

プロダクトモデルとマルチエージェントを用いた PC 橋梁の構造細目照査支援システム

A Detail Checking Support System for Prestressed Concrete Bridges Using a Product Model and Multi-Agents

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、データの相互運用を図るために、プロダクトモデルが開発されている¹⁾²⁾³⁾。我々は、これまでに建設分野の業界標準である IAI (International Alliance for Interoperability) の IFC (Industry Foundation Classes)²⁾のバージョン 2x (IFC 2x) を拡張することにより、PC 橋梁を対象とする 3 次元プロダクトモデルを開発した。さらに、本プロダクトモデルを XML (Extensible Markup Language) の一種である ifcXML を用いて実装し、市販の 3 次元 CAD システムとの間でデータの相互運用が計れるようコンバータプログラムを開発した⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

一方、プロダクトモデルは、設計段階のみならず施工段階まで含めて包括的に利用しなければ、大幅な生産性の向上の実現は難しいと考えられる。そこで、我々はコンクリート構造物の施工段階において問題となる鋼材のかぶり及びあき等の構造細目に関する問題に着目した。こうした問題は、施工現場における施工設計において頻繁に発生するが、2 次元図面では容易に見えないことが多い。従って、3 次元プロダクトモデルを利用し、設計を行っている最中に自動的に鋼材のかぶりやあき等をチェックできるようなシステムが必要である。

そこで本研究では、3 次元 CAD システムを用いて詳細設計を行う際に、設計者が意識しなくてもシステムの背後で自律的に動作し、鋼材のかぶり及びあきに関するチェックを自動的に行って、設計者を多面的に支援する知的なオブジェクト、すなわちマルチエージェントを開発することとした。さらに、プロダクトモデル、コンバータプログラム、3 次元 CAD システム及びマルチエージェントを統合化することにより PC 橋梁の構造細目照査支援システムを開発し (図-1)、実際の PC 構造物に適用し検証を行った。

2. プロダクトモデル

本研究で開発した PC 橋梁のプロダクトモデルの基本的な特徴についてまとめる。詳細については、文献⁴⁾⁵⁾⁶⁾を参照されたい。

本プロダクトモデルについては、以下のような特徴が挙げられる。

- 本プロダクトモデルは、オブジェクト指向技術に基づいて、構造物の部材 1 つ 1 つをオブジェクトとして表現している。2 次元ではなく、3 次元の形状デ

ータを持つため、コンピュータグラフィックス (CG) で構造物を現実のオブジェクトに近いものとして忠実に再現することが可能である。

- コンクリート (Concrete)、鉄筋 (Reinforcing Bar もしくは Rebar)、PC 鋼材 (Prestressing Strand)、PC 鋼材定着装置 (Anchoring Device)、シース (Sheath)、ボイド (Void) 等の各部材に関する専用のプロパティセットを新たに定義したことにより、材料、強度、重量等の形状以外の幅広い属性データを実装することが可能である。
- さらに、プロパティセットを用いていることから、個別ユーザのニーズにより、新たな属性データを定義・実装することができる。
- 実装形式は XML であるので、特定のアプリケーションに依存せず、他のシステムとの統合化が容易である。実装に用いた ifcXML は、ISO-STEP の EXPRESS と互換性がある。

3. プロダクトモデルと 3 次元 CAD システムの統合化

3. 1 コンバータ CAD2PM

コンバータプログラム CAD2PM (CAD to Product Model の略) の本来の目的は、CAD システムで使用される 3 次元モデルを、プロダクトモデルの形式のデータに変換 (コンバート) することである。CAD システム側に各オブジェクトの定義システムと、外部のプログラムとの適切なインタフェースがあれば、容易にコンバータを作ることができるはずである。しかしながら、土木分野ではそのような CAD システムは見当たらない。そこで、我々は、日本の土木分野で一般に広く使用されている 3 次元 CAD システム AutoCAD 2002⁷⁾を用いて、形状定義をしながらプロダクトモデルを作成するコンバータプログラム CAD2PM を開発することとした。CAD2PM は、AutoCAD 2002 の VBA (Visual Basic for Application) を用いて開発した。

PC 橋梁等を対象とした詳細設計において、CAD2PM は、画面上に順次表示される入力フォームに必要な値 (座標値や鉄筋径、鉄筋の本数等) を入力することにより、3 次元でのモデリングを行うのと同時に、プロダクトモデルデータ、すなわちインスタンス (ifcXML 形式) を生成する機能を有している。本コンバータプログラムを用いて作成したプレキャストセグメントのインスタンスファイルの一部を、図-2 に示す。

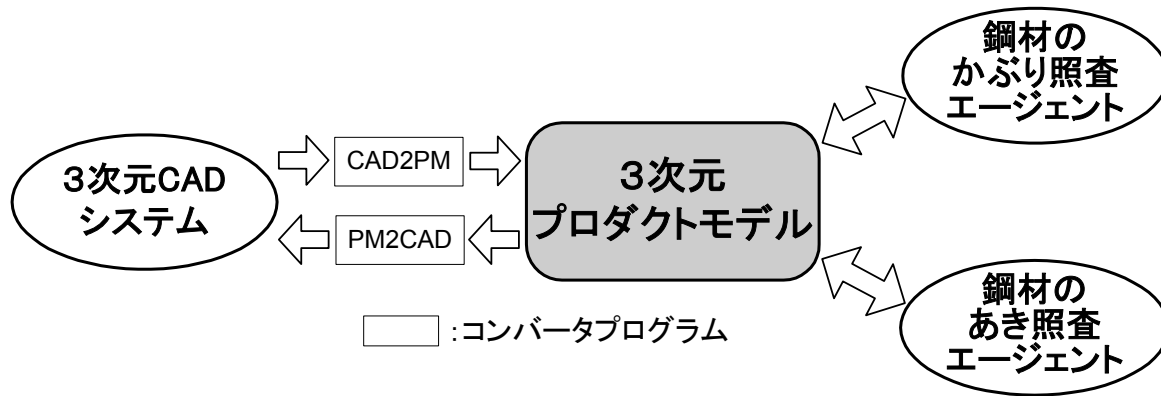


図-1 PC 橋梁の構造細目照査支援システム

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<IFCXML_2X_FINAL xmlns="http://iai-international.org/ifcXML/ifc2x_platform">
  <ConcreteStructureElement id="_1001">
    <globalId>|.CY[$]o+Hw=#rH0,xel</globalId>
    <ownerHistory>
      <OwnerHistory href="_7001" />
    </ownerHistory>
    <name>BG023P24P</name>
    <objectPlacement>
      <representation>
        <ProductDefinitionShape id="_1005">
          <representations>
            <ShapeRepresentation id="_1006">
              <contextOfItems>
                <items>
                  <FacetedBrep id="_1007">
                    <outer>
                      <ClosedShell id="_1008">
                        <cfsFaces>
                          <Face id="_1009">
                            <bounds>
                              <FaceOuterBound id="_1010">
                                <bound>
                                  <PolyLoop id="_1011">
                                    <polygon>
                                      <CartesianPoint href="_11001" />
                                      <CartesianPoint href="_11003" />
                                      <CartesianPoint href="_11005" />
                                      <CartesianPoint href="_11007" />
                                      <CartesianPoint href="_11008" />
                                      <CartesianPoint href="_11006" />
                                      <CartesianPoint href="_11004" />
                                      <CartesianPoint href="_11002" />
                                    </polygon>
                                  </PolyLoop>
                                </bound>
                              </FaceOuterBound>
                            </bounds>
                          </cfsFaces>
                        </ClosedShell>
                      </outer>
                    </FacetedBrep>
                  </items>
                </contextOfItems>
              </ShapeRepresentation>
            </representations>
          </ProductDefinitionShape>
        </representation>
      </objectPlacement>
    </ConcreteStructureElement>
  </IFCXML_2X_FINAL>
  
```

図-2 プレキャストセグメントのインスタンス (一部)

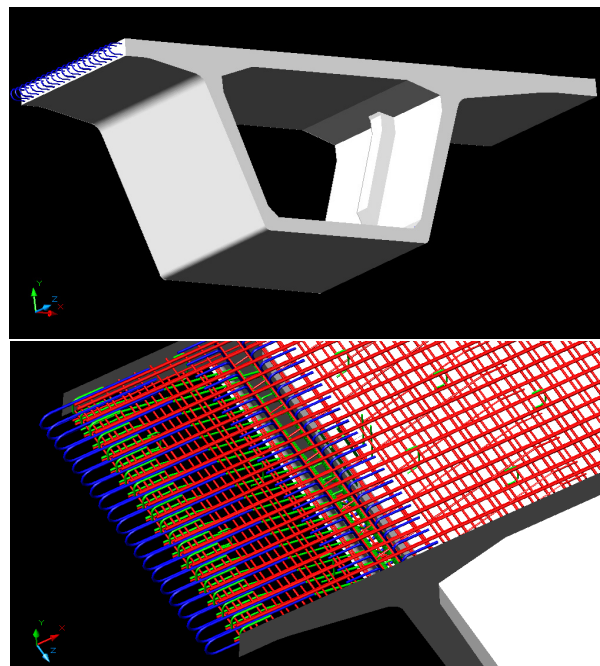


図-3 プレキャストセグメントの3次元モデル

3. 2 コンバータ PM2CAD

商用3次元CADシステムは、市場に数多く存在する。今後、プロダクトモデルが標準となれば、各CADシステムからプロダクトモデルデータへ変換するコンバータが、各ベンダーから提供されるようになる。その際、他のCADシステムで作成されたプロダクトモデルデータをCADデータに変換するコンバータが必要となる。本研究では、プロダクトモデルデータをAutoCADデータに変換するコンバータプログラムPM2CAD (Product Model to CADの略)を開発した。

PM2CADは、ユーザが選択したインスタンスファイルの中から3次元形状データを読み取り、AutoCAD上に3次元モデルを自動的に作成する機能を有している。本プログラムの開発には、AutoCADのVBA及びXMLパーサMicrosoft XML version 2.0を用いた。PM2CADにインスタンスファイル(図-2)を読み込ませることによって作成されたプレキャストセグメントの3次元モデルを、図-3に示す。

4. マルチエージェントシステム

4. 1 エージェント技術

エージェントは、情報工学分野において1990年代初期から研究されているが、必ずしも明確な定義があるわけではない。しかし、近年は、人間が細かく指示しなくても自律的、自発的に動作し、外部環境に適応しながら反応し、システム全体を知ることなく局所的な情報のみで動作する等の特徴を備えた知的なオブジェクトとして考えられている。また、エージェントに関連する技術をエージェント技術と呼んでいる⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。

エージェントには人間の代理として振る舞うために重要な機能として、ある種の知性を与える。知性の持たせ方としては、単一のエージェントの中に知的機能を埋め込むものから、複数のエージェントの相互作用によって、集団的振る舞いのレベルで知的振る舞いを見せるものである。前者は一般に知的エージェントと呼ばれ、後者

はマルチエージェントシステムと呼ばれる¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。

設計のような複雑かつ高度な作業を支援する場合、単一のエージェントに複数の機能を持たせるよりも、機能毎に複数のエージェントが協調し、ユーザを支援する方が、ソフトウェアの開発、管理、拡張の観点から有利であると考えられる。そのため、本研究ではマルチエージェントシステムを開発することとした。

4. 2 鋼材のかぶり照査エージェント及び鋼材のあき照査エージェント

PC や RC 構造物の設計では、鉄筋の定着や鋼材のかぶり、鋼材のあき等の構造細目に関する照査を行う必要がある。構造細目は、特に施工時におけるコンクリートの打設や、供用期間中における構造物の健全性と関係が深い。2次元 CAD 図面では、その詳細な照査は困難であり、現場でトラブルが発生したり、ミスの修正などに手間取ったりすることが多い。従って、3次元 CAD 環境の中で、鋼材のかぶりや、鋼材のあき等のチェックを行えるようにすることが重要であると考えられる。

そこで本研究では、構造細目の中でも特に鋼材のかぶりと鋼材のあきに着目し、設計時にユーザが特に意識しなくても背後で自律的に動作し、プロダクトモデルのデータから各々の規定に関する照査を自動的に行う2つのエージェント、鋼材のかぶり照査エージェント及び、鋼材のあき照査エージェントを開発した(図-1)。尚、各エージェントの開発には、オブジェクト指向言語である Java を使用した。

(1) 鋼材のかぶり照査エージェント

鋼材のかぶり照査エージェント (Rebar Cover Checking Agent) は、プロダクトモデルデータからコンクリートの表面及び鋼材の位置に関するデータを読み、各々の鋼材に関するかぶり値を計算し、基準値に満たないものが設計された場合には、設計者に対して修正を促すメッセージを表示するものである。尚、エージェントからユーザへのメッセージは、Java Applet を用いて開発したポップアップウィンドウによって伝達される。設計基準として、道路橋示方書(Ⅲコンクリート橋編)¹⁴⁾に規定されるかぶり値を用いた。

(2) 鋼材のあき照査エージェント

鋼材のあき照査エージェント (Rebar Space Checking Agent) は、プロダクトモデルデータ内部に含まれる鉄筋及び PC 鋼材、シース間におけるあき、すなわち、各々の部材間の空間的な距離を自動的に計算し照査を実行する。鋼材のかぶり照査エージェントと同様に、基準に満たないあきが存在する場合には、設計者に対して修正を促すメッセージを表示するものである。設計基準として道路橋示方書を用いた。

(3) 適用例

次に、適用例を示す。まず、設計者は3次元 CAD システム及びコンバータ CAD2PM を用いて設計を行う。本適用例では、湾曲部を持つプレキャストセグメントの

設計を行った(図-3)。コンバータ CAD2PM によってインスタンスファイルが生成された直後、鋼材のかぶり照査エージェント及び鋼材のあき照査エージェントは、各々が対象とするデータをインスタンスファイル内部から読取り、照査を実行する。本例では、鋼材のあきに関する照査において、エージェントからエラーメッセージは報告されなかったが、かぶり値に関して、設計基準を満足しない鋼材が数本設計されたため、鋼材のかぶり照査エージェントは図-4に示すメッセージを画面上に表示する。ユーザはメッセージを確認し、図-4内部に示される「詳細」ボタンをクリックすることにより、鋼材のかぶり照査エージェントが行った照査結果の一覧(図-5)を確認することが可能である。図-5より、本例では基準値に違反した鉄筋が4本存在することがわかる。このエラー情報は、鋼材のかぶり照査エージェントによって、対応する鉄筋の新しいプロパティとしてインスタンスファイル内部に追記される。次に、違反した箇所を修正するために、再度3次元 CAD システムにおいてモデルを修正する必要がある。そこで、PM2CAD を用いて再表示したものを図-6に示す。違反した鉄筋は他の鉄筋と表示色が区別されるので、修正箇所を特定しやすく修正も容易であると考えられる。

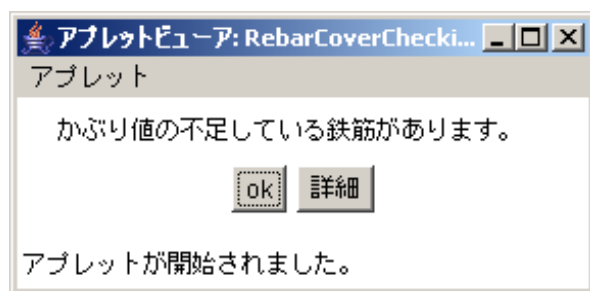
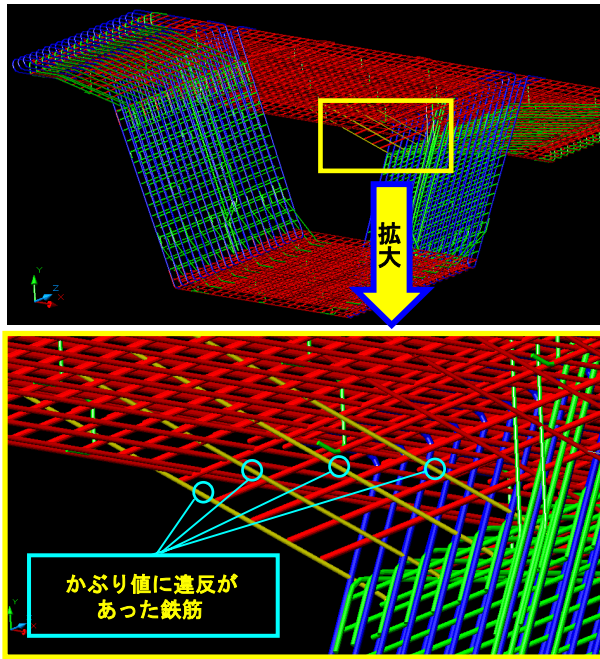


図-4 かぶり照査エージェントからのメッセージ

鉄筋型	ID	最小かぶり値	規定(1) 最小かぶり値が30mm以上	規定(2) 鉄筋の直径以上	判定
B-17	4001	32.4mm	OK	OK	合格
B-17	4002	32.2mm	OK	OK	合格
B-17	4003	32.1mm	OK	OK	合格
B-17	4004	31.9mm	OK	OK	合格
B-17	4005	31.6mm	OK	OK	合格
B-17	4006	31.2mm	OK	OK	合格
B-17	4007	31.1mm	OK	OK	合格
B-17	4008	30.8mm	OK	OK	合格
B-17	4009	30.5mm	OK	OK	合格
B-17	4010	30.3mm	OK	OK	合格
B-17	4011	30.3mm	OK	OK	合格
B-17	4012	30.1mm	OK	OK	合格
B-17	4013	29.7mm	NG	OK	不合格
B-17	4014	29.3mm	NG	OK	不合格
B-17	4015	29.0mm	NG	OK	不合格
B-17	4016	28.9mm	NG	OK	不合格
B-17	4017	32.2mm	OK	OK	合格
B-17	4018	32.3mm	OK	OK	合格
B-17	4019	32.2mm	OK	OK	合格

図-5 かぶり照査の結果表示(かぶり値に違反のあった鉄筋が赤く表示されている)



図－6 かぶり値に違反した鉄筋の表示

5. まとめ

本研究では、施工段階を考慮した包括的な設計を支援するために、マルチエージェントを開発した。次に、プロダクトモデル及びコンバータプログラムを用いて、3次元 CAD システムとマルチエージェントを統合化した PC 橋梁の構造細目照査支援システムを開発した。さらに、本システムを設計事例に適用したところ、正常に動作し、ユーザを支援することが確認された。今後はプロダクトモデルのさらなる有効利用について研究を続けていきたい。

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-japan.jp/DATA/Documents/End_User_Guide/iai_ifc_guide.pdf, 1995.
- 3) IFC-BRIDGE:<http://www.iai-france.org/bridge/BRIDGE->

Model/Model-V1/IFC-BRIDGE-V1-Model_fichiers/frame.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, 35-44, 2002.
- 5) 矢吹信喜, 志谷倫章: プロダクトモデルを用いた設計段階における施工性検討手法, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.273-280, 2003.
- 6) 矢吹信喜, 志谷倫章, 今村晃久, 近藤琢也: PC 橋梁用プロダクトモデルのコンバータプログラムと簡便な現場寸法チェックシステム, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.235-242, 2004.
- 7) AutoCAD 2002 ユーザガイド, オートデスク株式会社, 2001.
- 8) 矢吹信喜, 古川将也, 飛田昌良, 松岡健一: 知的エージェントを用いた構造工学 CAI システムの構築に関する研究, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.101-110, 2000.
- 9) Nobuyoshi Yabuki: Development and Usage of an Intelligent Agent-Based E-Learning System for Steel Structural Engineering Education, Proceedings of the Ninth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Bali, Indonesia, pp. , 2003.
- 10) 前田隆, 青木文夫: 新しい人工知能, オーム社, 2000.
- 11) 矢吹信喜, 小谷隼: Web サービス化したマルチエージェントによる鋼骨組構造設計の支援について, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.281-288, 2003.
- 12) 矢吹信喜, 小谷隼, 小室雅人: マルチエージェントとプロダクトモデルを用いた 3 次元 CAD 環境, 土木情報システム論文集, 土木学会, Vol.11, pp.1-8, 2002.
- 13) Nobuyoshi Yabuki, Jun Kotani: A Steel Member Design System Using Distributed Multi-Agent and SOAP, Proceedings of the Seventh International Conference on the Application of Artificial Intelligence to Civil and Structural Engineering, Egmond aan Zee, the Netherlands, Paper No. 5, pp.1-11, CD-ROM, 2003.
- 14) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (I 共通編, III コンクリート橋編), 2002.