

I-27 基本線と面に基づく鋼桁の3次元プロダクトモデルに関する基礎的検討

Fundamental Investigation on the 3D Product Model for Steel Girders based on Basic Lines and Surfaces

矢吹信喜¹・町中啓樹²・志谷倫章³・保田敬一⁴

Nobuyoshi Yabuki, Hiroki Machinaka, Tomoaki Shitani, and Keiichi Yasuda

抄録： 本研究では、土木学会情報利用技術委員会設計情報小委員会で開発した、鋼橋の基本線と面を意識した3次元プロダクトモデルをベースに考察を加え、データモデルの再構築を行なった。本モデルでは、I 桁や箱桁等のブロックを基本線に合わせ、補剛材やリブ等の子部材はフランジやウェブ等の親部材に面対面に取り付けるようにした。モデルの実装にはXML (Extensible Markup Language) を使用し、3次元CADシステムで図化が可能となるコンバータをVBA (Visual Basic for Application) を用いて開発し、実際の鋼桁に適用して、3次元CADシステムとのデータの運用性を検証した。

Abstract: In this research, we reconstructed and remodeled the product model, which was developed by the subcommittee of design information of the committee of applied computing in civil engineering, JSCE, based on basic lines and surfaces. In the new model, blocks such as plate girders and box girders are aligned with basic lines, and sub elements such as stiffeners and ribs are attached to parent elements in a surface to surface manner. We used XML (Extensible Markup Language) for implementation of the model, and used VBA (Visual Basic for Application) for developing a converter program that enables modeling the product model instance files in a 3D CAD system. The model and the converter program were applied to real steel girders and the interoperability was verified.

キーワード： プロダクトモデル, 鋼橋, 鋼桁, 基本線, 面, XML, DTD, 3次元CAD
Keywords : product model, steel bridge, steel girder, basic line, surface, XML, DTD, 3D CAD

1. はじめに

工業製品や構造物のライフサイクルにおいて、図-1に示すような異なるシステム間でのデータの相互運用を可能とするために、3次元プロダクトモデルの研究開発が進められている。国際標準としては、ISO (International Organization for Standardization) のSTEP (STandard for the Exchange of Product model data)¹⁾があり、主に自動車やプラント、船舶等の分野に関するデータ交換用アプリケーションプロトコル (AP) が規定されている。建築分野ではIAI (International Alliance for Interoperability) のIFC (Industry Foundation Classes)²⁾が開発されつつある。一方、土木分野においては、3次元プロダクトモデルの実用化には至っておらず、2次元CAD図面データの標準化³⁾が浸透したところである。しかし2次元データでは構造物のライフサイクルにおける各システム間でデータの相互運用をするために必要な形状情報を網羅できないため、3次元化が必要である。本研究では、これまでにPC橋梁を対象とした3次元プロダクトモデルをIFC2x (バージョン2x) を拡張することにより構築し、実装にXML及びXML Schemaを使用して、3次元CADシステムや

設計照査システム等との統合化を図りモデルの検証を行ってきた⁴⁾⁵⁾。一方、土木学会土木情報利用技術委員会設計情報小委員会では、鋼橋を対象として鋼材の面を意識した単純な3次元プロダクトモデルの開発を行い、XML及びDTDを使って実装する研究を行ってきた⁶⁾。さらに、橋梁では、IAI フランス支部がIFC-BRIDGE⁷⁾の開発を行ってきた。

このように土木分野における3次元プロダクトモデ

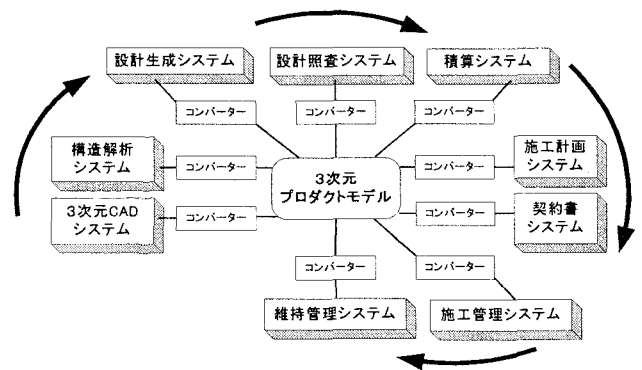


図-1 システムモデル

1 : 正会員 Ph.D. 室蘭工業大学 助教授 工学部建設システム工学科
 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1, Tel :0143-46-5219, E-mail : yabuki@news3.ce.muroran-it.ac.jp)
 2 : 学生会員 室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻
 3 : 学生会員 修(工) 室蘭工業大学大学院工学研究科建設工学専攻
 4 : 正会員 博(工) 株式会社ニュージェック東京本社道路グループ

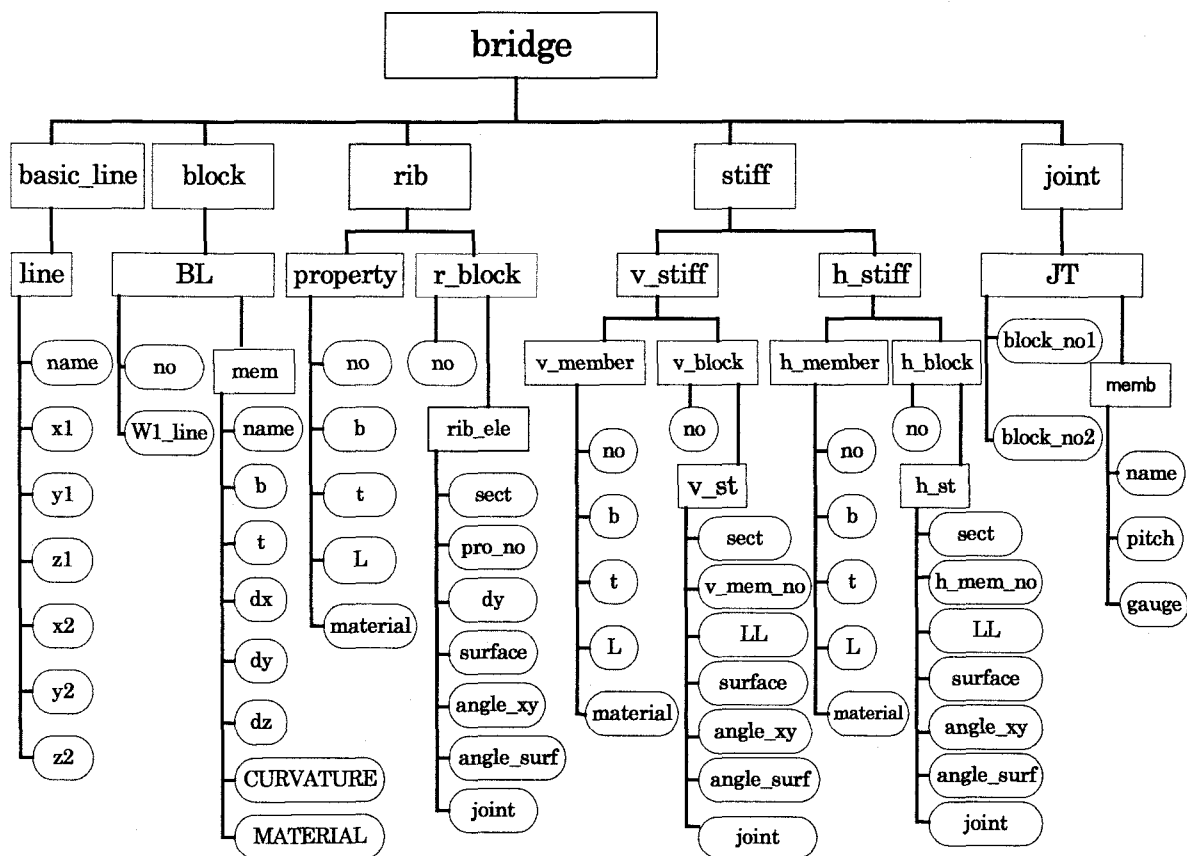


図-2 鋼橋のプロダクトモデルの構成図

ルの開発は、研究者や組織により、異なっているのが現状である。本研究では、土木学会の設計情報小委員会の研究成果である、基本線と面を意識した鋼桁の3次元プロダクトモデル⁶⁾をベースに考察を加え、データモデルの再構築を行うこととした。さらに、市販の3次元CADシステム上において、プロダクトモデルデータから3次元CADモデルを自動作成することが可能なコンバータを開発することにより、プロダクトモデルと3次元CADシステムとのデータの運用性を検証することとした。

2. 鋼桁のプロダクトモデル

本章では、基本線と面を意識した鋼桁の3次元プロダクトモデルの概要を紹介する。詳細については、参考文献⁶⁾を参照されたい。

(1) 開発コンセプト

鋼桁を対象としたモデルの構築にあたり、基本情報として形状の取り扱いを考えることとした。鋼桁の鋼部材は、主に3次元形状の基本となる鋼橋の基本線と連結された複数の薄肉の鋼板、すなわち厚さを持った「面」で構成されることに着目した。そこで、「基本線を意識した設計情報」と「面を意識した部材単位の設計情報」の概念を適用しモデルの構築を行った。

a) 基本線を意識した設計情報

基本線を意識した設計とは、線形計算から求まる基本線を設定して、その基本線に部材を当てはめていく方法である。線形計算は設計の際に必ず行うものであり、基本線はその線形計算結果から引用できるため、新しくデータを作成しなくても良いという利点がある。各ブロックごとに基本となる線を設定し、そこに主桁部材を当てはめていく方法をとる。IFC-BRIDGE⁷⁾においても3次元形状の定義において、基本線 (IfcBridgeReferenceLine)⁷⁾を利用してはいる。

b) 面を意識した部材単位の設計情報

面を意識した部材単位の設計情報とは、フランジやウェブなどの部材については、補剛材が取り付くので、親部材 (フランジ、ウェブ) との取り付け面、取り付け原点を定めることで、設計形状を一般化して定義するものである。この例として、ウェブに補剛材が取付く場合には、ウェブを親部材、補剛材は子部材として定義する。

(2) 開発したクラス及びその属性

前節において示した2つの概念を適用し、鋼桁を対象とするプロダクトモデルを構築した。図-2にその構成図を示す。図中の長方形は要素を、楕円は属性を示すものである。図-2より、本プロダクトモデルは、basic_line (基本線)、block (ブロック)、rib (補剛材)、

stiff (補剛材) 及び joint (接合情報) の7つの要素から構成される。以下の項で各要素の概要を示す。

a) basic_line

basic_line とは、基本線のことであり、先に述べた基本線を意識した設計情報に基づいて定義される。

basic_line 要素の中に line 要素があり、その属性として、基本線の名前 (“name”) と基本線の始点と終点の座標 (“x1”, “y1”, “z1”, “x2”, “y2”, “z2”) を定義する。

b) block

block とは、鋼桁を断面毎に区分けしたものである。block 要素の中には basic_line に基づいて部材を定義するという意味から BL 要素を定義し、その属性として BL の番号 (“no”) と指定する basic_line の名前 (“W1_line”) を持ち、また要素として mem を持つ。この mem には basic_line に基づいて定義されるフランジ、ウェブの寸法等の情報を属性として持つことにする。具体的には、部材名 (“name”), 部材幅 (“b”), 部材の厚さ (“t”), 作図するときの第一点の基準点からの距離 (“dx”, “dy”, “dz”), 曲率 (“CURVATURE”), 材質 (“MATERIAL”) を属性として定義する。

c) rib

rib とは、フランジに取付く補剛材のことである。rib 要素は、リブの寸法情報をもつ要素 property と、取付く位置などの情報をもつ要素 r_block を持つ。property 要素は、property 要素の番号 (“no”), 部材幅 (“b”), 部材厚 (“t”), 部材長 (“L”), 材質 (“material”) を属性として持つ。また、r_block 要素は、block の番号 (“no”) を属性として持ち、取付き面などを定義する rib_ele 要素を持つ。rib_ele 要素は、取付き部材名 (“sect”), property の番号 (“pro_no”), 基準点からの距離 (“dy”), 取付き面の指定 (“surface”), xy 平面に対しての取付き角度 (“angle_xy”), 取付き面に対しての取付き角度 (“angle_surf”), 接合方法 (“joint”) を属性として持つ。

d) stiff

stiff とは、水平又は垂直補剛材のことである。stiff 要素は垂直補剛材を表す v_stiff 要素と、水平補剛材を表す h_stiff 要素を持つ。さらに、v_stiff 要素は、垂直補剛材の寸法等の情報を定義する v_member 要素と、垂直補剛材の取付き面等の情報を定義する v_block 要素が存在する。v_member 要素は、部材番号 (“no”), 部材幅 (“b”), 部材厚 (“t”), 部材長 (“L”), 材質 (“MATERIAL”) を属性として持つ。v_block 要素は、block の番号 (“no”) を属性として持ち、取付き面等のデータを持つ v_st 要素を持つ。v_st 要素は、取付き部材名 (“sect”), v_member の番号 (“v_mem_no”), 基準点からの x 方向の距離 (“LL”), 取付き面の指

定 (“surface”), xy 平面に対しての取付き角度 (“angle_xy”), 取付き面に対しての取付き角度 (“angle_surf”), 接合方法 (“joint”) を属性として持つ。一方、h_stiff 要素は v_stiff と同様に要素及び属性を持つ。

e) joint

joint とは、各 block 同士の接合情報のことである。joint 要素は JT 要素を持つ。JT 要素は、接合される block の番号 (“block_no1”, “block_no2”) を属性として持ち、接合情報を定義する memb 要素を持つ。memb 要素は、接合する部材の名前 (“name”), ピッチ (“pitch”), ゲージ (“gauge”) を属性として持つ。

(3) プロダクトモデルの実装

プロダクトモデルの実装形式に関して、開発や処理が行いやすく、開発環境が整っている言語を用いることが望ましいと考えられる。そこで、本プロダクトモデルでは、XML (Extensible Markup Language) に着目した。XML は、W3C (World Wide Web Consortium)⁸⁾ によって勧告された次世代のデータ記述言語であり、インターネット標準のマークアップ方式のメタ言語である。近年、インターネットによるデータ交換、電子商品取引といった分野で大変注目を集めている。また、XML は任意のタグや属性を定義することが可能であり、階層構造による表現が可能なデータ形式であるといった特徴がある。よって、ユーザは自由にタグを決定することができるが、プロダクトモデルの目的を考えると XML 文書中にどのような要素や属性が現れるのか、つまり、XML 文書の取りうる構造の取り決めが必要になる。そこで、この取り決めをコンピュータ言語として明確に記述するためのスキーマ言語を選定する必要がある。

本研究では、スキーマ言語の一つである DTD (Document Type Definition: 文書型定義) に着目した。DTD は W3C が勧告した最初のスキーマ言語で XML1.0 の仕様書の中で規定されているため、XML における最もベーシックなスキーマ言語である。DTD は、XML 文書の妥当性を検証するプログラムを必要とせず、文書の構文が比較的単純で習得しやすい、スキーマ言語として 20 年以上使われているといった特徴がある。また、XML ファイル内に DTD も一緒に記述する内部サブセットと、XML ファイルとは別のファイルに DTD を記述し、XML ファイル内から指定する外部サブセットがある⁹⁾。

以上より、本プロダクトモデルの実装に XML 及び DTD を使用することとした。また、DTD はプロダクトモデルの役割を考慮して、外部サブセットを用いることとした。DTD によって実装したプロダクトモデル (スキーマ) を図-3 に示す。我々が別途進めている IAI の IFC に基づく PC 橋梁のプロダクトモデル⁴⁾⁵⁾と

```

<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS" ?>
<!ELEMENT bridge (basic_line,block,rib,stiff,joint)>
↓
<!ELEMENT basic_line (line)>↓
<!ELEMENT line (#PCDATA)>↓
<!ATTLIST line name CDATA "不明">↓
<!ATTLIST line x1 CDATA "不明">↓
<!ATTLIST line y1 CDATA "不明">↓
<!ATTLIST line z1 CDATA "不明">↓
<!ATTLIST line x2 CDATA "不明">↓
<!ATTLIST line y2 CDATA "不明">↓
<!ATTLIST line z2 CDATA "不明">↓
↓
<!ELEMENT block (BL)>↓
<!ELEMENT BL (mem)>↓
<!ELEMENT mem (#PCDATA)>↓
<!ATTLIST BL no CDATA "不明">↓
<!ATTLIST BL w1_line CDATA "不明">↓
<!ATTLIST mem name CDATA "不明">↓
<!ATTLIST mem b CDATA "不明">↓
<!ATTLIST mem t CDATA "不明">↓
<!ATTLIST mem dx CDATA "不明">↓
<!ATTLIST mem dy CDATA "不明">↓
<!ATTLIST mem dz CDATA "不明">↓
<!ATTLIST mem CURVATURE CDATA "不明">↓
<!ATTLIST mem MATERIAL CDATA "不明">↓

```

図-3 鋼橋のプロダクトモデルの DTD(一部)

比較すると、実装されたファイルの量は小さく、コンパクトで処理しやすいという特徴を持つ。一方、IFCが持つ多様な情報の実装は困難である。

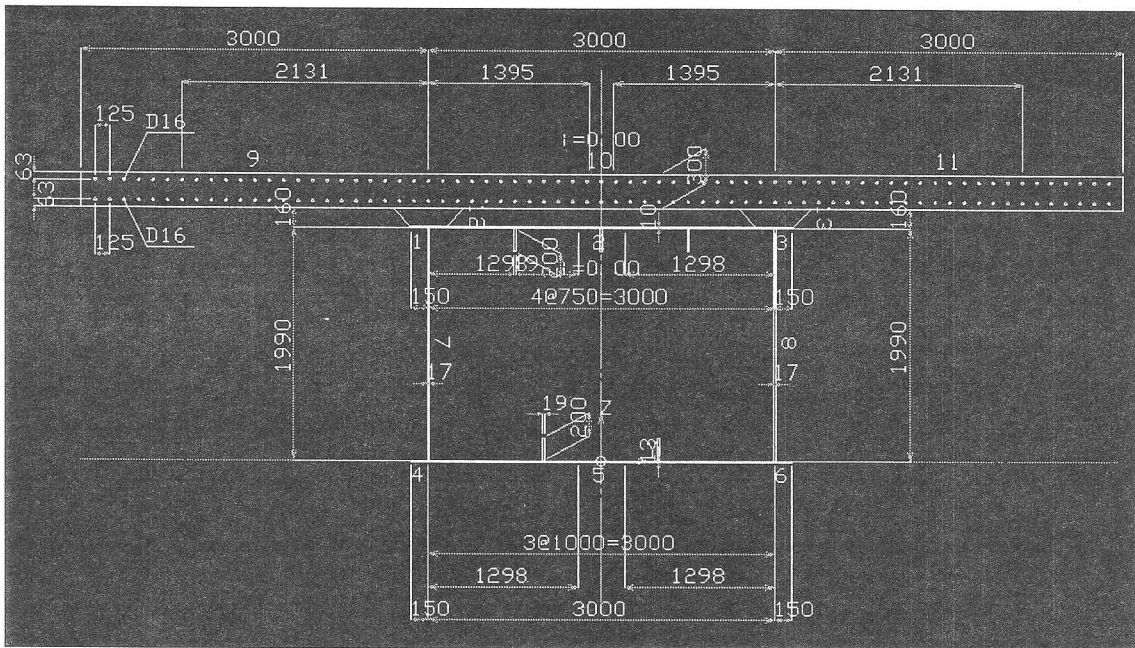
3. プロダクトモデルと3次元CADシステムの統合化

(1) コンバータの開発

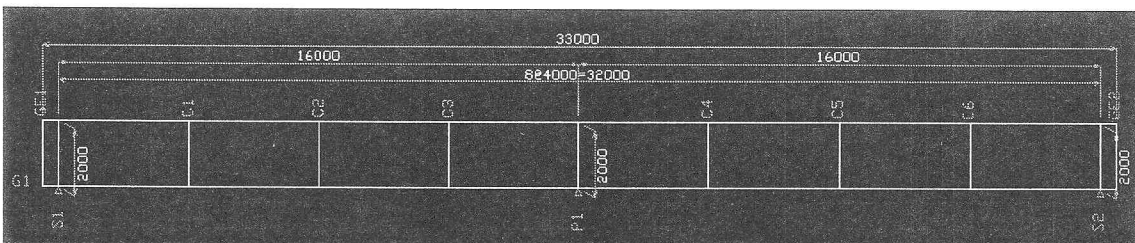
本研究では、プロダクトモデルの応用例として、3次元CADシステムを用いたモデリングを試みた。XMLファイルとして記述されたインスタンスファイルから、3次元CADでモデリングするためには、3次元のCADモデルを自動生成するコンバータが必要である。そこで、3次元CADシステムとしてAutoCAD2002¹⁰⁾を使用し、同アプリケーションが提供するVBA (Visual Basic for Application) 及び、XMLパーサを用いてコンバータを開発した。XMLパーサとして、プログラミングが容易なDOM (Document Object Model)¹¹⁾を使用した。

(2) モデリング例

本節では、開発したコンバータを用いたモデリングの例を、図-4の鋼箱桁を対象に示す。まず、図-4



(a) 断面図



(b) 側面図

図-4 鋼箱桁の2次元図面

```

<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS" ?>
<!DOCTYPE bridge (View Source for full doctype...)>
- <bridge>
- <basic_line>
  <line name="G1_GE1-J1" x1="0" y1="1500" z1="0" x2="11000" y2="1500" z2="0" />
  <line name="G1_J1-J2" x1="11000" y1="1500" z1="0" x2="22000" y2="1500" z2="0" />
  <line name="G1_J2-GE2" x1="22000" y1="1500" z1="0" x2="33000" y2="1500" z2="0" />
</basic_line>
- <block>
- <BL no="1" W1_line="G1_GE1-J1">
  <mem name="U-Flg" b="3300" t="10" dx="0" dy="150" dz="0" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="L-Web" b="1990" t="17" dx="0" dy="8.5" dz="-1990" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="R-Web" b="1990" t="17" dx="0" dy="-2991.5" dz="-1990" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="L-Flg" b="3300" t="13" dx="0" dy="150" dz="-2003" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
</BL>
- <BL no="2" W1_line="G1_J1-J2">
  <mem name="U-Flg" b="3300" t="12" dx="0" dy="150" dz="0" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="L-Web" b="1988" t="14" dx="0" dy="7" dz="-1988" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="R-Web" b="1988" t="14" dx="0" dy="-2993" dz="-1988" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="L-Flg" b="3300" t="12" dx="0" dy="150" dz="-2000" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
</BL>
- <BL no="3" W1_line="G1_J2-GE2">
  <mem name="U-Flg" b="3300" t="10" dx="0" dy="150" dz="0" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="L-Web" b="1990" t="17" dx="0" dy="8.5" dz="-1990" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="R-Web" b="1990" t="17" dx="0" dy="-2991.5" dz="-1990" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
  <mem name="L-Flg" b="3300" t="13" dx="0" dy="150" dz="-2003" CURVATURE="0" MATERIAL="SM400A" />
</BL>
</block>

```

図-5 鋼箱桁のXMLインスタンス(一部)

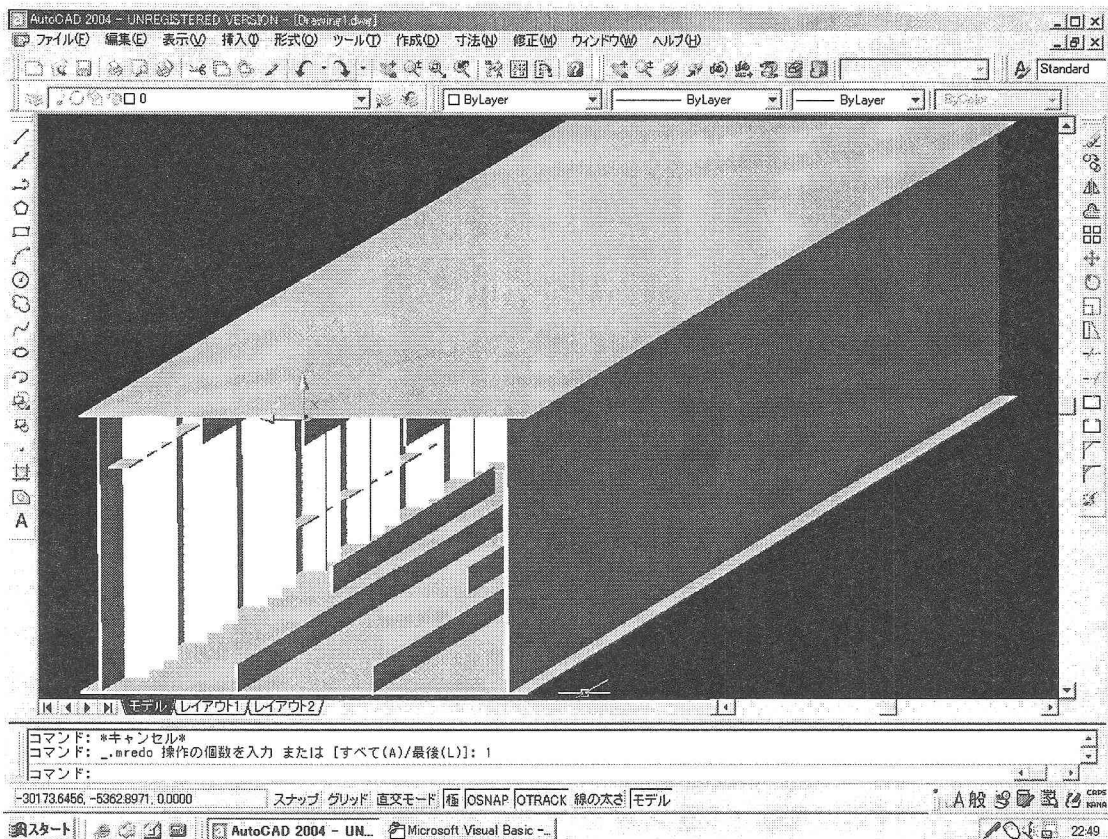


図-6 鋼箱桁の3次元 CAD モデル

の鋼箱桁の形状に関するデータと、DTD (図-3) を用いて、インスタンスファイルを作成する。図-5 に作成した鋼箱桁のインスタンスファイル(XML ファイル)の一部を示す。図-5より、本プロダクトモデルのインスタンスは、タグの属性としてデータを持つことから、プログラム処理が比較的容易であるといった特徴が挙げられる。

次に、本研究で開発したコンバータに図-5のインスタンスファイルを読みませ、3次元CAD上にモデリングを行う。図-6に、コンバータによって自動生成された鋼箱桁の3次元CADモデルを示す。さらに、鋼箱桁と同様の方法によって作成したプレートガーダーの3次元モデルを図-7に示す。

図-7に示す3本のI桁のインスタンスファイルの

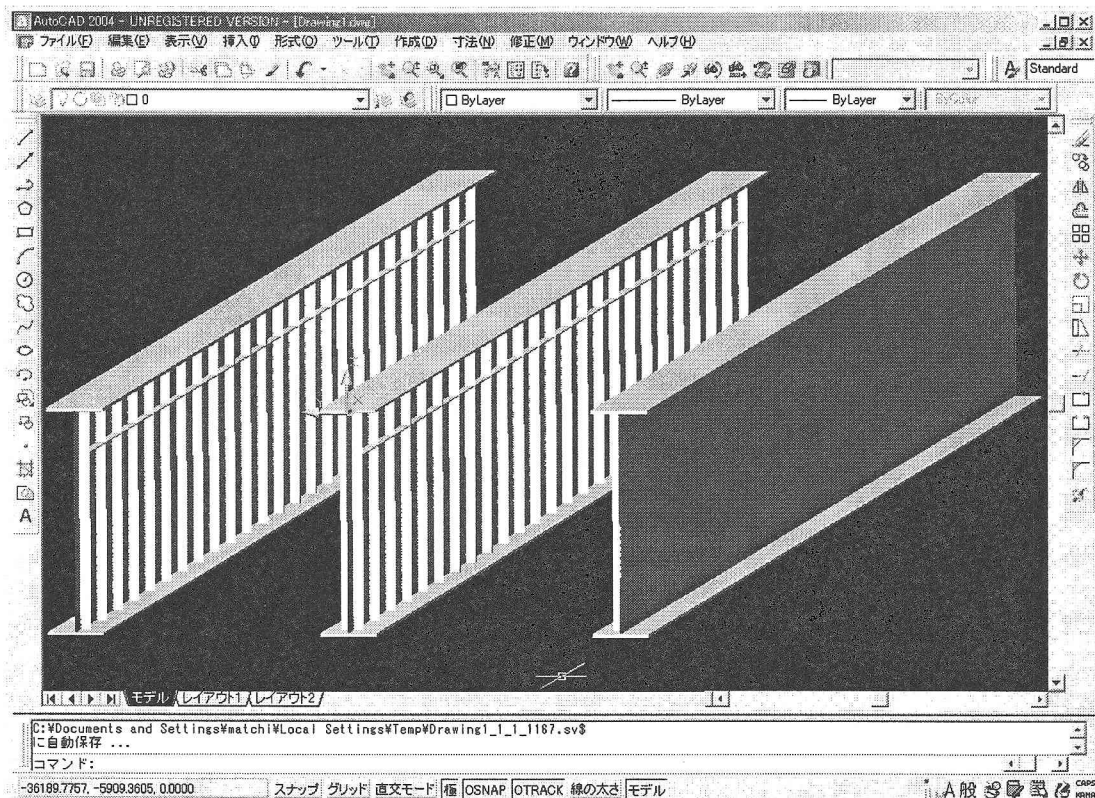


図-7 プレートガーダーの3次元 CAD モデル

容量は、IFC を用いて実装した場合 492kB となった。一方、本プロダクトモデルを用いた場合、モデルが単純なため 32.1kB となり、データ量は約 15 分の 1 になった。インスタンスファイルは、テキストエディタで作成するため、これにより、あるユーザが I 桁のインスタンスファイル作成に要した時間は、IFC では 12 時間 25 分、本プロダクトモデルは 2 時間 15 分であり、約 6 分の 1 になった。さらに、実際の橋梁は多くの桁や横構、横桁等の部材があり相当なデータ量になるため、ファイルの容量が小さくなり、作成時間が短縮されることは工学的に価値があると考えられる。従って、インスタンスファイルの作成において、単純で迅速に作成できることが確認された。よって、本論で提案するプロダクトモデルは、研究や開発におけるプロトタイプ化に向いていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、土木学会情報利用技術委員会設計情報小委員会の研究成果である鋼橋における基本線と面を意識したプロダクトモデルをベースに考察を加え、モデルの再構築を行った。開発したプロダクトモデルを、XML 及び DTD を用いて実装した。さらに、3次元 CAD でモデリングするコンバータを VBA を用いて開発し、実際の鋼箱桁とプレートガーダーに適用することにより、プロダクトモデル及び 3次元 CAD システムとの

データの運用性を検証した。さらに、これまで開発を進めている IFC に基づく PC 橋梁のプロダクトモデルと比較を行い、モデルや実装が簡便に出来ることを論じた。

今後は、プロダクトモデルの拡張を図り、他システムとのデータ運用性をさらに検証していきたいと考えている。

参考文献

- 1) ISO 10303-1: Industrial Automation Systems and Integration-Product Data Representation and Exchange, Part 1: Overview and Fundamental Principles, 1994.
- 2) IFC: http://www.iai-international.org/iai_international/
- 3) SXF: <http://www.cals.jacic.or.jp/cad/developer/aboutSXF.htm>
- 4) 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, 土木学会, Vol.11, pp.35-44, 2002.
- 5) 矢吹信喜, 志谷倫章: プロダクトモデルを用いた包括的設計支援システムの開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.273-280, 2003.
- 6) 保田敬一, 飯嶋淳, 境恭宏, 辻岡政人: 鋼橋における面を意識したプロダクトモデル構築の基礎的研究, 土木情報利用技術講演集, Vol.13, pp.83-86, 2003.
- 7) IFC-BRIDGE: http://www.iai-france.org/bridge/BRIDGE-Model/Model-V1/IFC-BRIDGE-V1-Model_fichiers/frame.htm
- 8) W3C: <http://www.w3.org/>
- 9) DTD: Chelsea Valentine, Lucinda Dykes, Ed Tittel: XML スキーマ詳解, コンピュータエージ社, 2002.
- 10) AutoCAD 2002 ユーザガイド, オートデスク株式会社, 2001.
- 11) DOM: 横井与次郎, Java/XML プログラミング入門, ソフト・リサーチセンター, 2001.

(2004.5.21受付)