

# I-29 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

## A Converter Program for the Product Model of Prestressed Concrete Bridges and a Simple On-Site Size Checking System

矢吹信喜<sup>1</sup>・志谷倫章<sup>2</sup>・今村晃久<sup>3</sup>・近藤琢也<sup>4</sup>

Nobuyoshi Yabuki, Tomoaki Shitani, Akihisa Imamura, and Takuya Kondou

**抄録：**本研究では、以前から開発を進めてきた PC 橋梁を対象としたプロダクトモデルを実務に適用させていくために、3次元 CAD システムと本プロダクトモデルとの間でデータの相互運用が計れるよう、より使い易く汎用的なコンバータプログラムを開発した。本プログラムにより、迅速かつ容易にプロダクトモデルデータや CAD データを交換・作成できるようになった。さらに、プロダクトモデルを施工現場での利用に拡充すべく、現場においてデジタルカメラで撮影した写真とプロダクトモデルの透視図を重ね合わせることで、構造物の寸法をチェックする簡便なシステムを開発した。これらのシステムを実際の PC 構造物に適用し、検証を実施した。

**Abstract:** In this research, in order to apply the product model that we had been developing for prestressed concrete bridges to engineering practices, we developed a more user-friendly and general-purpose converter program to enable the interoperability between the product model and a 3D CAD system. By using this converter program, the users can transfer and develop product models and CAD data rapidly and easily. Furthermore, in order to expand the utilization of the product model to construction sites, we developed a simple size checking system, which compares a photograph taken with a digital camera at a site and a perspective view image produced from the product model data of the structure. These systems were applied to real PC structures and were verified.

**キーワード：**プロダクトモデル, IFC, 3次元 CAD, デジタル画像, 寸法チェック, デジタルカメラ  
**Keywords :** product model, IFC, 3D-CAD, digital image, size checking, digital camera

### 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つつある。国際標準として STEP (STandard for the Exchange of Product model data : ISO-10303)<sup>1)</sup>があり、建設分野の業界標準としては IAI (International Alliance for Interoperability) の IFC (Industry Foundation Classes)<sup>2)</sup>が実用化されつつある。橋梁では、IAI フランス支部が IFC-BRIDGE<sup>3)</sup>の開発を始めている。我々はこれまでに PC 橋梁を対象として IFC をベースにプロダクトモデルを開発し、ifcXML を用いて実装した<sup>4)</sup>。さらに、開発したプロダクトモデルにより、設計照査システム、鉄筋のかぶりのチェックシステム等との統合化を実現し、本プロダクトモデルの検証を行ってきた<sup>5)</sup>。その結果、提案するプロダクトモデルの有用性が実証された。

しかしながら、今後、さらにこのモデルを実用化さ

せていくためには、プロダクトモデルと市販の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、使い易いコンバータプログラムを開発する必要があると考えられる。さらに、設計のみならず、土木構造物のライフサイクルの中で他の業務、特に施工に係るシステムとのデータ相互運用による統合化を図って、プロダクトモデルの有用性をさらに実証していくことが重要だと考えられる。

そこで本研究では、開発した PC 橋梁のプロダクトモデルと3次元 CAD システムとの間において、汎用性が高く様々な PC 橋梁の設計を支援するコンバータプログラムを開発することとした。さらに、本プロダクトモデルの施工への適用例として、製作された PC 橋梁のコンポーネントを対象に、現場においてデジタル写真を撮影し、そのカメラの位置と撮影方向が同じパースペクティブ (透視図) を3次元 CAD システムのモデルから作成し、写真と半透明の透視図を、コンピュータディスプレイ上において交互に重ね合わせることで、簡便な寸法チェックシステムを開発する

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 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 修 (工) 室蘭工業大学大学院工学研究科建設工学専攻  
3 : 正会員 博 (工) 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会  
4 : 正会員 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会

こととした。

## 2. プロダクトモデル

本論では、これまでに開発してきた 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<sup>4)5)</sup>を参照されたい。

この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(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、鉄筋、PC鋼材、PC鋼材定着装置、シース、ポイド等の 1 つ 1 つの部材を 3次元で表現しているため、設計段階において、2次元 CAD 図面では困難であったかぶり計算や、部材の干渉を自動的にチェックすることが可能であり、施工性の検討が可能となったと考えられる。
- コンクリート、鉄筋、PC鋼材、PC鋼材定着装置、シース、ポイド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. コンバータプログラム

本研究では、図-1 に示すようにプロダクトモデルと市販の 3次元 CAD システムとの間で、データの相互運用が図れるよう、コンバータプログラム CAD2PM (CAD to Product Model の略) 及び PM2CAD (Product Model to CAD の略) を開発した。

### (1) コンバータ CAD2PM

#### a) 開発コンセプト

コンバータプログラム CAD2PM 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ーフェースがあれば、容易にコンバータを作ることができるは

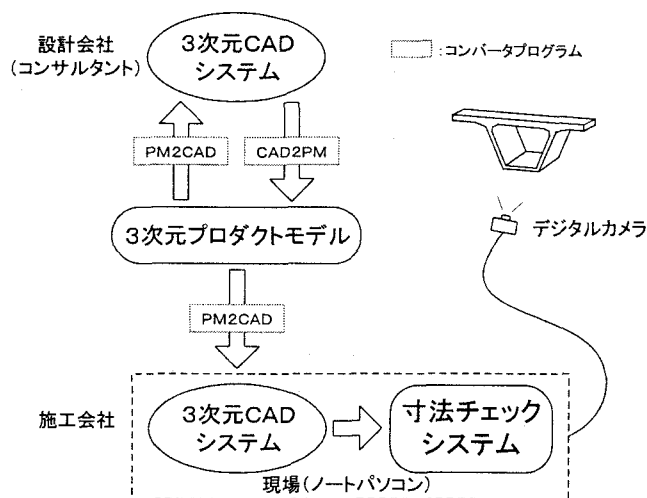


図-1 システムモデル

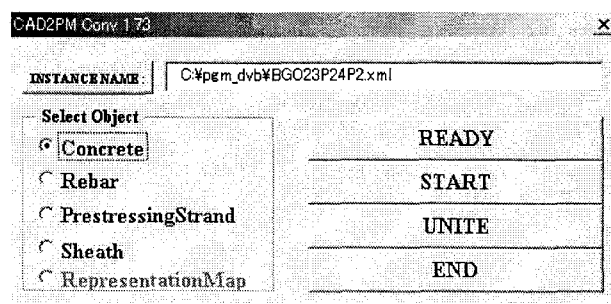


図-2 CAD2PM のメインフォーム

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 2002<sup>6)</sup>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。

CAD2PM のメインフォームを図-2 に示す。PC 橋梁等を対象とした詳細設計において、本プログラムは、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ものである。また、3次元のモデリング機能に加えて、CAD2PM は、プロダクトモデルデータ、すなわちインスタンス(ifcXML 形式)を同時に生成する機能を有している。次に、インスタンス内部の構造に関して述べる。

PC 橋梁等を対象とした設計では、コンクリート内に同一形状の鉄筋等が等間隔で配置されることが多く、個々の鉄筋がそれぞれ形状に関するデータを持ったの

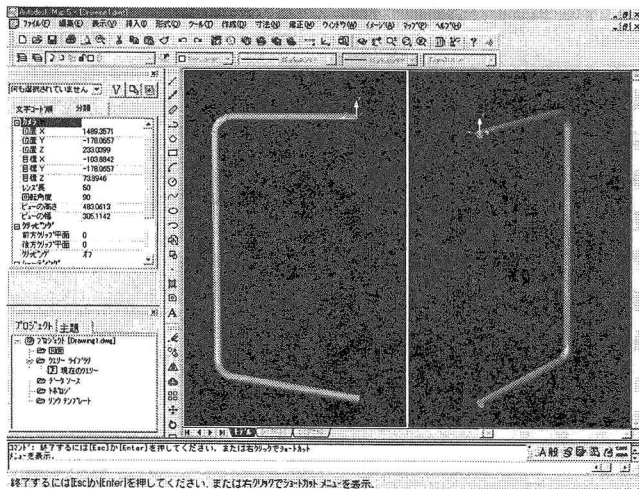


図-3 鉄筋の形状(3D-CAD 図)

では、インスタンスファイルが膨大なものとなり、処理側のシステムにとっても大きな負担となることが予想される。そこで本研究では、鉄筋や PC 鋼材及びシーの形状が同一の場合、一つのデータを実装し、他の部材はこれを参照する方法 (IfcRepresentationMap<sup>7)</sup>) を採用した。

**b) 鉄筋**

次に、図-3 に示すような鉄筋を例として、具体的なインスタンスの作成法について述べる。まず、ユーザは図-2 に示されるフォームにおいて、ラジオボタン「RepresentationMap」にチェックをつけ、「READY」及び「START」ボタンを順番にクリックする。次に、図-4 に示されるフォームが表示され、名前、ID 番号、色等のデータを入力する。さらに、鉄筋径、鉄筋のセグメント数、セグメントの開始及び終了点の座標、円弧部の半径等のデータを入力するフォームが表示されるので、各種データの入力を行う。ここで、鉄筋のセグメント数とは、図-5 に示すように鉄筋一本を構成する線分や円弧の総数であり、本例ではセグメント数は5となる。今回、セグメント数が複数であることから、本プログラムでは、鉄筋の形状データの実装に、IFC2x (IFC のバージョン 2x) 内のクラス IfcSectionedSpine<sup>8)</sup> を使用してインスタンスファイルを作成する。IfcSectionedSpine とは、線分と円弧によって構成されるポリラインに沿って円 (断面) を押し出すことにより、ソリッドを形成するものである (図-6)。

形状データの実装が終了した後、次に、位置に関するデータの実装を行う。ユーザは、図-2 において、Rebar (鉄筋) のラジオボタンを選択する。次に、図-7 に示されるフォームが表示され、上記で作成した IfcRepresentationMap のインスタンスファイル名、配置

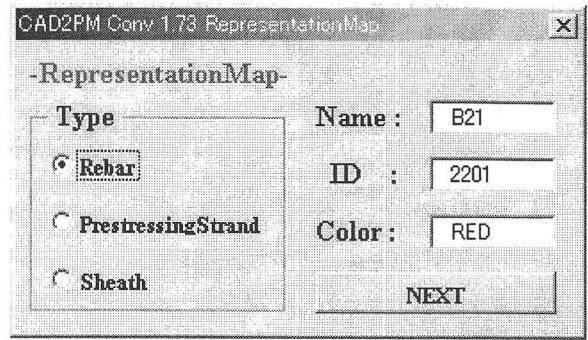


図-4 RepresentationMap 作成用フォーム

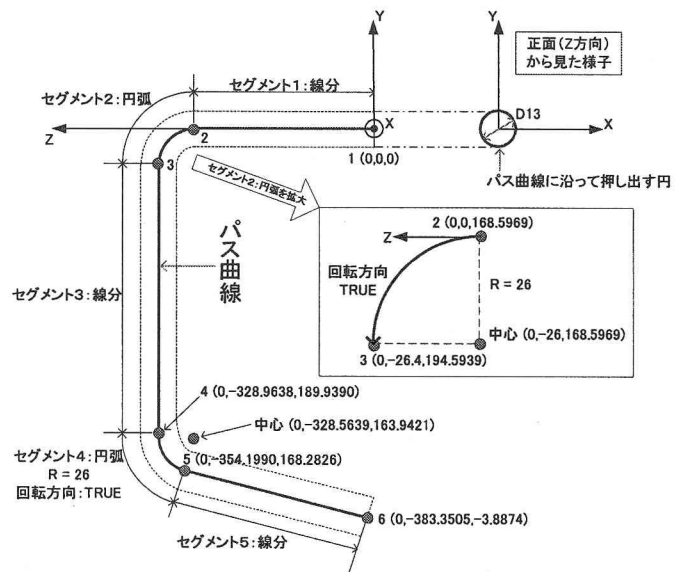


図-5 鉄筋を構成するセグメント群

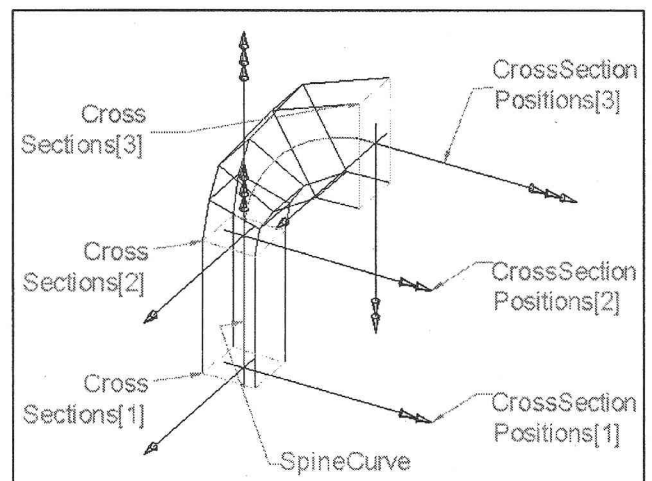


図-6 IfcSectionedSpine<sup>8)</sup>による湾曲部

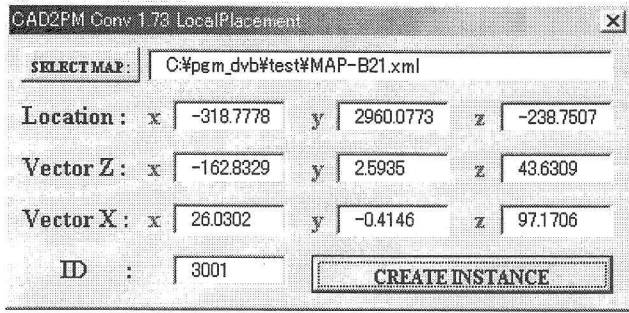


図-7 配置に関するデータ入力フォーム

する鉄筋の座標，方向等を入力し，フォーム下部にあるボタンをクリックすると，鉄筋（一本）のインスタンスが完成する．さらに，同型の鉄筋を等間隔に複写する場合には，複写用の入力フォームが表示され，複写する数，複写する方向，間隔を入力することにより複写が行われる．これら一連の作業により，CAD画面上には，複写された鉄筋が3次元で表示され，同時に，複写に対応する鉄筋のインスタンスも自動的に生成される（図-8）．PC鋼材，シースのインスタンス作成も全く同様の方法で行う．

c) コンクリート

床版等のコンクリートで構成されるオブジェクトのインスタンス作成に関しては，各種サーフェスを表すクラスを用いて行う．図-9に示すように，複数の点を結ぶことにより構成される平面は，IfcPolyLoopクラスのインスタンスとしてデータを実装し，湾曲部を有する平面は IfcCurveBoundedPlane，さらに，図-9に示すような曲面に関しては，IfcSurfaceOfLinerExtrusionを用いてインスタンスを作成することとした<sup>9)</sup>．IfcCurveBoundedPlane とは，直線と曲線によって閉合された境界線を持つ平面を表すクラスであり，IfcSurfaceOfLinerExtrusion とは，曲線のある方向に押し出しして作られた曲面を表すクラスである．

d) 適用例

CAD2PM を使用して作成したプレキャストセグメントの CAD モデルを図-10に，プロダクトモデルのインスタンスファイルを図-11に示す．本研究では，プロダクトモデルの内部構造を全く知らないCADオペレータが，本コンバータプログラムを使用して図-10に示すプレキャストセグメントのプロダクトモデルのインスタンスファイルを作成したところ，約3日程かかった．もし，コンバータプログラムがなければ，XMLのテキストファイルを手で打ち込まなければならないため，インスタンスファイルを作成する際に相当な日数がかかると考えられる．尚，作成されたインスタンスファイルの容量は1716kBとなった．



図-8 複写が完了した様子

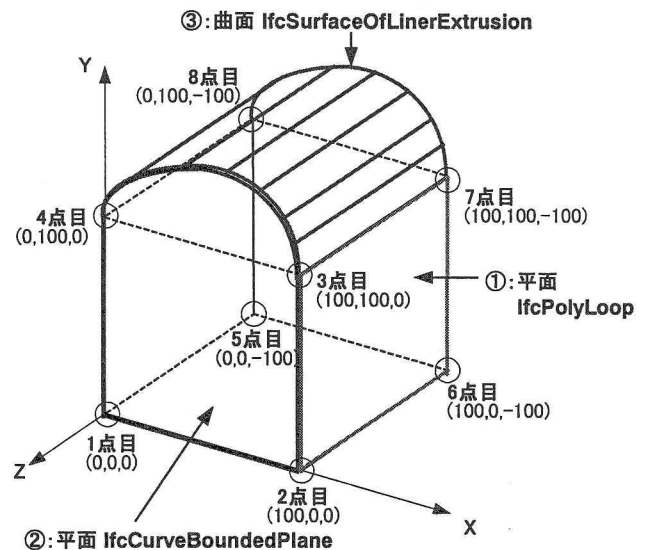


図-9 コンクリートオブジェクト

(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だろう．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

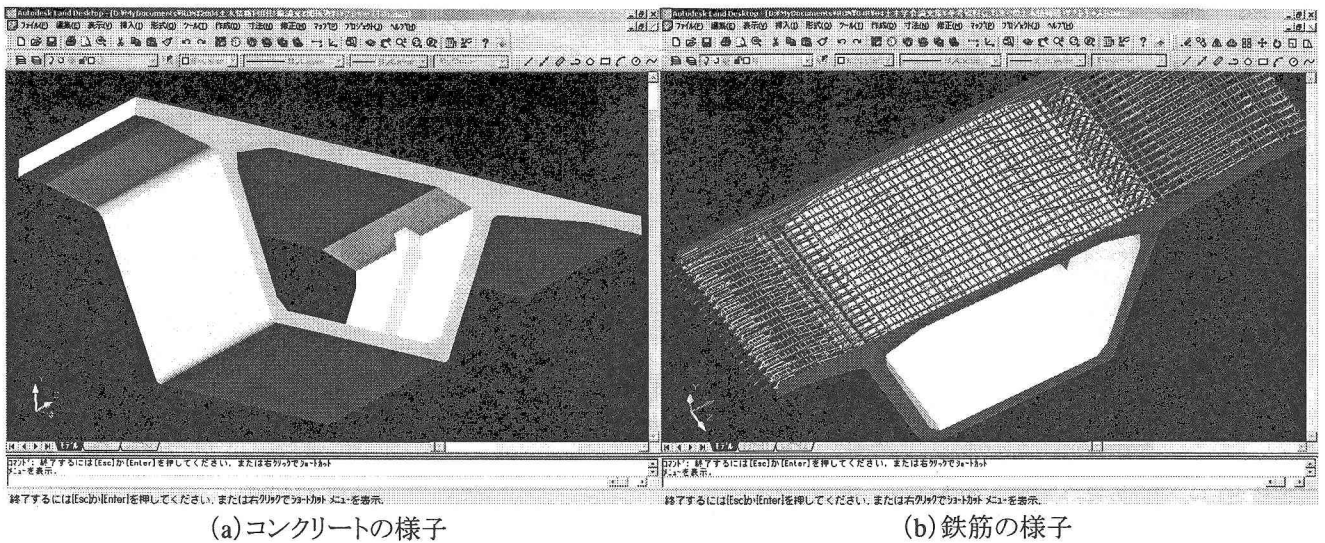


図-10 プレキャストセグメントのCADモデル

AutoCAD データに変換するコンバータプログラム PM2CAD を開発した。

PM2CAD は、図-12に示すフォーム上で、ユーザが ifcXML インスタンスファイルの名前（この例では BGO23P24.xml）を入力すると、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。図-11に示したプロダクトモデルのインスタンスファイルを PM2CAD に入力すると、図-10に示されるような CAD モデルが作成されることを確認した。さらに、PC 中空床版や T 桁（コンポーネント桁）等の構造物においても同様に確認した。

#### 4. 簡便な寸法チェックシステム

##### (1) システム開発

通常、現場における構造物の寸法・検査は、巻尺によって行われる。巻尺では、全ての部材や鉄筋等のチェックを短時間で行うことは困難なため、検査員がチェックが必要だと判断した箇所が中心として行われ、残りは目視によるチェックが行われる。しかし、こうした従来の方法では、経験が乏しい検査員では寸法ミスを見逃してしまう可能性がある。その他の方法として、レーザープロファイルスキャナー等の使用も考えられるが、まだ価格が高く、処理に時間がかかることから、通常の現場での利用は今後となろう。本研究では、現場において、PC 及び RC 製の構造物の寸法を安価で、容易かつ迅速にチェックすることを可能とするために、簡便な寸法チェックシステムを開発した（図-1）。但し、本システムはデジタルカメラのレンズ

```
<?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,xe1</globalId>
  <ownerHistory>
    <OwnerHistory href="_7001" />
  </ownerHistory>
  <name>BGO23P24P</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>
                        </Face>
                      </cfsFaces>
                    </ClosedShell>
                  </outer>
                </FacetedBrep>
              </items>
            </contextOfItems>
          </ShapeRepresentation>
        </representations>
      </ProductDefinitionShape>
    </representation>
  </objectPlacement>
- </ConcreteStructureElement>
- </IFCXML_2X_FINAL>
```

図-11 プレキャストセグメントのインスタンスの一部

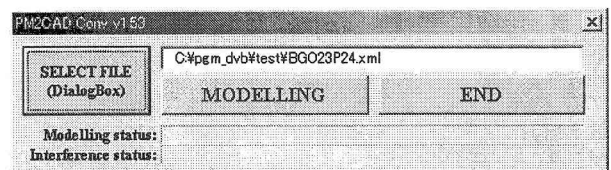


図-12 PM2CAD の入力フォーム

の曲率に起因する歪の影響等により、1, 2cm 以下のオーダーの寸法ミスを発見することは現段階では困難である。そこで、本システムでは、1, 2cm の寸法ミスをチェックすることではなく、10cm オーダーのミスを発見することを主目的とした。その主な理由は、こうした 10cm オーダーの寸法ミスは、人間の錯誤に起因し、施工現場において時々見受けられ、人間のチェックの盲点となっている。さらに、こうしたミスが工程や工事全体に及ぼす影響も大きく、致命的な欠陥となる可能性があることが挙げられる。

本研究で開発したシステムの寸法チェックの原理に関して述べる。本システムは、構造物をデジタルカメラで撮影した画像と、現場に持ち込まれたノートパソコン上の 3次元モデルを重ね合わせたり、2枚の画像を交互に切り替えることにより、形状を比較し、寸法ミス等が発見するというものである。ただし、本システムは寸法ミス(ずれ)の大きさを求める機能はなく、ずれが生じている箇所を特定するものであり、ずれの大きさは点検員が計測するものである。本システムの開発には、AutoCAD の VBA 及び JavaScript を使用した。図-13に、本システムのユーザインタフェースを示す。

本研究では、デジタル画像の撮影に Canon 製デジタルカメラ PowerShot G2 (撮像素子約 400 万画素)を使用した。撮影に使用するデジタルカメラに関して特に指定はないが、画素数が大きなものほど撮影した構造物の輪郭が明瞭であり、画像の重ね合わせによる寸法ミスの箇所を特定しやすいものとなる。図-1に示すように、本研究では、現場においてデジタルカメラを利用して撮影を行い、ノートパソコンに接続するものとした。表示されたデジタル画像と、3次元 CAD システム上のモデルを重ね合わせるためには、3次元 CAD 空間内におけるカメラの位置等を設定し、平行投影図表示から透視図表示に変更する必要がある。カメラの位置等に関して、必要となるデータは、構造物の代表的な 2点からカメラまでの平面的な距離、その平面からカメラまでの高さ、及びカメラの画像の中心位置等である。本システムは、図-13に示す「視点調整」ボタンを押すことにより、カメラの位置等に関する詳細な設定方法を、ディスプレイ上に表示するようにした。カメラ位置の設定終了後、「重ね合わせ」ボタンを押す、デジタル画像を半透明にして 3次元 CAD モデル上に重ね合わせ、CAD の 3次元オービット (回転) やズーム機能を用いて微調整を行い、被写体の構造物の大きさを一致させる。こうして重ね合わせた画像から寸法をチェックすることも可能であるが、本研究ではさらに、2枚の画像を交互に切り替えてディスプレイ上に表示することにより、寸法にずれがある場合、視覚に対してずれを動的に強調することによって



図-13 寸法チェックシステムのユーザインタフェース

寸法をチェックするスライドショー機能も本システムに搭載した。

## (2) 適用例

本節では、プレキャストセグメントの設計を対象にして適用例を示す。まずはじめに、設計者は 3次元 CAD システム及び本研究で開発したコンバータプログラム CAD2PM を使用し、プレキャストセグメントのモデリングを行う (図-10)。モデリングが完了すると同時に、設計データを実装したインスタンスファイルを自動生成されるので、このファイルを現場に携帯するノート型パソコンに転送し、現場に持ち込む。次に、現場において、ノートパソコン内の 3次元 CAD システム及びコンバータプログラム PM2CAD を立ち上げ、インスタンスファイルからプレキャストセグメントの 3次元モデル表示させ、デジタル画像の撮影を開始する。画像をコンピュータ内に保存した後、寸法チェックシステムを起動し、ディスプレイ上に表示する。ここで、カメラの位置や向き、画像の中心の位置等のデータを入力し、向きを一致させる。ここまでの作業が完了したディスプレイの様子を、図-14に示す。さらに、デジタル画像を半透明にして 3次元 CAD モデルに重ねた状態を図-15に示す。図-15より、画面右側のプレキャストセグメントの張出し部 (ブラケット) の寸法に、ずれがあるのが確認できる。但し、これは事例として意図的に寸法を変えたプロダ

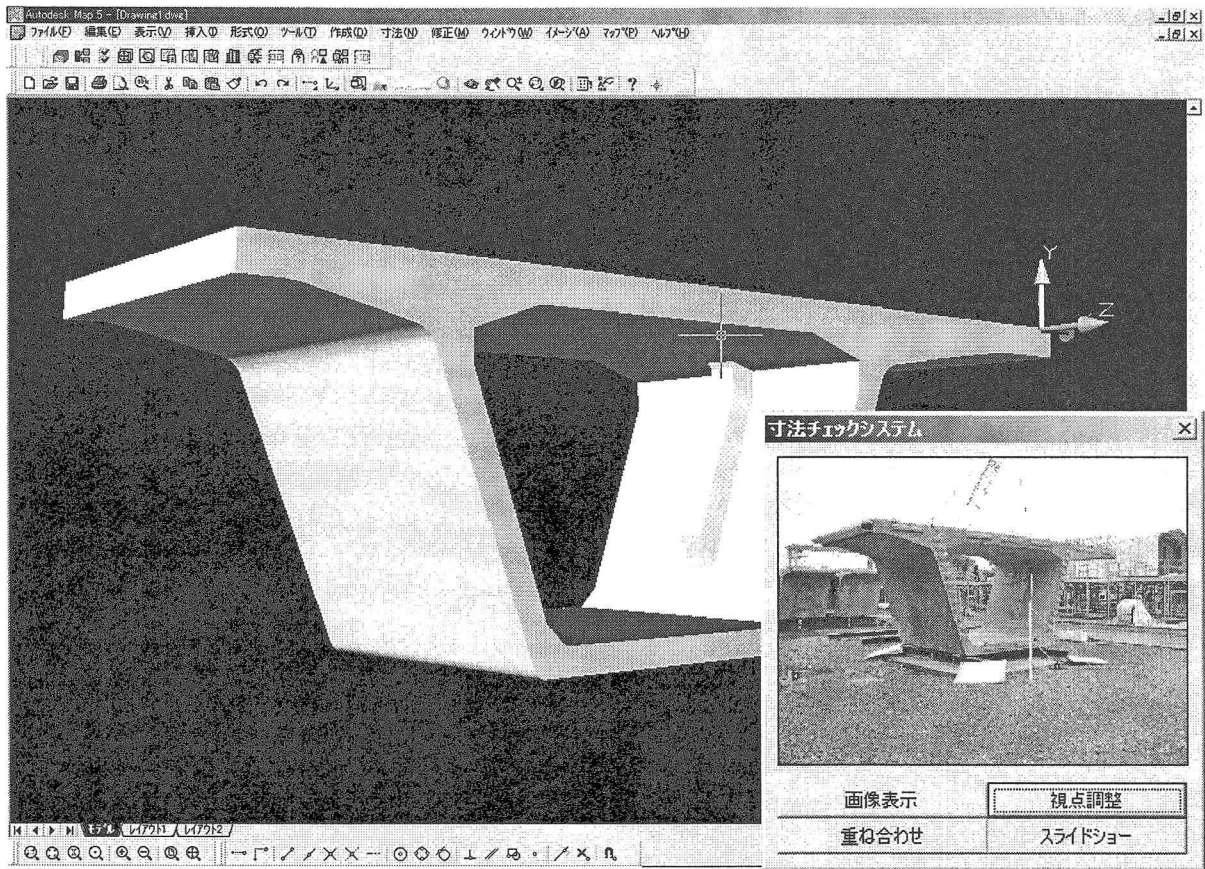


図-14 カメラの位置, 方向, 焦点の位置がほぼ一致した状態

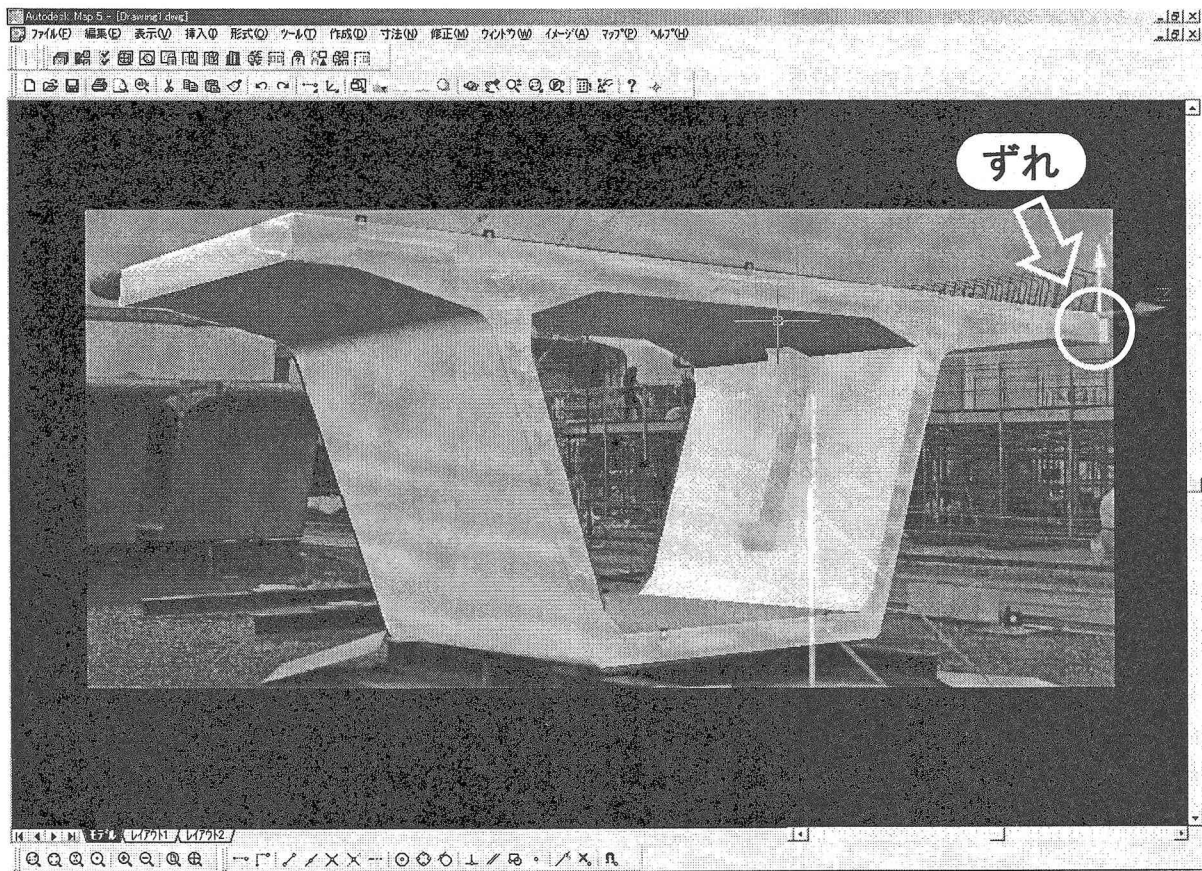


図-15 デジタル画像と3次元 CAD モデルを重ね合わせた状態

クトモデルデータに基づいており、写真のセグメントは実際の寸法ミスは無かったことを付記する。

## 5. まとめ

本研究では、PC 橋梁のプロダクトモデルと3次元CADシステムとの間において、使いやすく、汎用性のあるコンバータプログラムを開発し、実際の橋梁に適用した。さらに、3次元プロダクトモデルのCADシステム上の透視図画像と、現場のデジタル写真の画像を比較する簡便な寸法チェックシステムを開発した。これにより、現場においてPC及びRC構造物の簡便な寸法チェックが可能となり、品質向上に資するものと考えられる。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継続していきたい。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたり、社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協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) ISO 10303-1: Industrial Automation Systems and Integration-Product Data Representation and Exchange, Part 1: Overview and Fundamental Principles, 1994.
- 2) IFC:CAD データの[次世代]世界標準 IAI/IFC ガイドブック, IAI 日本支部編, [http://www.iai-japan.jp/DATA/Documents/End\\_User\\_Guide/iai\\_ifc\\_guide.pdf](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](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, 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) AutoCAD 2002 ユーザガイド, オートデスク株式会社, 2001.
- 7) IfcRpresentationMap:[http://cic.vtt.fi/niai/technical/ifc\\_2x/IFCGEOMETRYRESOURCE/lexical/IfcRepresentationMap.html](http://cic.vtt.fi/niai/technical/ifc_2x/IFCGEOMETRYRESOURCE/lexical/IfcRepresentationMap.html)
- 8) IfcSectionedSpine:[http://cic.vtt.fi/niai/technical/ifc\\_2x/IFCGEOMETRICMODELRESOURCE/lexical/IfcSectionedSpine.html](http://cic.vtt.fi/niai/technical/ifc_2x/IFCGEOMETRICMODELRESOURCE/lexical/IfcSectionedSpine.html)
- 9) IFC2x Model Implementation Guide version 1.0, 2001.

(2004.5.20受付)