**KEYWORDS:** *product model, shield tunnel, IFC, semantic web.*

## 研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者・所 属
第2006-2号	セマンティックWebを用いたシールドトンネルのデータモデルに関する研究	矢吹 信喜 室蘭工業大学工学部
<p>製品や構造物のライフサイクルを通じて、異なるアプリケーションシステム間でのデータの交換と共有による効率化を目的に、プロダクトモデルが開発されている。建築分野では、IAI International Alliance for Interoperability) の IFC ( Industry Foundation Classes) が開発され、土木分野でも、橋梁や道路などで開発が進められている。しかし、トンネルのように既に固体が存在する地盤の中を掘削して空洞を作成し、その後コンクリートなどで支保する構造物のプロダクトモデルを開発した例は見当たらない。そこで本研究では、日本の施工実績が特に多いシールドトンネルを対象としてプロダクトモデルを開発することとした。</p> <p>プロダクトモデルの構築の際、必要なデータは、いわゆる 5W1H (いつ、誰が、どこで、何を、何故、どのように) に帰結すると考えられる。そこで、シールドトンネルの概念的プロダクトモデルの構築に当たっては、全クラスの根 (Root) の下には、オブジェクトを定義する Product, 施工内容を定義する Process, 施工に携わる組織関係を定義する Organization, 施工に関する種々の計測データを定義する調査計測データ, 施工記録を定義する知識という5つのクラスをモデルとして配置することとした。尚、モデリングに当たっては、シールドトンネルの専門書を調査すると共に、シールドトンネルの専門家に意見を聞きながら矛盾や漏れがないよう注意しながら構築した。また、技術用語、概念、論理に関して、セマンティック Web 技術を用いて、クラスの構成や用語の選択などを実施した。</p> <p>このようにして概念的なプロダクトモデルを構築した後、コンピュータで実装するために、概念的プロダクトモデルと IFC を比較し、IFC に不足しているクラス等を付加することとした。付加したクラスは、空間構造要素、シールドトンネルおよび部材、仮設備および地盤が主である。</p> <p>本研究では、地盤の地層に関しては、境界面との位置関係に基づく単純だが汎用性のある手法を採用して地層モデルを構築した。境界面は、TIN (3 角形メッシュ) を用いた。実装したプロダクトモデルのスキーマを検証するために、簡単なシールドトンネルのデータを元に、インスタンスファイルを ifcXML を用いて作成した。インスタンスファイルの対象としたオブジェクトは、地盤、掘削空間、セグメント (A, B, K 型) である。次に、インスタンスファイルを読み込んで、3 次元 CAD システムで自動的に描画できるよう、簡単なコンバータプログラムを Visual Basic for Application を用いて開発し、実際に実行した。</p> <p>本研究では、シールドトンネルを対象とした概念的なプロダクトモデルを構築し、IFC を拡張することにより、概念的プロダクトモデルの中から主なクラスの一部を定義した。さらに、インスタンスファイルを 3 次元 CAD システムへデータ変換することにより実証を行った。現在、開発しているシールドトンネルのプロダクトモデルを IFC-SHIELDTUNNEL という形で、国際的な標準にすべく活動を実施中である。今後の課題は、本研究で対象としていないモデルの実装、土木構造物のライフサイクルにおける各種アプリケーションシステムとの相互運用を可能とし、実際の工事への適用、さらに計測データモデルの構築などが挙げられる。</p>		