

# 相互に影響する構造物間のトータルデザイン への3D-CADの適用に関する実証的研究

熊本大学大学院 自然科学研究科  
教授 小林 一郎

平成20年9月

## 目次

1. はじめに.....	3
1.1 建設ライフサイクルにおける情報運用の問題点.....	4
1.2 n次元データによる一元管理.....	5
1.3 トータルデザインと3D-CADによる土木設計の特徴.....	5
1.4 設計の見直し.....	6
2. TuCの提案.....	7
2.1 モデル空間.....	8
2.1.1 地形の分類.....	8
2.1.2 オブジェクトの分類.....	8
2.1.3 モデル空間の作成と利用.....	9
a) 編集機能(Editor)の基本要件.....	9
b) 調整機能(Simulator)の基本要件.....	11
c) 閲覧機能(Viewer)の基本要件.....	15
2.2 設計チームと2層の意見交換システム.....	17
2.2.1 情報交換場.....	18
2.2.2 合意形成場.....	20
3. 適用と考察.....	21
3.1 分水路設計事業.....	22
3.3 TuCの可能性.....	28
3.4 TuCの課題.....	29
参考文献.....	30

## 1. はじめに

本研究は、3D-CAD の設計への適用の可能性について検討を行った。その過程で、TuC (Total Design using Computer Graphics) と名付けた設計システムの構築を試み、2 件の実証実験の成果とともに、その概要をまとめたものである。つまり、研究計画段階では、CAD 利用に重点を置いていたが、TuC を提案してからは、3 次元データの運用と可視化媒体（静止画、動画、VR、2 次元および 3 次元 CAD）を駆使した設計業務の深化に力点を置いた。即ち、複数の設計関係者間での調整への可視化媒体を主眼としたシステムの構想であり、3D-CAD はあくまで設計形状の変更のための編集機能（装置）と位置づけている。従って本文では、電子データ（あるいは 3 次元データ）とその可視化媒体を利用した設計手法が論じられ、CAD という言葉は極めて限定的に用いている。

TuC では、『モデル空間』の作成（編集機能）、設計者間での意見交換（調整機能）、さらに各種可視化媒体での画像の利用（閲覧機能）という、3 段階を明確に分類するとともに、最も重要なのは、編集機能ではなく、調整機能（場合によっては、閲覧機能）であることを述べた。さらに、モデル空間を利用する『設計チーム』とチームの構成者が意見交換を行う場として意見交換場（Web 上での意見交換）と合意形成場（全員が一堂に介した合意形成）の 2 段階を区別した。主として、意見交換場では閲覧機能が利用され、合意形成場では調整機能が用いられる。

もちろん、モデル空間として物理模型を用いることも試みたが、電子データの運用に主眼を置いたシステムとした。これにより、Web 上での設計に関する様々な、意見交換が可能となり、品質向上、設計時間の短縮、施工性の向上等々様々なメリットが確かめられた。

考察において、大まかなコスト比較を試みた。TuC を用いることで、直接的なコスト削減だけでなく、施工時の無駄な支出の削減が期待されることが確認された。今後この点に関しては、施工性の向上に着目した設計の改善手法に関する研究が重要であると考ええる。

なお、本システムは、パソコンソフトのように、データ入力すれば正解が得られるというものではない。むしろ、複数の設計関係者間での強力な道具である。つまり TuC とは、チームの構成員が、気づき（問題点の抽出）、工夫し（代替案の提案）、設計解が良くなるという「不断の改善」を喚起する道具（仕組み）であるといえる。設計行為とはあくまで、人間の営よりの所産であり、優れたアイデアの発端は、常に個人の頭脳からしか湧いてこないと考ええる。

## 1.1 建設ライフサイクルにおける情報運用の問題点

それは図-1に示すように、各フェーズにおいて個別にデータ作成が行われ、次のフェーズでの継続的な利用が想定されていないためである。紙ベースの時代では、各フェーズの業務が独立に発注されることに誰も違和感を持っていなかったし、欠落データの補完（たとえば、設計段階での地形図の3次元化）や施工段階での再設計は、後のフェーズの業務に織り込まれたものであった。

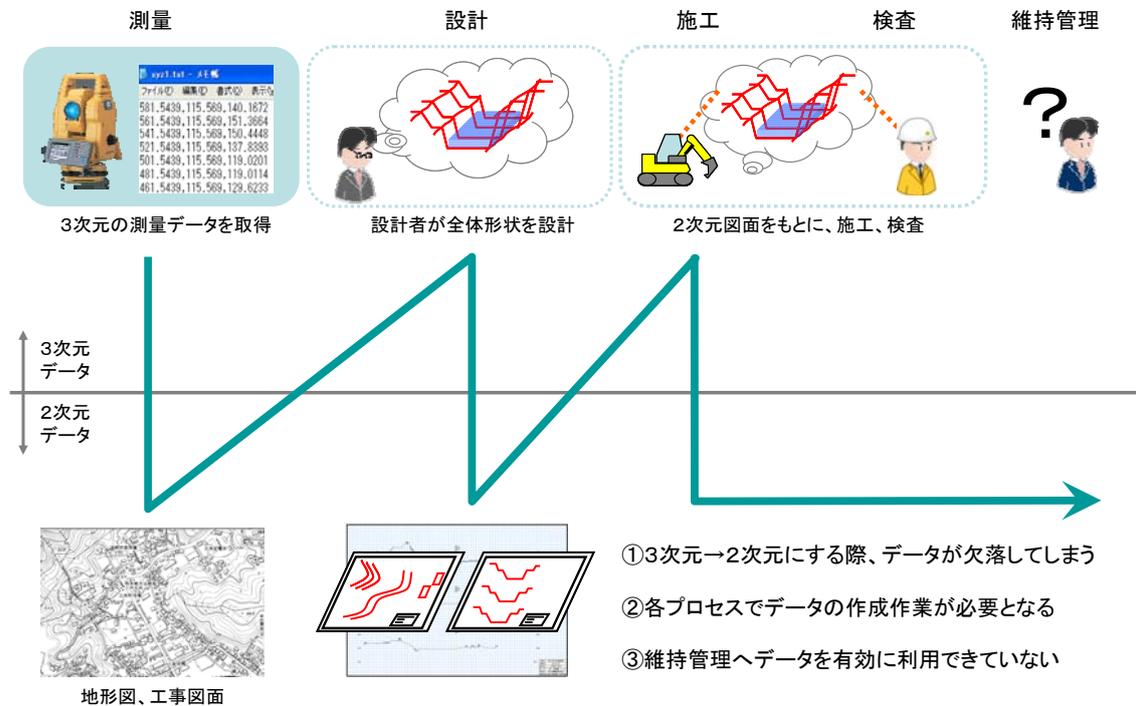


図-1 建設ライフサイクルにおける情報の概念図

一方、TS や LS 等の測量機器の発達や PC の廉価化による大量の 3 次元データ処理能力の向上や、HD や DVD へのデジタルデータの保存の日常化は、建設分野での 3 次元データの流通を常識のものと考えるところまで来ている。また、3 次元データ利用について、施工段階での実業務への応用は、様々な場面での取り組みが報告されている。さらに、国交省では情報化施工などの施工の合理化の検討や検査の段階における情報化出来形管理の提案が行われている<sup>1)</sup>。しかし、図-2の矢印のように①測量から設計へ、②施工から維持管理へのデータの受け渡しにおいては課題が残り、建設ライフサイクル全般にわたった業務効率の改善までは到達していない。

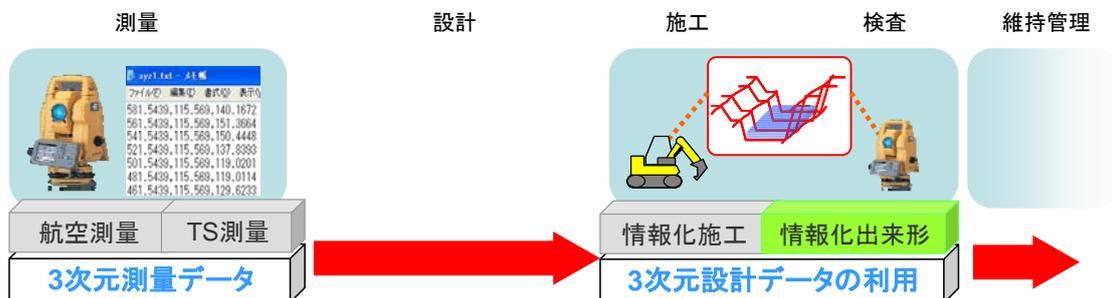


図-2 3次元データ利用の現状

## 1.2 n次元データによる一元管理

電子データの運用例としては、施工における 4D-CAD が有名である。これは、x、y、z の 3 次元座標に時間 t を加えることで 4 次元データとして管理し、施工計画や工程管理に活用したものである。ただし、建設ライフサイクルにわたるデータ管理という観点からは、材料定数 E 等や材料単価 c 等の付加データも統合されていることが望ましい。ここでは、その様な理想的なデータ構成を n 次元データと呼ぶ。さらに、以後の章では単に電子データあるいはデータと呼ぶこととする。ただし、本研究では、そのようなデータ構成のあり方を提案するものではない。

図-3 に電子データ (n 次元データ) を基盤にした設計フェーズでの作業の主なものを示した。つまり、電子データを参照することで、積算も解析も、3D-CAD 等によるシミュレーションも一括して行えるはずである。

なお、プロダクトモデルや XML を基盤にしたデータ運用に関する研究や実証実験が行われつつあるので、詳細はここでは割愛する。

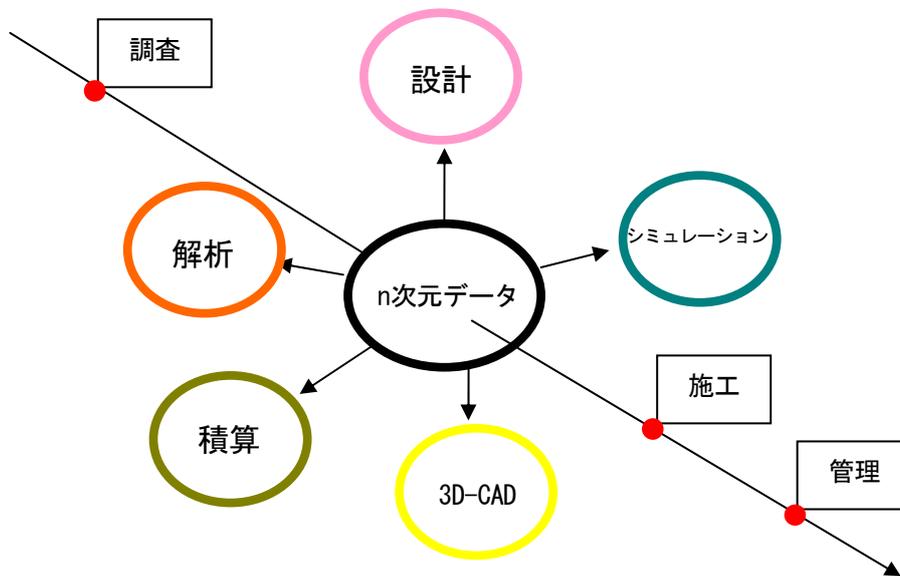


図-3 n次元データによる一元管理の概念図

なお、ここで指摘しておきたいのは、データ運用の基盤に 3D-CAD があるのではなく、3D-CAD はあくまでデータの追加・修正等を視覚化して作業するための編集装置であるということである。決して 3D-CAD が設計を行うのでもなければ、水理解析や構造解析をするものでもない。ましてや解析結果の工学判断は、技術者以外の誰にもできるものではない。しかし、そのことがきちんと理解され運用されることで、CAD (Computer Aided Design) は作図装置 (Computer Aided Drawing) から脱却し、設計支援ツールへとなるであろう。そこで本研究では、もう一度 CAD を基盤とした 3 次元設計の可能性について検討を行うこととした。

## 1.3 トータルデザインと 3D-CAD による土木設計の特徴

景観法によれば、地域を全体として、規制の対象にすることが求められている。さらに『ダム空間をトータルにデザインする (山海堂)<sup>2)</sup>』で、岡田は、ダムサイトだけでなく、周囲の風景も含めて、設計対象地をより広く、より長期的に考えることの重要性を指摘している。この設計例は、幾つかの賞を得ることで、その先進性が広く認められた例といえるだろう。

このような例を引くまでもなく、土木設計とは、「風景の中に構造物を挿入すること」であり、計画段階から竣工までの期間が、10 年、20 年というのが通常である。このため、設計においても、全体性と長期性を考慮した検討がなされるべきである。

次に、機械設計や建築設計と比較することで、土木設計の特徴を考えて見よう。機械設計では、CAD・CAM

は、一連の作業過程であり、途中で設計図のようなものは必要としない。建築の場合は、施主や検査確認行為があるので、設計図は必要であるが、基本的には単独の施主を想定すれば良い。CADの可視化や図化は、主として確認行為のために必要となる。一方、土木設計では、景観設計まで想定すると、通常は、設計そのものが、①設計チーム、②技術系の解析チーム、③景観検討チーム等々多くの人々の協働作業となる。施主に対応するものも、①発注者、②専門家からなる景観検討委員会、③住民等が想定可能である。誰が、誰に、何の目的で、設計図（あるいは可視化映像）を見せるかによって、行為の意味するもの（確認、説得、指示、合意、etc）が異なるし、そのために準備すべき図面や映像も全く違うものとなる。

つまり、土木設計においては、CADの作成能力（編集機能）だけでなく、様々な議論に対応した見せ方の工夫（シミュレーション機能）の豊富さが重要である。さらに、画面上に表示されたものが、画像、動画、VRといった、他の方法で閲覧できることが必要である（閲覧機能）。次章では、Editor（編集機能）、Simulator（調整機能）、Viewer（閲覧機能）に分けて、考察する。

## 1.4 設計の見直し

現行の2次元設計を、3次元で行う事の利点は、電子データのライフサイクルにわたる管理・運用の側面（電子納品の実施）と、実設計における問題点解消の点（3次元データ運用の必要性）から考える事ができる。

### a)電子納品の関連

#### 1)3次元測量の成果の利用

上記1.1で述べたように、レーザー測量やTS測量データの普及により、3次元データが設計の基礎資料として入手しやすくなっている。さらに、3D-CADソフトの廉価化やパソコンの性能向上により、データの取り扱いが極めて容易となっている。

#### 2)3次元施工（4D-CAD、機械化施工、出来形検査）

さらに、施工の段階では、丁張り等の準備、施工管理、出来形管理等々すべて、3次元空間で行われることなので、多くの現場で少なからず、3次元データの運用が一般化しつつある。

### b)設計における3次元データ運用の必要性

#### 3)設計対象の不具合等の確認

本来設計は3次元的に行われているはずである。ただし、道路設計等では、平面、横断、縦断の決定を順次繰り返す事が既往設計の通例である。しかし、これらも、3D-CADの導入等で順次3次元設計が実施されている。ただし、設計を可視化し不具合の確認を行うということは習慣化されているとはいえない。1.3での表現を使えば、3D-CADの編集機能だけが利用され、調整機能が利用されていないということになる。なお、閲覧機能もフォトモンタージュ等による合意形成程度である。

重要なのは、不具合なのではなく、確認作業をとおして、設計データの細部に対する何らかの違和感に気づくことである。良い設計者であれば、「気づき」は必ず「工夫」に繋がる。良い設計とは、不断の改善からしか生まれない。さらにいえば、土木設計においては、「不断の改善」は多くの関係者間の議論を通してしか起こらない。

#### 4)構造物間での不具合の確認や合意形成の重要性

構造物単体での設計は問題がなくても、別々に発注された幾つかの構造物を3D-CAD上の予定地点に並べてみると様々な不具合が見えてくる。たとえば、景観検討を行うには、周辺の構造物だけでなく、スカイラインとのバランス等も考慮する必要がある。単体では問題がなくとも、全体のバランス上、起こる不具合の検討は重要である。また、これらの構造物が、時系列にどのタイミングで施工されるか、施工時に物理的干渉等の不具合を生じないかを検討することは、本来の設計においては重要なことである。

設計の3次元化が進まないのは、この新技術の受け入れ体制が完全には整備されていない点にある。そのため、高度な3次元設計に対応できる技術者の数も少なく、広く普及にまで至っていない。しかし、その有効性を、組織的に確認してこなかった事もその一因であると思われる。都市における再開発事業等で、埋設管や電車の架線等が複雑に配置された中での道路や橋梁の設計を考えれば、施工段階を考慮しつつ、3次元設計を行うことのメリットは計り知れない。

## 2. TuC の提案

本研究では、建設ライフサイクルにわたるデジタルデータの運用を念頭においた設計の質の向上を図る。

電子データを基盤とし、設計対象（材料や強度への配慮）だけでなく周辺地形（空間的配慮）や工程計画（時間的配慮）等を含むトータルな視点で設計を行う、TuC（Total design using Computer Graphics）システムを提案する。このシステムは調査から維持管理までの建設ライフサイクルにおける、電子データ有効活用の一環を担えるものである。

TuCは、3D-CADによって編集された**モデル空間**を用いて議論が進行する（図-4）。さらに、**設計チーム**は、各地に点在する複数の技術者（発注者も含む）から成ると考え、①Webを利用する段階（**情報交換場**）と、②全員が一堂に介して設計案のまとめを行う段階（**合意形成場**）を交互に行き来し、最終案をまとめる（図-5）。

モデル空間は、構造物と地形に大きく分類される（2.1 参照）。モデル空間の利用を目的に即して編集機能(Editor)、調整機能(Simulator)、閲覧機能(Viewer)と使い分けることで、モデル空間の持つ利点を最大限活用する（2.1.3 参照）。また、Web上での情報交換場と実際に対面する合意形成場の両方において、モデル空間が参照されるが、情報の形式（画像、動画、VRなど）を使い分ける必要がある。つまり、合意形成場では、高額のEditorやSimulatorの利用が必要であるが、情報交換場では、点在する関係者（特に発注者）に対しては、無償のViewerの利用が必要条件となる。合意形成場においてモデル空間の一例として物理模型を用いることに問題はないが、情報交換場（Web）上での利用を考えると、電子データは威力を発揮するであろう。

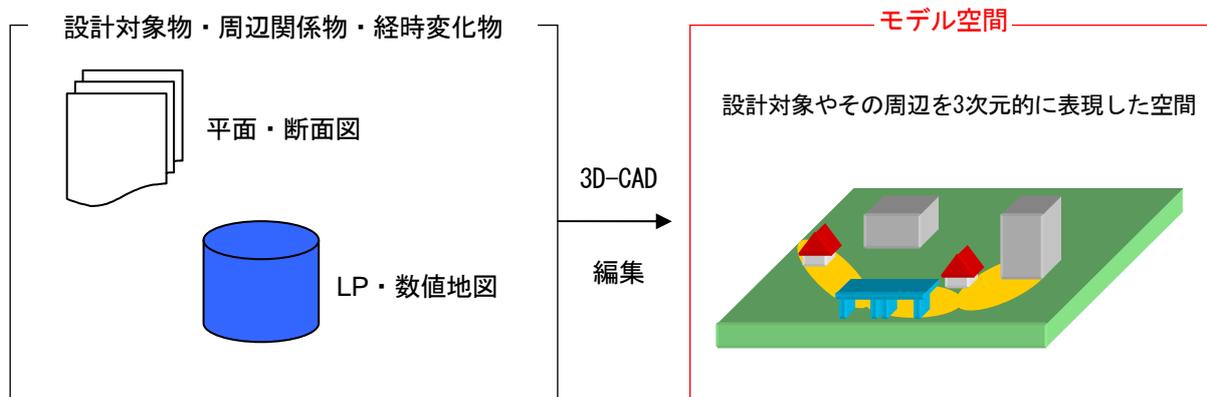


図-4 モデル空間

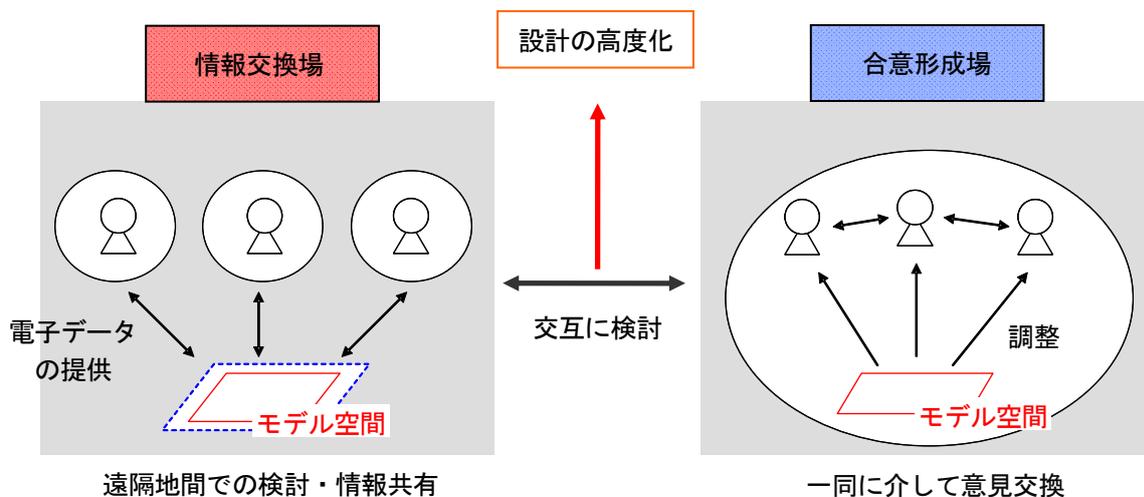


図-5 設計チームの議論の場

## 2.1 モデル空間

TuC におけるモデル空間は、地形とオブジェクトによって構成される（図-6）。用語の紹介を含めて、以下にその詳細を述べる。

### 2.1.1 地形の分類

#### 1)対象エリア

設計対象構造物が存在する範囲。詳細な地形表現が可能な1mコンターで作成することが望ましい。

#### 2)周辺エリア

設計対象構造物が直接的に影響を受ける範囲。たとえば、10mコンターで作成することが考えられる。

#### 3)後背エリア

事業の範囲ではないが、景観検討等から必要になる範囲。それほど詳細な地形情報は必要ではなく、50mメッシュの数値地図を利用することで十分である。

### 2.1.2 オブジェクトの分類

#### 1)設計対象物

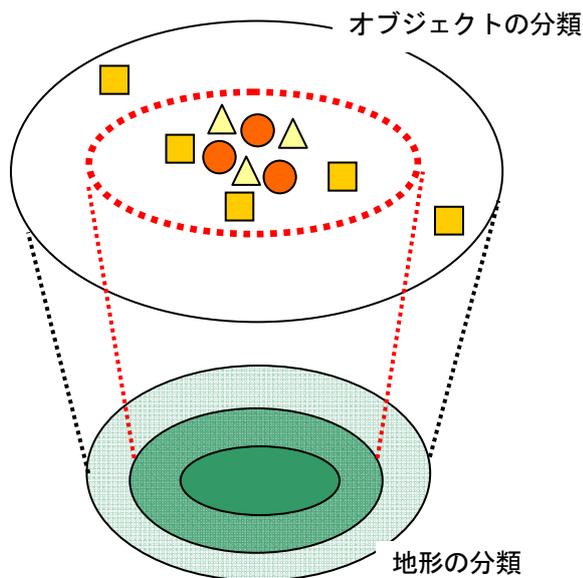
新設される構造物であり、設計の対象となるもの全てを考える。

#### 2)周辺関係物

周辺の地形や構造物などで、たとえば、遠景の山がどう見えるか、施工において重機が電線と接触しないかを検討する必要がある場合、「遠景の山」や「電線」がこれに当たる。

#### 3)経時変化物

経時変化物は、事業が完了した時点では存在しないが、施工開始時や施工中には存在するもので、切土の対象となる地形、仮設構造物、重機などがあげられる。



設計対象物	周辺関係物	経時変化物
新設構造物A 新設構造物B	既存構造物 現況地形	仮設構造物 重機

対象エリア	周辺エリア	後背エリア
1mコンター	10mコンター	50mメッシュ 数値地図

図-6 地形とオブジェクトの分類

### 2.1.3 モデル空間の作成と利用

モデル空間の作成と利用には、編集機能（Editor）、調整機能（Simulator）、閲覧機能（Viewer）が必要である。関係者の立場や目的によって使い分け、モデル空間の作成には編集機能を、利用には調整機能を、参照には閲覧機能を活用することが有効である。特に、土木業務特有である多数の関係者間や住民への交渉や説明に効果的な調整機能の役割は非常に大きい。

以下に詳細を説明する。

#### a) 編集機能（Editor）の基本要件

モデル空間を構成する地形・構造物を3次元で作成できる機能が不可欠である。道路や河川、ダム、分水路といった地形との関連に配慮しなければならない構造物は、平面線形や縦断線形、横断線形から作成することが最適である。これらの複雑な土木構造物の作成に幅広く対応できる線形や地形の編集機能が充実していなければならない。また Editor には、測量段階で取得したデータの運用や、数量計算、高度な解析など、多様な機能を搭載している必要がある。座標系の変換機能を備えていることも重要である。以上により、下記4項目の機能をもつ Editor が望まれる。

##### 1)3次元地形編集機能

ほとんどの土木業務は地形に配慮しなければならず、設計を行う場合は3次元地形が基礎となる。そのために、地形サーフェスを編集できる機能が不可欠である（図-7）。また、土量の算出や流量の解析などができることも大きな利点である。

##### 2)3次元構造物編集機能

土木構造物は複雑なものが多く、橋梁や地下埋設物を直線や曲線を用いて容易にモデリングできることが必要である（図-8、9）。また、道路、河川といった線形編集を要する構造物を作成するための、編集ライブラリや平面・縦断・横断線形の編集機能も不可欠である（図-11）。

##### 3)データ運用

プロセス間のデータ運用は、たとえば XML のような一般性・汎用性のあるデータフォーマットを利用することが有効である。3次元測量データは、主に測量や道路設計について LandXML.org が策定したデータ標準である LandXML 形式、各種測量アプリケーションや CAD でのデータ交換を目的としたフォーマットである SIMA 形式で運用される。LandXML データ、SIMA データ、LP データを運用できることも要件の1つとしてあげられる（図-10）。

##### 4)座標系編集機能

企業毎に異なる座標系を使用している場合や、正しく位置あわせを行っていない場合も考えられる。その際に、モデル空間を同じ座標系に合わせる機能も必要である。

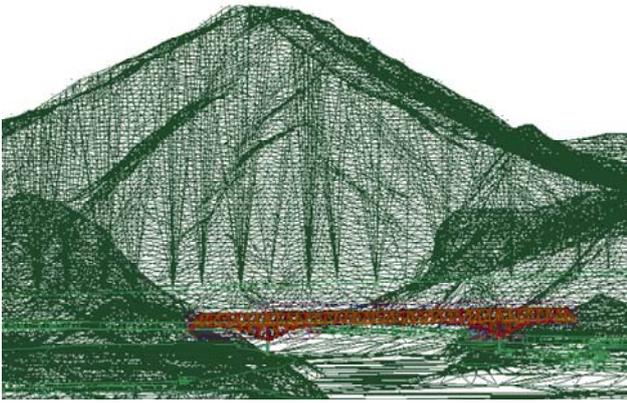


図-7 3次元地形編集

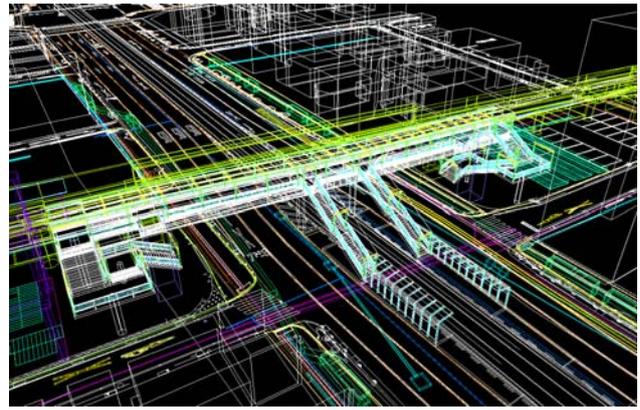


図-8 構造物のモデリング

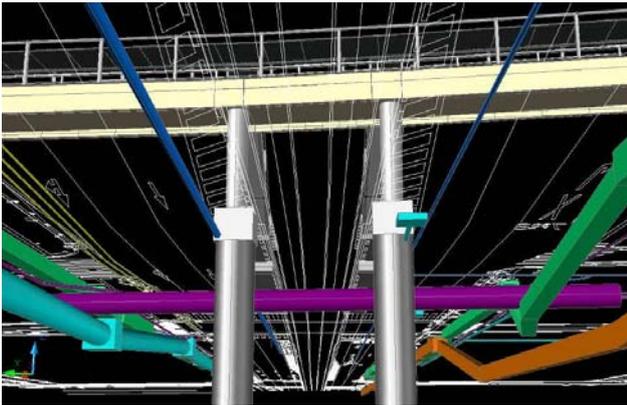


図-9 地下埋設物のモデリング

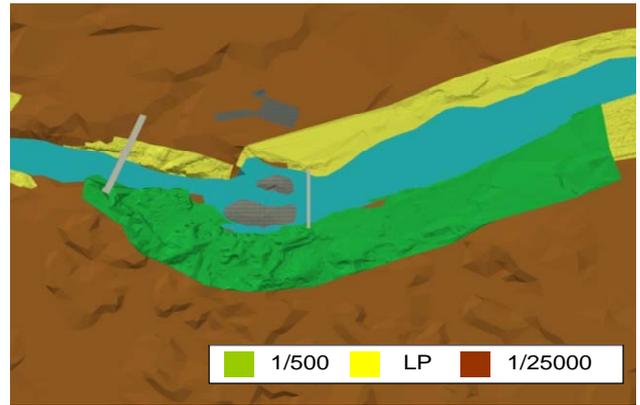


図-10 地形データ運用

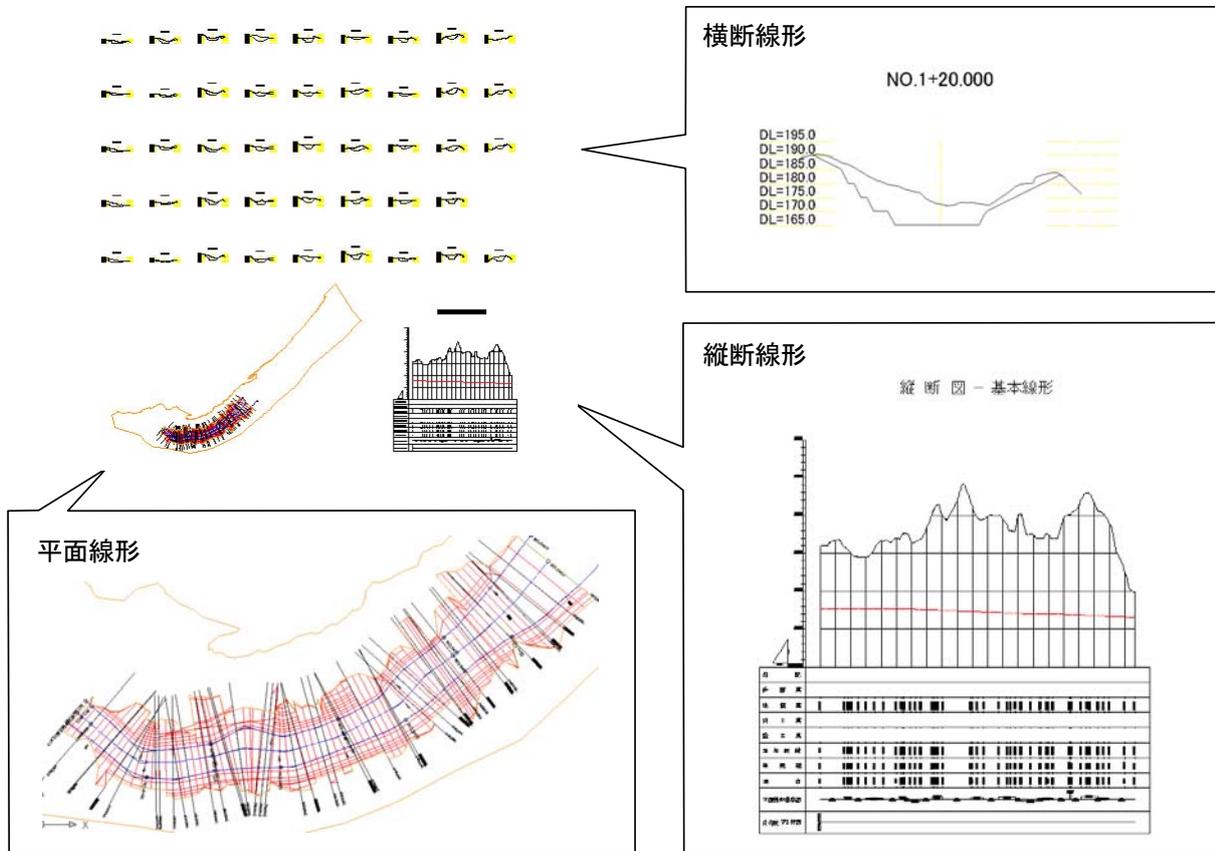


図-11 線形編集

## b) 調整機能 (Simulator) の基本要件

Simulator には、設計業務に関わる技術者間における設計確認機能と様々な関係者間での合意形成機能の2つが求められる。筆者は、土木設計で最重要なのは、Simulator 本機能であると考えている。

### 1) 設計確認機能

設計確認には、①形状、②相互関係、③施工性の3つの確認がある。CAD 作成者や業務関係者がモデル空間内のオブジェクトの形状や相互関係、座標といった基本的な設計の是非を確認できる機能が必要である。そのため、Simulator には Editor によって構築されたモデル空間を移行するための汎用性が必要であり、モデル空間そのものを編集するような機能は必要でない。さらには、地下埋設物や新設構造物との干渉確認といった施工性を確認できる機能も必要である。

#### ①形状

新設される構造物が、正しくモデリングされているかを確認するための機能が必要である。そのために長さや角度、面積の計測機能が備えられていることが望ましい。

#### ②相互関係

道路を地形に正しく据付けているかなどの構造物間の関連性を確認する機能が必要である。

また、新設構造物と地下埋設物が干渉していないか、2次元図面では把握することが困難な構造物間の干渉を検出できる機能が必要である。干渉箇所を色や視点の切り替えで確認できることも有効である。

#### ③施工性

構造物ごとに工程が可視化できれば、施工時の重機等との干渉確認、歩行者や車の動線の変更や交通規制の確認など施工中の様々な事柄の確認ができる。このためには、オブジェクトと時間が容易にリンクできることが必要である。

### 2) 合意形成機能 (図-12、13、14、15)

土木業務における合意形成場には、表-1 に示すように様々な方法がある。そのため、技術者や現場作業員、施主、地域住民への交渉やプレゼンテーションを行うことが不可欠である。相手の立場との関係によりその目的は異なり、それぞれの目的に適応できる機能が必要である。以下に詳細を述べる。

表-1 合意形成の諸相 (文献3)

	対技術者	対現場作業員	対施主	対地域住民
主目的	説明型 (確認、合意形成)	説明型 (確認、指示)	説得型 (承認、提案)	説得型 (理解、同意)
受注	入札金額見積りのための 施工方法、施工手順の決定		入札前 VE ※VE (Value Engineering) 技術提案	
施工計画	施工計画の検討補助及び 設計変更のための代替案 検討補助 ・契約条件の検討	協力会社への担当 分野の説明	設計変更の承認 入札後 VE 施工計画の承認	工事広報 ・着工から竣工までの 景観 ・工事概要の説明
施工管理	・施工方法 ・工程計画 ・機械、仮設備の配置計画	作業内容の説明 ・安全指示 ・作業指導 ・交通指導	設計変更の承認 施工計画の変更説明 工程報告	・施工法の説明 ・環境保全計画の説明 ・苦情に対する説明

さらに Simulator には、①アバター、②工程管理、③レンダリングといった合意形成を支援する各種の機能が求められる。

交渉やプレゼンテーションをする対象者や目的は多様なため、交渉の目的がどのタイプの意味合いが強いかを明確にしておき、効果的な交渉をすることが重要である。よって、人や車からの視点から検討するためのアバターや、時間軸を取り入れた工程管理機能、住民に効果的に説明するために必要なレンダリング機能が必要となる。

### ①アバター (図-12、13)

Simulator の利用局面が異なる度に多様な視点から、アバター (分身) を用いて車椅子利用者に適切な手摺の位置や、歩行空間の快適さを確認するために必要な検討を行うことができる。アバターの種類には、人間の他に重機やバス、車椅子等も考えられる。現場作業員に対しては、ダンプやクレーンのアバターを用いて、重機動線を説明することで安全行動や効率的な作業工程について理解を深めることができる。また、地元住民に対しては、あらゆる視点から自分の家がどう見えているのかを確認することで合意を得やすくなる。



図-12 アバター機能について



図-13 アバターの種類

## ②工程管理 (図-14)

モデル空間に時間軸を付加させ、複雑な工程計画をシミュレートするためのタイムライナーが合意形成機能には必要である。タイムライナーとは、モデル空間内に存在する設計に関わるオブジェクトの時間軸を管理する機能のこと。全工事関係者が工程に対して共通の理解を得るためには、時系列的に作業を確認することができる工程管理機能を備えていなければならない。



図-14 工程管理機能について

## ③レンダリング (図-15)

技術者や現場作業員に対しては、モデル空間の美しさは重要ではなく、平面図上に2、3のオブジェクトを配置するだけでも3次元空間の理解が得られる。しかし地元住民説明等では、極力現実に近いモデル空間を用いてプレゼンテーションに望むことが有効である。そのためにはレンダリング機能の充実が望まれる。

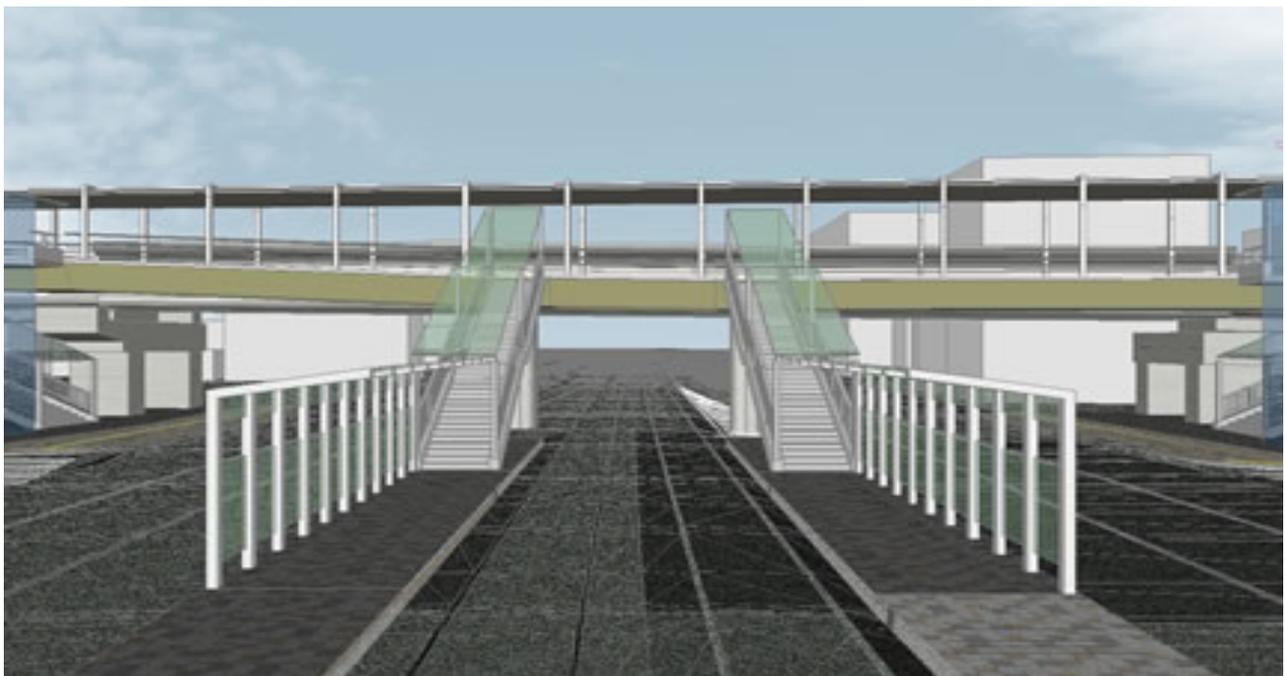


図-15 レンダリング機能について

### 3)インポート機能

各社独自の Editor によって作成された多種多様な CAD フォーマットをインポートできる互換性が必要である。これがないと、別々の会社で設計された、複数の構造物の確認ができない。また、この作業は、特殊な知識なしに、データ取り込みの時点で、自動的にデータ変換が完了していなければならない。

### 4)エクスポート機能 (図-16)

CAD 図面 (dwg、SXF など) モデル空間 (VR)、録画アニメーション (AVI)、静止画 (jpg、tiff)、レポート (txt、HTML) といった形式でモデル空間をエクスポートできる機能が必要である。しかも、それらのデータは、基本的に無償の Viewer で閲覧できることが必要条件である。もちろん、Simulator 側が独自の無償 Viewer を用意することは期待して良い。さらに、エクスポート機能を簡単な操作で行えることが重要である。複雑な操作や、特殊な変換ソフトが用意されているものは、設計者の道具としては用をなさない。

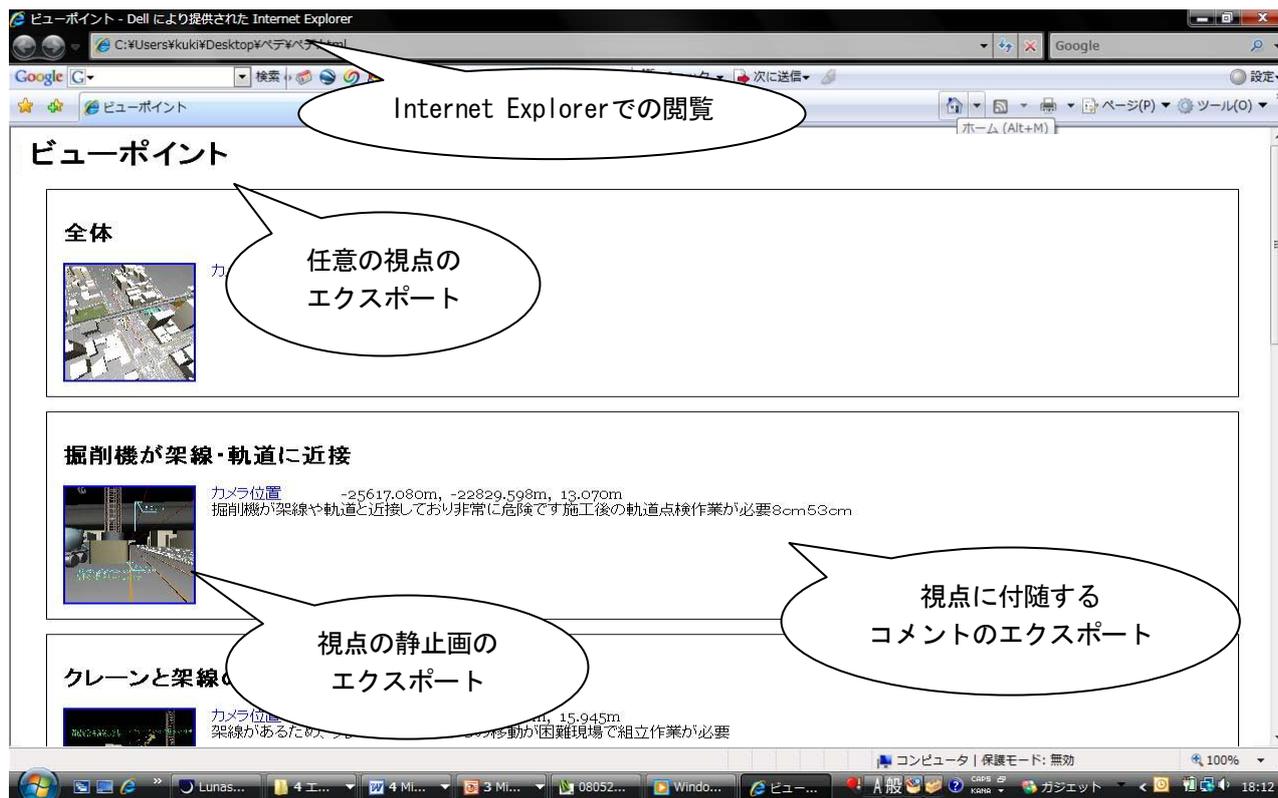


図-16 エクスポート機能について

### c) 閲覧機能 (Viewer) の基本要件

業務関係者は多数点在し、各業務環境は異なる。設計図面を、各会社間や現場間で Web から入手できるという需要は高まっている。このため、Viewer には Web によって情報提供が可能であり、かつ使用頻度の高い標準的な形式のデジタルデータを閲覧できるものが望ましい。業務に関係する情報が一元管理されており、非同期・分散した状況でも活用できることが重要である。調査、設計から施工、維持管理にいたるライフサイクル全体にわたって、関係者全員が必要な情報を共有できることが必要である。

また、Viewer を用いて下記 4 つの項目のような複数の種類のデータ閲覧を行うことで効果的に情報を伝達することが可能である。

#### 1)書類閲覧

構造計算書や流量計算書、工事積算書や工程計画書といった書類の閲覧が可能であるもの。

#### 2)CAD 図面閲覧

現況の平面図や縦横断面図、計画の平面図や縦横断面図を、CAD ソフトをインストールせずに閲覧可能なもの。複数の CAD フォーマットとの互換性も備えたい。

#### 3)動画閲覧

##### ①VR (図-17)

全関係者が無償でモデル空間を自由自在に閲覧でき、Simulator で検討した内容を引き継げるもの。

##### ②アニメーション (図-18)

Simulator によって作成された録画アニメーションを AVI 形式などで閲覧できるもの。

#### 4)静止画閲覧

##### ①レポート (図-19)

目的を持った重要な視点や、その視点の座標やコメントをレポートとして整理し、出力できるもの。

##### ②静止画像 (図-20)

モデル空間内の視点を jpg 形式などの静止画像で閲覧できるもの。

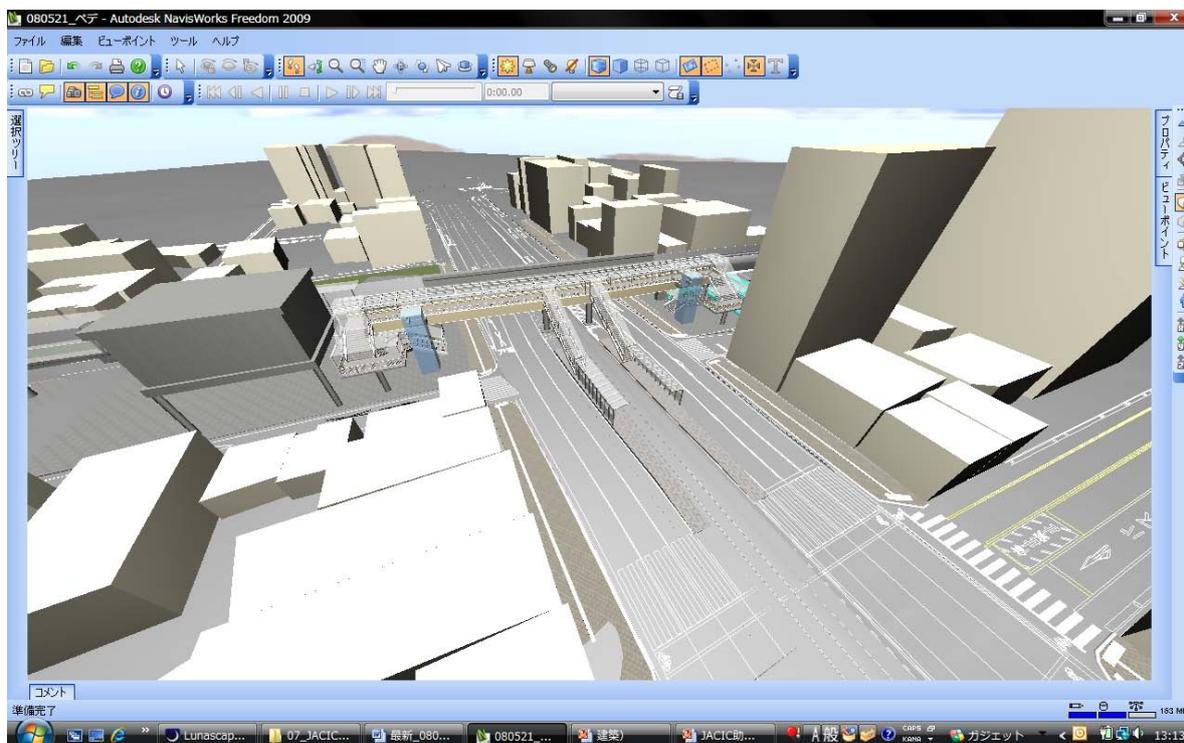


図-17 VRによる閲覧

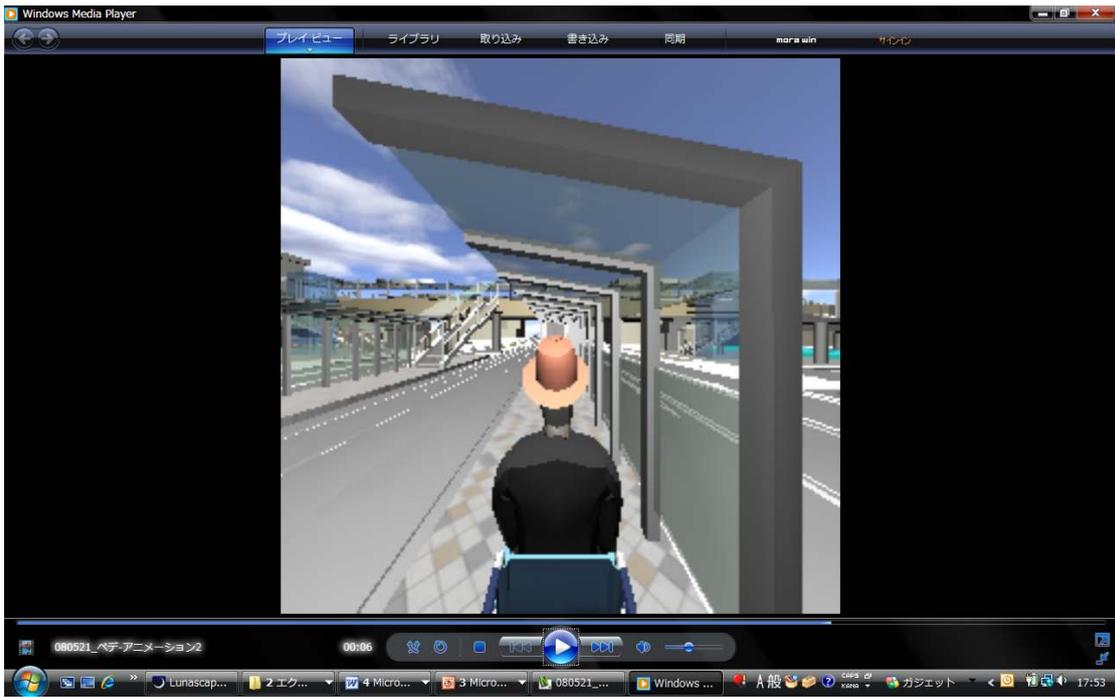


図-18 アニメーションによる閲覧

### ビューポイント

<b>全体</b>	
	カメラ位置
<b>掘削機が架線・軌道に近接</b>	
	カメラ位置 -25617.080m, -22829.598m, 13.070m 掘削機が架線や軌道と近接しており非常に危険です施工後の軌道点検作業が必要8cm50cm
<b>クレーンと架線の干渉の危険性</b>	
	カメラ位置 -25607.532m, -22816.398m, 15.945m 架線があるため、クレーンのヤードからの移動が困難現場で組立作業が必要

図-19 レポート

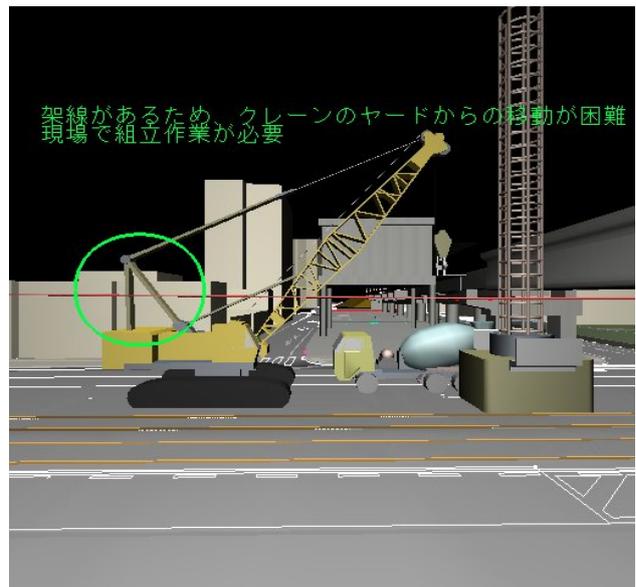
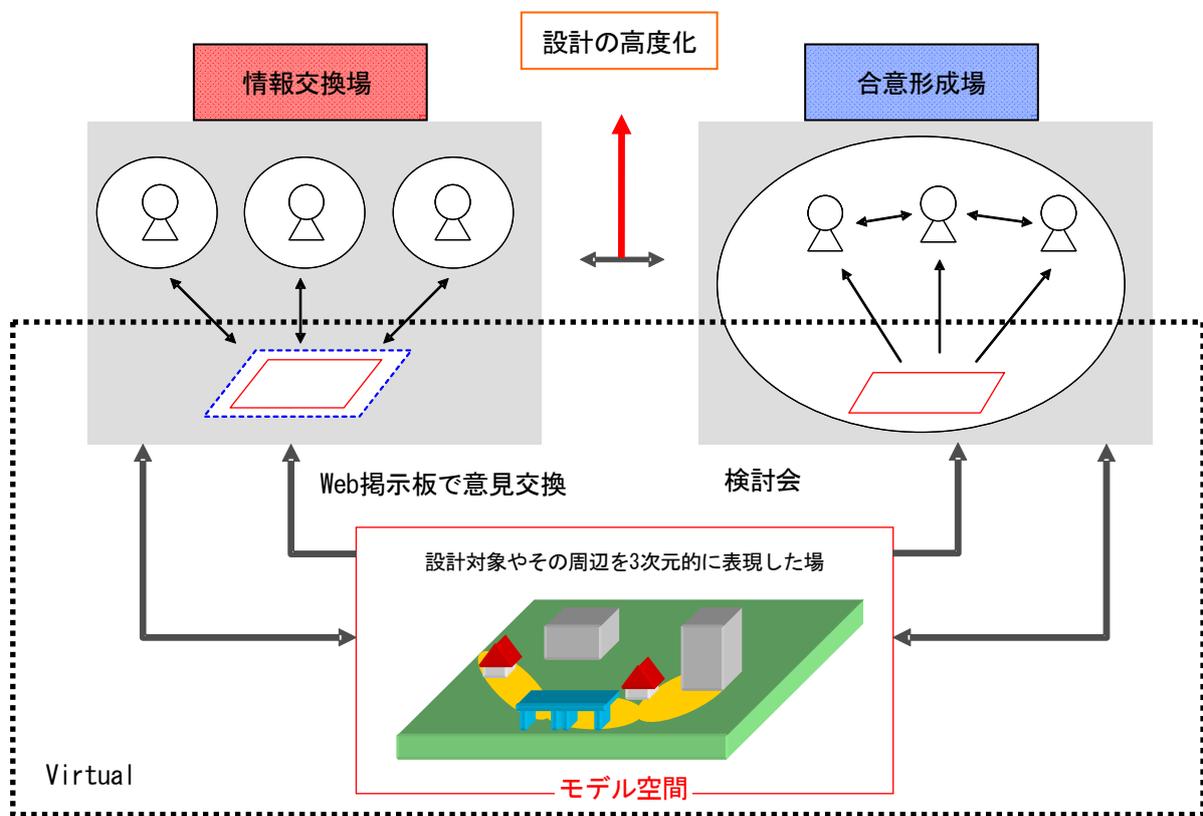
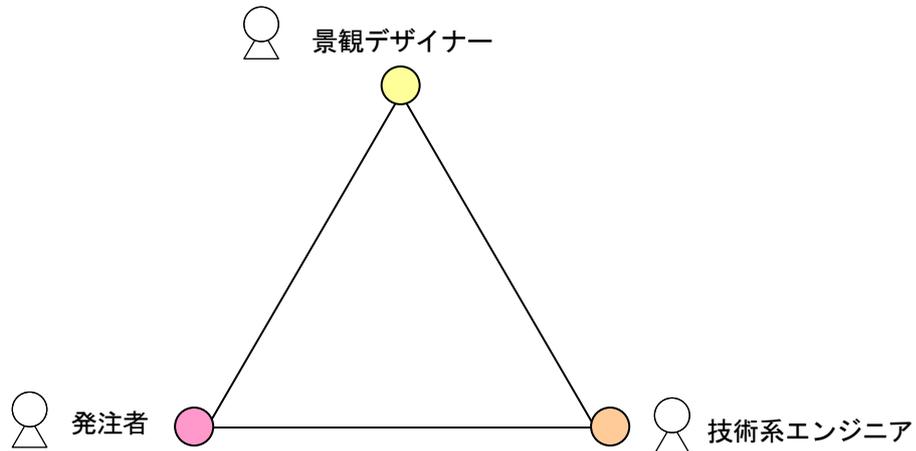


図-20 静止画による閲覧

## 2.2 設計チームと2層の意見交換システム

設計チームと TuC の流れの概念図を以下に示す。設計検討は、様々な観点から各分野に精通した関係者が意見の交換や合意を繰り返すことで進行する (図-21)。TuC では、デジタルデータを可視化したモデル空間に設計やその周辺の状況を再現し、設計チームの意見交換を2層の意見交換システムを用いて行う。このモデル空間の基盤にデジタルデータを利用することで、再現された n 次元オブジェクトの情報を関係者間で Web を介して共有することが可能となる情報交換場。また可視化されたモデル空間やデジタルデータを用いた物理模型を適宜利用し、関係者間で合意を図ることが可能となる合意形成場。ここで行われた意見交換や合意の結果を実設計へと反映する (図-22)。



## 2.2.1 情報交換場

情報交換場には、遠隔地間の各担当者が Web 上で情報を蓄積・提供できる掲示板や情報共有システムを利用したい。筆者らは、Web や 3 次元データを利用した情報共有システムを構築することで、コストや労力の削減が図れることを明らかにした<sup>4)</sup>。以下に、情報交換場の流れを説明するとともに、土木業務に対応できる Web 掲示板に必要な機能を整理する。

### a) 情報交換場について

図-23 に情報交換場の概念図を示す。

情報交換場では、モデル空間を VR、jpg、AVI、dwg という電子データとしてインターネットを通じて遠隔地に点在する業務関係者へいつでも情報を提供することが可能である。これには標準的なデータ形式を選択すべきである。

また、時と場所を選ばず、関係者間で議題を共有できることも大きな利点である。解決策や、問題点が発見できたら即座に掲示板を使って関係者間に伝達できるため、答えを模索している場合でも、それがヒントとなり更なる改善策を生じることも考えられる。

さらに、Web 掲示板を情報共有システムの基盤として据えることで、各業務関係者は合意形成場での検討内容に対する答えを事前に準備することも可能である。これには、答えを考える検討から事前に用意した答えを更に工夫するための検討へと、検討内容の高度化を図ることができる。

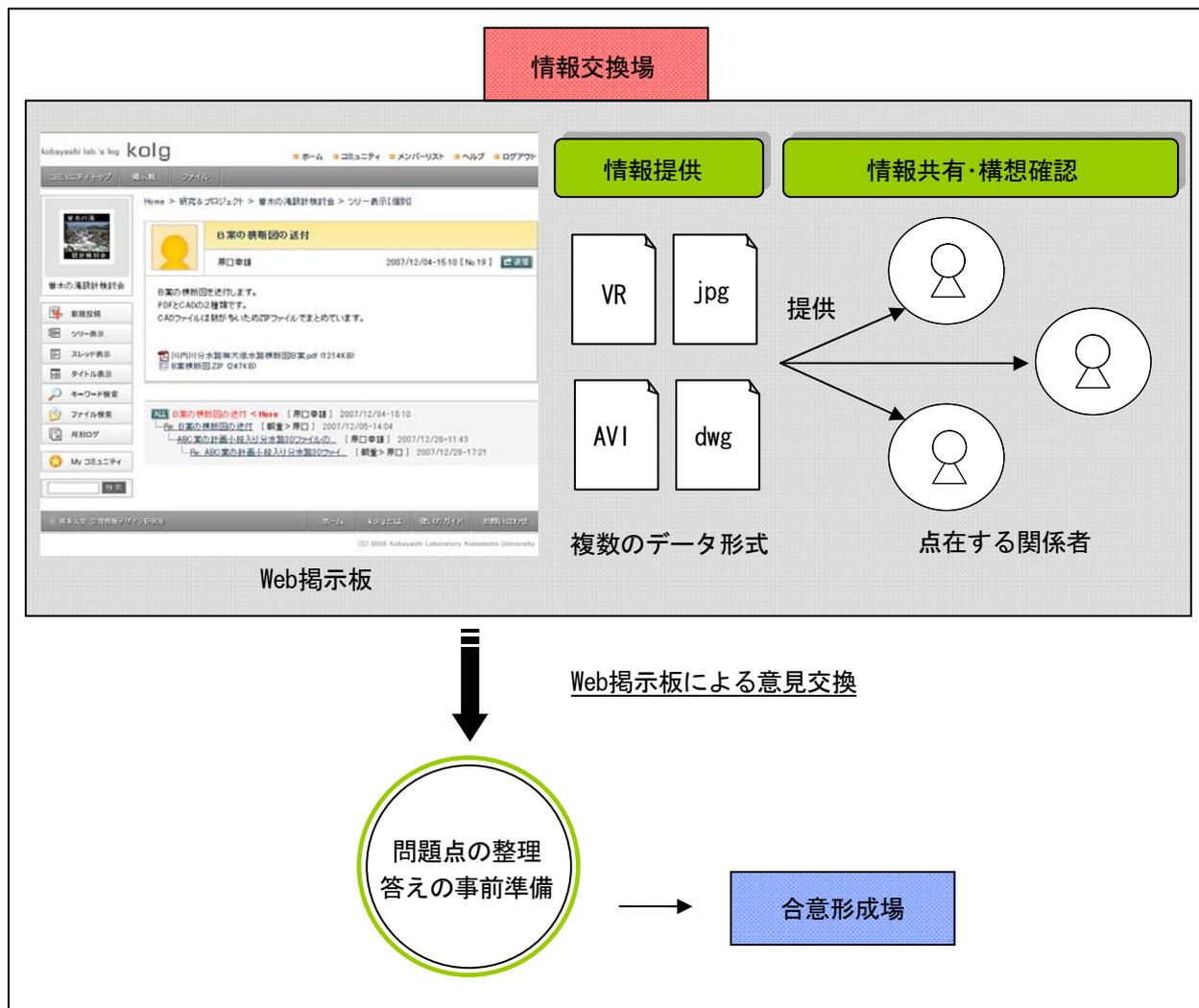


図-23 情報交換場について

b) Web 掲示板の構成 (図-24)

1) セキュリティ機能

情報共有システムには情報漏洩を防止するためにセキュリティ機能を備えていなければならない。工事関係者以外の不特定多数の人が閲覧できないように、システム管理者の下で関係者毎の ID やパスワードを設定し、情報管理することが必要である。

2) コミュニティ機能

多々あるプロジェクト毎に議論を行うために、特定のコミュニティを設ける必要がある。情報共有が可能なメンバーがファイルへアクセスするための権限をメンバー毎に設定できる機能を備えることが必要である。

3) 管理機能

Web を利用した情報共有システムでは、これまでの全関係者間のやりとりや工事情報を Web サーバで一元管理することが可能なため、必要なときに業務に関する情報の提供を行うことができる。業務途中で担当者の変更があった場合でも、データベースに管理されている業務履歴をたどることで次の担当者への効率的な引継ぎが期待できる。さらに、時系列毎に工事情報が管理されているため、関係書類や資料を作成する際の作成時間や労力の軽減が可能である。業務支援システムとして活用するためには、キーワードやファイル検索も必要であろう。

1) セキュリティ機能



2) コミュニティ機能



3) 管理機能



図-24 掲示板の構成について

## 2.2.2 合意形成場

合意形成場（図-25）には、モデル空間を映し出すためのプロジェクタやスクリーンと Editor・Simulator が導入された高スペックの PC が必要である。

合意形成場では各チームが複数の項目を念頭において検討することが可能である。これにより、たとえば、景観性だけでなく、機能性、施工性に配慮した総合的な設計検討を重ねることができる。このために、長期間の設計検討を強いられる場合があるが、施工段階での問題発生による損失よりも、施工前に問題を発見し、解決策を導いておくことが総合的なコスト削減に結びつくと考えられる。

また、情報交換場を用いて全関係者が事前に同じ情報を共有し、合意形成の前にアイデアを準備できる。何らかのアイデアを前もって準備し、全関係者が相乗して合意形成を図るため、「気づき」から「工夫」へと高度な検討を実施することができ、合意までの時間も比較的短縮できると考える。よって、各関係者が工夫を提示することで議論を活性化させ、全関係者が協働して新たな工夫を生むという改善の体系化を目指す。

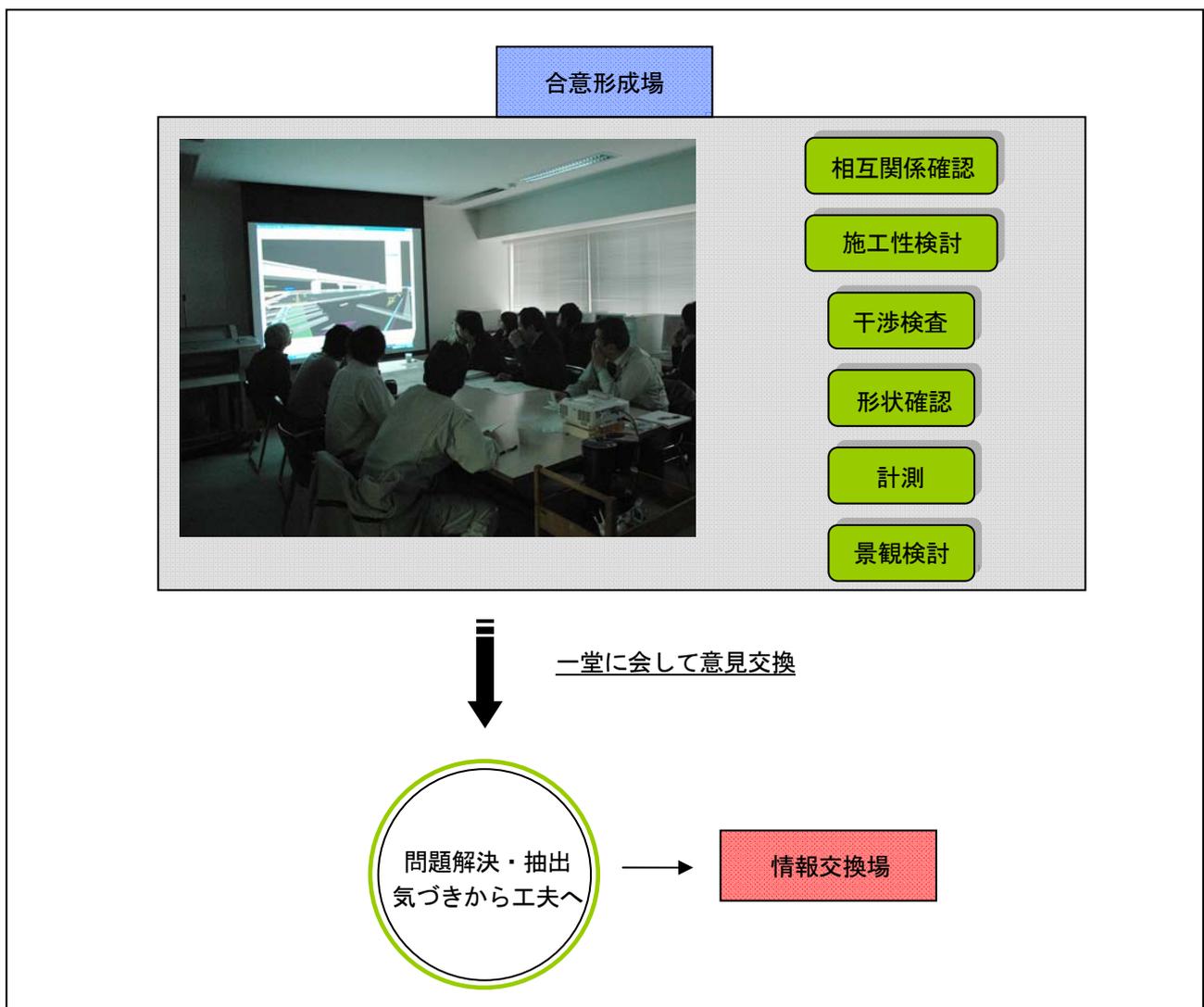


図-25 合意形成場について

### 3. 適用と考察

本研究では、分水路設計と駅周辺整備の二つの事例に TuC を適用した（図-26）。編集機能（Editor）には Autodesk 社の AutoCAD Civil3D を、調整機能（Simulator）には Autodesk 社の NavisWorks Manage を、閲覧機能（Viewer）の VR 閲覧には Autodesk 社の NavisWorks Freedom を用いた。分水路設計では、大規模な地形改変を伴う事業に対して TuC システム上で計画段階からコンセプトの決定、設計案の検討を行った<sup>5)</sup>。駅周辺整備事業では、設計対象物と既存構造物が時系列を伴って複雑に交差している事業に対して、詳細設計を基に TuC システムを構築し設計案の確認を行った<sup>6)</sup>。最後に考察をまとめる。

#### a) 分水路設計事業

切土面の形状に着目し、以下 3 項目の検討を行った。

- 1) 対象地の地形、主な既存構造物を基盤データとして作成し、分水路自体の形状と合わせて、分水路掘削後の地山との調和、周囲からの眺望の変化などの景観性の検討。
- 2) 計画水量である  $200\text{m}^3/\text{s}$  を確保し、法面の浸食や風化に配慮しつつ、親水性を考慮した機能性向上の検討。
- 3) 経済性を向上させるための土工量の比較による経済性の検討。

#### b) 駅周辺整備事業

本事例では詳細設計終了後、以下 3 項目の検討を行った。

- 1) 3D-CAD にて周辺関係物と設計対象物を作成し、自由通路の調和性の検討。
- 2) 移設される駅舎と鉄道橋、高架橋を含めた全体の相互性の確認。
- 3) 自由通路の新設工事における経時変化物と各構造物間の施工性の検討。

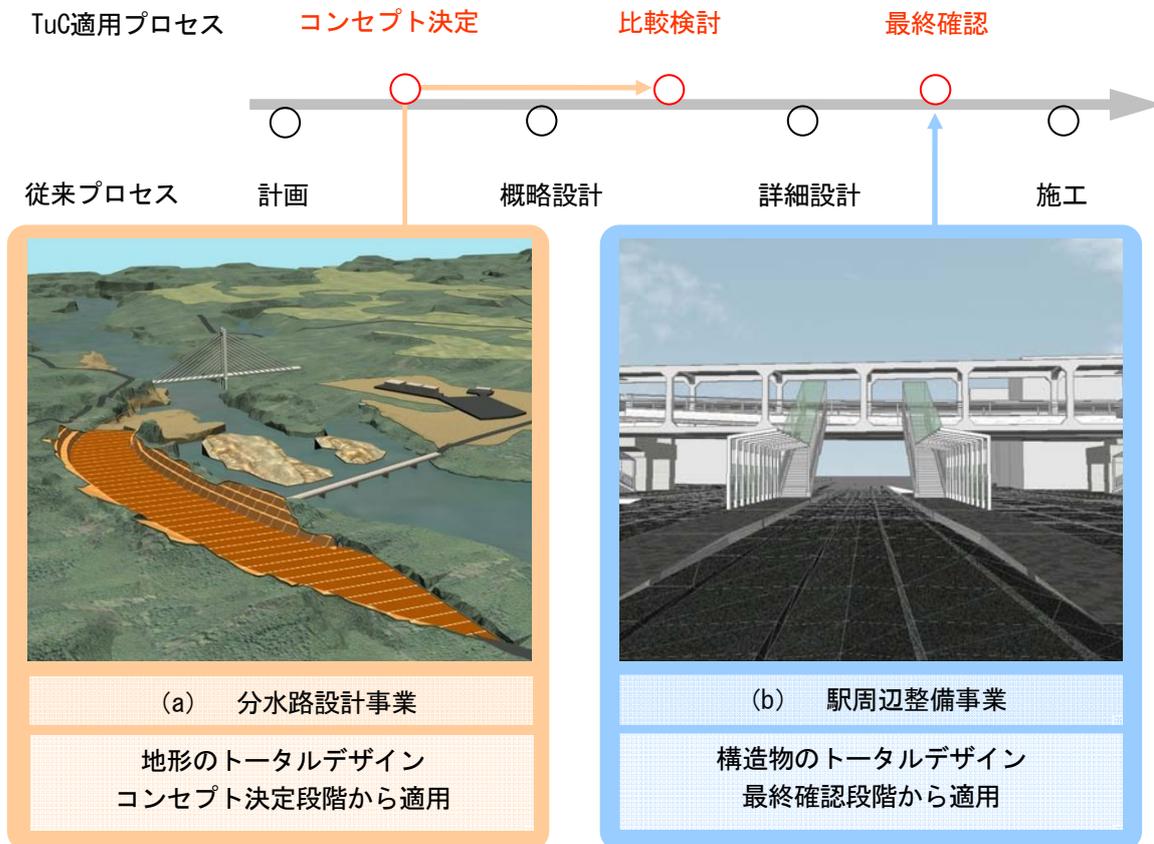


図-26 適用事例

### 3.1 分水路設計事業

#### a)事業概要

本研究は、九州で行われている分水路工事を一例としてケーススタディを行った。この分水路は、洪水被害を受けての河川激甚災害対策特別緊急事業の一環として建設が予定されている。現在の本川流量約 $3,900\text{m}^3/\text{s}$ のうち、 $200\text{m}^3/\text{s}$ を分水路に分担させ、外水氾濫による家屋浸水被害の解消を目的としている。計画当初の1次案（詳細は文献5）を参照されたい）では、分水路幅約60m、施工延長約700mとなる大規模工事である。図-27の水色の部分が分水路の河床幅を表している。写真-1は、現場の航空写真である。

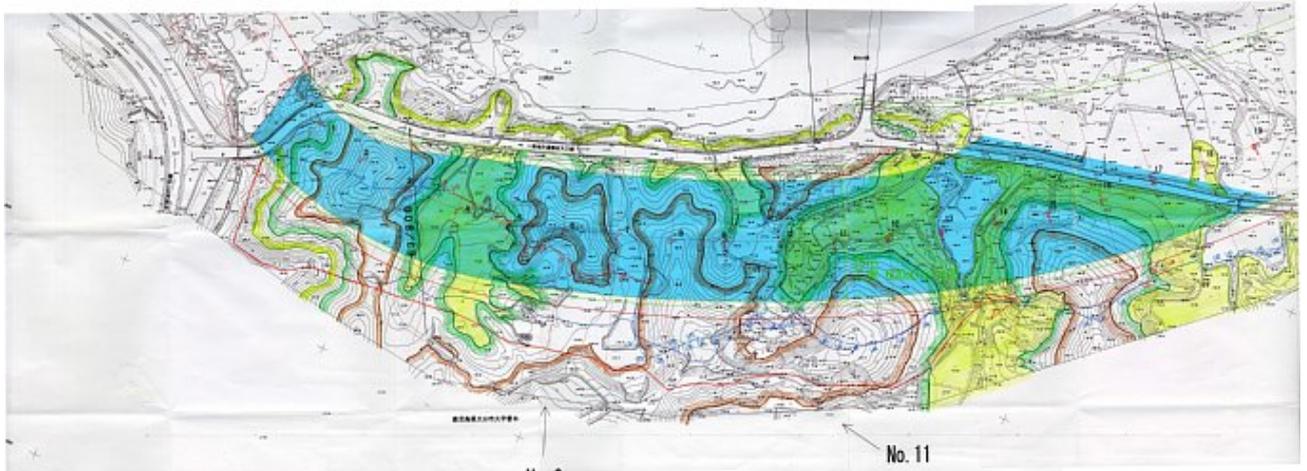


図-27 工事用図面

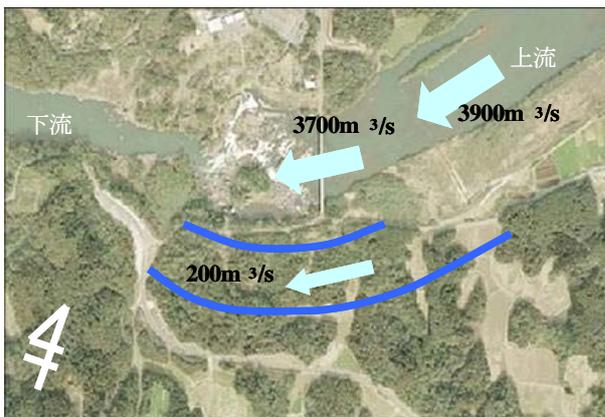


写真-1 現場航空写真



写真-2 現場の景勝地

この対象地は、近隣に景勝地である滝（写真-2）があり、既存の展望所からの眺望等、景観に配慮した設計が求められている。本工事では、学識経験者を座長とした、市長、地元の商工会、観光協会の関係者、地域住民らからなる景観検討委員会が組織されており、委員会が催されている。写真-3は第二回景観検討委員会の模様である。ここで行われた検討内容・結果を受けて、発注者、技術系コンサルタント、大学の三者間で意見交換・データの共有をしながら検討を進めている。この中で大学は、景観を考慮した設計案の作成を担当している。筆者らは、設計案の平面図・縦断図・横断図・分水路の3D-CADデータ作成し、技術系コンサルタントの水理計算担当者へ送付を行っている。その後、水理計算結果を受けて、再度設計検討を行う、という流れを繰り返しながら検討を進めている。



写真-3 景観検討委員会

b)分水路設計事業における効果

1)分水路設計事業における経済的指標

①土工量

本事業の特徴は地形を削り、新たに分水路を建設する大規模な地形改変をとまう。つまり掘削する土工量が一番大きな経済的指標となる。

②作業時間

設計検討を進めるにあたり、複数の関係者間においてデータの共有を行い、水理計算やデザイン検討などを行った。そこで、TuCを適用する事で業務の作業時間の変化を経済的指標とした。

2)検討結果

①検討の流れ

本事例の検討においては、学識経験者を座長とした、市長、地元の商工会、観光協会の関係者、地域住民らからなる景観検討委員会が組織されており、そこでの意見を受けて、発注者・技術系コンサルタント・大学の三者間で検討を進めた。

大学間でデザインの検討を行い、技術系コンサルタントが設計データを基に水理計算を行った。従来通りの平面図での検討から図-28、29に示すように設計検討を3次元データを基盤とした検討に移行し、合計7案の検討を行った。

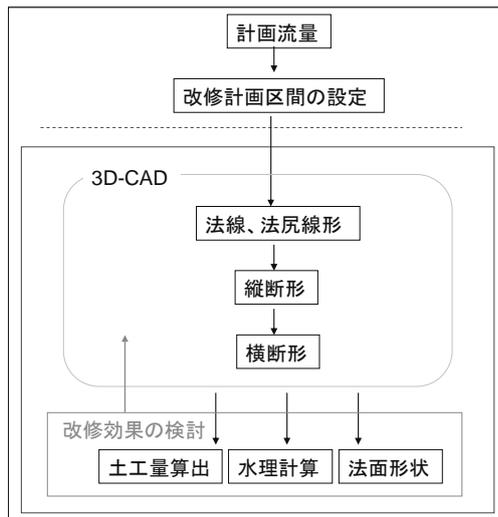


図-28 3D-CADを用いた設計検討フロー図  
(文献7)より

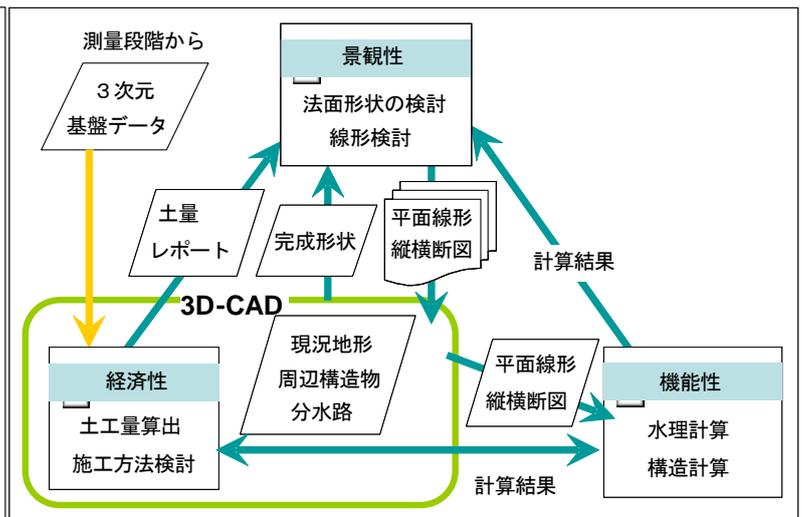


図-29 3次元データ運用図

## ②検討結果

1次案と景観検討委員会を受けて大学から表-2で示すA～C案を提示した。また、3次元地形を作成し、各案を3D-CAD上で表現した結果から土工量計算を行った。水理計算に関しては、フリーハンドの平面図を用いて断面の予測を技術系コンサルタントが行い断面形状から水理計算を行った。この時、検討案を提示してから水理計算の結果がでるまで12日間であった。

水理計算結果、土工量計算結果、表-3で示す法面比較結果などの景観性を総合的に判断し、B案を基に検討を進める事を決定し、B2～B5案と検討を進めた。より地形らしく法面をラウンディングさせ、分水路の内部に導線を確保した広場を設けるなどの検討を行った。B2案からは水理計算は3次元の分水路形状より抽出した横断面、縦断面から技術系コンサルタントが水理計算を行った。この時、検討案の提示と同時に横断・縦断のデータを提示したところ水理計算の結果がでるまで9日間であった。

表-2 1次、A、B、C案の比較表

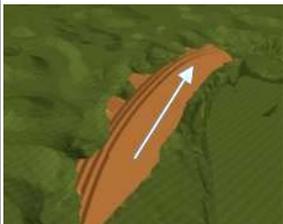
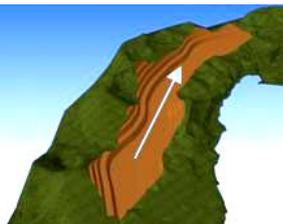
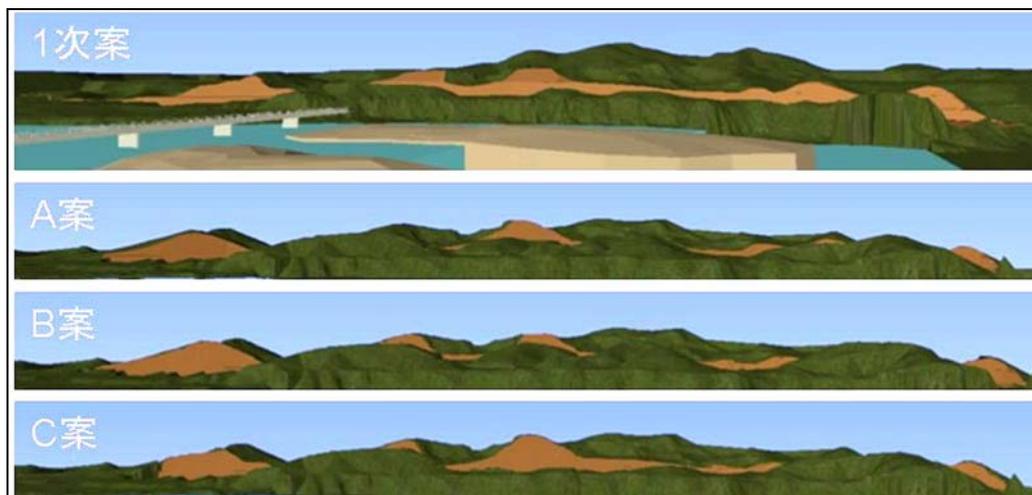
名称	1次案	A案	B案	C案
完成予想図(CAD)				
景観	×	◎	○	△
水理	◎	×	△	○
土工量比	×(100.0)	◎(65.9)	○(72.8)	△(90.5)

表-3 1次、A、B、C案の法面比較表



## c)考察

本事例においては、土工量が経済性の重要な評価指標であった。そのため、土工量は設計案の重要な評価指標となり、複数の設計案において、コスト比較を行いながら検討することができた。また、複数案の検討を進め、平面線形や縦横断面を変更した際に、自動的に土工量を再計算できることが有効であった。土工量算出を行いながら、設計案を改善していくことで、結果的に、1次案からB5案では25.4%の土工量が削減された。

水理計算についても、平面線形・横断面・縦断面をCADデータで提供したことにより、フリーハンドの線形から平面図・縦横断面を作成し数値を抽出する方法と比較して、A～C案の水理計算結果が出るまでの作業日数12日間で、B2案以降は9日間で3日間短縮できた。このように、設計プロセスにおいて3D-CADを基盤とすると検討に要する時間の短縮に効果があったと考える。

## 3.2 駅周辺整備事業

### a) 事業概要

対象現場は幹線道路、路面電車、鉄道の交通結節点となっている。予定されている工事は①駅舎と鉄道橋、高架橋の新設（民間企業発注）②自由通路の新設と道路拡幅工事（県発注）③電停の移設と駐輪場の新設（市発注）となっている（図-30、写真-4、写真-5）。

対象地は、幹線道路、路面電車の軌道があり、鉄道橋と自由通路が道路上を横断的に建設される予定である。狭い空間に設計対象構造物が複数存在しており複雑になっている。さらに、現地は交通量も多く、交通結節点として機能しているため、機能を維持させたまま施工を進めていく必要がある。したがって、夜間工事を行うことは避けられないが、様々な問題が考えられる。例えば、自由通路の杭施工について、地下埋設管があるため橋脚の杭と接触する可能性があることや、路面電車の架線があるため重機が接触する危険性が考えられる。これら夜間工事は準備、施工、撤去の過程を朝までの限られた時間内で行う必要がある。その他に騒音問題や交通規制などがあり、また都市部であるためヤードが少ない。

また、事業には民間企業、県、市の複数の発注者が存在し、構造物は個別の企業に発注されている。受注した企業は構造物単体において設計しており、それらの設計は事業全体での設計条件や施工管理を考慮されていない。さらに、今回の駅周辺整備事業は小規模であるため全体を統括する役割が存在しない。

上記のように、構造物が複雑に絡み合い施工が困難と懸念されながらも、事業全体を把握する役割がないまま、詳細設計が終了し施工に移ろうとしている現状であった。



図-30 現場平面図



写真-4 現場周辺



写真-5 鉄道橋

b) 駅周辺整備事業における効果

1) 駅周辺整備事業における経済的指標

① 立体横断施設の建設費

設計対象である立体横断施設を施工するための費用であり、事業費の大半を占めている。

② 夜間工事、住民説明などの費用

本事業では、交通結節点での工事となるため夜間工事を必要とし、交通規制にともない住民説明が必要となる。時間や空間的制約の大きさから費用が変化する。

2) 検討結果

① 検討の流れ

本事例では、詳細設計が既に完了しており、原案から3次元モデルを作成した。モデル空間内で周辺関係物との干渉確認や鉄道橋との比較から設計案の検討を行い、重機などの経時変化物の配置による施工性のシミュレーションを行った。

シミュレーション結果から、立体横断施設の杭基礎と地下埋設物との干渉、桁の傾き、杭施工の困難さを抽出し、解決案の提案を行った。

② 検討結果



図-31 全体図

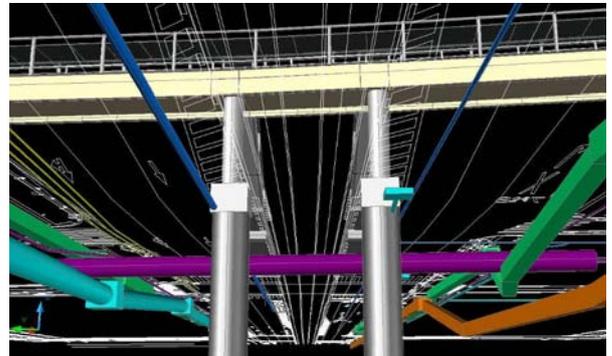


図-32 杭と地下埋設物の干渉

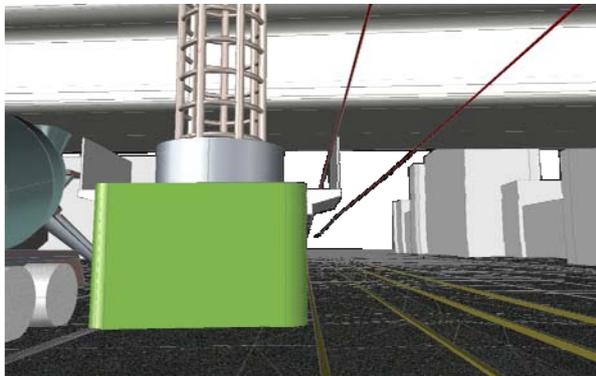


図-33 掘削機と軌道・架線比較

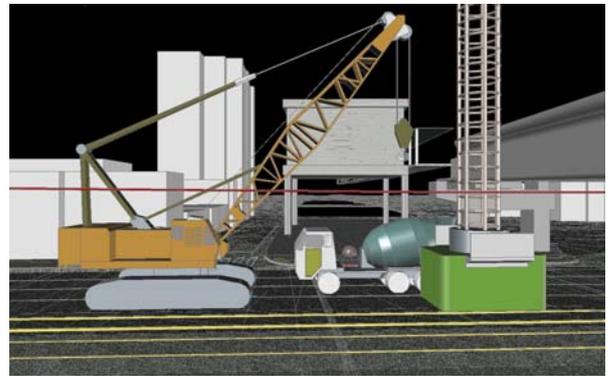


図-34 クレーンと架線比較



図-35 初期案正面図

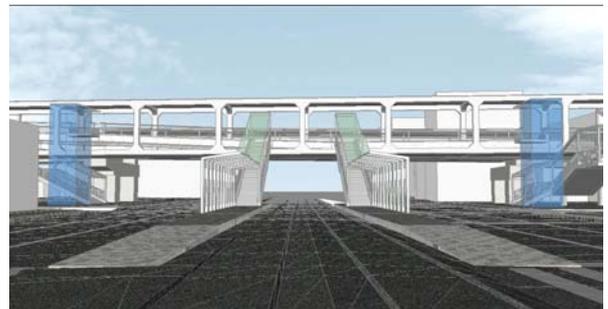


図-36 フィレンディール案正面図

図-31 のようにモデル空間に作成した設計案の3次元モデルを作成する。次に施工計画を基に経時変化物である重機や仮設物を時系列に合わせて配置し、工程毎に結果を確認した。現案は3径間の桁橋であるため中央に杭施工を行うが、図-32 のように地下埋設物との干渉が確認された。また、図-33、34 に示すように杭施工時の掘削機と市電軌道の距離(8cm)、架線の距離(53cm)、クレーンの高さや架線の高さ等から、杭施工に関して就業前後の軌道確認やクレーンのヤードからの移動で架線を切る必要があることが判明し、夜間工事の施工時間が十分に確保できないことがわかった。

これらの課題を踏まえて、景観性の観点から図-35 から図-36 のように中央の杭施工を必要とせず、桁の傾きを抑える案として単径間のフィレンディールが検討された。しかし、この案では橋梁の施工費が高くなることから桁橋の単径間案が発注者側から再提案されている。

### c) 考察

本事例においては、複数の構造物に対し設計完了後の全体照査のためにモデル空間を用いた。照査の結果、橋梁原案の積算では計画の施工時間が確保できないことが判明した。夜間工事の日数が1.5倍となり、夜間工事の費用と交通規制費用が増大する。表-4 に示すA案はこれらの費用を計上したもので比較として100とした。そこで改善案であるフィレンディール案(B案)は杭施工を必要としないため夜間工事費などを削減でき、施工性は向上したが橋梁の事業費が120.3と増大した。B案では、橋梁が単径間になることで得られる利点を示すことができ、発注者側から桁橋のまま橋長を短くし単径間にする変更案が提示された。C案では橋長が64mから42mに短縮され橋梁の施工費が58.0と大幅な事業費削減となった。

本事例の検討において、A案では、モデル空間内で検討を行うことで施工中に起こる不具合を事前に発見でき、より現実に近い費用を積算できた。このまた、改善案を提示することで、杭施工の困難さが関係者間で共有され(「気づき」)、B案を経てC案で示すとおり事業費削減と施工性の向上を両立させた案(「工夫」)を導出できた。

設計や施工計画は専門家でも図面上だけでは空間をすべて把握できず、施工段階で対応するため工程が止まる原因となることが多い。そのため、施工段階で発見される問題を設計段階で発見できたことの効果は大きいと考える。また、問題や改善案に対して関係者間の合意形成が円滑に進み「気づき」と「工夫」を導くことでより良い設計案が導き出せたと考える。これらの「気づき」と「工夫」は三者協議の発展形とも考えられることから、そうした面からも提案していく必要があると考える。

表-4 各案の事業費積算結果比較表

名称	A案	B案	C案
形式	3径間桁橋 	単径間フィレンディール 	単径間桁橋 
景観	△	○	△
施工の難易度	×	△	○
コスト比	100.0	120.3	58.0
コスト内訳(A案の総コストを100.0として換算)			
上部工	38.4	89.9	27.7
基礎工	15.9	7.6	7.6
階段施工	22.7	22.7	22.7
夜間施工	17.1	0.0	0.0
地下埋設物移設	5.9	0.0	0.0

### 3.3 TuCの可能性

#### 1)モデル空間の作成と利用

モデル空間の使い方を3段階（編集、調整、閲覧）に分けて述べた。ソフトウェアの開発は本研究の関知しないことであるが、モデル空間のマネジメントを行うために必要な、編集機能(Editor)、調整機能(Simulator)を備えた市販ソフトは存在する。これを用いた今回の実証実験で、十分議論に耐えうるモデル空間が構築可能であることが判った。

編集機能(Editor)の能力によっては、複雑な土木構造物のモデリングも可能であり、土工量の算出は、極めて容易であった。調整機能(Simulator)に関しては、さらに大きな可能性を確かめることができた。以前ならば、VRを用いて、モデル空間での検討をストレスなく進めることは困難であった。しかし、調整機能に特化したソフトウェアの充実により、土木設計の特徴である「各種の調整（技術者間での意見交換、施工検討、地元住民への説明、警察等関係機関との協議など）」が容易に行えることを確認した。コストや時間として評価しにくい、その後の設計の変更時間を飛躍的に短縮したり、根本的な再検討を行ったりと、効果は大きい。設計手法の改善は、設計自体のコストを下げるよりは、質の向上として目に見える成果がある。さらに、施工や維持管理でのコスト削減を考えるとその効果は極めて大きい。ただし、「設計費と施工費の全コストを最小化させるような設計」の検討の必要性は本研究で、その萌芽が示され、実際の土木工事では、3次元設計は設計内容よりむしろ施工場面に有効な施策であると考えられるため、このことは今後追究すべき重要な課題である。

さらに、ここで最も強く指摘したいのは、閲覧機能(Viewer)の充実についてである。各種の調整は、各地に散在する関係者間での事前資料の検討が重要である。これまで、このような点は、あまり重視されてこなかったが、今回利用した調整機能を用いると、画像、動画、簡易VR等への、データ書き出しが容易であり、各自がこのデータを無償で閲覧可能である。このことを再度強調しておきたい。土木事業の関係者は、様々であり、設計の検討段階でも、モデル空間を直接見ながら検討する機会（合意形成場の利用）よりも、遙かに多くの場面で無償データの閲覧をする。これが予備的な「気づき」から「工夫」を生み出している。あるいは、その後の地元住民の協力体制に決定的に影響を及ぼす。より具体的で丁寧な情報公開を考えると、モデル空間の閲覧機能の充実は今後も、大きなテーマであると考えられる。

また、モデル空間というデジタルデータを保持していることで、景観性、機能性、施工性、調和性等々というトータルな検討を可能にしている。閲覧、調整と進んだ議論が、編集機能(Editor)にフィードバックされ、再度設計検討を行えるのは、デジタルデータがあるからに他ならない。本研究の成果の一つとしてデジタルデータを検討の基盤に置いたことの意義を明確にすることができた。

#### 2)設計チーム

##### ①情報交換場

情報交換場を用いると事前に議論内容や問題に対する解決策を準備できるため、会議時間を大幅に削減することが可能であった。業務の履歴や業務に関するデータもWebサーバ上で時系列的に管理していたために、担当者変更の際の業務の継承にも有効であり、Web上で情報交換する意義を再確認することができた。また、全関係者で同じ情報を共有できることも有効であった。工事情報や問題点を共通認識することで無駄な誤認による設計変更をなくし、時間とコストの削減が可能であった。

##### ②合意形成場

合意形成場での議論に備えて、各設計チームがアイデアを準備してくると、他の設計チームのアイデアに個人のアイデアを加えることができ、新しいアイデアが次々と派生していくという効果があった。このようにアイデアがアイデアを呼び、議論を活性化させ、「気づき」から「工夫」へと設計解の質の向上を目指すことがTuCの真髄である。そのためにも、合意形成場で「気づき」を促す調整機能(Simulator)の役割は重要となる。

また、合意形成場において施工検討から問題点を探り、問題解決のために設計へとフィードバックすることが可能である。設計時間を倍にすることで施工時間を半減でき、総コストの削減を図ることができるだろう。

### 3.4 TuCの課題

#### 1)モデル空間の作成と利用

編集機能によってモデル空間の構築は可能となったものの、まだまだ課題はある。土木業務の対象地は、後背地を含めて広範囲に及び、構造物も大規模なものが多い。そのためデータ量が増大することは避けられず、モデル空間作成時において、しばしば支障をきたす場合がある。ストレスなく作成するために、編集機能の性能向上が求められる。

調整機能には、モデル空間のスケールを理解しづらいという課題があった。これを解決するためには、アバターの設定を改善し、より人に近い視線で検討を重ねられることが必要となる。また、アバターも多くの種類が必要である。例えば、子供、車いすだけでなく、クレーンやダンプといった重機、タクシー、バスや市電といった公共交通機関などの視点からの検討も施工計画を考える上で欠かすことはできない。今後、こうした課題を改善し、Simulator（シミュレート機能）からNegotiator（調整または交渉機能）へと展開していかなければならない。

閲覧機能に関しても、幾つかの課題が残った。たとえば、静止画（jpeg）が送られたとき、それに簡単に文字や線を書き込む機能の充実があれば更に議論は活発になるであろう。あるいは、簡易VRであれば、幾つかの視点を設定するが、視点番号等をあらかじめルール化し、全員がそれを了解しておけば、その後の議論は容易なものになったと思われる。

#### 2)設計チーム

##### ①情報交換場

今回、情報交換場としてWeb掲示板を利用した。初めて掲示板を使って業務をする担当者にとっては、報告・連絡・相談には掲示板を使うという習慣がなく、掲示板を確認することを忘れてしまうという課題が生じた。他の担当者からは、使用頻度や掲示板の基本的な使い方がわからないといった意見も聞かれた。こうした問題を解決するためにも、掲示板の基本的なルールを掲げることが必要である。

また、掲示板にはデータを共有できる機能を設けている。業務には複数のチームが参加しているため、共有できるデータにはそれぞれの企業の技術が付加しており、他社に技術が盗用される可能性も危惧された。全担当者が共有して良いデータであるのか特定の担当者だけが共有できるのか、共有権限の設定も必要である。

##### ②合意形成場

合意形成場では、議論を活性化させるマネージャーが必要となった。複数企業で議論する際には、マネージャーが意見の是非や優先順位を考慮しなければならない。

また、意匠検討においてアナログツールで生まれたアイデアや形をいかにデジタルへと変換し運用していくかが課題となった。意匠検討で生まれたアイデアやスケッチを、その場でデジタル化することは難しい。アナログとデジタルの垣根をなくすことが今後の課題として挙げられる。

「施工検討にも配慮した設計」は施工コストを大幅に節減できる可能性を持つ。これまで、それが実現しなかったのは、発注体制の問題もあるが、モデル空間の取り扱いが容易ではなかったからである。しかし、調査段階での3次元データの運用が日常化し、本研究でも指摘したように設計段階で「施工時のモデル空間」の利用が可能となれば、設計自体のコスト削減ばかりではなく、施工コストの削減を目指した設計は技術的に可能である。機械設計における、CAD-CAMのように一体としてパッケージ化できないとしても、施工の専門家をも含んだ設計検討は可能である。

## 参考文献

- 1) 桜田明彦ほか：バックホウ掘削工への情報化施工の導入と普及に向けた検討、建設施工と建設機械シンポジウム論文集、pp65-70、平成 19 年度
- 2) 篠原修ほか：ダム空間をトータルにデザインする、山海堂、2007
- 3) 野村大樹：施工支援用録画アニメーションの提示・作成技術に関する研究、熊本大学大学院土木環境工学科平成 10 年度、修士論文
- 4) 小林一郎ほか：VR 技術を用いた施工支援ツールの開発、平成 18 年度（財）日本建設情報総合センター研究助成事業、第 2006-12 号
- 5) 朝重亜紀子ほか：3D-CAD を用いた分水路設計検討に関する実証的研究、土木情報利用技術論文集、Vol.17、掲載予定、2008 年
- 6) 池本大輔ほか：3D-CADを基盤としたトータルデザインシステムの提案、土木情報利用技術論文集、Vol.17、掲載予定、2008年
- 7) 岩佐義朗：最新土木工学シリーズ 17 最新 河川工学、森北出版、p.109、1979.

# EXPERIMENTAL STUDY OF APPLICATION FOR 3D-CAD TO TOTAL DESIGN

Ichiro KOBAYASHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Member of JSCE, Ph.D., Kumamoto University

This study examined the use of 3DCAD for a design about public works. Consensus building system was established for the design. It was called TuC. In design about public works, each design of a structure needed to be considered about influences of the surrounding landform and existing structures. Furthermore if the construction planning was elaborated, the design solution would be different one.

The characteristics of TuC are as follows. 1) Model space: The situation of construction is considered in the Model space which is created by 3DCAD. 2) Two stages of Consensus building system: Web discussion and Face-to-face discussion are used as the situation demands.

TuC was applied to a diversion channel design which was considered to landscape of river and an urban redevelopment project for the area around the station as sites of demonstration experiment. Consensus building work of design became more closely and quickly by using this system. Furthermore the possibility of approximately 30% cost-savings of design with landscape design was shown.

**KEYWORDS:** *3DCAD, TuC, Model space, Two stages of Consensus building system.*

## 研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助成研究名	研究者・所属
第2007-3号	相互に影響する構造物間のトータルデザインへの3D-CADの適用に関する実証的研究	小林一郎・熊本大学
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>1. はじめに</b></p> <p>本研究は、3D-CADの設計への適用の可能性について検討を行った。その過程で、TuC (Total Design using Computer Graphics) と名付けた設計システムの構築を試み、2件の実証実験の成果をまとめたものである。</p> <p><b>1.1 建設ライフサイクルにおける情報運用の問題点</b></p> <p>建設ライフサイクルにおけるデータ運用において情報の欠落が生じている。土木工事は測量、設計、施工、維持管理のフェーズが進んでいくが、各フェーズで作成されるデータは継続的な利用が想定されていないためにデータ作成に無駄が生じている。また、3次元情報を2次元情報で記述するため情報の欠落が発生している。</p> <p><b>1.2 n次元データによる一元管理</b></p> <p>電子データの運用事例として4D-CADが有名であるが、建設ライフサイクルにわたるデータ管理という観点から材料などの付加データを統合させることが望ましい。そのようなデータ構成をn次元データと呼ぶ。</p> <p><b>1.3 トータルデザインと3D-CADによる土木設計の特徴</b></p> <p>土木における設計は、地域を全体として、規制の対象にすることが求められている。対象だけでなく周囲の風景も含めて、設計対象地をより広く、より長期的に考えることの重要性を指摘している。このように、土木設計とは「風景の中に構造物を挿入すること」であり、全体性と長期性を考慮した検討がなされるべきである。</p> <p><b>1.4 設計の見直し</b></p> <p>本来、設計は3次元的に行われているはずである。しかし、設計を可視化し不具合の確認を行うということは習慣化されているとはいえない。設計の不具合の確認や合意形成をn次元データを用いて行うことは有効である。</p> <p><b>2. TuCの提案</b></p> <p>電子データを基盤とし、設計対象だけでなく周辺地形(空間的配慮)や行程計画(時間的配慮)等を含むトータルな視点で設計を行う、TuCシステムを提案する。このシステムは建設ライフサイクルにおける、電子データ有効活用の一環を担えるものである。</p> <p><b>2.1 モデル空間</b></p> <p>TuCにおけるモデル空間は、地形とオブジェクトより付作られる。地形は対象エリア、周辺エリア、後背エリア、オブジェクトは設計対象物、周辺関係物、経時変化物と分類される。モデル空間の作成と利用には、編集機能(Editor)、調整機能(Simulator)、閲覧機能(Viewer)が必要。関係者の立場や目的によって使い分け、モデル</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>空間の作成には編集機能を、利用には調整機能を、参照には閲覧機能を活用することが有効である。</p> <p><b>2.2 設計チームと2層の意見交換システム</b></p> <p>TuCでは、設計チームが2層の意見交換システムを用いて検討を行っていく。情報交換場では、Webを介して情報を共有し、事前に情報を確認する。そして合意形成場では、全関係者が相乗して合意形成を図るため、「気づき」から「工夫」へと検討の高度化を図る。各関係者が工夫を提示することで議論を活性化させ、全関係者が協働して新たな工夫を生むという改善の体系化を目指す。</p> <p><b>3. 適用と考察</b></p> <p>本研究では、分水路設計と駅周辺整備の二つの事例にTuCを適用した。</p> <p><b>3.1 適用事例</b></p> <p>分水路設計では、大規模な地形改変を伴う事業に対してTuCシステム上で計画段階からコンセプトの決定、設計案の検討を行った。駅周辺整備事業では、設計対象物と既存構造物が時系列を伴って複雑に交差している事業に対して、詳細設計を基にTuCシステムを構築し設計案の確認を行った。</p> <p><b>3.2 TuCの効果</b></p> <p>適用事例において、経済的指標を設定し、算出する事でTuCの効果を確認した。</p> <p>分水路設計においても駅周辺整備事業においても総事業費の軽減が図れた。また、分水路設計においては業務時間の短縮、駅周辺整備事業においては施工を考慮した設計検討が行えた。</p> <p><b>3.3 TuCの可能性</b></p> <p>モデル空間の作成と利用、設計チームの2層の意見交換場について、TuCの有用性と今後の可能性についてまとめた。</p> <p><b>3.4 TuCの課題</b></p> <p>TuCの課題についてまとめ、考察を加えた。「施工検討にも配慮した設計」は施工コストを大幅に節減できる可能性を持つ。発注体制の問題もあるが、モデル空間の取り扱いが容易ではなかった問題があった。しかし、調査段階での3次元データの運用が日常化し、本研究でも指摘したように設計段階で「施工時のモデル空間」の利用が可能となれば、設計自体のコスト削減ばかりではなく、施工コストの削減を目指した設計は技術的に可能である。機械設計における、CAD-CAMのように一体としてパッケージ化できないとしても、施工の専門家をも含んだ設計検討は可能である。</p> </div> </div>		