

3次元モデルを活用したネットワークカメラでの 施工計画の可視化手法に関する研究



田原 孝*



金子 達哉*

建設構造物の3次元モデルを工事施工段階で活用し、施工状況を可視化させることで、関係者間のコミュニケーションの円滑化、施工監督業務の効率化、施工の品質・安全性向上に繋げることが可能になると考え、現場の監視カメラの映像に、AR技術を用いて3次元モデル設計図を投影する仕組みを構築し、施工段階における構造物のイメージの明確化、スケールの可視化を行う手法について検討を行った。現場で試験を行った結果、VRモデルを精度良く重畳できること、構造物の位置関係やスケールが明確になること、機能的に問題なくシステムが作動することを確認し、本手法が施工計画の可視化、それによる関係者の理解の向上に有用であることを示した。

●キーワード：3次元モデル、VR、AR、施工計画、ネットワークカメラ、CIM

1. はじめに

我が国では建設業の労働生産性は、他の産業に比べ低く、生産性の向上のために、建設ライフサイクルのプロセスの改善を図っていくことが重要な課題である。

鉄道事業における建設・改良プロジェクトでは、企画・計画段階から調査・設計、工事施工、維持・管理の各業務プロセス段階に至るまで、多くの系統・部署、担当者が関係し、プロジェクトの進捗に伴う業務プロセス段階毎の情報の交換は、主に紙媒体により行われるため、部署ごとに情報が分散しやすく、必要とされる情報が十分に流通しないケースもある。そのため、図面の不整合や施工段階での手戻りを発生するなど、現状の業務の仕組みは、いくつかの問題点を抱えている。

このような問題点などを解消し、併せて業務の効率化、構造物の品質の向上を図るため、次世代の建設生産システムの構築をめざして研究を行っている²⁾。次世代の建設生産システムとは、プロジェクトの情報を一元化した上で、業務プロセス段階を跨いだ複数の関係者間での利用を可能とすることで生産性の向上を図り、また地形・構造物の3次元モデル(Virtual Reality: 仮想現実; 以下、VRモデル)による可視化を行い、これらとデータベースとの連携により、工着手前の段階から完成形の全体イメージを視覚的に持つことを可能とすることで問題点の把握を容易にし、施工性の向上へと繋げる仕組みである。これらの研究のなかで、土木構造物の設計の品質を向上させるため、設計段階において、構造物の設計を3次元モデル化する取組みを進めている³⁾。次世代の建設生産システムでは、業務プロセス段階を跨いだ情報の活用をめざしていることから、設計段階で作成した3次元モデルを設計段階のみならず、施工段階で活用する手法について検討を行うことにした。

そこで、3次元モデルの可視化特性により、工事の施工を可視化できると考え、現場の施工状況確認のために設置しているITV(Industrial Television: 監視カメラ)の映像にAR(Augmented Reality: 拡張現実)技術を用いて3次元モデル設計図を投影する仕組みを構築し、施工段階の構造物のイメージの明確化、スケールの可視化をはかる手法の研究に取り組んだ。

2. 日々の施工計画検討について

鉄道建設工事では、ひとたび事故が発生すると、お客さまの死傷や鉄道運転事故に繋がる可能性が大きいため、細心の注意を払って工事を施工している。監督者と工事施工者による日々の施工計画および、保安計画の打合せ(当社の設備部門、建設工事部門では、PKY(Planning Kiken Yochi)活動と呼んでいる)では、図1に示すような工事種類ごとに施工をイメージした図を作成し、互いにリスクを確認しながら施工方法と安全対策の検討を行っている。

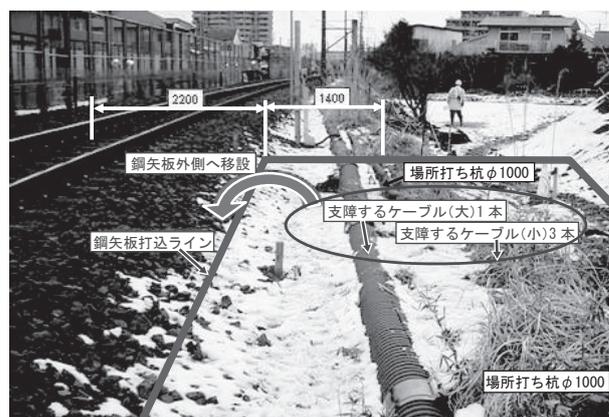


図1 施工計画打合せ図のイメージ

これらの図は設計図面や現場状況を撮影した写真の上に、施工予定の部材や仮設物、重機等を書き込むことで作成するが、大変に手間がかかり、また、図の作成者の想像力、描画力に依存しているため、分かりやすさはまちまちである。そこで、正確に施工状況を描画し、かつ、簡単に誰にでも理解しやすいものを作成する手法として、現場状況を映し出しているITVの画像上に直接3次元モデル設計図を重畳する仕組みを考案し、そのシステムの開発を試みた。

3. システムの概要

システムは、図2に示すようにネットワーク接続型のITV、構造物の3次元モデル設計図と施工手順情報を蓄積するサーバ、カメラの制御とVRモデルの処理を行うPC、モニタ、およびLANで構成している。本研究では、既存のアイテムを活用して手軽に拡張現実の体感を可能にすることをめざしているため、ITVは現場状況確認のために作業所などに常設されているものを使用し、VRモデルの処理機能をそこに組み込むことを想定した。

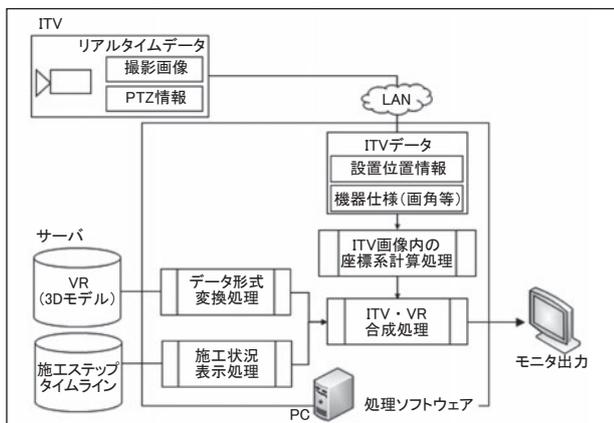


図2 システム構成図

プログラム言語には、Embarcadero Technologies社のDelphiおよび、Microsoft社のMicrosoft Visual Studio (Visual C++) を使い、ITV映像の入出力、VRモデルの入出力、座標計算、ディスプレイでの3次元表示などに外部ライブラリを使用してシステムを構築した。また、構造物の設計図面をもとにVRモデルをAutodesk社のAutodesk AutoCADで作成し、構造物を構築する手順ごとの工程を表すタイムラインデータをMicrosoft社のMicrosoft Excelで作成し、VRモデルに施工ステップに合わせた属性情報を付与した上で、Autodesk社のAutodesk Navisworks Manageを使用してデータの統合を行った。

現実空間とVR空間の位置合わせ手法としては、マーカーを用いたVision-based ARやGPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) を使用したLocation-based

ARが社会的に広まりつつある⁴⁾が、カメラの姿勢に制限があること、重畳時の合致精度が高くないこと、機材が大掛かりになることなどの欠点があり^{5) 6)}、手軽な手法とは言えない。VRにより描写した構造物を正確に配置させること、および簡単に重畳させることが可能なことを主眼に研究を行っていることから、今回は、ITVの設置地点を原点とした座標空間にVRモデルの原点を合わせることで、空間同士を合致させる方法を用いた。なお、今回の研究では、ITVの設置にあたり、測量を行い、位置出しを行った。

4. 現場での確認試験

今回作成したシステムの動作確認試験を社内試験施設であるSmart Stationにおいて実施した。主な確認項目は、ITV映像とVRモデルの重畳による見え方、ズレ具合、カメラのpan・tilt・zoom (以下、PTZ) 動作に連動してVRモデルが切り換わるかの把握である。

(1) カメラの仕様

試験では、図3に示すようにADVAS社製のカメラのHDS-1000をリモートコントロール雲台であるPT1にセットして使用した。カメラの主な仕様 (設計値) は以下のとおりである。

- ・映像素子 : 1/2.8型CMOSセンサー
- ・有効画素数 : 約200万画素
- ・画素サイズ : 2.5 μ m
- ・焦点距離 : 5.196mm (被写体距離 (WD) 5m \sim ∞)
- ・水平画角 : 49.584 $^{\circ}$
- ・垂直画角 : 37.188 $^{\circ}$



図3 試験に使用したカメラ

(2) レンズの歪み

光が球面レンズを通過する際に生じる屈折率が、入射位置により異なるため、焦点位置が不均一になり、レンズ歪み（ディストーション）が生じる。図4に示すように、レンズを通過した光が内側に歪んだ場合は、糸巻き型歪曲、外側に歪んだ場合は樽型歪曲となって現れるが、直交座標系で作成されているVRモデルと重畳した場合、歪んだ部分がズレているように見えてしまう。そこで、ディストーションの影響を調査するため、レンズの歪み率を測定した。WD=0.5m、5m、10mの各距離で測定した結果、いずれも-1%程度であり、目視では歪曲の具合が判断できないことが明らかになった。そのため、今回の検討では、歪曲によるズレの補正は考慮しないことにした。

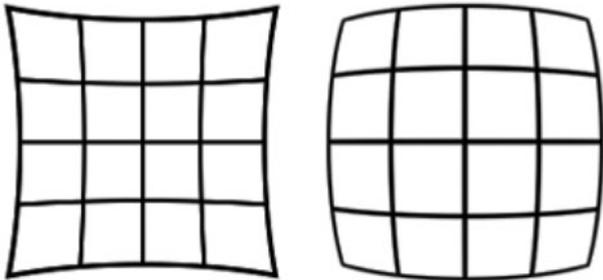


図4 糸巻き型歪曲と樽型歪曲

(3) 重畳による見え方

今回の試験では図5に示す空間の右奥手に外壁を構築し、左手にエスカレータ（以下、ESC）を設置する工事をシミュレートした。施工ステップごとのVRモデルを重畳した結果、機能的には問題なくシステムは作動していることが確認された。また、ESCの設置途中段階の状態を示した画像である図6を見ると、構造物、設備の位置関係やスケールが明確になっていることがわかる。

重畳に際して、実空間とVRモデルの座標を単純に合わせるだけでは、図7の線で囲んだ範囲に示すように、ESCピット部が浮き上がって見えたり、図8の線で囲んだ範囲に示すように、本来は奥にある壁面が手前に見えるように見え、位置関係に相違を生じるなどの不整合が発生するため、モデルの一部を非表示にするマスク処理が必要となることが明らかになった。このため、VRモデルを作成する段階では、構造物の位置関係や施工手順などある程度把握して、モデリングしておくことが重要であるとの知見を得た。

(4) 画像のズレ

PTZによる画像の歪み、およびVRモデルとのズレは、今回の試験領域および使用機材では目視で違和感を受けるほどのものは生じなかった。詳細に誤差量を検証するため、図9に示すように測量により求めた点とVR上の点のズレをシステム上のピクセル数で算出した。その結果、図10に示すようにもっとも大



図5 試験現場の状況

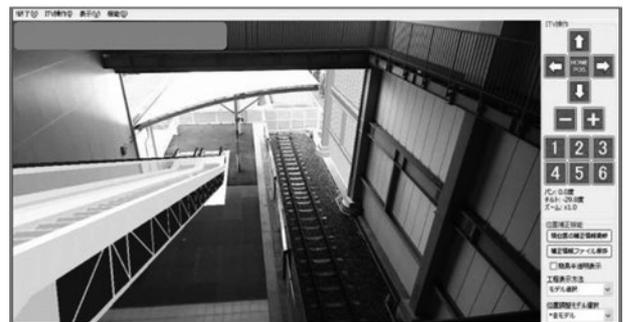


図6 システム上でVRモデルを重畳した例

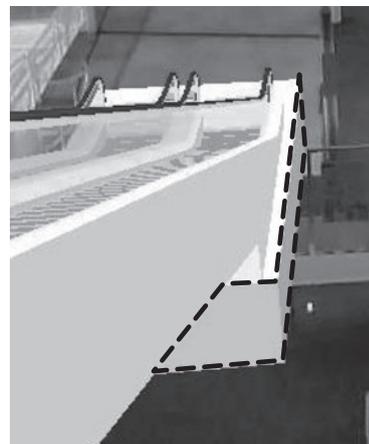


図7 浮き上がりの状況



図8 部材の重なりの状況

きなもので4ピクセルほどのズレで、図9に示すグリッド線が1m四方であることから、実寸法に換算すると、40~50mm程度となる。カメラの位置から測点までの距離が約17mあることを考慮すると、精度良く重畳されていると言っていることができる。なお、測点はカメラを右に約20度パンさせた位置で、カメラのレンズ面と正対する。図11にパン角度の位置関係を示す。

試験当初は、レンズ仕様として公表されている設計値をもとにシステムの設定を行ったところ、大きなズレが生じたため、メーカーにて焦点距離、画角の測定を行い、その実測値に基づき設定を行った結果、ほとんどズレは見られなくなった。このことから、公表値は目安値であり、重畳の精度を上げるためには、正確にレンズの仕様を把握することが必要であることが明らかになった。

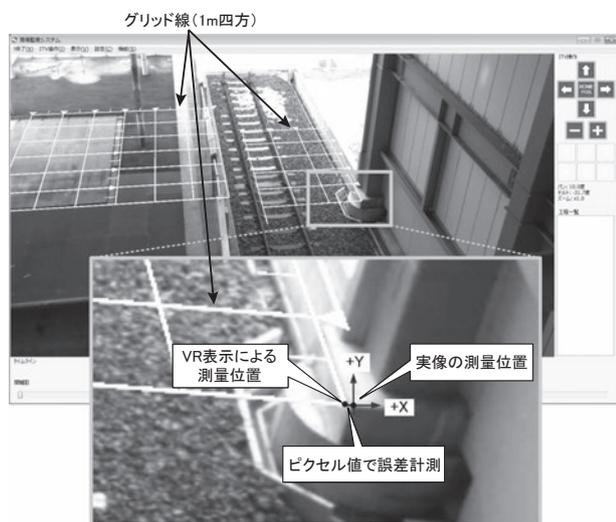


図9 誤差の測定イメージ

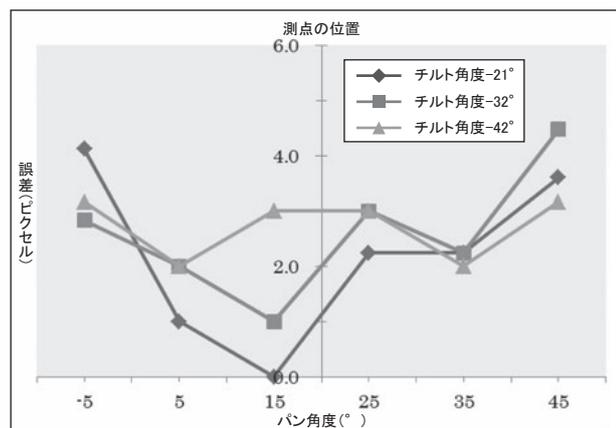


図10 誤差の測定結果

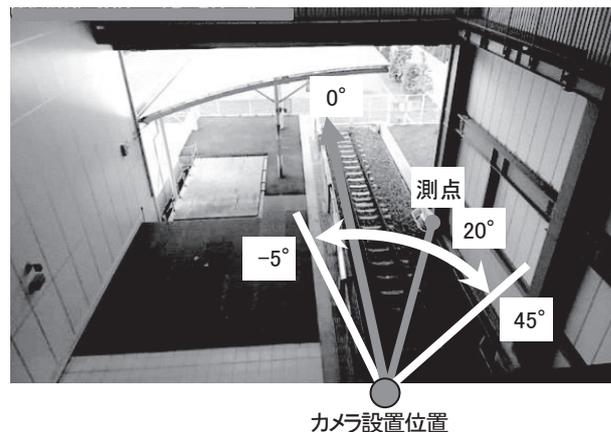


図11 カメラのパン角度イメージ

5. おわりに

本研究では、現場に設置されているITVと設計段階で作成した3次元モデルを有効活用し、任意の施工段階の現場状況を可視化する手法について検討した結果、施工計画がわかりやすくなる効果があることを示した。

本手法により、現場状況と設計図の対比が容易になるため、施工の進捗具合や異常を一目で確認できるようになり、また、施工する前の段階で構造物のイメージが明確となるため、関係者の理解の向上、意思の疎通に繋がり、現場合わせや手戻りが減少することが期待される。

施工計画検討会や保安打合せの具体化、高度化をはかるツールとして活用可能とするため、より手軽に施工計画を可視化する手法について研究を続けていく。

参考文献

- 1) 社団法人日本建設業連合会、建設業ハンドブック2012、p24、2012。
- 2) 田原孝、柳沼謙一、小林三昭：建設生産システムにおける3次元モデル導入に関する研究、土木学会第66回年次学術講演会講演概要集、VI-134、pp267-268、2011.9。
- 3) 田原孝、金子達哉：設計段階における構造物の3次元モデリングに関する研究、土木学会第67回年次学術講演会講演概要集、VI-425、pp849-850、2012.9。
- 4) 林昌希：コンピュータビジョンのセカイ-今そこにあるミライ第5回~第7回、マイナビニュース、2011.6.14~2011.7.12。
- 5) 中林拓馬、江原司、加戸啓太、平沢岳人：大規模空間において実寸大表現が可能な拡張現実感システムの開発、日本建築学会計画系論文集、第76巻・第667号、pp.1753-1759、2011.9。
- 6) 平沢額人：D-GPSを利用した建築・都市スケールでの拡張現実感システム、JACIC研究助成事業報告書第2010-13号、2011.11。