

プロダクトモデルと拡張現実感を用いた 配筋チェック支援システムの開発

Development of a Reinforcing Bar Checking System Using a Product Model and Augmented Reality

室蘭工業大学工学部建設システム工学科
室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

正会員 矢吹信喜 (Nobuyoshi Yabuki)
○学生員 李占涛 (Zhantao Li)

1. はじめに

近年、土木構造物に関するデータの3次元化の取り組みが行われている¹⁾。現在では、設計や解析などの分野においては3次元化が浸透しつつあるが、3次元化が進んでいない分野も存在する。

現在、配筋設計や配筋チェックを行う際には、2次元の図面を用いて行われることがほとんどである。しかし、2次元の図面から、配筋の形状や寸法などを3次元的に想像するためには、長年の経験が必要である。特に、配筋チェックにおいては、技術者は巻尺を利用して、設計図に示される鉄筋の太さ、間隔、継手の長さ、かぶり、補強筋の有無などを確認する。この方法は、時間がかかり、ミスもしやすい。実際の配筋と設計図に、どの程度のずれがあるかを全ての鉄筋について確認するのは困難である。このような問題を解決するためには、3次元のデータを利用し、3次元空間を直感的に把握することのできるユーザインターフェイスを備えた配筋チェック検討支援システムが必要であると考えられる。

そこで本研究では3次元の形状データとして、以前より筆者らとフランスの SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes: 道路及び高速道路技術研究所) 及び CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment: 仏・建築研究所) が共同研究により開発した3次元橋梁プロダクトモデル「新 IFC-BRIDGE²⁾」を用い、現実世界と仮想世界を重ねることで現実世界を拡張する技術である拡張現実感 (Augmented Reality, 略称 AR) 技術を用いた配筋チェック検討支援システムの開発を行うことを目的とした。

本論では、橋梁プロダクトモデル新 IFC-BRIDGE と、AR を用いた配筋チェック検討支援システムの開発について報告する。

2. 橋梁プロダクトモデル新 IFC-BRIDGE

以前、筆者らは、IFC のバージョン 2x (IFC2x) を拡張することにより、PC 橋梁を対象としたプロダクトモデル YLPC-BRIDGE (Yabuki Laboratory Prestressed Concrete BRIDGE product model) を開発した³⁾。次に、IFC2x およびその後のバージョンである IFC2x2 を元に、鋼桁橋を対象としたプロダクトモデル YLSG-BRIDGE (Yabuki Laboratory Steel Girder BRIDGE product model) を開発した⁴⁾。これら2つのプロダクトモデルを統合したものとして J-IFC-BRIDGE (Japan IFC-BRIDGE) を開

発してきている。

J-IFC-BRIDGE 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。コンクリート、鉄筋、PC 鋼材、PC 鋼材定着装置、シース、ボイド等の部材を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。しかし、J-IFC-BRIDGE は PC 橋梁と鋼桁橋のプロダクトモデルであるから、他の橋梁形式を表現することは困難である。

同じ頃フランスでは、橋梁一般を対象としたデータモデル IFC-BRIDGE⁵⁾ が SETRA を中心として開発された。IFC-BRIDGE の最大の特徴として、橋梁基本線を表すクラス `IfcBridgeReferenceLine` を定義している。橋梁全ての部材が `IfcBridgeReferenceLine` により配置することができる。細長い部材を表現するために、`IfcBridgeSectioned-Spine` という形状クラスと `IfcBridgePrismaticElement` という部材を表すクラスを提案している。多くの場合、コンクリートの桁や床版等を表現するのには便利だと考えられる。また、橋梁全体と橋梁部材の種類や工法など様々なデータを表すデータ型も定義されている。しかし、ボイド、シース、PC 鋼材定着装置等の部材を表現するクラスは存在しなかった。

そこで我々は、IFC に基づいて、IFC-BRIDGE と J-IFC-BRIDGE とを統合化し、相方の長所を生かし、短所を補う、橋梁全般を対象とした新 IFC-BRIDGE を開発した。新 IFC-BRIDGE は、ほぼ全ての橋梁形式に対応し、数多くの各橋梁上部工部材を表現するクラスが定義されている。新 IFC-BRIDGE のモデルの一部を図-1に示す。さらに、新 IFC-BRIDGE の実装に当たっては、IFC の一つの実装言語である ifcXML⁶⁾ の最新版である Version 1.0 を利用している。

3. 拡張現実感技術

拡張現実感 (AR) 技術は、実空間において、コンピュータで生成されたバーチャル空間情報をシームレスに重畳し、現実を増強する技術である。視覚や聴覚、触覚など感覚を拡張することができるが、視覚の拡張現実感に関する研究が一般的である。典型的な視覚の AR システムには、ビデオ透過型と光学透過型の二つの種類がある。ビデオ透過型 AR システムでは、現実世界をカメラ

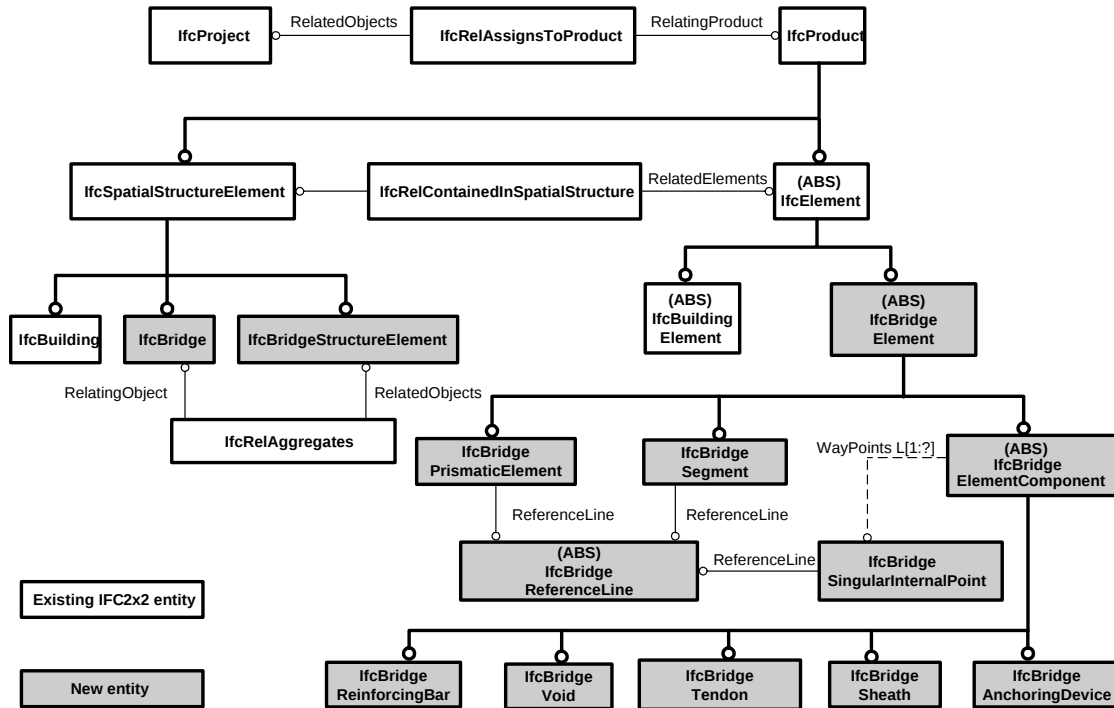


図-1 改良された新 IFC-BRIDGE(一部)

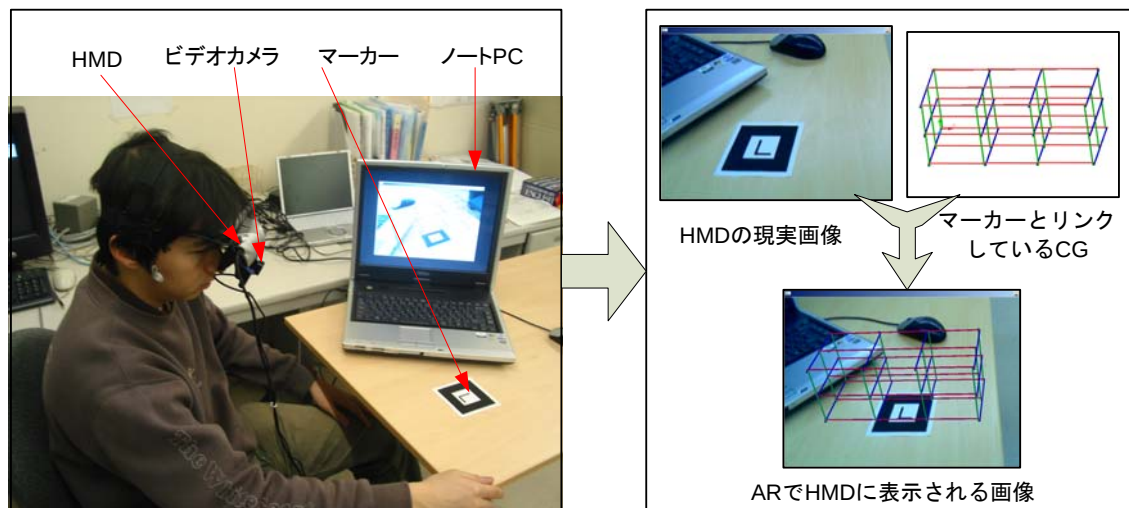


図-2 ARToolKit を用いた AR システム

で撮影し、撮影した映像に仮想のオブジェクトを非透過型ヘッドマウンテッドディスプレイ (HMD) に重ねることで、現実世界の情報を強化、拡張するものである。光学透過型 AR システムでは、光学透過式 HMD を利用する。光学透過式 HMD は、部分的に透明なので、ユーザーは直接現実世界を見える。その一方で、部分的に反射できるので、ユーザーは HMD のモニターで仮想世界のイメージも見える⁷⁾。現実とビデオ画像を重ね合わせるためには、ユーザーがいる位置と見ている方向を計測する方法と現実の中にマーカーと呼ばれる記号を写す方法がある。本研究では、ARToolKit⁸⁾に着目した。ARToolKit とは、広島市立大学の加藤博一氏とワシントン大学ヒューマンインターフェース技術研究所 (HITLab) によって開発されて (HITLab) によって開

発されている画像処理に基づいたオープンソース・ライブラリ群である。図-2に示すように、Web カメラで2次元の正方形マーカーを映すと、映像からマーカーの位置や傾きを計測し、マーカー内の固有パターンを検出して、リアルタイムで3次元 CG を合成する仕組みとなっている。

4. AR を用いた配筋チェック検討支援システムの開発

本システムは、橋梁プロダクトモデル新 IFC-BRIDGE と Web カメラ、非透過型 HMD 等のディスプレイシステムと AR 技術を利用して、実際の現場の映像に仮想世界の映像を重ね合わせた環境を構築し、配筋チェック検討支援システムの開発を行っている。

図-3では、本システムの実現方法を示す。まず、

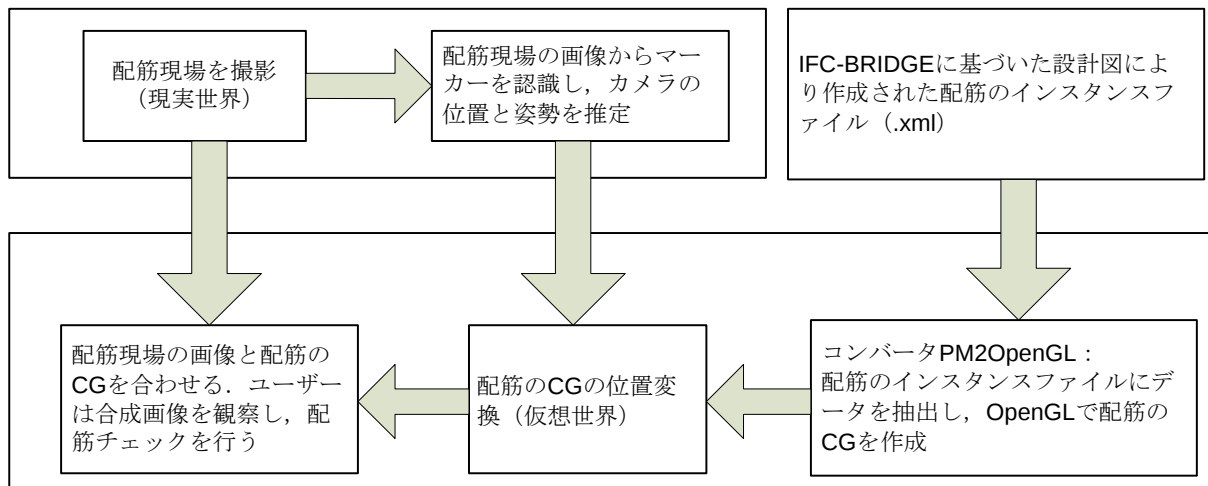


図-3 ARを用いた配筋チェック支援システムの実現

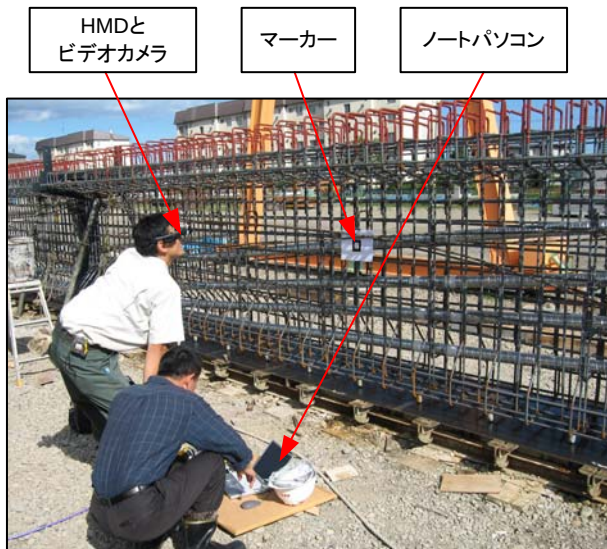


図-4 配筋チェック AR システムの現場実験

```

<IfcSweptDiskSolid>
<Directrix>
<IfcCompositeCurve>
<Segments>
<IfcCompositeCurveSegment>
<Transition>CONTINUOUS</Transition>
<SameSense>FALSE</SameSense>
<ParentCurve>
<IfcPolyLine>
<Points>
<IfcCartesianPoint>
<Coordinates ex:cType="list">
<IfcLengthMeasure pos="0">265</IfcLengthMeasure>
<IfcLengthMeasure pos="1">1687</IfcLengthMeasure>
<IfcLengthMeasure pos="2">0</IfcLengthMeasure>
</Coordinates>
</IfcCartesianPoint>
<IfcCartesianPoint>
</Points>
</IfcPolyLine>
</ParentCurve>
</IfcCompositeCurveSegment>
  
```

図-5 配筋のインスタンスファイル (一部)

配筋のプログラミングインターフェース (CG) を作成するために、コンバータ PM2OpenGL (Product Model to OpenGL) を開発した。OpenGL とは、Silicon Graphics 社が中心となって開発された、グラフィックス処理のためのプログラミングインターフェースである⁹⁾。PM2OpenGL は、プロダクトモデルのインスタンスファイル (ifcXML ファイル) から必要なデータを抽出し、OpenGL を利用して、配筋の CG を作成する。開発言語は C 言語である。次に、マーカーを実際の配筋に配置し、ARToolKit を用いて、ビデオカメラで配筋現場の画像を撮影する。その画像からマーカーを認識し、カメラの位置と姿勢を推定する。PM2OpenGL を利用して配筋のコンピューターグラフィックス (CG) を描画し、配筋現場の映像と配筋の CG を合わせて拡張現実感を実現する。ユーザーは合成した画像に実際の配筋と配筋の 3 次元 CG のずれを観察し、配筋チェックを行う。

5. AR を用いた配筋チェック検討支援システムの現場実験

実際の鉄筋での適用可能性を検討する目的で、PC 部材の製作工場において、配筋チェック AR システムの現場実験を行った (図-4)。対象とした構造物は、2 径間 10 主桁の PC 道路橋の主桁の一部である。事前に主桁の 2 次元の設計図により、新 IFC-BRIDGE プロダクトモデルを元に配筋のインスタンスファイル (ifcXML ファイル) を作成した (図-5)。配筋の CG は図-6 に示す。現場で利用されたノートパソコン、非透過型 HMD とビデオカメラの仕様を表-1 に示す。

現実世界と仮想世界の画像の位置合わせは、AR 技術の重要な課題である。現場実験では、マーカーを基準点により正確に配置するのが困難なので、マーカーを実際の鉄筋に貼り付け、HMD にマーカー周囲の仮想配筋と実際の配筋の映像を映しながら、マーカーの位置を調整した。最後に、点検員は、HMD に表示される鉄筋の映

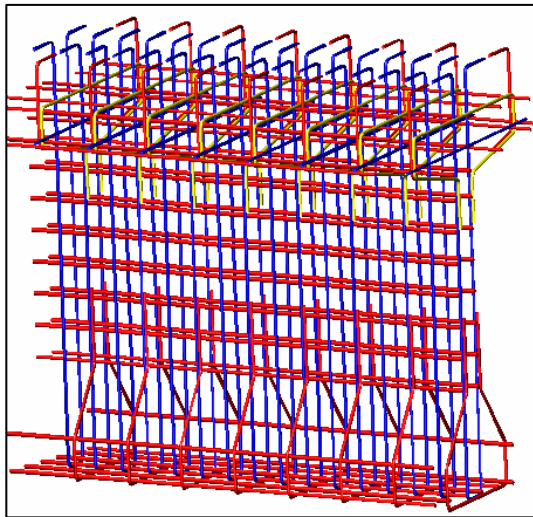


図-6 配筋の3次元CG

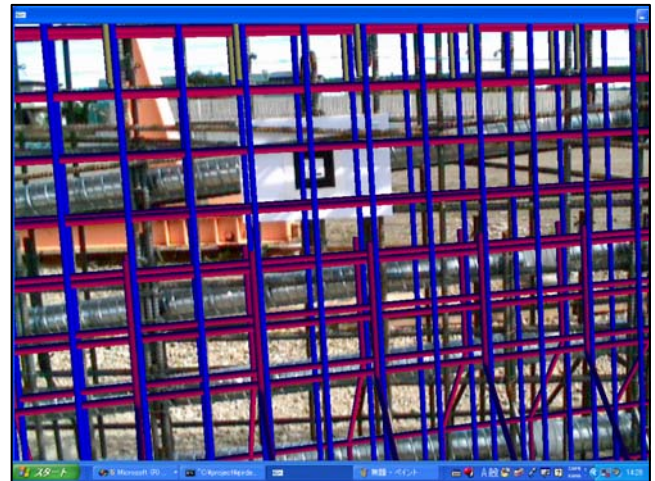


図-7 実際の配筋に重なるCG

表-1 実験装置の仕様

装置	仕様
ノートパソコン	Panasonic CF-W2 ● Intel(R) Pentium(R)M ● Processor 1.20GHz ● 598MHz, 760MB RAM
ビデオカメラ	ロジクール株式会社の Qcam Fusion QVX-13N ● 130万画素
HMD	glasses™ SVGA, i-O Display Systems, LLC (IOD) ● 解像度: 800*600

像と3次元CGモデルのずれを観測して、配筋チェックを行った。図-7に、点検員がHMDで見た画像を示す。

6. まとめ

本論では、3次元の橋梁プロダクトモデルと拡張現実感技術を基盤にして、配筋チェック支援システムを開発した。3次元の橋梁プロダクトモデルの可視化を実現し、実際の配筋と設計配筋を同時に観察することにより、経験の浅い技術者でも直観的に実施することができた。本システムを利用することにより、設計と実際のチェックを行うことが技術的に可能であることがわかったが、現場実験で二つの問題点があることが判明した。まず、カメラのレンズのひずみが存在し、マーカーの位置と向きも、わずかなずれがあることから、仮想世界と現実世界の位置を完全に合わせることに困難なため、まだ実用レベルに達していないことである。次に、現場実験で利用された桁の場合、鉄筋がかなり密に配置されているため、3次元CG画像も相当密になった。そのため、実際の鉄筋と仮想的なCG画像が重なりあって、かなり複雑な画像になった。また、データ量が増えたことから、ビデオカメラを移動した後、かなり時間が経ってからでないとHMDの画像が変わらないというレスポンスの問題も発

生した¹⁰⁾。今後、上記の問題を解決するために、研究を行なっていきたいと考えている。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、独立行政法人日本学術振興会の二国間交流事業・日仏交流促進事業<SAKURA>共同研究の支援と財団法人日本建設情報総合センターの研究助成を受けた。また、ドービー建設工学株式会社幌別工場の方々にお世話になった。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 矢吹信喜, 蒔苗耕司: プロダクトモデルと3次元/4次元CAD, 土木学会誌, Vol.90, No.5, pp.23-25, 2005.5.
- 2) 矢吹信喜, 李占涛: 日仏橋梁プロダクトモデルの統合化による新IFC-BRIDGEの開発とCADコンバータの改良, 土木情報利用技術論文集, Vol.15, pp.59-66, 2006.10.
- 3) 矢吹信喜, 志谷倫章: PC橋梁の3次元プロダクトモデルの開発と応用, 土木学会論文集, 土木学会, No.784/VI-66, 171-187, 2005.3.
- 4) 矢吹信喜, 町中啓樹: 鋼桁橋プロダクトモデルとVR-CADの開発及び立体視の有効性検討, 土木情報利用技術論文集, Vol.14, pp.87-94, 2005.10.
- 5) IFC-BRIDGE: <http://www.iai-france.org/bridge/>
- 6) ifcXML: http://www.iai-international.org/ifcXML2/RC2/IFC2X2_FINAL/ifcXML%20Implementation%20Guide%20v1-0.pdf
- 7) R.T. Azuma. A Survey of Augmented Reality. Presence, Teleoperators and Virtual Environments, 6(4):355-385, August 1997.
- 8) ARToolKit: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- 9) IT用語辞典: <http://e-words.jp/w/OpenGL.html>
- 10) 矢吹信喜: プロダクトモデルとオーグメンテッドリアリティを用いた施工検討システム報告書, 第4回研究助成事業成果報告会資料集, 財団法人日本建設情報総合センター, pp.1-28, 2006.11.