

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及び応用

Development and Applications of an IFC-Based Product Model for PC Hollow slab Bridges

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)

1. はじめに

各種構造物や製品のライフサイクルの中で、異なるアプリケーションシステム間において、形状や材料等に関するデータの相互運用を図るために、プロダクトモデルの開発や研究が行われている。プロダクトモデルの開発に関しては、国際標準として ISO10303 の STEP¹⁾

(Standard for the Exchange of Product model data)、建築の業界標準としては、IAI (International Alliance for Interoperability) の IFC²⁾ (Industry Foundation Classes) が著名である。IFC は、2002 年 11 月に ISO/TC184/SC4 の PAS (a Publicly Available Specification: 公式有効仕様書) として認定されている³⁾。我が国の土木分野でも、建設 CALS/EC の中で、2 次元 CAD 図面データの互換運用が可能になった。しかし、2 次元 CAD データでは、CAD 以外のアプリケーションシステムに渡しても、部材そのもののデータが伝達されないことから、3 次元のプロダクトモデルに関する研究や開発が関係各方面で行われるようになった。我々もこれまでに、鋼骨組構造⁴⁾、水圧鉄管⁵⁾、PC 中空床版橋⁶⁾ 等のプロダクトモデルを開発してきた。しかし、プロダクトモデルのモデリングや実装に関する標準的な方法論といったものは未だ確立されておらず、各研究者や組織等により、様々なアプローチがなされているのが現状である。

そこで本研究では、プロダクトモデルの国際標準として構築されている IFC に着目し、IFC をベースに、橋梁の上部工としてはかなり複雑な PC 中空床版橋を対象として新たに 3 次元プロダクトモデルを開発した。さらに、3D-CAD、PC 上部工の設計計算システム間においてデータ交換を可能にするコンバータプログラムと、構造細目に関する照査システムを新たに開発し、本プロダクトモデルを中心としたデータ相互運用の検証を行ったので報告する。

2. プロダクトモデル

2.1 IFC 2x

IFC は、建物を構成する部材 (ドア、窓、壁) 等にオブジェクト指向技術を適用し構築したクラスライブラリであり、現在のバージョン Release 2x (IFC 2x) を本研究では基本とした。2x 以前のバージョン (IFC Release2.0) では、部材クラス (オブジェクト) 内部に全属性 (プロパティ) を定義するといった、やや古典的なモデリング手法を用いていた。我々も以前はこの手法を使用した。属性情報が肥大化する問題があった。IFC

2x では、オブジェクトとプロパティを分離させ、同一のオブジェクトに関する個々のプロパティをプロパティセットとして定義し、オブジェクトに関連付けるといった新たな手法を採用しており、柔軟なモデリングが可能となったのが特徴である。

2.2 PC 中空床版橋のプロダクトモデル

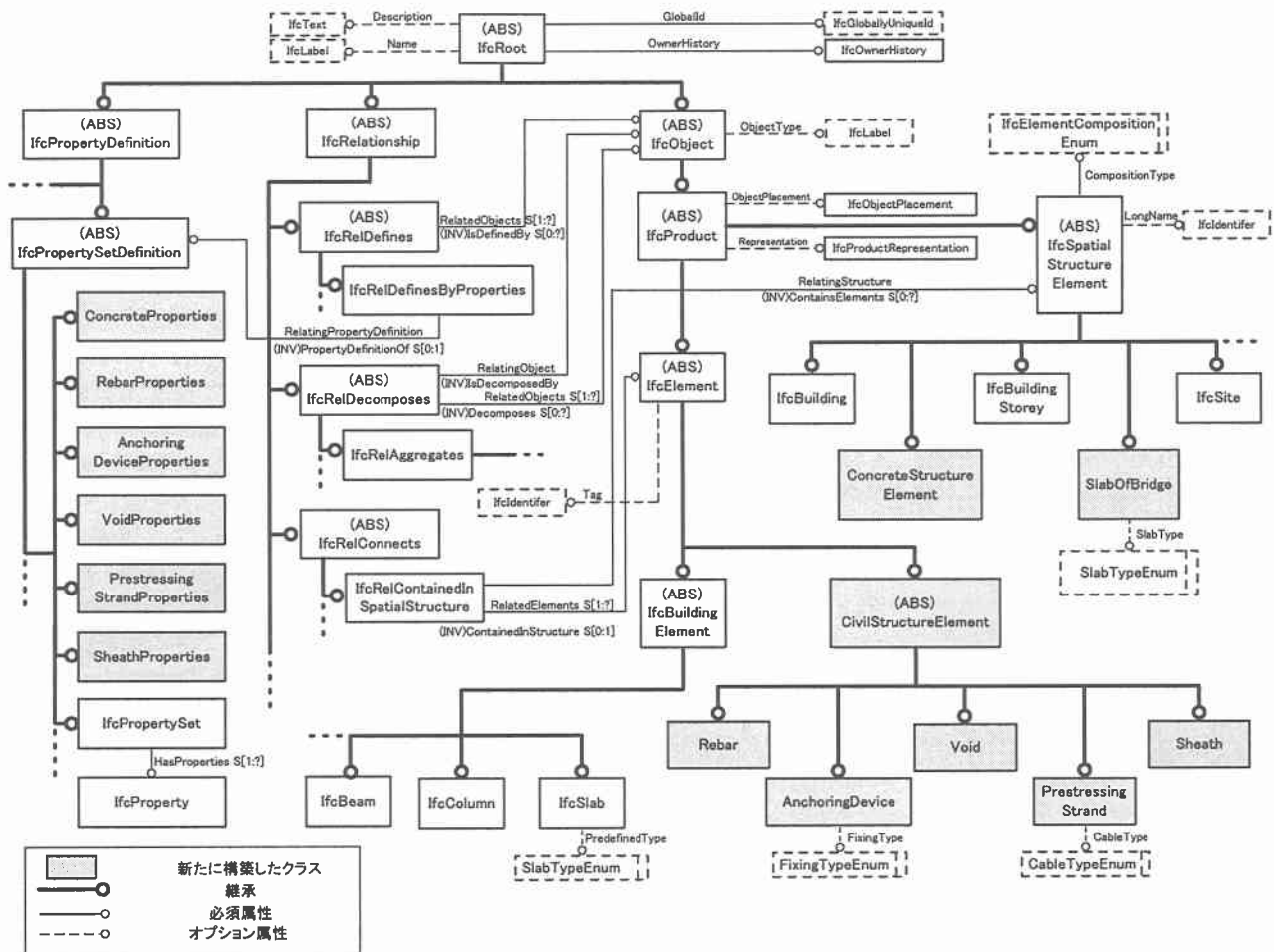
IFC は、建築ビルディングを主対象としていることから、土木構造物に直接応用することは困難であるが、土木用のモデルをゼロから構築するのは非効率的である。さらに、IFC は将来的に国際標準となる事がほぼ確実であることから、IFC に準拠する形でモデリングすることは、将来の国際標準化の視点からも有利であると考えた。そこで、IFC の基本構造を壊さず、できるだけ必要最小限の部材クラスを新しく定義し、他の土木構造物の表現にも利用できるよう汎用性を持たせるという基本的な考え方で、モデリングを進めることとした。土木構造物としては、我々が以前にプロダクトモデルを別の考え方⁶⁾で構築した PC 中空床版橋を対象とすることとした。本研究で開発したプロダクトモデルを図-1 に示す。

(1) 土木構造物用部材クラス

まず、PC 中空床版橋を構成する部材を整理すると、ボイド (ホロー管)、PC 鋼材、PC 定着装置、シース、鉄筋、コンクリート等が挙げられる。本研究では、図-1 に示すように、建築用部材クラス (IfcBuildingElement) と同じ階層に土木構造物用部材クラス (CivilStructureElement) を定義し、そのサブクラスとしてボイド、PC 鋼材、PC 定着装置、シース、鉄筋等の各クラスを定義した。鉄筋に関しては、IFC 2x では、梁や柱の属性となっているが、我々は施工まで考えて、鉄筋一本ずつを一つのオブジェクトとして捉えることに留意した。

(2) 床版クラス

コンクリートは、H 鋼のような形鋼と異なり、自由な形状であることが多い。また、鉄筋、ボイド、シース等をコンクリート内部に含んでいることから、コンクリートを完全なソリッドモデルとして定義しようとする、コンクリート内部の部材を定義する度に、コンクリートのソリッドから内部の部材を差し引く図形処理が必要となり、煩雑になると考えられる。一方、コンクリートを単なるサーフェスモデルにしてしまうと、面の内部と外部が識別できないので、3 次元有限要素解析のためのメッシュ作成や積算のための数量計算等の作業が自動化出来なくなってしまう可能性がある。そこで、コンクリー



図－１ 本研究で開発したプロダクトモデル

トの形状表現には、面のどちら側に物が詰まっているのかを表すことが出来るサーフェスに基づいた簡易的なソリッドモデルを使いモデリングする事が望ましいと考えられる。そこで、IfcRelContainedInSpatialStructureクラスを用いて、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」関係を表現している点に着目した。さらに、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。つまり、先に述べた 2 つの条件を満たすものであることがわかる。

そこで、我々は、PC 中空床版橋のコンクリート部分である床版を、IfcBuilding と同じ性質を持ったオブジェクトと判断し、IfcBuilding と同じ階層に新しく SlabOfBridge というクラスを定義することとした。

(3) プロパティセット

前述の各部材クラスに関する形状以外のデータを格納する事を主な目的として、各部材クラスに対応するプロパティセットを新たに定義した(図－1)。両者の関連付けは IfcRelDefinedByProperties クラスにより行う。

2.3 プロダクトモデルの実装

プロダクトモデルの実装に関して、ISO の STEP では、スキーマを EXPRESS 言語により定義し、物理ファイルは Part21 ファイルを使用することとなっているが、近

年、開発や処理がしやすく、無料の XML が広く使用されるようになり、IFC でも実装に各種 XML を用いることが検討されている。本研究では、ifcXML⁷⁾を用いて本プロダクトモデルを実装することとした。

ifcXML は、W3C (World Wide Web Consortium) が 2001 年 5 月に勧告した比較的新しいスキーマ言語 XML Schema を使用しており、文書を対象とした DTD (Document Type Definition) とは異なり、多様なデータ形式をサポートしている。また、EXPRESS 言語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 ファイルと等価である。尚、詳細は文献 8) を参照されたい。

3. アプリケーションシステムとの統合化

本研究では、プロダクトモデルを中心として 3D-CAD、構造細目照査システム、PC 上部工の設計計算システムを統合化したシステムモデルを構築した(図－2)。

3.1 3D-CAD システムとの統合化

コンバータプログラムⅠは、3D-CAD (AutoCAD 2002) において設計した構造物のデータを、ifcXML 形式のインスタンスファイルとして半自動的に生成するものである。開発には VBA (Visual Basic for Application) を用いた。

コンバータプログラムⅡは、ifcXML のインスタンスファイルを一時 DOM (Document Object Model) とし

てコンピュータ上のメモリに展開してからファイル内部のデータを読み取り、3D-CAD上にモデリングを自動実行するものである。XMLパーサにMSXML version2.0を使用し、プログラム本体の開発にはVBAを用いた。

3.2 設計ソフトウェアとの統合化

3D-CADにおいてPC中空床版橋の概略設計を行った後、力学的な照査を行う必要がある。本研究では、FORUM8社製のPC中空床版の設計計算用ソフトUC-1を力学的な照査を行うサンプルソフトとして使用することとし、さらに照査実行時に必要となるデータをifcXMLインスタンスファイル内から抽出するコンバータプログラムⅢを開発した。コンバータプログラムⅢは、UC-1に入力すべきデータの一覧を表示し、ユーザの数値入力作業をサポートする。コンバータプログラムⅡと同様、XMLパーサにMSXMLを搭載し、Visual Basicを用いて開発した。

3.3 構造細目照査システムとの統合化

力学的な照査をクリアした後に、鉄筋、スターラップ等の本数、配置等を決定し3D-CAD上で詳細な設計を行う。その後、鉄筋の定着や鋼材のかぶり等の構造細目に関する照査を行う必要がある。そこで本研究では、構造細目の中でも特に鋼材のかぶりに着目し、本プロダクトモデルのデータから最小かぶり値を求めるシステムをJava ServletとXML for Java Parser 2.0.9を用いて開発した。設計基準として、道路橋示方書⁹⁾の一部をプログラム化した。以下に照査の簡単なフローを示す。

まず、ifcXMLインスタンスファイルの中から床版表面、鉄筋の中心軸に関するデータを読み取り、それぞれ平面の方程式、媒介変数を用いた直線の方程式として定式化する。次に、直線上の始点から終点間に存在する各点と、平面との距離を求め、さらに鉄筋の半径の長さを差し引き、かぶりを求める。このうち最小値となったものを最小かぶり値とし、設計基準値との比較を行う。

上記の処理をインスタンスファイル内にある全ての鉄筋について行い、結果を画面に表示する。さらに、基準を満足しなかった鉄筋に関しては、修正を促すメッセージとかぶりの値が鉄筋のプロパティセット内に新たに書き込まれ、プロダクトモデルが更新される。さらに、先のコンバータプログラムⅡにより、違反した鉄筋を3D-CAD上で色分けして表示出来るようにした。

4. 統合化システムの適用例

図-2に示す統合化システムモデルを用いた、PC中空床版橋の設計の適用例を以下に示す。

①まず、設計者は3D-CADを用いて、PC中空床版橋の概略の設計を行う(図-3)。この段階では、鉄筋やスターラップ等はモデリングされず、鉄筋径とピッチ等のデータのみを決定する。

②次にコンバータプログラムⅠを実行し、設計データをifcXMLインスタンスファイルとして生成する。さらに、コンバータプログラムⅢを実行し、照査に必要なデータの一覧を表示させ(図-4)力学的な照査を行う。

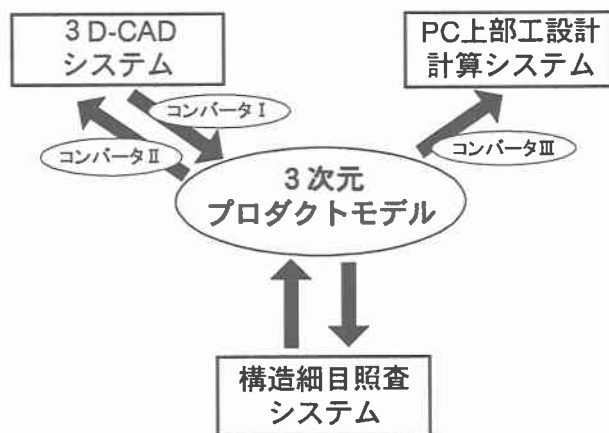


図-2 統合化システムモデル

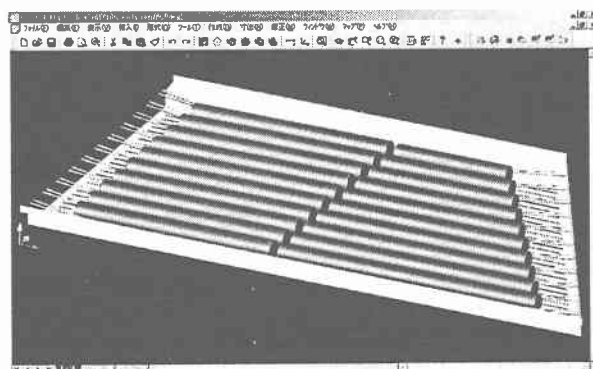


図-3 PC中空床版の概略設計

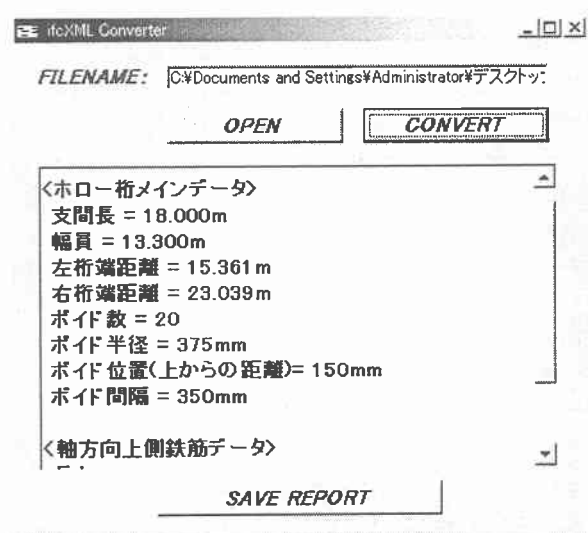


図-4 コンバータプログラムⅢ

③照査を満足したため、再度3D-CADに戻り、鉄筋、スターラップを含めた詳細な設計を行う(図-5)。作業終了後、再度コンバータプログラムⅠを起動し、インスタンスファイルを更新する。

④次いで、構造細目照査システムにおいてかぶり計算を行う。まず、本システムにインスタンスファイルを読み込ませ、計算実行ボタンを押す。図-6は結果表示画面の一部である。スターラップの一つが基準値を満たしておらず、エラーが表示されているのが確認出来る。そ

ここで、同フォーム下部にあるコマンドボタンをクリックし、エラーメッセージとかぶりの値を、エラーが報告されたスターラップのプロパティセットに書き込み終了する。

⑤最後に、コンバータプログラムⅡを用いて、先程更新されたインスタンスファイルを読み込ませ、自動的にモデリングを行う(図-7)。同図から、かぶり値にエラーがあったスターラップを容易に確認する事が出来る。

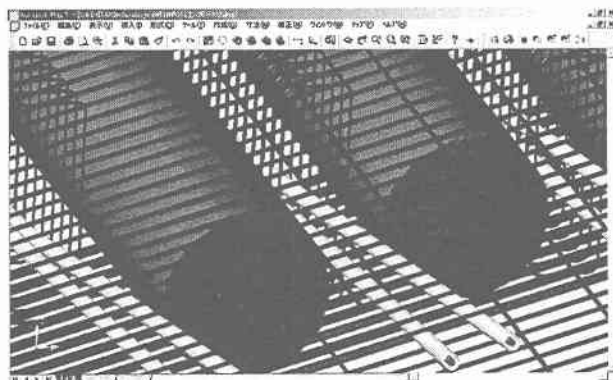


図-5 PC中空床版橋の詳細設計

構造細目
-鋼材のかぶり計算-

照査結果一覧

部材名	ID	かぶり値	規定(1)	規定(2)	結果
E-1	6001	73.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	OK
E-2	6019	73.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	OK
E-3	6037	73.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	OK
C-1	5001	35.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	OK
C-2	5019	25.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	NG
C-3	5037	35.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	OK
G-1	4001	54.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	OK
G-2	4019	54.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	OK
G-3	4037	54.0mm	最小かぶり30mm以上	直径(19mm)以上	OK

図-6 かぶり計算結果表示画面

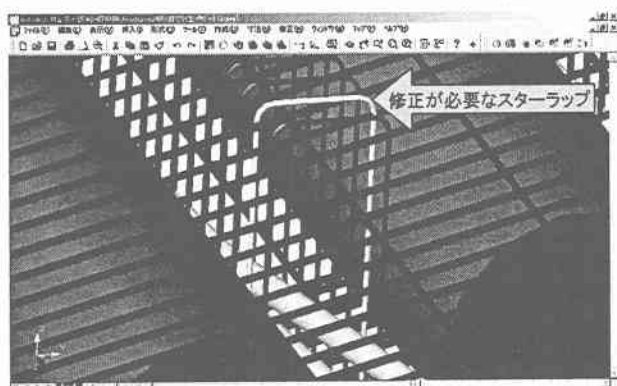


図-7 照査後の3D-CAD画面

5. おわりに

本研究では、国際標準を標榜するIAIのIFCに着目し、土木構造物への適用を可能にするため、IFCを拡張したプロダクトモデルを開発した。土木構造物の例として、PC中空床版橋を取り上げ、3次元プロダクトモデルを構築し、ifcXMLを用いて実装した。さらに、構造細目照査システム、3D-CAD、PC上部工の設計計算システムを開発または整備し、各種コンバータプログラムを開発して、3次元プロダクトモデルを中心とした統合化の適用例を示した。これにより、データ相互運用の有効性、プロパティセットの柔軟性、さらに、設計段階における施工を意識した検討が可能であることを示せたと考えている。

今後は、設計作業の効率化を目標として、3D-CADのユーザインタフェースの開発等に取り組んで行きたいと考えている。

謝辞:本研究を遂行するにあたり、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、(株)フォーラムエイト及びIAI日本支部構造分科会の皆様から御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ISO10303, Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange, 1994.
- 2) http://cic.vtt.fi/niai/technical/ifc_2x/
- 3) IAI日本支部: NEWS LETTER, Vol.8, 2002.
- 4) 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.
- 5) 矢吹信喜, 齊藤大輔: 3次元プロダクトモデルと電子タグによる水圧鉄管の点検情報システム, 土木情報システム論文集, Vol.10, pp.113-120, 2001.
- 6) 矢吹信喜, 古川将也, 加藤佳孝, 横田勉, 小西哲司: プロダクトモデルによるPC中空床版橋の設計照査と概略積算の統合化, 土木情報システム論文集, Vol.10, pp.213-220, 2001.
- 7) http://www.iai-international.org/iai_international/Technical_Documents/documentation/IFCXML/ifcXML_language_binding_V1-02.pdf
- 8) 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.
- 9) 道路橋示方書・同解説, 日本道路協会, 2002.