

# 3D-VR を援用した計画設計手法の導入による 生産性の向上の取り組み（水木しげるロードリニューアル）

灘 英 樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>鳥取県境港市役所建設部 水木しげるロードリニューアル推進課。

今後、我が国においては生産年齢人口が減少することが予想される中、業種を問わず生産性の向上は避けられない課題である。建設業の現場においても生産性向上を図るために衛星測位技術やICT技術を活用した建設生産プロセス全体のシームレス化に向けた取り組みが始められている。本稿では地方都市の観光地（水木しげるロード）が都市再生整備事業を活用し将来に向けその賑わいを持続可能なものとするため、既存の街路空間を車両より人間（歩行者）を主役とした新たな空間にリノベーションした事例を基に、その計画プロセスにおいて援用した3D-VRの活用方法やその効果、可能性について紹介する。

キーワード：コンカレントエンジニアリング、フロントローディング、トータルサプライマネージメント、可視化、合意形成、ホスピタリティー、公共街路空間利活用、環境変化と持続可能性

## 1. はじめに

社会基盤施設整備（インフラ整備）を取り巻く環境に目を向ければ、気象変動や地殻変動などによる自然災害のリスクの増大、高齢化急進による利用者環境への対応、景観デザインや空間活用の再配分などといった高質空間の創出に対するニーズ高まりなど、社会基盤インフラ施設の計画・設計プロセスは複雑かつ高度化し、検討項目も多様化し、その生産工程は大幅に増加の傾向にある。一方で、建設生産現場においては生産年齢人口は今後減少すると予想されており、これらと対比すればまさに生産現場はトレードオフの状況に陥る。これらのことから建設生産プロセス全体としての生産性向上は喫緊かつ急務な課題とされ、その対策が求められている。

国土交通省では、「i-Construction の深化」と銘うち、衛星測位技術やICT技術の活用により、調査・測量、設計、施工、検査、維持管理までのあらゆる建設生産プロセスにおいて、3次元データを導入することで建設生産プロセス全体のシームレス化と施工段階における効率的サプライチェーンマネジメント\*2を可能とし、「小さなインプットでできるだけ大きなアウトプットを生み出すこと」で大幅な生産性の向上を目指す方向性を示している。具体的には、BIM、CIMに代表されるように、ICT技術を活用し3次元データが媒介となり、建設生産プロセスにおいてコンカレントエンジニアリング\*3やフロントローディング\*4の考え方を浸透させることで、施工段階における効率的なサプライチェーンマネジメントの実現を図るとしている。（国土交通省フォーカス2018より）

本稿では、整備から25年が経過した山陰地方を代表する観光地となった水木しげるロードのリニューアル事業におけるICTを活用した建設生産現場における生産性の向上の取り組み点を取り上げる。

延長800m、幅員12m、沿線建物100棟に及ぶ街路空間を、一方通行化や車線数減少、さらには店舗営業を継続し観光地としての機能を維持した状態での工事を行うことや基本的に夜間工事はNGなど、全体の建設生産プロセスにとっては非常に厳しい条件が多く課せられた。しかしながら、工事着手からわずか1年2か月で完工に導き（計画・測量・設計に3年半を要する）、大きなアウトカムと生産性の向上の両面を引き出した。その計画推進の手法と建設生産プロセスについて紹介する。

## 2. 水木しげるロードリニューアル事業

水木しげるロードは、JR境港駅前から水木しげる記念館のある本町商店街までの延長約800メートルの道路と沿道の店舗などで構成されている。

平成4年、衰退する商店街の活性化を目的に一部歩道の拡幅とあわせ、本市出身の漫画家水木しげる先生の代表作である「ゲゲゲの鬼太郎」に登場する妖怪などのブロンズ像を歩道内に設置し、親しみの持てる街路としての整備が開始された。その後もブロンズ像は年々その数を増やし、現在（リニューアル前）153体となっている。また、沿道の店舗では、妖怪に関連するグッズやお土産などを販売しており、妖怪のキャラクター（着ぐるみ）も毎日登場するなど年間約200万人が訪れる「無料のテーマパーク」として、連日賑わいを見せている。

この水木しげるロードの賑わいを将来に向けて引き続き安定的なものとするためには、好調な状況が続く今だ

からこそ、10年、20年先を見据えた新たな次の一手を打つ必要があるとの思いから、平成25年12月に市長がリニューアルの実施を宣言し、翌日より基本構想の策定に着手した。基本構想及び基本設計の策定にあたっては、以前に本市でまちづくりの講演をしていただいた東京大学名誉教授を堀繁教授を座長にお迎えし、ご指導の下、地元を始め多くの関係者の皆様と議論を重ね、これまでにない大規模で大胆なリニューアル計画が完成しました。基本理念としては観光地であるがゆえに「車より人が優先する道」とし、基本構想を「誰もが訪れたいくなるおもてなしとエンターテインメントのロードづくり」と掲げ、車道を2車線から1車線に減線し歩道空間を拡幅し、観光地区間の全線を一方通行化するなど斬新な取り組みとなっている。新たに創出された空間では滞留スペースの拡大、歩道のバリアフリー化、既存モニュメントを含む空間全体のライトアップのなどにより季節感と非日常感覚を演出したエンターテインメントとホスピタリティーを兼ね備えた新たな魅力を創造している。地方観光地におけるリノベーションの先進的事例である。

### 3 道路空間の利活用と道路に求められる機能

関係者で構成された基本構想検討委員会からリニューアル計画にあって、基本理念と基本構想が示され、事業における生産プロセスの最初となる計画・設計作業に対して、当該街路空間を「道」としての機能の確保と利便性、「沿道」としての景観保全（水木ワールド、昭和レトロの空間）と利活用の際に最大の効果が発揮できる街路空間を創造することが求められた。

この課題は斬新かつ難題であった。

道路は道路管理者によって一般交通の用に供され、その効果として一般の自由な通行が認められている一般使用といった道路本来機能と道路本来の機能を阻害しない範囲での副次的な利用が認められている。この副次的な利用には道路法、道路交通法などの法律により道路利用の秩序維持と通行に対する安全を確保するために合理的な規制や制約が課されている。一方で、道路空間の持つ多様な機能についてはその可能性から、国土交通省の成長戦略、並びに新成長戦略（平成22年）としても位置付けられており、既存の道路空間を民間に開放（道路空間のオープン化）し活用することにより、新たな官民連携による整備・管理を展開していくことや、都市道路空間を活用した新ビジネスの創出の可能性などから、トータル的な建設生産プロセスにおける生産性の向上に寄与するものと期待されている。

先に示した背景も含め、計画・設計チームとしてはこの検討委員会からの命題に対して、建設生産プロセス全体を念頭に入れ、以下に示す4つのカテゴリーを柱とし組み立てていく方針とした。

- ① 道路に求められる機能
- ② 道路空間の利活用
- ③ 合意形成を含むコミュニティーデザイン

### ④ 景観デザインと夜間照明演出デザイン

各カテゴリー別に部会や検討会を設置し検討項目の拾い出しを試みたが、多岐多様かつ多数の項目が抽出されることとなった。

- ① では、一方通行化に伴う車両走行の実態、交通量、速度規制の設定、信号機・標識設置、渋滞等の懸念、自転車走行の在り方等の検証等
- ② では、道路線形と幅員構成を含む道路構造、バリアフリー構造への配慮、車道における荷捌き駐車スペース確保、ブロンズモニュメント等の再配置、植栽配置等
- ③ では、沿線における商店活動と一般居住者の行動への配慮、新たなスペースの活用法（オープン化の検討）、完成後の維持管理・運営時での機能性配慮等
- ④ では、沿線景観との整合性（水木ワールドの継承、昭和レトロな景観の保全）、夜間の演出照明の設置、この作業の中で気が付かされたことは、フロントローディングの重要性である。全体の建設生産プロセスにおいて、各検討項目はカテゴリーを横断する形で議論に上がることも少なくない。議論が上がった時にその都度フィードバックしては多くの時間を消耗するばかりでなく、それまでに構築してきた成果に対して手直しも発生する。計画・設計という生産プロセスの早い段階でいかに後段で展開されるプロセスの内容を予見し対処しておくことが、コンカレントエンジニアリングの実践を可能とし、最終的に全体としての生産性向上につながる。

そこで、多岐にわたる検討項目を同時に、計画・設計の初期段階から検証可能な手段としてこの作業を可能とするプラットフォームの制作を行うこととした。プラットフォームを作成するにあたっては様々な媒体が考えられたが、本案件では、ICT技術の1つである3次元VRを採用することとなった。

### 4 環境設計情報学と3D-VRを媒体とした可視化可能なプラットフォームの作成

今回の水木しげるロードリニューアル計画で検討を求められている4つのカテゴリーの中には、道路構造設計に代表される、問題を解くための初期条件や目標値、操作条件などが調査や測量等によって定めることが可能なもの＝良定義問題（well-defined problem）に対して、景観や意匠デザイン、照明や色彩などの環境デザインに代表される初期状態、目標状態、操作条件などいずれかが欠落していたり、未確定であったりするような問題（前段の良定義問題という表現に対して＝不良定義問題（ill-defined problem）と表現される問題とが今回の検討ケース場合、各カテゴリーに混在している。

設計を進めていく上では、このような不良定義問題に対応して場合には、未確定な条件や課題項目に対し、それぞれの「解」を導いてやる必要がある。不定義とされる解が導き出された後には、良定義問題として、その他の項目とともに設計に反映し、初めて設計作業が進行し

ていくこととなる。

この考え方は、「環境デザインの思考過程における発想法」として大阪大学大学院工学研究科の澤木昌典教授らが提唱されている。（出典：理工図書 はじめての環境デザイン学）

この不良定義問題の解を求める手法として、これまで、図面や模型、パース、CGといった媒体が活用されていたが、不良定義の解を導く際に、解を導くために設定条件を変れば、フードバックし媒体の修正が必要となる中でその作成に多くの時間を要していた。

そこで、このトライアル作業 ICT 技術を活用しアプローチすること考えた。そこで辿りついたのが ICT 技術の1つである3D-VR（3次元空間におけるバーチャルリアリティ）技術である。この技術を活用することで、目標とする設計対象を3次元空間に再現し、設定条件を変更しても媒体としての変更作業を容易とする。また、良定義問題と不良定義問題（たとえば環境デザインと構造物設計）を同じ空間でシミュレーション可能となる。この考え方は、環境デザイン学と情報学の双方の領域を繋ぎ合わせた「環境設計情報学」という学術領域として研究が進められている。

今回私たちはこの技術を援用することとし、この分野に造詣が深い大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻の福田知弘准教授の研究室にご協力いただき、水木しげるロードにおける3D-VRの制作を行うこととし、これを今回の水木しげるロードリニューアル事業における計画・設計～施工、維持管理まで建設生産プロセスにおける設計検討プラットフォームに活用することとした。

## 5 ICTの活用と建設分野における生産性の向上

この事業の計画推進手法の特徴とは、フロントローディング（初期の工程において後工程で生じそうな仕様の変更等を事前に集中的に検討し、品質の向上や工期の短縮を図ること。）の考え方を基本構想、基本計画段階から導入し、全体生産プロセスにおいてコンカレントエンジニアリングの手法（開発のある段階が終わってから次の段階に移るのではなく、開発段階の最後の方ですでに次の段階をオーバーラップしながら開始していく）を実現するためのツール（媒体）として、ICT技術の1つである3D-VR（バーチャルリアリティ）技術を導入。設計の進行時点で、すでに未来完成形をタイムリーかつインタラクティブに検証可能としたことで、道路構造、ライフライン、バイリアフリー構造、植栽、夜間演出照明、意匠及び色彩、周辺環境（水木ワールド、昭和の街並み景観、インバウンド対応等）など各設計検討項目のレイヤー担当者が同時並行した議論が行えたことがある。このことで計画設計段階におけるシームレス化が実現し、大きく生産性の向上に寄与したばかりか、設計のプロセス（施工段階）でなければ実際に見ることができない数々の事象も、仮想空間の中において可視化できたこと

でフロントローディング効果を実証、結果として多くの生産性を生んだ。今回のプロジェクトは計画・設計はもとより、後段のプロセスである「施工」においては、大きな時間制約が条件であったこともあり、この取り組み手法が大きく成果を生むこととなった。

## 6 合意形成の媒体としてのVRの援用と効果

今回、3D-VRを選択した理由には、コンカレントエンジニアリング実践のためのプラットフォームという目的以外にも、地元住民をはじめとするステークホルダーに対する説明ツールおよび合意形成をスムーズに展開していくためのツールとしての意味合いがあった。

水木しげるロードには営業店舗と一般住居合わせて100件余りの建物が存在する。一般の道路改良工事の場合に着工までのプロセスは、全体の事業概要説明会の開催の後、地区別に個別の工事工程説明会の開催し、工程調整を行った上で着工という流れが多い。今回、通常の道路改良工事と異なる点は、前述したカテゴリーにも示された「住民の合意形成」と「コミュニティーデザイン」が求められた点にある。特に力を注いだのが、完成後のコミュニティーデザインである。

観光地であり、商店街も形成しており、さらには一般住居も混在する。完成後には、観光客はもとより市民も含め来訪するすべての方々に満足していただけるような、おもてなしを官民一体となり推進していく必要がある。また一般居住の方々におかれては、暮らしやすい居住環境を維持できるよう配慮しなければならない。当たり前のようであるが大変難しい命題であり、それを実現するためには、関係者の合意形成は不可欠となる。

合意形成にあたっては初期段階では総論賛成、各論反対の状況からスタートする場合が大半であるが、各論についても1つ1つ丁寧に聞き手側の視線に立ち理解しやすい方法で説明することが求められる。これまでもさまざまなツール（図面、俯瞰図、パース、CG、模型）各論に対して細部にわたるまで、しかも瞬時に説明可能なツールはなく、説明者に技量による面も少なくなかったと言える。また、初期条件として与えられた内容に変化を求められた場合、変更後の結果説明も説明媒体の修正時間を要することから、回答が後日になることも多く見られたが、このVRの活用により、条件設定の変更やこれまで可視化されていなかった細部までインタラクティブに画像上で説明、検討が可能となった。

このことで、建設生産全体プロセスにおいて非常に多くの時間を費やしてきた関係者との合意形成が大幅に短縮されたばかりか、関係者の理解度が格段に向上したことで、後段で展開されるプロセスでの手戻りも減少し、さらには完成後の維持・管理・運営活動においても、自らが一緒になって作り上げた空間という意識が記憶に残りより円滑な活動に繋がっている。この効果は直接的な生産プロセスにおける生産性の向上に加え、完成後の生産活動における生産性の向上にも寄与するものである。

## 7 交通社会実験の結果をVRへ反映

道路空間としての骨格設計が固まる中で、完成度の道路運用状況（交通量の変化、渋滞状況、信号操作、一般生活への課題の抽出）を可視化する取り組みとして、実際に設計された道路空間を現地に再現し、交通社会実験を試みた。実行にあたっては、交通機関、交通管理者、道路管理者、自治体、地元商店街、自治会等から構成する社会実験協議会を官民連携で組織し新にできる道路空間を再現仮設で再現した交通社会実験を実施した。これには2つの目的があった。1つには、新たな道路空間（一方通行化、線形蛇行、車線数減少、減速のためのランプ、狭窄部等）における道路機能の検証、1つには新たに創出された歩行者空間の利活用の可能性である。当地は観光地であることからも休祝祭日を対象とした調査と平日を対象とした調査を実施、さらには、新たに創出された空間を利用し仮設の芝生化やストリートファニチャーの設置、イベント等も開催し、沿線関係者、来訪する観光客意識調査も行った。

### ○交通社会実験の実施方法

実験の実施前に、平日、休日別交通調査を行ない、道路構造を変化させた上で、平日、休日ごとに同じ調査を行った。車両数は人力による測定、車速についてスピードガンを活用し、交通量のほか速度変化も調査した。同時にイベント等を開催し、実験中来訪者アンケート実施。

来訪者には対面アンケート、周辺住民等には郵送による調査方式をとった。結果、来訪者 1106 通、住民党 300 通（回収率 31.9%）の回答をいただいた。

アンケート調査の結果における総合評価では、リニューアル事業の基本理念「車主体から人主体の道を目指す」ことについては7割以上賛同が得られたが、その手法である一方通行化や減速のための線形蛇行ランプや狭窄部の設置については4～5割の理解に留まった。その理由としては、その効果は認めるものの、車の運転がしにくくなる、生活上不便さを感じるなどの意見が寄せられたが、一方通行に関しては、改善対策等を講じた場合においては7割の方が前向きな回答をいただいた。コミュニケーションデザインとしての歩道空間の増加やストリートファニチャーの設置については6割以上の方がその効果を認めていただいたが、その他の方からは、配置計画や活用方法に工夫が必要という意見をいただいた。この結果を基に改良点を整理し設計に反映することとした。この設計時点での取り組みが、フロントローディングによるコンカレントエンジニアリング実践であり、全体として建設生産プロセスにおける生産性の向上につながる事となった。

### ○社会実験の再現・検証

今回、社会実験で得られた交通量や車の動きのデータによりプラットフォームであるVR上で再現し改善点に関して動画での検証を可能とした。

このことで、一方通行化を始めとする道路形状の決定

とコミュニティー空間の在り方についての合意形成に大きく寄与した。

## 8 景観設計におけるVRの効果

今回のリニューアル計画では、道路空間設計やコミュニティーデザインに加え、もう1つのカテゴリーである景観設計も重視されていた。それは新たに創出される空間と既存景観並びにこれまで長年に渡り積み重ね、この道路の特徴でもある妖怪ブロンズを中心とした水木ワールドの世界感の継承である。景観設計は空間設計と表裏一体であり、互いにフィードバックしあい、シミュレーションを重ねることで収束を得ていく。ことに今回、特殊な世界感と昭和レトロといった抽象的な課題が科せられたことから、難航を極めたが、道路として表現できる景観と沿線の建物が醸し出す景観の双方に分類して検討を行うこととなった。ここでもVRが大きく機能した。

道路に関しては素材の検討と色彩に着目、より多くの素材と組み合わせを検討する上で、インタラクティブにしかも瞬時に検証が行えるVRは作業時間を大きく短縮した。また、沿線の景観に関しても、既存の家屋をすべて再現しVR上に重ね背景として表現することで、道路の素材感や色彩感との比較検証はよりリアルなものとともに、VRの特徴でもある3D座標を共有することで背景との距離感や方向感覚に至るまで検証の対象とすることを可能とした。このことは空間設計におけるブロンズや植栽の配置にもフィードバックされ、多層におよぶレイヤーの検証を可能とし設計上も施工上手戻りを最小限に抑えることに大きく寄与することとなった。

## 9 夜間照明演出デザインとVR

今回のリニューアル事業の最大の目玉と位置付けられていたのが、新たに創造される空間において夜間演出照明によるエンターテイメント空間の創造である。これまで昼間の空間に関する取り組みを紹介しましたが、水木上げるロードはこれまで夜間の来訪者は一般生活者以外ほとんどなく、まさに寂しい空間であった。そこに「光」という新たな景観形成コンテンツを導入することで、非日常的な空間を創造し、新たな集客と賑わいを出すものであった。この夜間照明施設は単に夜間の景観を演出するだけでなく、照度確保を目的とした道路照明施設の機能も兼ね備えたものとして計画し、経済性と合理性を追求したものである。これもまた、道路空間性と切り離せない項目であり、前項の景観（素材、色彩）デザイン以上に、配線や器具の地中化、照明柱の設置、照射角度、分電制御盤の位置など物理的に影響が大きい。さらにはコンカレントエンジニアリングの視点からも全体施工工程の編成にも大きな影響力を及ぼすことから、道路空間設計項目となるレイヤーと同時並行による検証とタイムリーなフィードバックが求められた。ここでもVRが活躍した。施設レイアウトとともに照明施設はそれぞれ照度、色彩、点灯時間の3軸で演出を構成する。さらには、その器具がネットワークでグループ化されて

おり、季節応じた演出の変更や、沿線住民に配慮した時間帯による制御など様々なシミュレーションが求められた。その検証も容易に可能としたのがVRである。

## 10 VRの可能性

建設生産プロセス全般における生産性の向上に大きく寄与するを伝えてきましたが、その他にもVRの効果として、広報媒体としての活用、カスタマイズが可能なこと、情報プラットフォームとして情報のレイヤーを上乗せしていくことが可能、その情報はクラウド環境においてオープンデータとしての活用も可能であり、広域的なインフラ管理や災害現場での活用に大きな効果と生産性を生み出すと期待される。さらには、3Dプリンターの開発によりデータはフルカラーで3D出力が可能となったことから、画面の情報を一定の縮尺レベルで、実際に手に取って確認することも可能となる。ヘッドマウントディスプレイの装着により、VRで制作した画像の中に自らを入れ込み、あたかも実体験しているかのような仮想現実の体感が可能となる。

また、建設生産現場プロセスにおける生産性の向上以外にも、高齢社会を迎える中で、実際の行動に支障が生じてきた場合でも、仮想現実空間で実体験に近い形の体験を感じることが可能となることから、さまざまな社会生活におけるリスクを事前に認知し回避できることや、これまで現場に行かなければ見たり、体感できなかったことが、現地に行かなくても体験可能になることなどその活用範囲と可能性は無限に広がる。

## 11 おわりに

今回の取り組みでは、ICT技術の1つである3D-VR技術を援用し、建設生産プロセスにおけるコンカレントエンジニアリングを実践することで生産性向上にアプローチしたが、その背景にはICT：特に情報通信技術の進化がある。今後、情報通信技術環境は、5G時代の到来も目の前であり、情報量、通信速度ともに飛躍的に拡大されて行くことは必至であり、同時に進化を続けるIoT技術や機との連携、普及促進により、建設生産現場における個々の生産プロセスでイノベーションが展開されることでトータル的な生産プロセスは進化し、さ

らなる生産性の向上が図られるとともに、フロントローディングにおける不良定義問題が減少し、建設生産物の品質の向上と顧客満足度(CS)の向上にも寄与するものと期待する。

## 謝辞

今回の取り組み際しご指導、ご協力をいただきました東京大学名誉教授の堀繁先生、並びに大阪大学工学研究科の福田准教授、同研究室の皆様には謹んで感謝の意を表します。

## 参考文献

- ・平成28年3月：国土交通省「i-construction～建設現場の生産性革命～参考資料」
- ・平成28年3月：国土交通省 i-construction 委員会(委員長：株式会社三菱総合研究所 理事長 小宮山宏) 資料2
- ・平成30年「国土交通省フォーカス2018」i-construction 深化
- ・2018年3月：国際交通安全学会誌 Vol 143, No.1 尾崎 信「街路におけるつくる／つくらないデザインの動向-空間・利活用のデザインとコミュニティ形成に係る論点-」
- ・平成26年8月 一般社団法人 道路新産業開発機構 「道路関連施設整備支援に関する調査研究」：参考資料「道路の新たな利活用」
- ・平成27年度水木しげるロード道路空間の再配分による賑わい空間の創出に向けた社旗実験報告書(平成28年3月：水木しげるロードリニューアル社会実験協議会)
- ・著書：「はじめての環境デザイン学」理工図書 大阪大学工学研究科 澤木昌典、矢吹信喜、福田知弘ほか10名共著
- ・日本建築学会第39回情報・システム・利用・技術シンポジウム(報告H14)「Structure from Motionにより生成した三次元モデルを含む都市空間Virtual Realityの構築-境港市水木しげるロードリニューアル計画」を対象として-大阪大学大学院工学研究科 福田知弘ほか4名