

鋼部材 3次元プロダクトモデルの開発に関する研究

A Development of 3 Dimensional Product Model for Steel Members

室蘭工業大学工学部建設システム工学科

正会員 矢吹信喜 (Nobuyoshi Yabuki)

室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

○学生員 志谷倫章 (Tomoaki Shitani)

室蘭工業大学工学部建設システム工学科

学生員 小谷隼 (Jun Kotani)

1. はじめに

土木構造物のライフサイクルの中で関係各機関や企業間における情報伝達を飛躍的に効率化させるためには、アプリケーションソフトウェアに依存しない3次元のプロダクトモデルの開発が必要である。これにより、図-1に示すように3次元プロダクトモデルを中心として、データ変換ソフト(コンバータ)を介して、3次元CAD、構造解析、設計生成、設計照査、積算、施工計画、契約書、施工管理、維持管理等のシステム間で相互にデータを容易に受け渡しができるようになると考えられる。

建設 CALS/EC においては、2次元 CAD 図面に関して ISO10303 の STEP (STandard for the Exchange of Product model data) に従ってデータ交換標準が完成しつつあるが、2次元 CAD データでは直線や円といった図形データの交換は可能なものの、梁や柱といった構造部材そのものを3次元オブジェクトとして取り扱うことは困難である。そのため、2次元 CAD データを照査や積算等のアプリケーションシステムへ入力しても意味のあるデータとして取り扱うことは出来ない。これを可能にするのが3次元プロダクトモデルである。ISO の STEP では、機械や船舶等の分野で3次元プロダクトモデルの開発が進んでいるが、土木分野での取り組みは遅れている。建築分野においては、IAI (International Alliance for Interoperability) が IFC¹⁾ (Industry Foundation Classes)の構築を ISO の STEP に準拠して進めている。

著者らは、これまでに鋼構造の接合部を対象として、簡易的な3次元のプロダクトモデルを作成し、図-1に示すような3次元CAD、設計生成、設計照査システムの統合化に関する研究を推進し、その有効性を検証してきた^{2) 3) 4)}。本論文では、さらに梁や柱等の鋼部材の3次元プロダクトモデルを構築し、鋼部材の設計照査システムを開発して、3次元プロダクトモデルとのデータ運用の検証を行ったので報告する。

2. 鋼部材3次元プロダクトモデル

鋼構造接合部のプロダクトモデルの開発にあたっては、オブジェクト指向技術を導入したが、特に STEP や IFC といった標準には依存せず、独自のモデルを開発した。しかし、今般、鋼部材の3次元プロダクトモデルを構築するにあたり、将来的に本研究のプロダクトモデルが実用化されることを目標として、各クラスの設計手法を国際的な標準に沿うよう配慮した。そこで本研究では、IFC

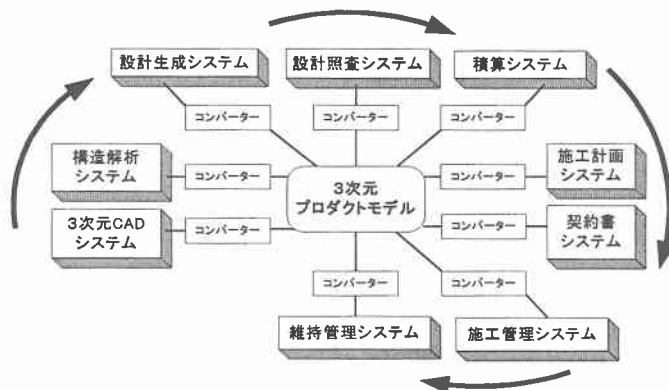


図-1 システムモデル

の Release 2x (IFC 2x)を参考とした。IFC 2x では、構造物を構成する各部材は、Object, Property, Relationship の3つのクラスの相互関係から定義される。図-2は、本研究で構築したクラスとそのサブクラスの相互関係を Express-G を用いて表現したものである。

2.1 クラス設計

(1) Object

Object クラスとそのサブクラスでは、物理的に存在する「もの」を定義する。例えば梁、柱等が一般的であるが、空間、プロセス等もこれに含まれる。Object の下層に位置する Product クラスは、図-2に示すように、Object のサブクラスであるので、Object で持つ属性を全て継承する。よって Column クラスが持つ全属性は、Express を用いて表現すると図-3のように表される。

Column (柱)を一つのオブジェクトとして考えた場合、重要となるのがその形状の表現である。形状の表現は、Product から継承される属性名 Representation の型 ProductRepresentation クラスによって定義される。図-4に Column の3次元モデルを示す。

(2) Property

Property とそのサブクラスでは、Object 及びそのサブクラスで継承されない、その他の付加的な情報を格納する。例えば、柱を考えた場合、弾性係数 E や降伏応力 Fy 等の力学的パラメータがそれに相当する。E, Fy といった個々のデータは PropertySingleValue クラスでそれぞれ定義され、PropertySet クラスによって、一つのまとまったデータベースとしての機能を持つ。

このように、オブジェクトとそのプロパティを分離して定義し実装させることで、複数のオブジェクトが同一

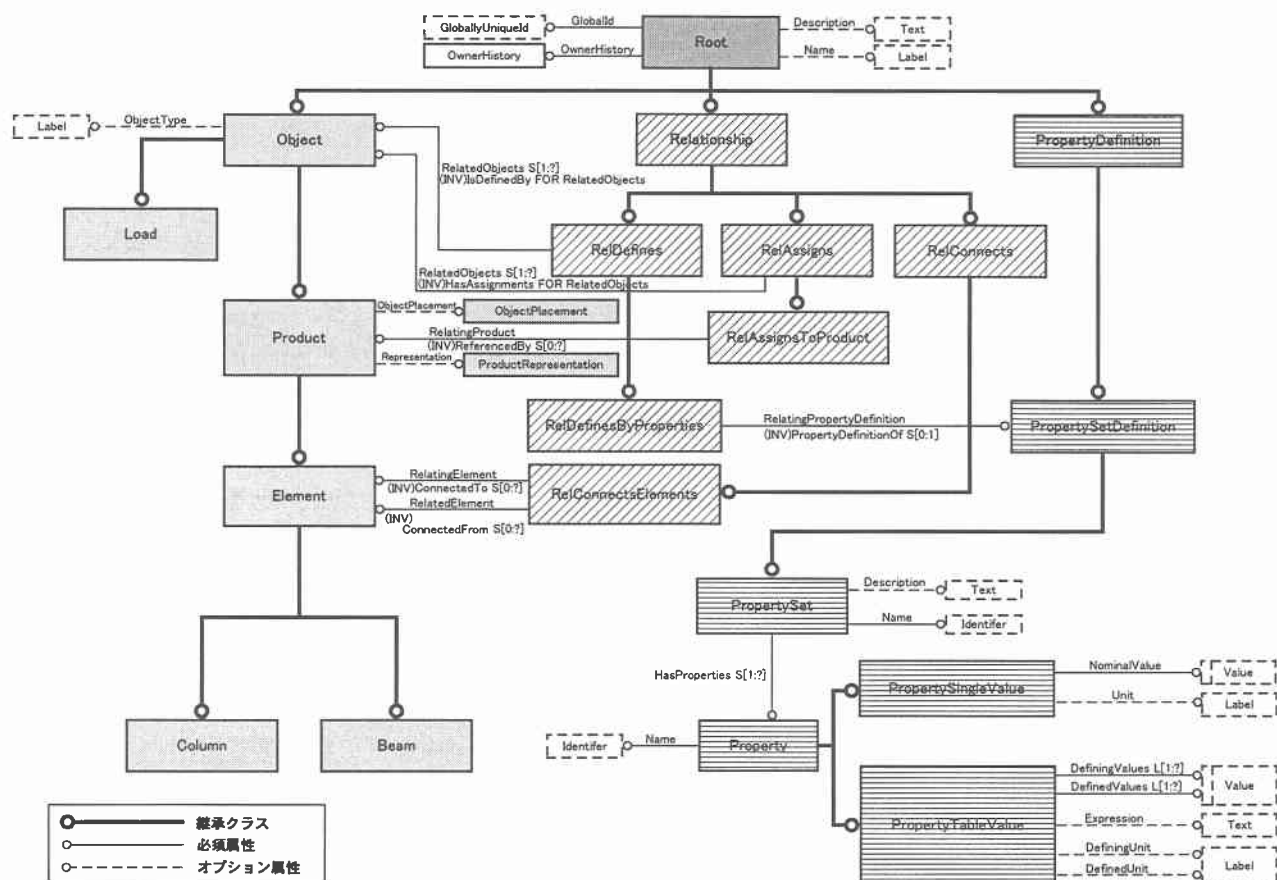


図-2 クラス図 (Express-G)

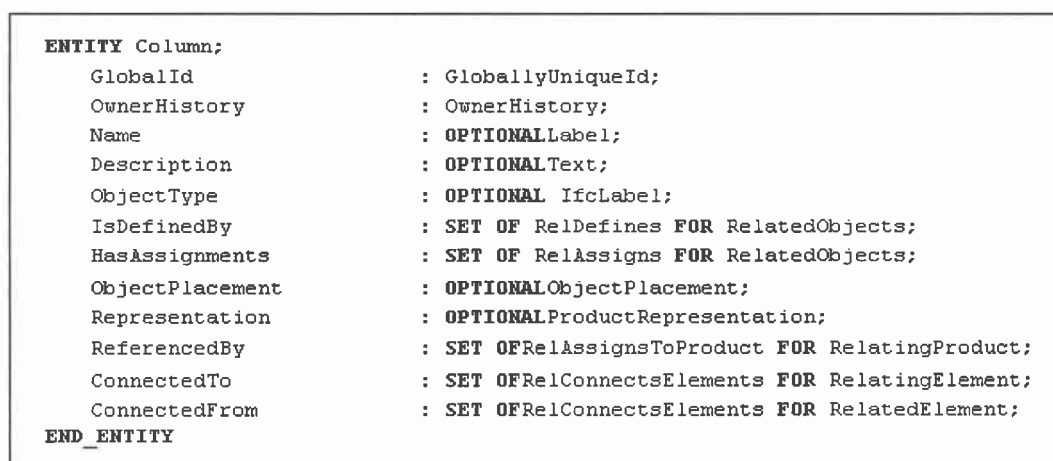


図-3 クラス Column の定義 (Express)

のプロパティを共有する事が可能になり、インスタンスファイルの肥大化を抑制する事が可能となる。

(3) Relationship

Relationship とそのサブクラスは、Object 間の関係や、Object と Property との関係定義する。例えば、サブクラスの RelConnectsElements では、柱と梁の接合関係を表現し、RelDefinesByProperties では、柱とその柱が所有するプロパティの関連付けを行っている。

2.2 BLIS-XML

今回開発したプロダクトモデルは、図-3 で示すように Express で定義されているので、インスタンスは Express の物理ファイルである Part21 ファイル形式と

なる。しかし、XML の普及に伴い、IFC においても XML を用いた実装を目指し、様々な試行が行われている。プロダクトモデルの実装に関しては、固定的なデータ構造を定義するデータ指向スキーマが適しており、中でも BLIS-XML⁶⁾ や ifcXML⁷⁾ 等が現在注目されている。また、両者ともに Express へのスキーマ変換が可能であり、インスタンスファイルは Part21 ファイルへの変換も可能であり、等価である。特に、BLIS-XML は属性指向型の構造形式でかつ、階層指向型の ifcXML に比べて可視性、プログラミングの容易性等の観点から有利であると考えられる。

以上の点を考慮し、本研究では、BLIS-XMLを用いてプロダクトモデルを実装した。図-5はスキーマ、図-6はクラスColumnのインスタンスファイルの一部を表している。このインスタンスファイルは、Columnインスタンスのみではなく、Columnが直接的・間接的に持つ全てのクラスのインスタンスの集合体として表現されている。これらインスタンスの中から、Columnインスタンスの形状を形成するのに関わるインスタンスの関係を図-7に示す。

3. 設計照査システムの開発

一般に、設計作業は3次元CAD等を用いてモデリングすることから始まる。次いで、構造解析を行い各部材の断面力（曲げモーメント、せん断力、軸力等）を算定する。次に、各部材ごとに、荷重と得られた断面力を用いて照査を行う。

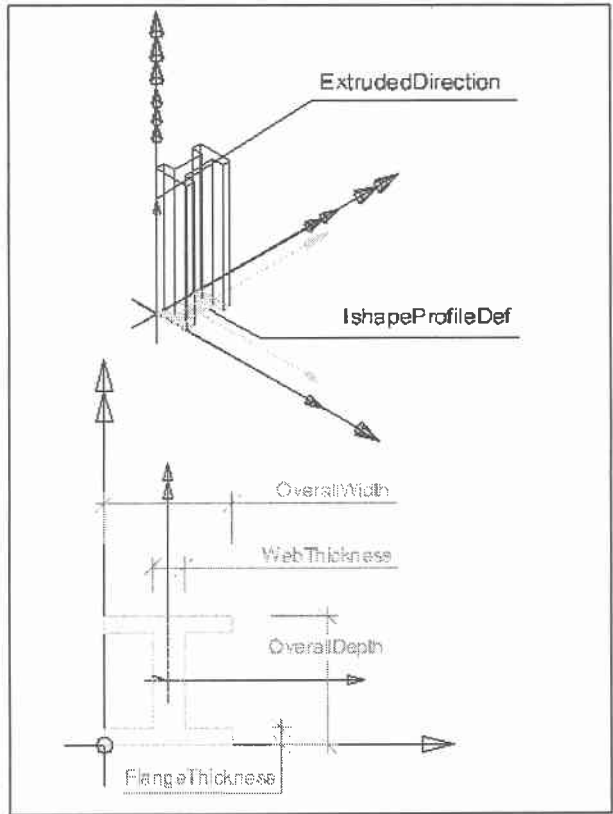


図-4 Columnの3次元モデル⁵⁾

```
<ElementType name="Column" content="empty" model="open">
  <attribute type="XMLID" required="yes" />
  <attribute type="GlobalId" required="yes" />
  <attribute type="OwnerHistory" required="yes" />
  <attribute type="Name" required="no" />
  <attribute type="Description" required="no" />
  <attribute type="ObjectType" required="no" />
  <attribute type="IsDefinedBy" required="no" />
  <attribute type="HasAssignments" required="no" />
  <attribute type="ObjectPlacement" required="no" />
  <attribute type="Representation" required="no" />
  <attribute type="ReferencedBy" required="no" />
  <attribute type="ConnectedTo" required="no" />
  <attribute type="ConnectedFrom" required="no" />
</ElementType>
```

図-5 Columnを定義するスキーマ（一部）

本研究では、鋼部材（梁、柱、梁・柱）を対象とした設計照査のプロトタイプシステムを開発した。設計基準としてはAISC-LRFD⁸⁾を採用し、オブジェクト指向言語であるJava Servlet（サーバサイド処理）によって開発した。本システムはインスタンス（XMLファイル）を構文解析することで、照査に必要なデータを取得するものであり、XMLを処理するためのパーサーとして、XML for Java Parser 2.0.9をプログラム中に組み込んだ。本システムの動作環境は、OSにWindows 2000、ブラウザにInternet Explorer 5.0、JavaプログラムにJDK 1.3、サーバ環境にJSWDK 1.0.1を使用した。以下に照査フローを示す。

```
<Column XMLID="i101" GlobalId="J.CY[$]o+Hw=rH0,x8" OwnerHistory="i102"
Name="ColumnA3" Description="" ObjectType="W14_99" IsDefinedBy="i151"
HasAssignments="i501" ObjectPlacement="i104" Representation="i105"
ReferencedBy="" ConnectedTo="i706" ConnectedFrom="i153" />
<LocalPlacement XMLID="i104" PlacementRefTo="" RelativePlacement="i113" />
<Axis2Placement3D XMLID="i113" Location="i114" Axis="" RefDirection="" />
- <CartesianPoint XMLID="i114">
  <Coordinates RealValue="50" />
  <Coordinates RealValue="50" />
  <Coordinates RealValue="0" />
</CartesianPoint>
<ExtrudedAreaSolid XMLID="i118" SweptArea="i119" Position="i120"
ExtrudedDirection="i121" Depth="168" />
- <IshapeProfileDef XMLID="i119" ProfileType="AREA" ProfileName="" Position="i122"
OverallWidth="14.565" OverallDepth="14.16" WebThickness="0.485"
FlangeThickness="0.780" FilletRadius="" />
<Axis2Placement3D XMLID="i120" Location="i123" Axis="" RefDirection="" />
<Axis2Placement2D XMLID="i122" Location="i124" RefDirection="" />
- <CartesianPoint XMLID="i123">
  <Coordinates RealValue="0" />
  <Coordinates RealValue="0" />
  <Coordinates RealValue="0" />
</CartesianPoint>
- <CartesianPoint XMLID="i124">
  <Coordinates RealValue="0" />
  <Coordinates RealValue="0" />
  <Coordinates RealValue="0" />
</CartesianPoint>
- <Direction XMLID="i121">
  <DirectionRatios RealValue="0" />
  <DirectionRatios RealValue="0" />
  <DirectionRatios RealValue="1" />
</Direction>
```

図-6 インスタンスファイル（一部）

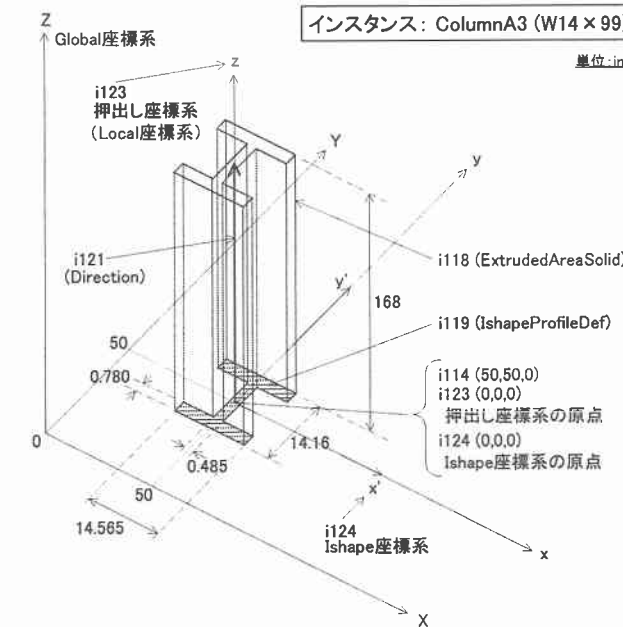


図-7 Columnインスタンスの3次元モデル

まず、本システムに、BLIS-XMLで記述されたインスタンスファイルを入力すると、コンバータプログラムが起動し、入力されたファイルの構文解析が行われる。構文解析ではまず、使用されている鋼部材の種類を判定する。次に、荷重の有無を確認し、荷重があればその荷重タイプ（軸力、曲げモーメント等）と作用位置・方向を判定する。コンバータプログラムによる構文解析が終了すると、得られた各データは、サブレットプログラム中に一時的に保存される。次に、図-8に示すような構文解析結果画面が表示される。この例では、長さ 168.0in. の W14×99 の柱に圧縮荷重 770.0kips が作用している。

次に、部材の照査を行う。サブレットプログラムは、保存されているデータから、荷重条件、部材タイプに対応する照査プログラムを判断し、呼び出す。次に、呼び出された照査プログラムに必要なデータを渡し、照査を実行する。図-9はその結果表示画面である。この例では、設計強度が 781.424kips なので、設計は基準を満足している。

4. おわりに

本研究では、鋼部材を対象として、IFC 規格に準拠した形式の3次元プロダクトモデルを構築した。次に、BLIS-XMLを用いてプロダクトモデルを実装した。さらに、設計照査システムを開発し、プロダクトモデルのインスタンスファイルを読み込ませ、照査を実行し、本システムの有効性を検証した。尚、本システムでは、事例は柱のみを示したが、梁及び梁-柱の照査も行う事は可能である。今後は、本システムを3次元 CAD システムと統合化していく予定である。

Parsed Properties		
Name	ColumnA3	
Type	Simple Column	
Designation	W14 99	
Name	Value	Unit
A	29.1	in ²
L	168.0	in
r	3.71	in
K	1.1	-
E	290000.0	kai
Fy	36.0	kai
Pu	770.0	kips

図-8 解析結果表示画面

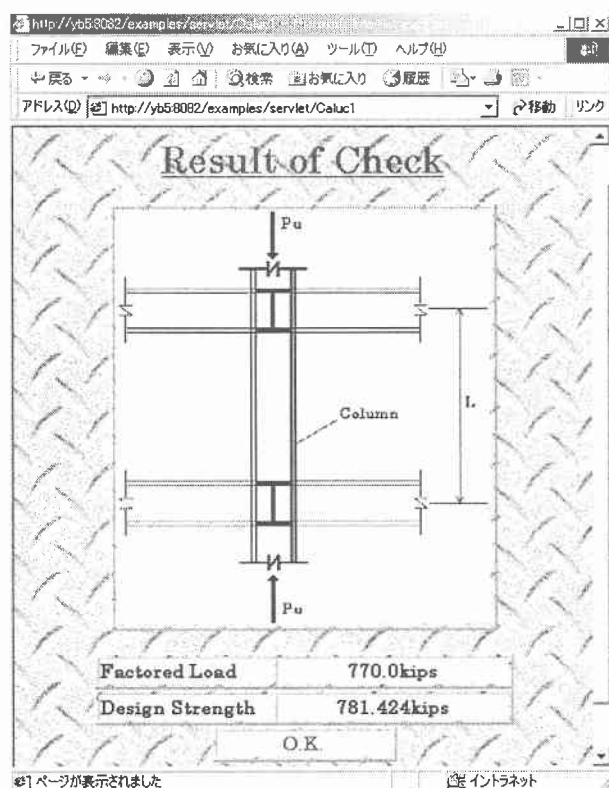


図-9 照査結果表示画面

謝辞：本研究を遂行するにあたり、IAI 日本支部構造分科会の皆様から貴重な助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) <http://www.interoperability.gr.jp/>
- 2) 矢吹信喜, 志谷倫章, 宮島良将, 岸徳光: 統合化された鋼構造接合部設計システムに関する研究, 土木情報システム論文集, Vol.10, pp.175-184, 2001.
- 3) 矢吹信喜, 宮島良将, 小室雅人, Law, K.H.: XML と事例ベース推論による鋼構造接合部の設計生成システムの構築, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.91-100, 2000.
- 4) Yabuki, N. and Shitani, T.: An Integrated Design System for Connections of Steel Structures, FIAPP, ASCE, (to appear) 2002.
- 5) http://cic.vtt.fi/niai/technical/ifc_2x/
- 6) <http://www.blis-project.org/>
- 7) <http://iaiweb.lbl.gov/>
- 8) Manual of Steel Construction - Load & Resistance Factor Design, Second Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 1993.