

(39) 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¹

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター

(〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地)

E-mail:t-tahara@jreast.co.jp

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、施工段階の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。現場での確認試験を行った結果、VRモデルを精度良く重量できること、構造物の位置関係やスケールが非常に明確になること、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、それによる理解の向上に有用であることを示した。

Key Words : *three-dimensional model, Virtual Reality , Augmented Reality , execution scheme , network camera*

1. はじめに

我が国では他の産業に比べ、建設業の労働生産性は低く¹⁾、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は重要な課題である。

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、工事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り組みを進めている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、お客様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



図-1 施工計画打合せ図のイメージ

施工者による日々の施工計画打合せでは、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。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、分かりやすさはそれぞれである。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。

プログラム言語には、Embarcadero Delphi、および、Microsoft Visual Studio (Visual C++)を用い、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 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 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 Navisworks Manageを使用して

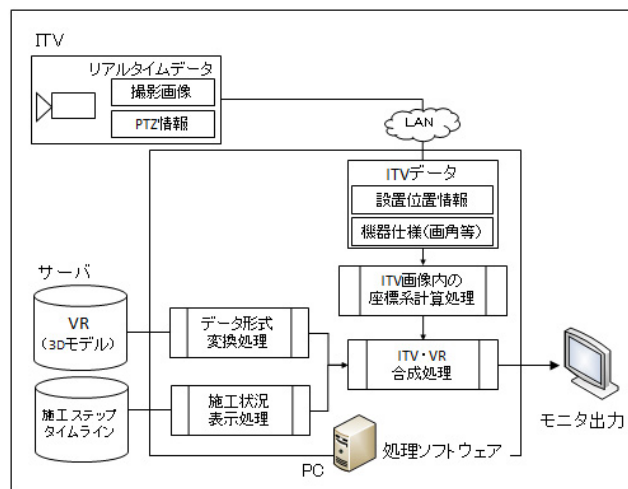


図-2 システム構成図

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。今回はVRにより描写した構造物を正確に位置させること、簡単に重畳することができることを目的としていることから、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 HDS-1000をリモートコントロール雲台 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。

- ・画素数 : 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 $\sim$ ∞)



図-3 試験に使用したカメラ

- ・ 水平画角 : 49.584°
- ・ 垂直画角 : 37.188°

(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

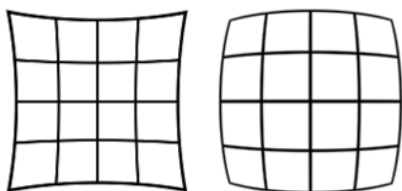


図-4 糸巻き型歪曲と樽型歪曲



図-5 試験現場の状況

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、歪曲収差は考慮しないことにした。

(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。ESCの設置途中段階の画像を図-6に示すが、構造物、設備の位置関係やスケールが非常に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の破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の赤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。そのため、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をある程度把握して、モデリングしておくことが重要である。

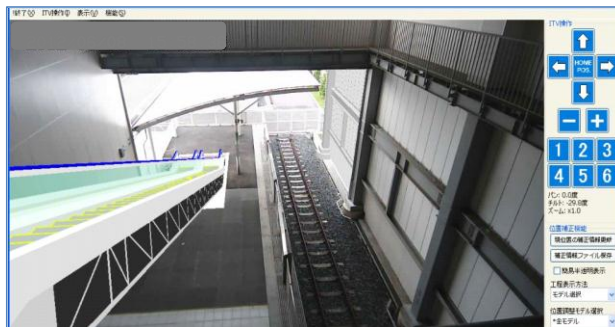


図-6 システム上でVRモデルを重畳した例

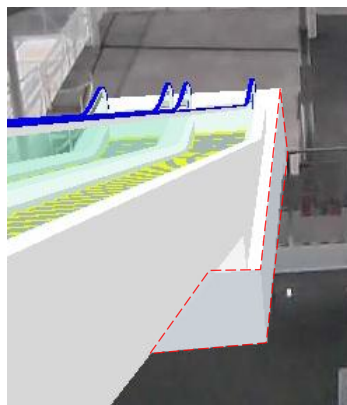


図-7 浮き上がりの状況

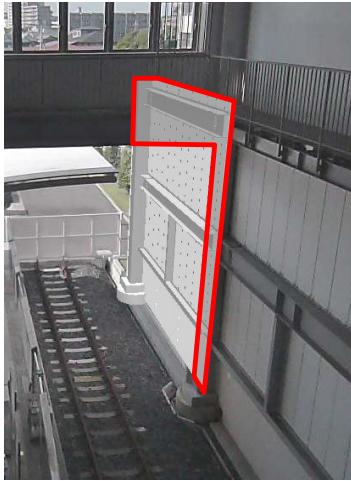


図-8 部材の重なり部分

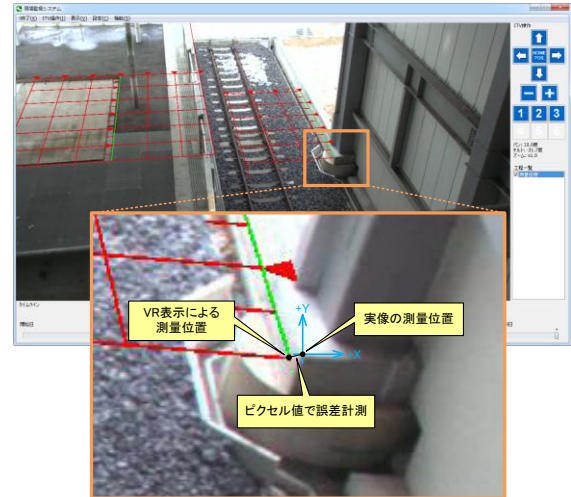


図-9 誤差の測定イメージ

(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きなもので4ピクセル程のズレであり、非常に精度良く重畳されていることが確認された。しかし、今回の試験では、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。

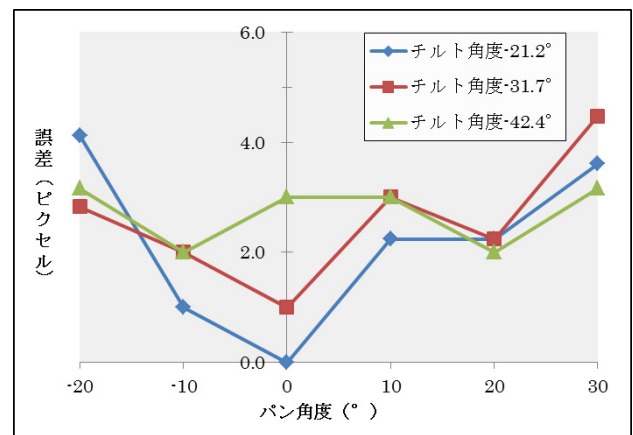


図-10 誤差の測定結果

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て、任意の施工段階の現場状況を容易に可視化する手法について検討し、施工計画の可視化に有用であることを示した。

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本手法を実用化させるため、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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.