

## 高速道路事業におけるプロダクトモデルの研究開発

古田 均<sup>†1</sup> 田中成典<sup>†1</sup> トマス フローズ<sup>†2</sup>  
山崎元也<sup>†3</sup> 本郷廷悦<sup>†4</sup>  
草野成一<sup>†4</sup> 物部寛太郎<sup>†5</sup>

近年、わが国の高速道路事業において、建設 CALS/EC への対応が推進されている。高速道路事業では、ライフサイクルの各段階が、個別のシステムで管理されている。そのため、システムごとにデータ形式が異なり、データの再利用化と共有化が課題となっている。そこで、この課題を解決するために、高速道路事業に携わる民間技術者と大学の研究者が持つ知識と技術を融合することで、高速道路事業におけるプロダクトモデル「JHDM (Japan Highway Data Model)」を開発した。JHDM は、業務機能モデル、道路構造モデルと XML スキーマから構成される。JHDM を利用することで、高速道路事業における既存の成果品の活用やシステム間の連携によるデータ管理の効率化が可能になる。

### Development of Product Model for Expressway Projects

HITOSHI FURUTA,<sup>†1</sup> SHIGENORI TANAKA,<sup>†1</sup>  
THOMAS FROESE,<sup>†2</sup> MOTOYA YAMASAKI,<sup>†3</sup>  
TEIETSU HONGO,<sup>†4</sup> SEIICHI KUSANO<sup>†4</sup>  
and KANTARO MONOBE<sup>†5</sup>

A program of construction CALS/EC for expressway projects is currently being promoted in Japan. Each step in the lifecycle of an expressway project is managed by individual systems; therefore, data formats differ for every system, creating reuse and sharing problems. To resolve such issues, the product model "Japan Highway Data Model" (JHDM) for expressway projects was developed by integrating the knowledge and technology of private sector engineers engaged in expressway projects and university researchers. JHDM consists of the "Activity functional model", "Road structural model", and "XML schema". Testing confirmed that JHDM can be used to exchange an integrated data set including design values and quantities in addition to CAD-specific data between different applications and directly reuse the data produced by the applications.

It is significant that the JHDM data exchange method is applicable to existing CAD applications already used in practical design activities.

### 1. はじめに

近年、公共事業において、土木構造物の品質を確保する要求が高まっている。そのため、国土交通省は、調査、設計、積算、施工および維持管理という土木構造物のライフサイクル全般の各業務段階で発生する設計・施工ドキュメント、CAD データ、写真画像等の情報を交換、連携、共有および再利用する建設 CALS/EC (公共事業支援統合システム: Continuous Acquisition And Lifecycle Support/Electronic Commerce) を推進<sup>1),2)</sup> している。建設 CALS/EC の運用に向けて、国土交通省は、電子納品に利用するプロダクトモデルの開発<sup>3)</sup> を目指している。プロダクトモデルとは、製品モデルの計画から保守までのライフサイクル全般にわたって必要十分な情報で構成されている製品モデルである。製品モデルには、幾何形状情報に加えて、形状特徴や材料モデル等の属性情報が含まれている。

プロダクトモデルは、国内外を問わず、様々な機関で開発され利用されている。代表的なプロダクトモデルとして、国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) によって、建設事業で一般的に用いられる 2 次元図面データを対象とした ISO10303-202 CC2 (2 次元製図に関する規格における 2 次元初等ワイヤフレームモデルの適合クラス)<sup>4)</sup> がある。また、ISO10303-202 CC2 に準拠し、CAD データ交換標準開発コンソーシアム (SCADEC: Standard CAD data Exchange in the Japanese Construction field) によって開発された 2D-CAD 図面データ交換フォーマットの標準仕様 (SXF: Scadec data eXchange Format)<sup>5),6)</sup> や、建築分野において異なる機関どうしで必要な情報の交換を行うために開発された IAI (International Alliance for Interoperability) の IFC (Industry

†1 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

†2 ブリティッシュコロンビア大学工学部

Department of Civil Engineering, University of British Columbia

†3 東京農業大学地域環境科学部

Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

†4 中日本高速道路株式会社

Central Nippon Expressway Company Limited

†5 宮城大学事業構想学部

School of Project Design, Miyagi University

Foundation Classes<sup>7)</sup> 等があげられる。

これらのプロダクトモデルは、EXPRESS-G と呼ばれるモデルリング言語を用いて設計を行い、EXPRESS というスキーマを用いて開発が行われている。IFC は、構造分析に関する研究にも用いられている<sup>8)</sup>。また、国内外の多くの機関では、UML を用いてプロダクトモデルの設計を行うようになった。さらに、W3C (World Wide Web Consortium) によって策定されている XML (拡張可能なマークアップ言語: Extensible Markup Language) ベースの XML スキーマを用いて開発するようになった。たとえば、ドイツでは、道路の計画から維持管理、利用者へのサービスの効率化、道路事業費の縮減のための Objekt katalog für das Straßen- und Verkehrswesen (以下、OKSTRA)<sup>9)</sup> と呼ばれるデータモデルを UML で設計し、XML スキーマを用いて開発している。また、ISO の地理情報の国際標準規格の策定を行っている Technical Community 211 (以下、TC211)<sup>10)</sup> においても UML を用いて地理情報のデータモデルを設計し、XML スキーマを利用して開発することが採決されている。加えて、OGC (Open GIS Consortium) によって開発された GML<sup>11)</sup> の活用が進んでいる。今後も UML を用いてプロダクトモデルの設計を行い、XML スキーマを用いて開発し、利用する事例が増加していくと考えられる。

一方、わが国の高速道路事業のライフサイクルの各事業段階において、様々なデータが作成される。それらのデータは、事業段階ごとに個別のシステムで管理されており、連携が行われていない。そのため、システムごとに重複して管理されているデータが多数あり、非効率<sup>12)</sup> である。このような状況の中、高速道路事業におけるデータ管理上の課題として、「データの再利用可能化」と「データの共有化」があげられる。これらの課題を解決することによって、高速道路事業の効率化を実現することができる。

これらの課題を解決するためには、高速道路事業において活用できるプロダクトモデルの整備が必要となる。高速道路のような社会基盤施設分野での既存プロダクトモデルとしては、空間情報に関するモデルである上述の地理情報標準、特定施設に関するモデルである LANDXML (座標位置情報、測地情報等の測量情報や道路線形情報、区画情報、土量データ等の建設土木のデータ交換仕様)、上述の OKSTRA、IFC-BRIDGE (フランスで開発された橋梁に関するオブジェクトモデルの定義) 等が存在する。しかし、これら既存モデルは、特定の利用用途・施設およびフェーズを対象にそれぞれ異なる方法論が適用されて作成されており、そのスコープの範囲内では有効であるが、これらの範囲を越えて様々な種類の施設を統一的な観点で横断的に表現することは不可能である。また、これら既存モデルをこのまま利用すると、個々のモデルでの個別表現方法が原因となり、データの相互変換等運用上の困難が発生する。

このように既存モデルを単純に高速道路事業にあてはめることができないという問題が存在するため、高速道路事業に携わるゼネラルコンダクタと旧日本道路公団、SXF<sup>5),6)</sup> や IFC<sup>7)</sup> の開発に深く関わってきた学術研究者の産官学の連携により、高速道路事業におけるデータ交換仕様検討委員会を立ち上げ、基本仕様を立案した。それを基に、高速道路事業におけるデータ管理上の課題解決を目的として、プロダクトモデル「JHDM (Japan Highway Data Model)」を開発した。

本論文は、JHDM 開発にあたり、高速道路のネットワークとしての論理的な表現から個別施設の詳細な物理的表現に至るまで、オブジェクト指向アプローチにおける標準的な分析方法である UML を統一方法論として適用したモデル化、データ交換の国際標準である XML を適用したデータ交換仕様の作成、データ交換仕様に基づく実証実験による評価を示したものである。

社会基盤施設において、これほどまで網羅的に、統一的なオブジェクト指向アプローチ方法論を適用してモデル化しデータ交換仕様まで示した事例は、JHDM が国内初である。

本論文の構成は、まず、高速道路事業におけるデータ利用上の課題を述べ、次に、これを解決するための JHDM の概要・構成・工種別の詳細内容、作成したモデルに基づく実証実験による評価を示し、最後に、本研究のまとめと今後の課題を示した。

## 2. 高速道路事業における課題

### 2.1 ライフサイクル全般における課題

高速道路事業では、図 1 に示すように、ライフサイクルの各事業段階において異なるシステムでデータを管理している。そのため、ライフサイクル全般で考えた場合、システム間でのデータ共有や再利用が困難になっている。また、ライフサイクルの各事業段階においても以下に示す課題がある。

### 2.2 調査・設計段階における課題

調査・設計のプロセスでは、成果物に関して電子納品が行われている。電子納品では、成果品の管理データのデータ形式を XML に統一している。しかし、図面データや設計データ等のオリジナルデータのデータ形式については特に定められていないため、データ互換性がなく、発注者側としては、再利用性や永続性の面で問題がある。たとえば、図面データは幾何データのみが交換されるため、設計値が伝わらず値の再入力が必要になる。また、報告書に関しては、設計の報告書や数量計算書といった書類のデータが構造化されていないため、道路資産の管理の観点から必要なデータを取り出すことができないという問題がある。

### 2.3 積算・施工段階における課題

積算・施工のプロセスでは、積算システムや施工管理システムを使用している。システムの利用において、入力ミスの可能性やデータ入力に時間やコストがかかるといった問題がある。また、工事記録や工事結果のデータを収集するうえで、データと図面との照合作業が膨大になり、それらのデータの精度が低下するといった問題がある。また、工事記録では、複数のシステムを使用しているため、構造物単位にデータをまとめることが困難になる。

### 2.4 維持・管理段階における課題

維持・管理のプロセスでは、維持・管理を行うためのシステムを多数使用している。しかし、データ連携が困難で、データの信頼性にも問題がある。たとえば、システム間でのデータの二重管理といった問題がある。高速道路事業においては、業務単位にシステムを開発してきた。そして、システム単位にデータを保持している。そのため、データの管理コストの増大やデータの信頼性の低下といった問題が発生している。

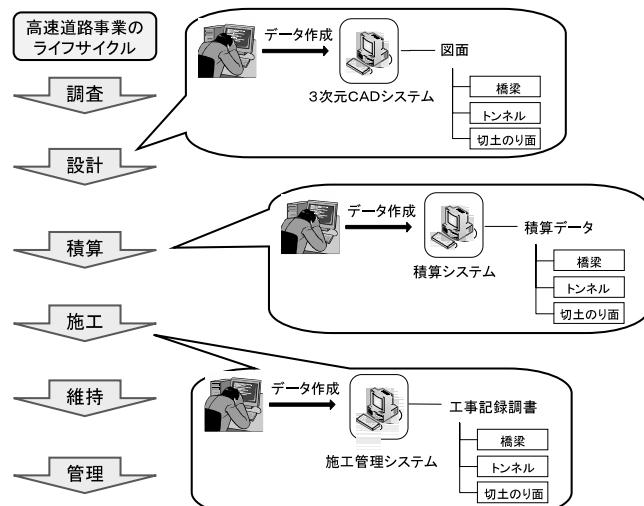


図 1 高速道路事業のデータ管理  
Fig. 1 Data management of highway project.

## 3. JHDM の概要

### 3.1 JHDM の目的

本研究では、高速道路事業における課題解決を目的として、高速道路事業におけるデータ交換仕様検討委員会において著者らが立案したデータ交換仕様に基づき、プロダクトモデル「JHDM」を開発した。JHDM では、データの再利用と共有を目的としている。高速道路事業のライフサイクルでは、データ形式が異なっていてはデータ交換を円滑に行うことができない。そこで、ライフサイクル全般においてデータ交換を円滑に行うためのプロダクトモデルを開発した。

### 3.2 JHDM の効果

#### 3.2.1 データの再利用

高速道路事業には、様々な作業工程が存在する。現状の電子納品に加えて、JHDM を用いたデータ単位での電子納品を実施した場合、上流工程で作成したデータを下流工程の各種作業工程で再利用できる。高速道路事業では、図 2 に示すように、数量計算や積算等の複数のシステム間でのデータ交換が行われる。そのため、データ交換仕様を統一することで、システム間でのデータ交換や再利用が可能になる。

#### 3.2.2 データの共有

現状の高速道路事業におけるデータの不整合やデータの二重保持等の課題に対して、JHDM

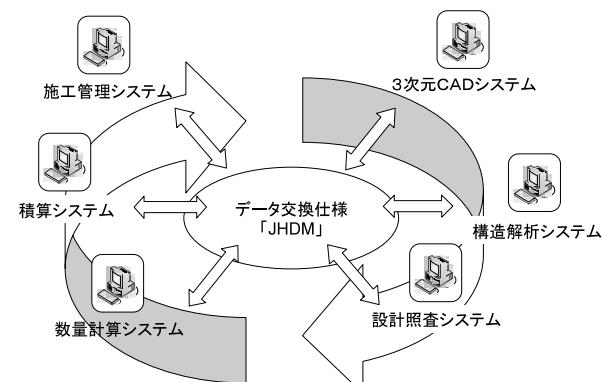


図 2 JHDM におけるデータ交換  
Fig. 2 Data exchange in JHDM.

では、基本的なオブジェクトを定義して、各システムがオブジェクトを参照するようにしている。この処理によって、データの共有を実現し、データの二重管理の排除や整備費用の削減を実現できる。

#### 4. JHDM の構成

##### 4.1 3 つの構成要素

JHDM は、図 3 に示す検討手順によって、まず、業務機能モデルを作成した。業務機能モデルは、道路事業における業務内容とプロセスに関連する情報項目を抽出、整理し、モデル化したプロセスモデルである。

次に、モデルが扱う項目の候補を洗い出し、その項目のグループ化やグループ間の関係の整理を行い、道路構造モデルを作成した。道路構造モデルは、高速道路を構成する構造物やその事業における概念をモデル化したオブジェクトモデルである。

最後に、それらに基づいて、XML スキーマを作成した。XML スキーマは、JHDM のモデルを使用したアプリケーションで作成されたデータを交換する場合のデータ構造を規定している。

以下に、2.1 節～2.4 節の課題に対応すべく、JHDM の構成要素である業務機能モデル、道路構造モデル、XML スキーマについて説明する。

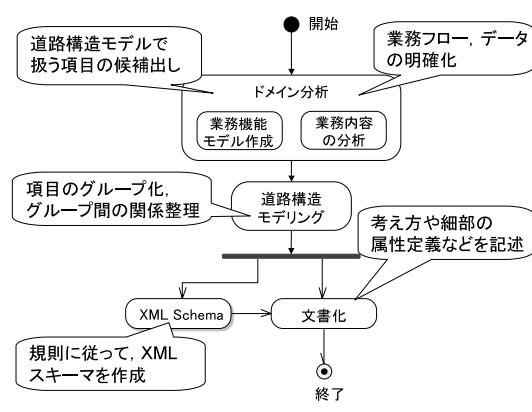


図 3 JHDM の検討手順  
Fig. 3 Examination procedure of JHDM.

#### 4.2 業務機能モデル

前述したように、高速道路事業には、様々な工程が存在する。2.1 節で述べたライフサイクル全般における課題を解決するために、業務機能モデルは、時系列的側面から道路事業の業務プロセスをモデル化したものである。業務機能モデルの目的は、対象領域における業務の内容と流れを分析し、各プロセスにおける必要情報項目の抽出と発生時期の明確化を行うことにある。業務機能モデルでは、プロセスごとに入力項目および出力項目がまとめられている。モデル作成のために行った業務分析の概要は以下のとおりである。

- 設計業務

詳細設計のデータ項目には、予備・概略等の上位の設計段階におけるデータ項目が集約されていると考え、詳細設計を対象として業務の流れを整理する。

- 工事業務

設計情報や高速道路管理者から提供される情報をどのように利用しているかを中心に業務の流れを整理する。

- 発注者側の作業

設計情報を用い、工事へ情報の引渡しを行う業務を分析の対象とし、施工計画・積算・発注業務の流れを整理する。

さらに、具体的な作業のガイドラインとして以下の項目を設定した。

- 各作業単位における入出力項目と処理内容を的確にとらえる。

• 入出力の項目は、具体的に記述し、基準等の外部制約によって決まる数値は区別する。

• 抽出した情報項目に時間的な有効期限があるものについてはそれを記述する。

• 図面作成作業においては、形状を決定する要素を記入する。最低限必要な数値情報は、最低限記入する。

• 同様の意味、または、同一の事象を表現する用語は統一する。

業務分析結果の記述様式と作業手順として以下の項目を設定した。

- 業務フロー図を作成し、作業単位を抽出する。

• 抽出した作業単位に識別番号を付与する。

• 作業ごとに、必要となる情報項目、作業の内容、作業の結果として出力される情報項目を記述する。

• 各担当分の作業を終了した時点で、同一の事象を表現するものに対し、記述や用語を統一する。

業務機能モデルでは、情報システムにおける概念や論理構造の標準的な記法である UML

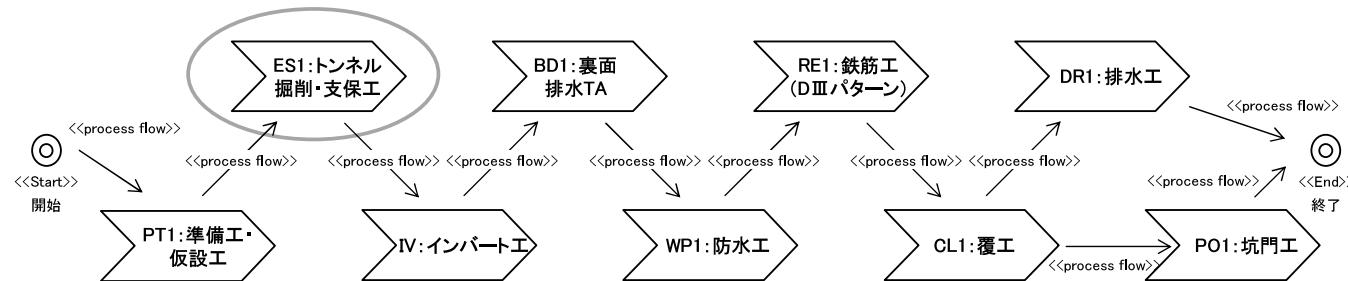


図 4 業務機能モデルの全体フロー  
Fig. 4 Whole flow of operating functional model.

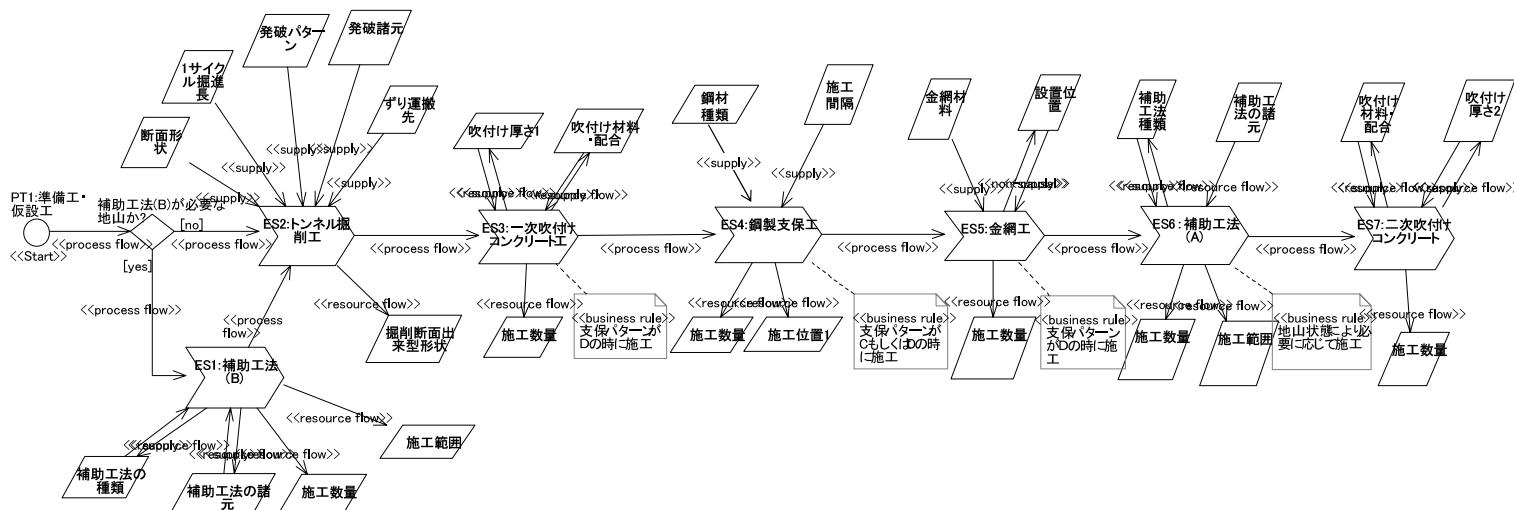


図 5 業務機能モデルの例  
Fig. 5 Example of operating functional model.

を拡張した Eriksson-Penker 法<sup>13)</sup>を用いて、段階ごとの内容を整理して表記する。トンネルを例とした業務機能モデルの全体フローを図 4 に示す。全体フローでは、トンネルの施工におけるすべての業務の内容と流れが明確に表現されている。そのため、施工開始から終了までの流れを容易に把握することができる。また、業務機能モデルの例として、図 4 で示した全体フローにおいて、円で囲った部分の「トンネル掘削・支保工」の業務について、

そのモデルの詳細を図 5 に示す。図 5 では、トンネルの掘削と支保工の工事に関係する発破工法、掘削延長、補助工法等の関連項目を表現している。図 4 の全体フローの業務モデルをさらに細分化して、より詳細な施工内容が表現されており、プロセスごとの入力項目および出力項目を把握することができる。

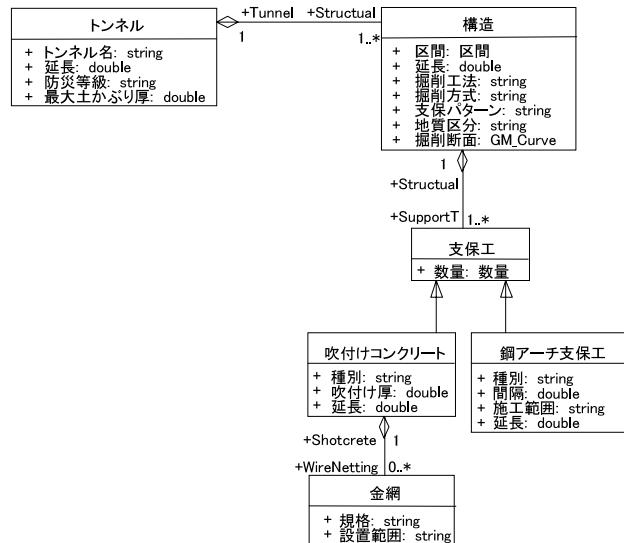


図 6 道路構造モデルの例の一部  
Fig. 6 Example of road structural model.

### 4.3 道路構造モデル

前述した 2.1 節～2.4 節の課題を解決するために、高速道路を道路構造モデルで表現した。道路構造モデルとは、業務機能モデルからオブジェクトを抽出し、そのオブジェクトの詳細項目の関係を示したものである。道路構造モデルは、各オブジェクトをクラスごとに分けて表現する。業務機能モデルの入力情報と出力情報は、クラスごとに整理される。道路構造モデルの例を図 6 に示す。図 6 では、UML のクラス図を用いて表現し、位置情報および形状は、地理情報標準<sup>14)</sup>（以下、JSGI）を活用している。

維持管理段階や企画分析段階での利用では、GIS の利用が想定されているため、CAD と GIS のデータ交換を考慮し、幾何データについては JSGI の空間スキーマの導入を試みた。JSGI は、地理情報の標準化に関する専門委員会（ISO/TC211）が検討している国際標準案に準拠しつつ実運用における検討を行って、わが国で利用できるように適合させたものである。道路構造モデルでは、調査、設計、積算、施工および維持管理のライフサイクルの流れで作成される空間属性に関するデータを表現する。しかし、空間属性を独自に定義しようとすると、STEP、ISO/TC211 や JSGI をすべて包含できるモデルを構築する必要があ

表 1 道路構造モデルの階層  
Table 1 Rank of road structural model.

階層	例	形状・内容表現の粒度
L2		・ネットワークによる表現 ・各施設配置がわかるレベル
L1		・施設の外形状・寸法・延長がわかるレベル（道路平面・縦断図、橋梁基本設計レベル）
L0		・部材・部品の形状・寸法がわかるレベル ・構造物詳細設計の図面データについては非構造化データも可とする

る。そのため、作業量が膨大となり、標準化の方向としてふさわしくない。

そこで、道路構造モデルが UML を用いていること、将来的に道路維持管理等で GIS を利用することを考慮し、座標表現、位置参照、基本幾何形状要素とネットワーク等の空間属性に関しては、JSGI のクラスを利用する。

さらに、道路構造モデルには、表 1 に示すように、抽象化の度合いを 3 階層の視点からとらえて、1 番上の階層から L2、L1、L0 の 3 つの階層が考えられる。

L2 階層では、道路全体における施設がどのような位置にあるかというネットワークレベルでの表現を行う。L1 階層では、各施設の外形状、基本的な寸法や延長が分かるレベルでの表現を行う。L0 階層では、各施設の部材や部品等の細かいデータが把握できるレベルでの表現を行う。したがって、道路構造モデルの各クラスは、このレベルのどれかに属するということになる。利用方法としては、L2 階層のみを使用してネットワークを把握し、L0 階層に下って部品まで把握するといった用途が考えられる。

### 4.4 XML スキーマ

JHDM は、ライフサイクルあるいは各事業段階でのデータ交換やデータの共有化を図るために、XML を用いて道路構造モデルの意味や関連性を定義する。XML は、非常に汎用性が高く、システム間の互換性がとりやすいといった利点を持つため、JHDM での利用に適している。

トンネルを XML スキーマで表現した例を図 7 に示す。図 7 では、吹付けコンクリート、金網、鋼アーチ支保工等を表現している。JHDM では、タグ命名規則とエンコーディング仕様について以下のような検討を行った。

#### 4.4.1 タグ命名規則

JHDM が主たる参照規約としている JSGI は、空間データ交換における相互運用性確保と ISO 規格準拠を目標としているが、開発に必要なタグ名称命名規則を規定していない。そこで、UML で記述した応用スキーマから XML スキーマを作成する際の XML タグ名称の命名規則を以下のように定めた。

- 英語表記：XML タグは、使用辞書の優先順位を決め、UML で用いたクラス名、属性名等を日本語表記から英語表記に英訳して用いる。
- クラス名：最初の 1 文字を大文字とし、複合語となる場合は、スペースやハイフンは省略し、第 2 語以降の最初の 1 文字も大文字とする。
- 属性名および関連名：最初の 1 文字を小文字とし、複合語となる場合は、スペースやハイフンは省略し、第 2 語以降の最初の 1 文字を大文字とする。
- 関連のロール名：関連相手クラス名を接頭辞とし、アンダースコア( \_) を用いて接続する。

```

<xs:complexType name="SupportT">(支保工クラス)
  <xs:complexContent>
    <xs:extension base="jx:IM_Object">
      <xs:sequence>
        <xs:element name="quantity" type="jx:ref_Quantity"/>(以下、略)
    <xs:complexType name="ShotcreteT">(吹付けコンクリートクラス)
      <xs:complexContent>
        <xs:extension base="jx:SupportT">(支保工クラスを継承)
        <xs:sequence>
          <xs:element name="type" type="jxs:CharacterString"/>(種別)
          (略)
          <xs:element name="WireNetting_WireNetting" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
            <xs:complexType>
              <xs:sequence>
                <xs:element name="WireNetting" type="jx:WireNetting" minOccurs="0"/>(多重度)
              </xs:sequence>
            </xs:complexType>
          <xs:attributeGroup ref="jxssIM_ObjectReference"/>(以下、略)
        <xs:complexType name="WireNettingT">(金網クラス)
          <xs:complexContent>
            <xs:extension base="jx:IM_Object">
              <xs:sequence>
                <xs:element name="standard" type="jxs:CharacterString"/>(規格)
                <xs:element name="settingArea" type="jxs:CharacterString"/>(設置範囲)
                <xs:element name="Shotcrete_Shotcrete"
                  type="jxssIM_ObjectReference"/>(吹付けコンクリートクラスへ集約)
              </xs:sequence>(以下、略)
            <xs:complexType name="SteelArchSupportT">(鋼アーチ支保工クラス)
              <xs:complexContent>
                <xs:extension base="jx:SupportT">(支保工クラスを継承)
              <xs:sequence>
                (以下、略)
  
```

図 7 XML スキーマの例

Fig. 7 Example of XML schema.

#### 4.4.2 エンコーディング仕様

道路構造モデルから XML スキーマを作成するうえで、UML で表現されたクラスやクラス間の関係をデータ表現に展開するため、識別子や参照の仕組みを定義するインスタンスモデルを適用した。具体的には、クラス、属性、関連、集約、結合、継承等を XML スキーマで表現するための規則を定めた。なお、XML の文字符号化コードは、JIS X0208 ( JIS : 日本工業規格 ) を用いた。

### 5. JHDM の対象工種

#### 5.1 5 つの対象工種

JHDM は、表 2 に示すように共通のクラスを表現している部分、地形地質を表している部分、道路の幾何構造を表現している部分、土工の部分、橋梁の部分、トンネル、舗装、道路付属物やデータのタイプ等を表している部分から構成されている。

また、JHDM では、図 8 に示すように、1 番上の概念の高速道路から道路構成要素までが階層的に表現される。道路構成要素とは、道路のある区間を特定するクラスで、属性を継承する形でその区間が持つ特徴が道路幾何構造、土工、橋梁、トンネル、舗装基本情報という形で表現される道路構造モデルである。

表 2 JHDM のクラス表現  
Table 2 Classes of JHDM.

パッケージ名	内 容
Common	共通クラス群
Terrain	地形・地質に関するクラス群
Alignment	道路の幾何構造に関するクラス群
Cross Section	平面・縦断線形に関するクラス群
Positioning	横断構成に関するクラス群
Earth_Works	道路特有の位置・形状表現に関するクラス群
Body	土工に関するクラス群
Structure	土工部の道路本体構造に関するクラス群
Drainage	土工部の構造物に関するクラス群
Bridge	排水施設に関するクラス群
Bridge Common	橋梁に関するクラス群
Bridge Alignment	橋梁の道路線形に関するクラス群
SuperStructure	橋梁上部工に関するクラス群
Steel	鋼上部工に関するクラス群
PCRC	PCRCに関するクラス群
Substructure	下部工に関するクラス群
Bridge Accessory	橋梁付属物に関するクラス群
Tunnel	トンネルに関するクラス群
Pavement	舗装に関するクラス群
Accessory Facilities	道路付属物に関するクラス群
Data Types	JHDM固有のデータ型

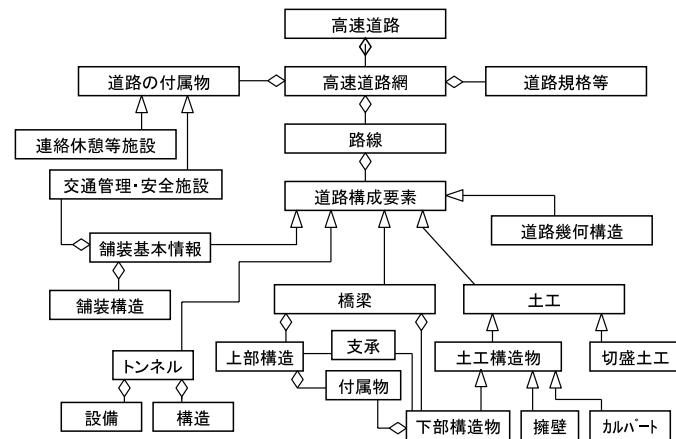


図 8 JHDM のクラス表現  
Fig. 8 Classes of JHDM.

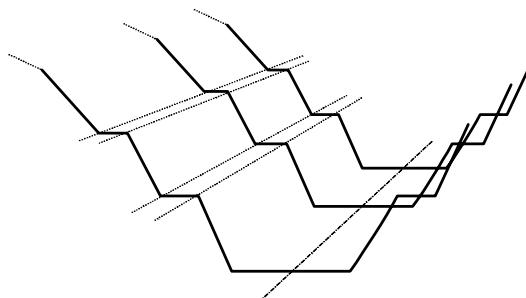


図 9 JHDM における土工の考え方  
Fig. 9 View of earthwork in JHDM.

JHDM は、基本的な工種である土工、鋼上部工、PC/RC 上部工、トンネルと舗装の 5 つの工種に対応している。以下に、それぞれの工種の JHDM による表現方法を説明する。

5.2 + T

土工では、任意の測点において、法面の形状、横断面を定義し、その横断面を積分することにより、全体の形状を表現する。図9に示すように、定義された3つの断面が、全体として、土工の形状を表現する。

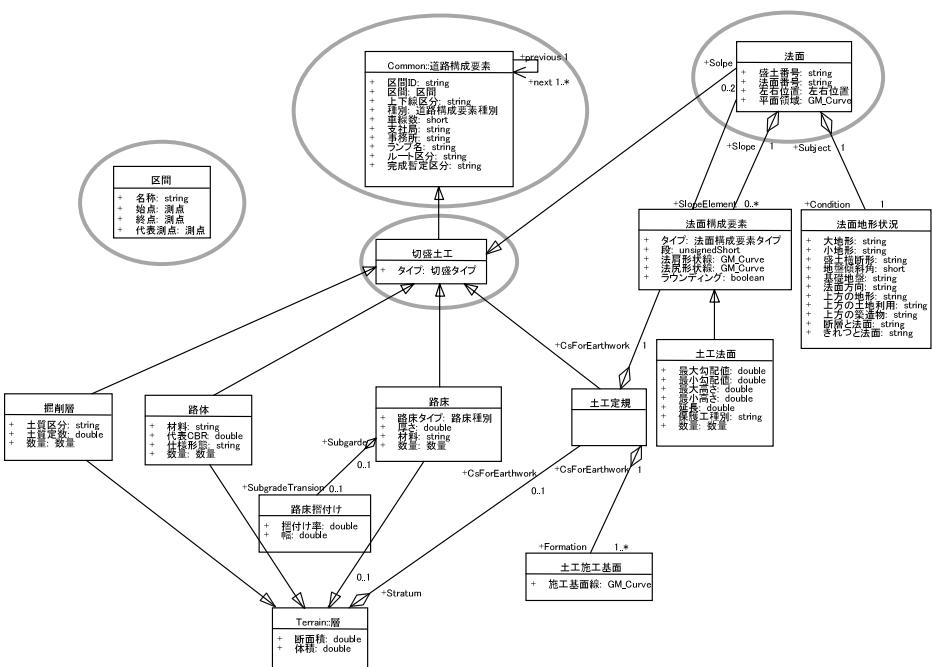


図 10 土工のクラス図の一部  
Fig. 10 Class diagram of earthwork

土工のクラス図の一部を図 10 に示す。図 10 では、切土と盛土を表現する部分を表している。土工では、掘削層、路体、路床、法面クラス等を持ち、それぞれが切土盛土として共通した部分である切盛土工クラスを継承する。さらに、道路の構成要素として共通部分である道路構成要素クラスを継承する。そして、法面クラスは、法面構成要素を継承した土工法面クラスと、地形の状況を示す法面地形状況クラスで構成されている。図 10 において、円で囲った部分のデータの入力例を図 11 に示す。

法面クラスが道路構成要素を継承しているため，区間と関連付き，区間が測点区間に測点クラスが関連し，始点と終点を表している．そして，法面クラスは，各段の法面，小段を表した土工法面クラスの集約で表現されている．

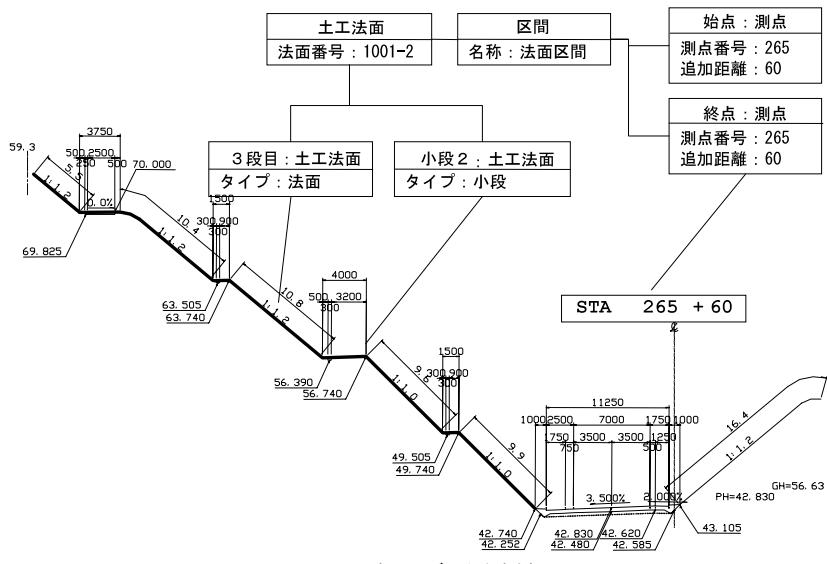


図 11 土工のデータ入力例  
Fig. 11 Example of input of earthwork data.

### 5.3 鋼上部工

鋼上部工では、図 12 に示すように、外形線により、プレートの形状を定義し、別に定義された骨組線と外形線を関連づけることにより、鋼上部工全体の形状を表す。

鋼上部工のクラス図の一部を図 13 に示す。鋼上部工クラスでは、PC/RC 上部工と共にした考え方として、設計で取り扱う単位構造を表した設計ユニットクラスと施工で取り扱う単位構造を表した施工ユニットクラスを持つ。そして、鋼上部工では、施工ユニットクラスが、部品クラスで構成され、部品クラスがプレートクラスで構成される。さらに、プレートクラスは、曲げ線、継手、折れ線、切り欠きや外形線等のクラスで構成される。

図 13 において、円で囲った部分のデータの入力例を図 14 に示す。外形線によりプレートが定義され、そのプレートが集約されて部品として定義される。そして、骨組線として、別に定義された骨組線と外形線が関連付くことにより、鋼上部工全体の形状が表現される。

### 5.4 PC/RC 上部工

PC/RC 上部工は、図 15 に示すように、土工と同様に、任意の断面におけるコンクリートの形状、および PR 鋼材の位置により断面を定義し、その断面を積分することにより、全

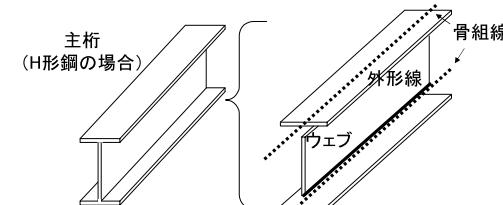


図 12 JHDM における鋼上部工の考え方  
Fig. 12 View of construction works of steel bridge in JHDM.

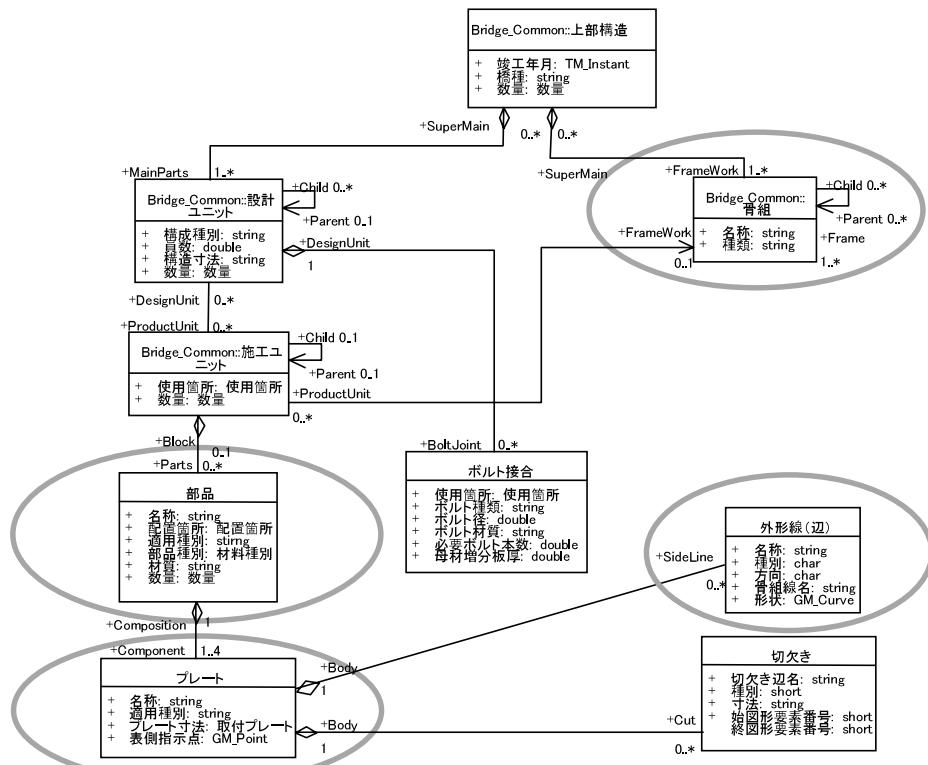


図 13 鋼上部工のクラス図の一部  
Fig. 13 Class diagram of steel bridge.

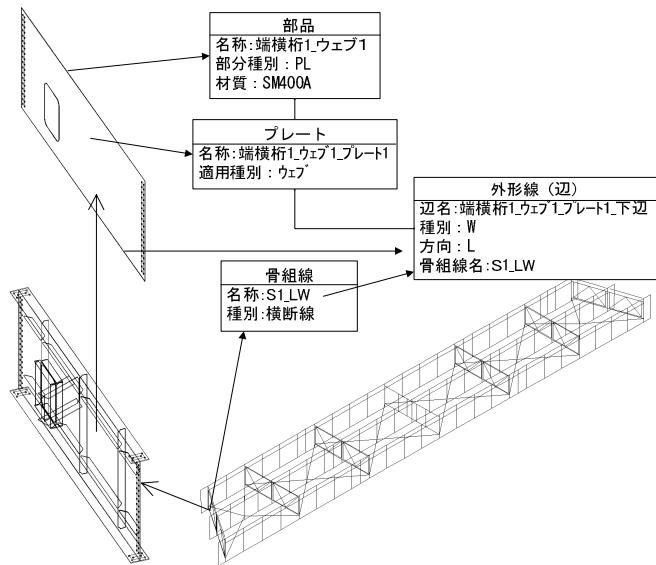


図 14 鋼上部工のデータ入力例

Fig. 14 Example of input of steel bridge data.

体の形状を表現する。

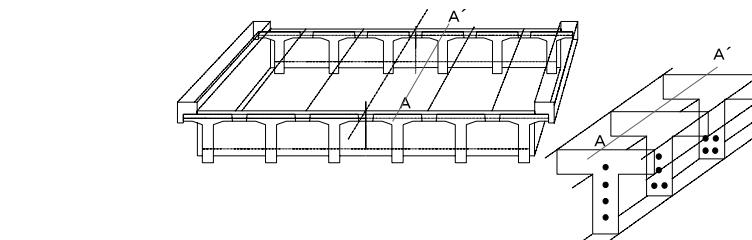
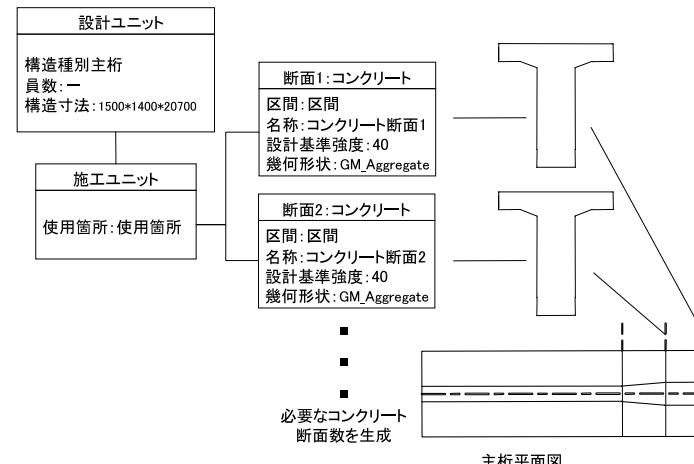
PC/RC 上部工のクラス図においては、施工ユニットクラスは、PC 鋼材、コンクリート、鉄筋等のクラスにより構成されている。そして、PC 鋼材クラスは、緊張定着具、シース接着具等のクラスで構成される。

PC/RC 上部工のデータ入力例を図 16 に示す。設計の単位として、主桁が設計ユニットクラスで定義され、コンクリート断面変化の箇所においてコンクリートクラスを定義する。そして、そのコンクリートクラスの集約により、施工ユニットが定義される。

### 5.5 トンネル

トンネルでは、図 17 に示すように、土工、PC/RC と同様に、任意の断面を定義して、その断面を積分することにより、全体の形状を表現する。

トンネルクラスは、設備、抗門工、明かり巻き、構造クラスで構成される。設備クラスは、排水設備、換気設備クラス等から構成され、抗門工、明かり巻きは、コンクリートと鉄筋クラスで構成される。構造クラスは、支保工クラス、防水工クラス等で構成され、支保工クラスを継承することで、ロックボルトクラス、吹付けコンクリートクラス等が定義される。トンネルモデルのデータ入力例を図 18 に示す。ロックボルトクラス、吹付けコンクリートクラス、補助工法クラスにより、断面の支保工が表現される。

図 15 JHDM における PC/RC 上部工の考え方  
Fig. 15 View of PC/RC bridge in JHDM.図 16 PC/RC 上部工のデータ入力例  
Fig. 16 Example of input of PC/RC bridge data.

スを継承することで、ロックボルトクラス、吹付けコンクリートクラス等が定義される。トンネルモデルのデータ入力例を図 18 に示す。ロックボルトクラス、吹付けコンクリートクラス、補助工法クラスにより、断面の支保工が表現される。

### 5.6 補装

補装では、図 19 に示すように、土工、PC/RC と同様、任意の断面の補装構造を定義し、その断面情報を積分することにより、補装全体を表現する。

補装基本情報クラスは、交通安全管理施設クラス、補装構造クラスで構成され、補装構造

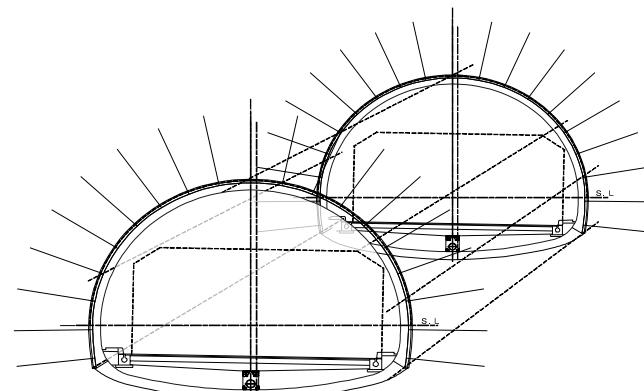


図 17 JHDM におけるトンネルの考え方  
Fig. 17 View of tunnel in JHDM.

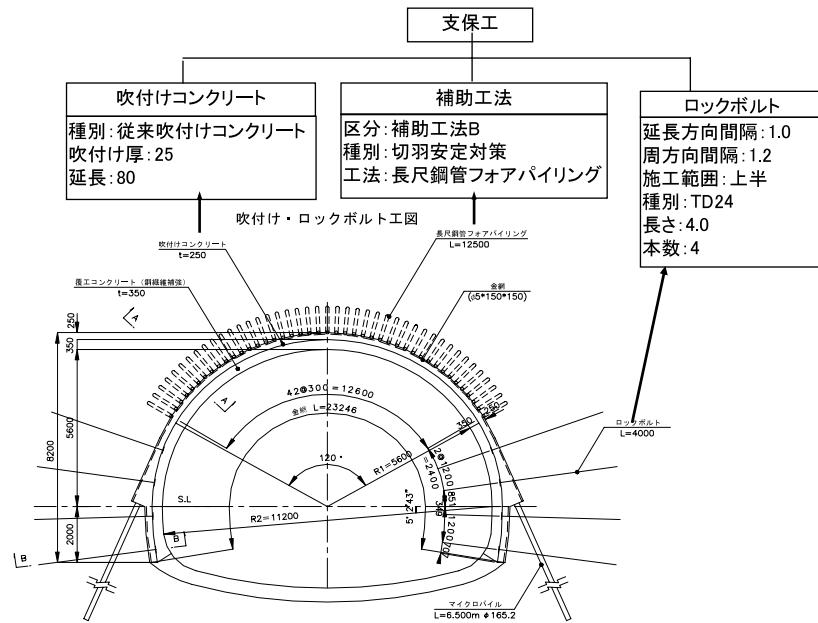


図 18 トンネルのデータ入力例  
Fig. 18 Example of input of tunnel data.

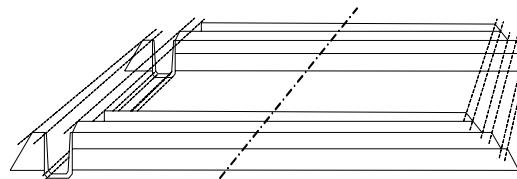


図 19 JHDM における舗装の考え方  
Fig. 19 View of pavement in JHDM.

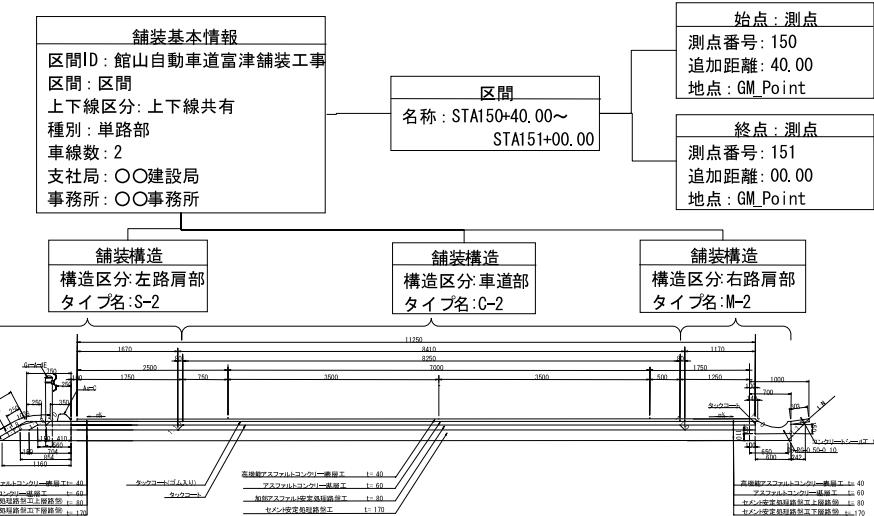


図 20 舗装のデータ入力例  
Fig. 20 Example of input of pavement data.

クラスは、粒状セメント安定処理層クラス、アスファルト混合物クラス、舗装コンクリートクラスで構成される。

舗装モデルのデータ入力例を図 20 に示す。舗装基本情報クラスで、舗装の基本的な情報が定義され、それに関連付くことで、舗装構造で、舗装構造の異なる左路肩部、車道部、右路肩部が表現される。

## 6. 実証実験

### 6.1 実験目的

JHDM は、道路の調査、設計、施工および維持管理までの各ライフサイクルの中で、道路構造を有効に表現したデータモデルである。このモデルの有効性を検証するためには、各ライフサイクルにおける業務中で、道路構造に関するデータを扱うすべてのシステムにおいて検証を行うことが本来は必要であると考えられる。しかし、道路構造を構成する地盤や部材およびその形質、配置のほとんどは、設計段階で生じるデータであり、施工段階においても特段の事情がない限り、現場において修正が加えられる程度である。また、供用後の維持段階においても、災害等により大きく形質が変化しない限り、供用開始時のデータが維持される。

したがって、道路構造に関するデータに関しては、設計・施工段階において取り扱われる情報に対応していれば、他のライフサイクルにおいても十分対応できるものと考える。ただし、道路構造に関する情報以外については、ライフサイクルの各々の業務に依存したものとなることを付け加えておく。

このようなことから、実証方法としては、設計・施工段階で使用される 2 つの道路設計専用の CAD 間で、データ交換実験を行うこととした。道路専用 CAD は、汎用 CAD とは異なり、基本的な幾何要素を入力し作図・設計を行うものではなく、道路の設計要素や使用される部材の形質情報を入力することにより、設計ルールに基づき半自動的に図面の作図や必要数量の算出等を行う機能を有するものである。

そこで、国内の実績がある主要な道路専用 CAD とデータ交換の検証を行うことにより、JHDM における道路構造モデルとして妥当性を示す。具体的には、以下のことを明らかにした。

- JHDM を利用した既存 CAD で、データ交換が可能であること
- 道路構造モデルの課題・問題点
- XML スキーマの課題・問題点

### 6.2 実験方法

実験は、国内で最も普及しており、実績がある市販の道路専用 CAD の 2 製品を用いて行った。本論文では、2 製品を CAD-A および CAD-B と表記する。CAD-A で概略設計を行い、CAD-B で詳細設計を行うケースを想定した。データが広範囲で多岐にわたること、実験で使用した CAD の対応可能範囲外の部分については CAD の大幅な改造が必要なことから、費用および時間的な制約よりデータ種類ごとに以下の 3 通りの方法で交換した。

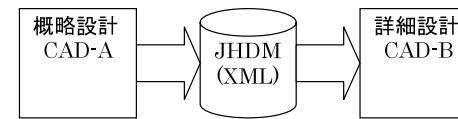


図 21 アプリケーション間のデータ交換

Fig. 21 Data exchange between applications.

#### ① JHDM によるデータ交換

プログラムを開発し、CAD データを JHDM 形式に変換しデータの交換を行い確認する。

#### ② SIMA<sup>15)</sup> によるデータ交換

道路平面線形情報については、土木測量業界で普及している SIMA 形式を使用した。SIMA 形式には、唯一道路構造の一部である平面線形の定義が存在するため、これとの互換性の検証を図るためにある。方法としては、SIMA 形式のデータを手作業で JHDM の XML データ項目に変換を行い、交換できることを確認する。

#### ③ 手作業で XML を作成して交換

データ交換に際し、データコンバータでは対応できず大幅な改良が必要な項目については、手作業で XML データを作成し、データの交換を行い確認する。

具体的には、以下の手順でデータ交換を行った。データ交換のイメージを図 21 に示す。

- (1) CAD-A で概略設計を行う。
- (2) 設計したデータをコンバータにより JHDM 形式に変換する。
- (3) JHDM 形式をコンバータで CAD-B のデータに変換する。
- (4) CAD-B でデータを取り込む。
- (5) CAD-B で取り込んだデータを基に詳細設計や図面作成等を行い、データが交換できることを確認する。

### 6.3 実験結果

データ交換の結果の概要を表 3 に示す。本データモデルは、道路構造データモデルとして、実務に用いられている道路専用 CAD のデータ交換の検証により、データ項目の過不足や粒度、表現方法がおおむね妥当であるとの結果が得られたと考える。

入力された設計情報を基に、CAD-A および CAD-B が作成した横断図のサンプル図面の例を図 22 に示す。この図は、中央分離帯、車道、法、小段等がオブジェクトとしてデータが交換され、それぞれの CAD で図面化したものである。ただし、法、小段等机上による方法のデータは、CAD-B 上で手入力した。図 22 において、上下の図の違いがあるが、CAD 製品が異なる

表 3 実験結果

データ項目	方法	結果
(A) 路線, 道路規格等	①	JHDM形式を介したデータ交換実験を行い, 正しくデータ交換が行われたことが確認できた.
(B) 平面線形	②	SIMA形式を介してデータ交換を行えた.
(C) 縦断線形, 勾配変移点, 縦断曲線片勾配摺付け, 片勾配変移点	①	JHDM形式を介したデータ交換実験を行い, 正しくデータ交換が行われたことが確認できた.
(D) 横断構成, 路面横断構成, 横断構成要素計画高位置	①	JHDM形式を介したデータ交換実験を行い, 正しくデータ交換が行われたことが確認できた.
(E) 法面, 法面構成要素, 土工法面, 土工施工基面, 掘削層, 路体, 路床, 路床すりつけ	③	机上検討で, CAD-A, CAD-Bによる JHDM入出力が可能であることが確認できた.
(F) 測点定義, 測点	①	JHDM形式を介したデータ交換実験を行い, 正しくデータ交換が行われたことが確認できた.

ことから、横断面の表示内容が異なっているためであり、交換データの欠落のためではない。

## 6.4 考察

既存の CAD データ交換は、線分、寸法線や画層等のような CAD 特有なデータの交換にとどまっていた。本実験により、CAD データに加えて設計値、数量等統合的なデータが交換可能なことが検証できた。同時にデータ交換が、すでに多くの設計業務で用いられている専用 CAD で対応可能なことが検証できたことは非常に有意義である。その反面、道路構造モデル等の問題点や既存の CAD で対応する際の課題を判明した。課題を以下に示す。

- モデルでは、法面、小段、側道が、同じオブジェクトとして表現されている。法面と小段は、道路路面の計画値と地盤の取り合いから、設計ルールに基づき決まるものである。また、側道も法尻にある場合や法面内に存在する場合もあり、これが相互関係し合い最終形状が決まる。現状の道路専用 CAD 機能では、これらの処理をユーザが指定した段階を踏んで、個別に処理し合成する方法を用いているが、これを同じオブジェクトで相互連携して形状決定処理を行うことはかなり複雑となる。なお、法面、小段、側道を同じオブジェクトとして表現した理由は以下のとおりである。道路管理上、まず、法面、小段、側道の上位概念である斜面の存在に関する情報を把握できることを重視している。斜面の構成要素である法面、小段、側道については、「法面構成要素」クラスにより統一的に表現することが情報管理の面で合理的である。

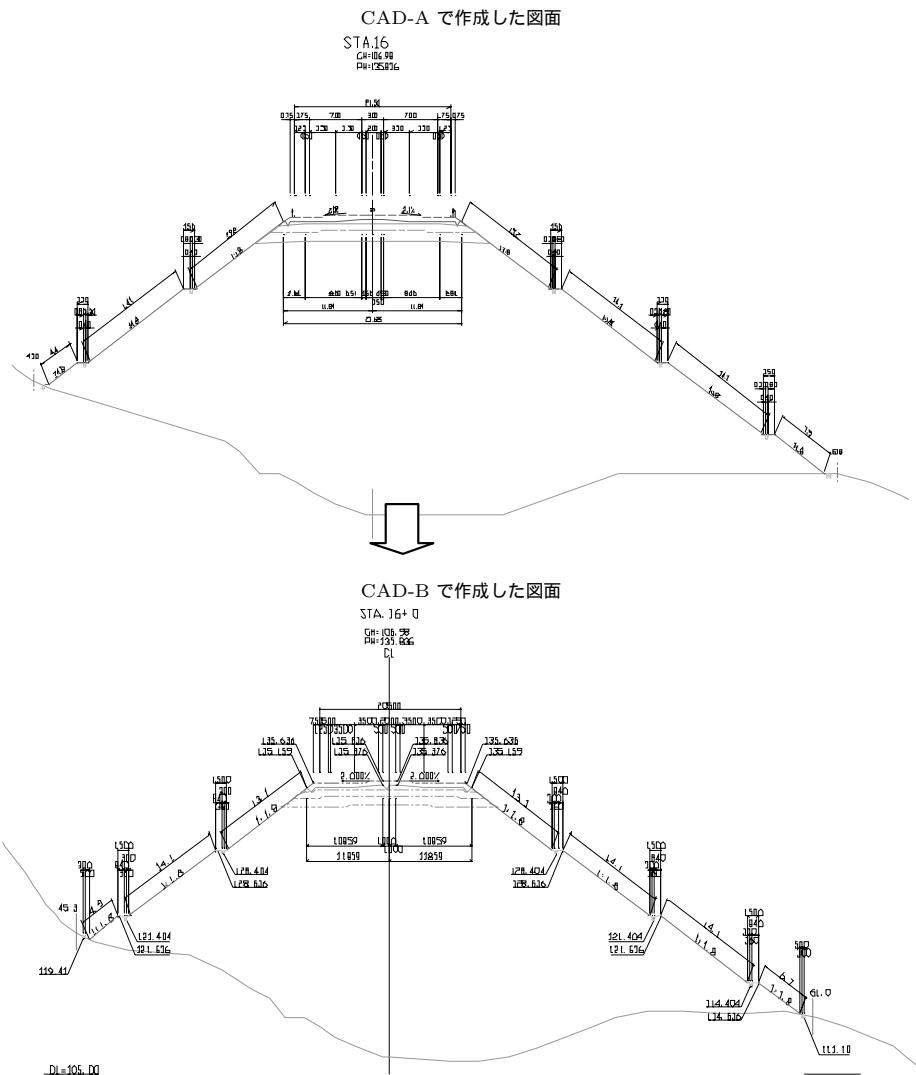


図 22 2 つの CAD で設計した横断図のサンプル  
 Fig. 22 Sample of crossing figure designed by two CAD systems

- 道路中心線で使われる円弧は、始・終点座標と曲率半径で表現するが、地理情報標準では3点を通る円弧として表現するため、設計値を変換計算する必要がある。
- 縦断地形は、一般的なCADの内部では測点と標高値でデータが保持されるが、地理情報標準では測点を直接表現できないため、地理情報標準形式のデータをCADの内部形式データに変換する必要がある。この際、起点からの累加距離によって測点を対応付ける等の手法が考えられるが、標準的な手法は確立されていない。
- XMLで、IDによる参照が多用されているため、オブジェクトの関連が分かりにくい面がある。

## 7. おわりに

高速道路事業におけるデータ管理上の課題解決を目的として、JHDMは、平成13年～平成16年にかけて、産官学の技術者約100名から構成される道路事業におけるデータ交換仕様検討委員会において仕様が検討され、続いて開発が行われた。JHDMでは、高速道路業務のライフサイクルで利用されるデータのモデル化を実現した。また、JHDMをデータ交換用標準フォーマットとして利用し、異なるアプリケーション間で再利用可能なデータ交換について実証実験を行った。

JHDMは、産官学それぞれの知識と技術を融合することによって、国際標準に準拠しつつ、実運用においても効果的なモデルとなった。JHDMによって、高速道路事業におけるデータの再利用と共有を可能にした。また、既存の成果品を活用し、より高度な利用が可能になる。さらに、JHDMで定義したデータを共通データ基盤として、既存のシステム間の連携だけでなく、将来開発するシステムとのデータ連携も容易となる。

JHDMの今後の課題として、実用化に向けたユースケースの検討があげられる。また、経年変化に対応するための時間スキーマの詳細な検討も必要となる。これらの検討により、JHDMのさらなる発展を目指す。

謝辞 本研究の一部は、平成17～18年度関西大学学術研究助成基金（研究課題「道路維持管理分野における建設プロダクトモデルの構築と適用性に関する研究」）から助成を受け、その成果を公表するものである。

## 参考文献

- 古田 均、三上市藏、碓井照子、広兼道幸、田中成典：建設CALS/ECに向けた電子国土の動向を探る CAD/CG/GIS/GPSの統合、山海堂（2001）。
- 田中成典：CALS/ECのいま ソフトウェア開発における建設情報標準化研究の最新情報 建設情報標準化の現状と今後、土木施工、Vol.47, No.1, pp.91-92 (2006)。
- 国土交通省：電子納品運用ガイドライン（案）、国土交通省（2004）。
- ISO 10303-202, Industrial Automation System and Integration – Product Data Representation and Exchange – Part202: Application Protocol: Associative Draughting, International Organization for Standardization (1994)。
- 建設情報標準化委員会、CADデータ交換標準小委員会：SXF Ver.2.0 フィーチャ仕様書、日本建設情報総合センター（2001）。  
<http://www.cals.jacic.or.jp/cad/developer/SXFDocDownload.htm>
- 建設情報標準化委員会、CADデータ交換標準小委員会：SXF Ver.3.0 フィーチャ仕様書、日本建設情報総合センター（2005）。  
<http://www.cals.jacic.or.jp/cad/developer/SXFDocDownload.htm>
- International Alliance for Interoperability: IFC, International Alliance for Interoperability (2005). <http://www.iai-international.org/>
- Romberg, R., Niggl, A. and Van, T.: Structural Analysis based on the Product Model Standard IFC, *Proc. 10th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Weimar, Germany (2004)。
- Ruegger, W.: OKSTRA: Der Schlüssel zu Strassen- und Verkehrsdaten, *Str Autobahn*, Vol.52, No.2, pp.75-79 (2001)。
- 明野和彦、納田俊弘：ISO/TC211（地理情報の標準化）標準規格の原案に関する調査、国土交通省国土地理院調査研究年報、Vol.2003, pp.25-26 (2004)。
- Open GIS Consortium: Geography Markup Language (GML) 2.0, Open GIS Consortium, Wayland, Ma (2001)。
- 山崎元也、本郷延悦、佐藤 守、川上一美：高速道路の維持管理における業務IT化の取り組み、土木情報利用技術論文集、Vol.13, pp.59-64, 土木学会 (2004)。
- Penker, M., Lyons, B., Fado, D. and Eriksson, H.: *UML 2 Toolkit*, John Wiley & Sons Inc. (2003)。
- 国土地理院：地理情報標準第2版（JSGI2.0）、国土地理院 (2002)。  
<http://www.gsi.go.jp/GIS/stdind/jsgi2.html>
- 日本測量機器工業会：測量データ共通フォーマット（略称：SIMA共通フォーマット）、測量、Vol.44, No.9, pp.34-39, 日本測量協会 (1994)。

（平成19年11月11日受付）

（平成20年5月8日採録）



古田 均

1948年生。1971年京都大学工学部卒業。1973年京都大学大学院工学研究科修士課程修了。1976年同大学院工学研究科博士課程修了。同年京都大学工学部助手。その後講師、助教授を経て、1994年関西大学総合情報学部教授、現在に至る。工学博士。その間、米国パディー大学客員助教授、米国プリンストン大学客員研究員、2004年から2005年米国コロラド大学客員教授。構造物の信頼性解析、最適設計、ライフサイクルコスト解析、ソフトコンピューティングの構造設計・維持管理への応用に関する研究に従事。著書に『ファジイ理論の土木工学への応用』、『建築土木技術者のためのファジイ理論入門』、『遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用』、『Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems』等。日本知能情報ファジイ学会、計測自動制御学会、システム制御情報学会、土木学会、日本建築学会、日本材料学会、日本鋼構造協会、ASCE、各会員。



田中 成典（正会員）

1963年生。1986年関西大学工学部土木工学科卒業。1988年関西大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程前期課程修了。同年（株）東洋情報システム（現TIS）に入社、知識情報処理システムに関する研究受託開発業務に従事。1994年関西大学総合情報学部専任講師。1997年助教授。2004年教授、2006年関西大学学生センター副所長、現在に至る。博士（工学）。2002年8月から1年間カナダのUBCにて客員助教授。専門は知識工学と土木情報学。土木学会、GIS学会、IABSE、人工知能学会、日本知能情報ファジイ学会と情報知識学会各会員。1999年関西経済同友会主催KSVFベンチャーアイデア大賞入賞。2000年（株）関西総合情報研究所を起業、設立当初から現在まで同社取締役会長。2006年（株）フォーラムエイトの顧問に就任。CAD/CG、GIS/GPS、画像処理、そしてWebソリューションビジネスに関連する研究業務に従事。また、建設省土木研究所CAD製図基準検討委員会委員長、土木学会土木情報システム委員会幹事長、土木学会土木情報システム委員会土木CAD小委員会委員長、土木学会ISO対応特別委員会委員、ISO/TC184/SC4国内委員等を歴任。現在、国土交通省管轄の日本建設情報総合センター建設情報標準化委員会各種委員、オープンCADフォーマット評議会OCF検定監査委員会委員長。主に、ISOに準拠したCAD製図基準とCADデータ交換基盤の開発に従事。



トマス フローズ

1962年生。1986年カナダ・ブリティッシュコロンビア大学土木工学科卒業。1988年同大学院修士課程修了。1992年アメリカ・スタンフォード大学大学院博士課程修了。博士（土木工学）。同年ブリティッシュコロンビア大学土木工学科講師、1999年准教授、2006年教授。1999年スタンフォード大学客員研究員。2001年FocalTrack Solutions, Inc.を起業。2002年ドイツ・ドレスデン工科大学客員教授。2005年関西大学客員教授。2006年オーストラリア連邦科学産業研究機構客員研究員。2007年オーストラリア・ロイヤルメルボルン工科大学客員教授。カナダ土木学会、アメリカ土木学会各会員。主に、建設分野の情報技術、相互運用、情報管理の研究に従事。



山崎 元也

1957年生。1982年北海道大学大学院工学研究科土木工学専攻卒業、同年日本道路公団入社。2007年から東京農業大学造園科学科（造園建設工学）准教授。博士（工学）。1998年から4年間日本道路公団試験研究所にて、建設CALS（2次元図面の電子化）に関する研究、国内初となるプロダクトモデルJHDMの開発研究、最適線形探索システムOHPASSの開発研究に従事。2004年より、ドライビングシミュレータによるCS評価システムの開発研究を実施。現在、遺伝的アルゴリズム、プロダクトモデル、バーチャルリアリティの道路計画・設計・道路管理への応用について研究を進めており、最近はVRを用いた3次元景観設計支援システムの構築を試みている。土木学会会員。



本郷 廷悦

1964年生。1987年東北大学工学部土木工学科卒業。同年日本道路公団入社。日本道路公団試験研究所においてデジタル地形データの活用、データモデル設計等の研究開発に従事。2007年中日本高速道路株式会社情報システム部、現在に至る。著書に『建設情報の利活用』、『建設業界のための3次元情報』。土木学会会員。



草野 成一

1953年生。1977年神戸大学工学部土木工学科卒業、同年日本道路公団入社。1990年ジョージア州立工科大学院修士課程修了。東京湾横断道路(現アクアライン)の設計・建設をはじめ、主に高速道路の橋梁構造物の設計・施工に従事。1994年から4年間本社にて高速道路の建設、保全、技術管理に関する全社的なシステム開発に従事。現在施行されている各分野(橋梁・舗装・土工等)におけるマネジメントシステムの基盤の開発を実施。2004年より社内の技術管理を担当する担当所長として特に高速道路資産管理システム(アセットマネジメント)に傾注し、高速道路に関する膨大なデータの有効活用のため、プロダクトモデルの概念を導入した情報管理システムの開発を手がけている。土木学会会員。



物部寛太郎(正会員)

1978年生。2002年関西大学総合情報学部卒業。2004年関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士課程前期課程修了。2005年(株)関西総合情報研究所入社。システム設計、データモデル設計等の研究開発に従事。2006年宮城大学事業構想学部助手。2007年助教。同年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了。博士(情報学)。専門は空間情報学。著書に『基礎からわかる GIS』、『Eclipseで学ぶ Java 入門』、『Visual C++ .NET 入門』等多数。土木学会、GIS 学会各会員。