

## I-17 VR技術を用いた意見集約型工程計画システムの提案

## Opinion Collective Type Work Planning System Using Virtual Reality Technology

小林一郎\*、馬場 健\*\*、山本 一浩\*\*\*、前川 勝人\*\*\*\*

Ichiro Kobayashi, Takeshi Baba, Kazuhiro Yamamoto, Masato Maegawa

【抄録】著者らはこれまでに施工支援を目的として、非同期分散型の合意形成システムと、バーチャルモデル(VM)を用いた工程可視化システムという2つのシステムに関する研究を行ってきた。本論文では、両システムを併用し、工程の最適化を図るシステムとして意見集約型工程計画システムの提案を行う。また、福井県の八ヶ川樋門工事を対象とした実証フィールド模擬実験を通して明らかになった本システムの有用性や改善点に関して考察を行う。

【Abstract】The asynchronous distributed type consentaneous opinion making system' and 'The project visualization system by way of the Virtual Model(VM)' have been studied and developed by the authors. Combining of these systems, we would propose a system called 'Opinion collective type work planning system' for the purpose of optimizing the construction process. Then, the usefulness and some points to improve will be pointed out by a experimental use of this system in the construction of the Hakkagawa water gate.

【キーワード】工程管理、意見集約、バーチャルモデル、可視化システム

【keywords】Schedule Control, Opinion Collective, Virtual Model, Project Visualization System

## 1. 序論

筆者らは、物理模型の代わりに、バーチャルリアリティ(Virtual Reality: VR)技術を用いた電子模型を利用することを提案し、これをバーチャルモデル(Virtual Model: VM)と称して、ダム工事の工程可視化システムなどへの適用事例を示した<sup>1)2)</sup>。また、Web技術を利用した、非同期分散型の協働作業システムに関して一連の研究<sup>3)4)</sup>を行ってきた。本研究は、上記の2つの研究の延長線上に位置し、非同期分散型の合意形成システムとVM工程可視化システムを併用し、工程の最適化を図るシステムを提案する。

本来、工程表は、PERT/CPMに代表されるように、数理最適手法を用いて解の探索が行われるが<sup>5)</sup>、それぞれの建設現場は独自性が強く、天候の急変や資材調

達の時間的な制約などさまざまな要因によって、与条件そのものが変動する。また、現場の判断や、遠隔地の経験豊かな専門家の意見は、数理最適化解の近傍にあるとしても、解そのものであることはむしろ稀であろう。本研究では、①最適化手法を用いた工程の最適化(最適化ブロック)、②それに基づく、全工程の可視化とホームページ(以下HP)での公開(可視化ブロック)、③関係者によるHP上での意見交換による与条件の確認(意見集約ブロック)の3ブロックをスパイラル状にくり返すことで、工程表の当初案を現場の状況にあったものに改訂したり、建設中の天候異変や事故などの緊急事態による工程表の改良をスムーズに行うためのシステムを提案する。

本システムはVR技術を用いた全工程シミュレーション

\* 正会員 熊本大学工学部環境システム工学科 教授 (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

\*\* 正会員 (株)九電工 空調管技術部 (〒815-0081 福岡市築紫野市紫1-8-1)

\*\*\* 正会員 国土交通省近畿地方整備局 福井河川国道事務所 (〒918-8015 福井市花堂南2丁目14-7)

\*\*\*\* 正会員 (株)建設技術研究所 大阪支社 福井事務所 (〒910-0023 福井市順化1丁目24-43)

ョンの可視化ブロックを内蔵しているので(4D-VR)、工事関係者が事前の設計図面チェックの代わりに用いたり(図面そのものや工作物の干渉チェックにも使用可能)、工事中は現況の工事写真と併用し、工事打ち合わせに使用することもできる。さらに、可視化ブロックのみを一般公開すれば、全工程シミュレーションを住民などに公開することも可能である。

なお、本システムの3つのブロックにおけるデータ処理には、それぞれ市販のソフトを用いた。これは、各工事事務所レベルで容易にシステムを構築できることが重要であると考えためである。ただし、最適化ブロックと可視化ブロックをつなぐ可視化エンジンは人力によるデータ変換の手間をはぶくよう独自にプログラム開発を行った。

## 2. 意見集約型工程計画システム概要

### 2.1 システム構成要素

図-1に示すように本システムは3つのブロックにより構成されている。

#### (1) 最適化ブロック

システムでは設計完了時点で、数値的に最適な工程計画を立てる必要がある。たとえば、ダムのリフトスケジュールのように、各社で独自に開発された工程表作成システムでもよい。本研究ではMicrosoft社の

Ms-Project98を用いた。Ms-Projectは、PERT/CPMが基本となっており、アクティビティやPERTでの3点見積もりなどの制約条件の設定を行い、多くの作業の中からCPM上の作業を区別して表示することが可能である。

#### (2) 可視化ブロック

施工シミュレーションを行うブロックで、4D-VRとは、M.Fischerらにより提案された4D-CAD<sup>®</sup>と同じく、3次元構造物オブジェクトデータ(3D立体モデル)と工程情報を統合したものであるが、VR技術を利用する点で異なる。これにより、プロジェクト関係者が各自、工程内容の評価、検討を行うことができる。4D-VRを利用すれば、数百枚の図面に及ぶ施工情報(各構造物の形・相対的な大きさ・位置関係など)に対して包括的理解が可能となり、構造物の干渉など図面の不具合がチェックできるようになる。

#### (3) 意見集約ブロック

このブロックでは、Web上での対話によりプロジェクト関係者全体から知識や経験を集め、意見交換を行い、その現場に固有な条件に配慮した最適解(工程表)を得るために、意見集約を行う<sup>8)</sup>。具体的には、資材の変更・遅延や、予測し得ない自然条件の問題など、現場特有の問題をWebを介してリアルタイムに

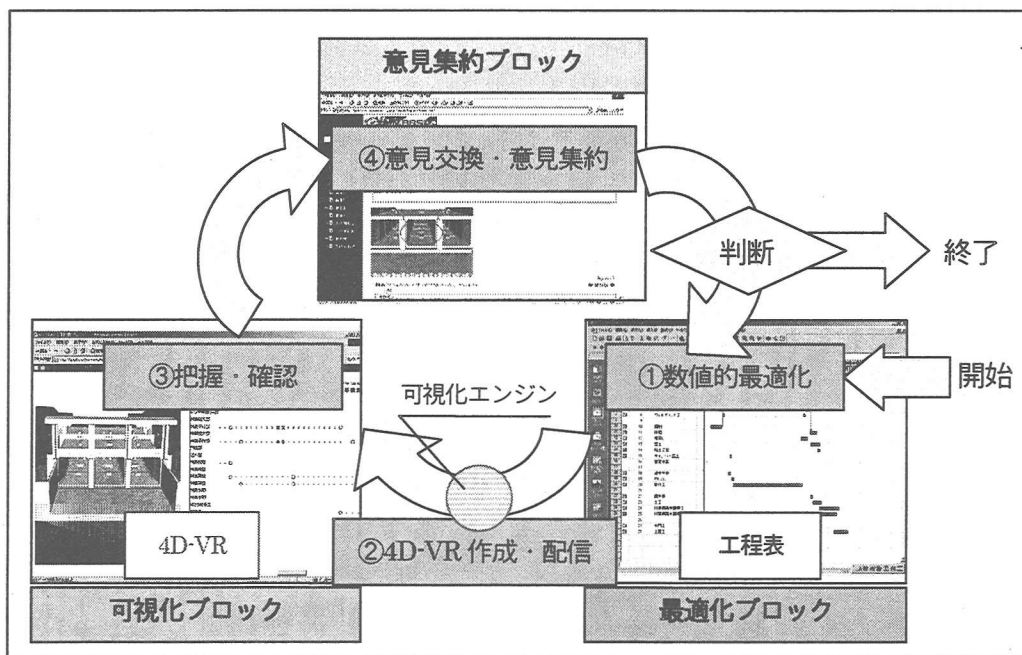


図-1 意見集約型工程計画システム構成図

報告し、意見交換、意見集約することで、工程に反映させることができる。このように現場からの意見を工程に反映させることは、施工段階においても、工程に関する議論などを進める上で有効であると考え。本システムは、関係者の意見交換を行うものであり、自由な視点から現場状況を見ることが重要で、VRを用いるのが必須条件である。また、非同期分散型であるため、地理的に分散する遠隔地の関係者でも工程に関する議論が活発に行える場の構築が可能である。

## 2. 2 システムフロー

本システムにおけるサイクルフローを以下に示す。なお、①～④は図-1の番号と一致している。

- ①計画書の制約条件下において数値的最適化し、工程を算出する（最適化ブロック）。
- ②数値的最適工程データを反映させた、4D-VRの作成およびウェブ公開を行う（可視化エンジン）。
- ③HP上に公開された4D-VRを関係者各自が観察する（可視化ブロック）。
- ④プロジェクト関係者間で、発見された問題に対して知識や意見を交換し論議を行う。そして、問題に関する意見を集約し解決を図り、計画書に反映する（意見交換ブロック）。

システムサイクルは、「開始」から始まり①～③を経て、④で計画に問題があったか論議を行い、最終的判断を下す。問題がなければ「終了」、最適工程計画の完成だが、問題があれば計画書に変更を反映し再び①へ戻る。計画立案においてはこれで終了だが、実施段階においてもシステムはその効果を発揮すると考える。工事写真と組み合わせることで計画と実施工との比較や確認が容易に行える。また、施工時において発生する資材の遅延や施工法の再検討などの問題を、システムの掲示板で発注者・受注者を交えて報告・論議することができ、計画変更の了承に有する時間を短縮することができる。さらに、全工事関係者に施工情報を提供することができ意識の向上にも繋がるものとする。

## 3. 可視化ブロックの構築

本システムにおいて、最適化ブロックと意見集約ブロック（HP上の掲示板）は既存のソフトや技術を用いることで十分実用化できる。しかし、可視化ブロックでは前述の通りVR技術を利用する必要がある。し

かもHP上での描画速度や操作性において実用に耐えられるものでなければならない。

また、工程表を自動的に4D-VRの入力データとして利用するためには自ら可視化エンジンを構築しなければならない。以下にその概要を述べる。

### 3. 1 VR技術の選定

本研究において4D-VRに求められる3D立体モデル構築の条件として次の4つをあげる。

- ①データの格納先はクライアントではなくサーバであること。
- ②ウェブ配信、つまりHP上で閲覧できること。
- ③TIN (Triangulated Irregular Network) による地形モデルなど複雑なモデル構築が行えること。
- ④可視化エンジンを開発するためのプログラム言語をサポートしていること。

システムでは、リアルタイムに現場を支援するため、常に最新の施工情報を供給しつづける必要がある。このため、常に最新のデータを現場に提供できるオンデマンド形式をとり、①、②に示すようにデータはサーバに格納し、HP上で公開するものとする。③に関しては、建設業における最大の特徴である地形の改変がその背景にある。4D-VRには、単純な構造物以外にも複雑な地形を表現できることが求められる。

以上の条件下において現在の主要なVR技術について調査し、Cult3Dを採用することとした。Cult3Dとは、スウェーデンのCycore<sup>®</sup>が開発し、ヨーロッパを中心にアメリカ、日本で普及しているVR技術である。国内の家電や自動車の主要メーカーで、自社HP上で導入され、商品説明などに利用されている。

Cult3Dの主な特徴として以下の8つがあげられる。

- a) HP上において一般的なブラウザソフトを使用しVRを閲覧できる。
- b) データが非常に軽い（1MB程度）。
- c) データが軽い割に操作性、表現能力が高く、複雑なモデルデータにも対応している。
- d) オブジェクトのアクション、アニメーションを作成できる。
- e) URL、サウンドへのリンクができる。
- f) Mac、WindowsのOSに対応している。

g)ハイエンド PC 以外でも高品質の VR が閲覧できる。

h) Java を完全にサポートし、JavaScript にも対応している。

以上の特徴から検証を行ったところ特徴 a)、b) により条件①、②を満たし、特徴 c) より条件③を満たすことが明らかになった。さらに特徴 h) より条件④を満たし、4D-VR 開発に必要な可視化エンジンの開発も行えると考えた。

### 3. 2 可視化エンジンの構築

データベースを参照し、3Dの立体モデルとリンクして 4D-VR を表示するためのエンジンを可視化エンジン (図-2) と呼ぶこととする。可視化エンジンは主に次の4つの要素により構成されている。

#### (1) 3D 立体モデル

3D 立体モデルとは、建設プロジェクトに関連する構造物、地形などの3次元データである。3次元 CAD で現場状況を正確に表現するためには、4種類のモデル (オブジェクト) に分類しておくのが便利である。これらは、既存の地形・地物で施工の対象とはならないが、現場を把握するには必要なもの (非施工モデル)、実際に施工の対象となるもの (施

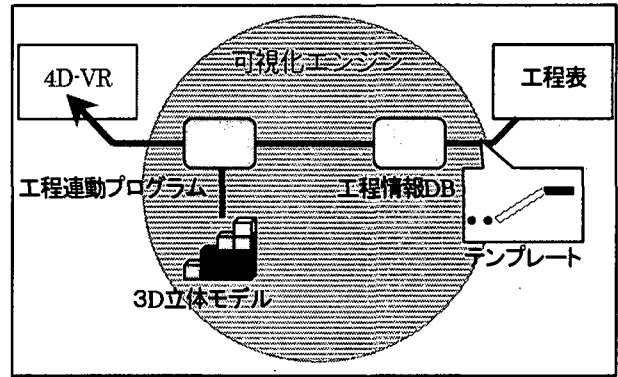


図-2 可視化エンジン構成図

工モデル) の2つに大別され、最終的に次の4つに整理できる。

非施工モデル

I) 地形、地物モデル

施工モデル

II) 本施工モデル (構造物、盛土など)

III) 掘削処理モデル (切土など)、

IV) 仮設施工モデル (足場・型枠など)

#### (2) テンプレート

テンプレートは、上記 I) ~ IV) の分類にもとづき、工程日時と 4D-VR 空間における 3D 立体モデル存在期間の関係の一つの模式図で示したものである (図-3)。工程のテンプレート化においては、プロジェクトの着

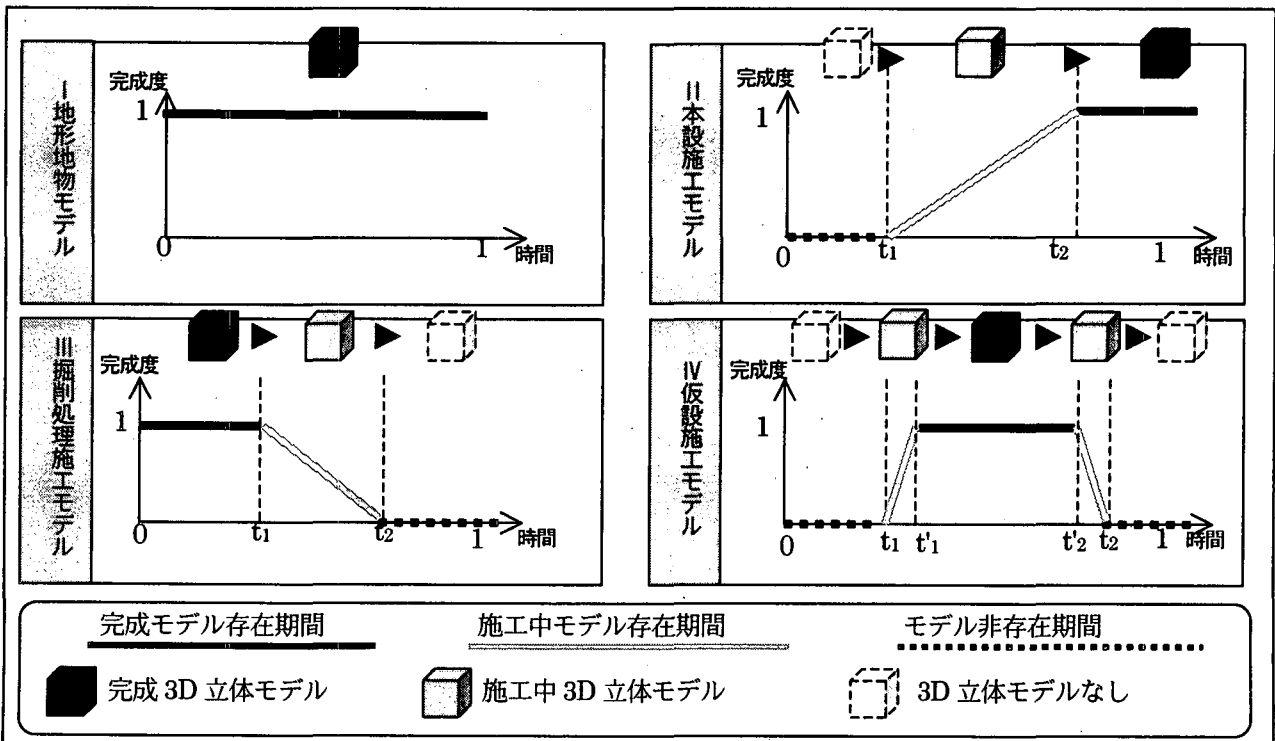


図-3 対象モデル別によるテンプレートの分類

工から竣工までの時間軸（横軸）と、4D-VR 空間内における各モデルの完成度を示す軸（縦軸）を設定する。工程表に表示される期間はテンプレートの傾き部分（上り下り両方）となる。また、4D-VR 空間において完成モデルが存在する期間は、黒色線で示すテンプレートの完成度が 1 の部分である（黒色立体）。点線のテンプレートが 0 の部分は、4D-VR 空間においてモデルが存在していないことを示している（点線立体）。灰色線のテンプレートが傾いている部分は施工中 3D 立体モデルの表示がなされる期間を示す（灰色立体）。1 つのテンプレートで工程表における工程期間と、4D-VR 空間において必要な 3D 立体モデル存在期間の 2 つを表していることになる。施工現場では I~IV のテンプレートを考慮するだけで、それぞれのパターンに対しての工程表の工程期間と 4D-VR 空間での 3D 立体モデル存在期間を扱うことができる。このように、モデルのデータ構造をパターン別に分析しておくことで、データ処理が容易になる。

(3) 工程情報 DB

4D-VR では工程情報と 3D 立体モデルデータを分離し別々に管理し、ウェブ配信時に連動させ HP 上で公開するデータベース管理型オンライン実行方式を採用している。データベース（工程情報）で 3D 立体モデルを管理し、HP 上で実行（シミュレート）する。工程情報自体はデータベース化しサーバに格納しており、この工程情報のデータベースを工程情報 DB と呼ぶ。また、3D 立体モデルデータ自体もサーバに格納する。クライアントはサーバにアクセス、つまり HP を開くことで 3D 立体モデルデータと工程情報をダウンロードする。次に HP 上で常に最新の 4D-VR を操作し、現場状況の検証を行う。工程情報 DB の利点については以下にまとめた通りである。

- ① HP 上で 4D-VR が閲覧できる。一般的ブラウザソフトでよい。
- ② 3D 立体モデル、工程情報 DB 共に格納場所、及び計算処理はサーバが請負っており、クライアントの負担が少ない。
- ③ 3D 立体モデル、工程情報はサーバから WWW サービスを通して送られるので、クライアントは常に最新のデータを閲覧することができる。

- ④ 上記により旧データ、最新データなどのデータのバージョンをめぐる食い違いが起きない。
- ⑤ 工程変更がある場合、工程情報 DB を更新するだけでよい。

このデータベース構築においては Microsoft 社 Access を使用した。Access を採用している理由は、実験用サーバ OS が Microsoft 社 Windows NT Server 4.0 であることと、WWW サービスに ASP (Active Server Pages) を利用していることがあげられる。また、Access 自体が VBA (Visual Basic for Applications Edition) をサポートしておりデータ入力についても作業が楽に行えることがある。VBA とは Microsoft 社が自社アプリケーションである Office97 のために開発したプログラミング言語のことで、基本的な言語使用は Visual Basic にもとづいている<sup>10)</sup>。工程情報 DB では、4D-VR 空間における 3D 立体モデル構造物の完成度に着目し、完成度別に「0」「0.5」「1」の 3 タイプの数値に置き換え、次のルールに従って工程情報 DB に入力する。

- a) 3D 立体モデル構造物完成度 0 の状態を「0」とデータベースに入力
- b) 施工中の状態、つまり完成度が 0 より大きく 1 より小さい状態（テンプレート傾き時）を「0.5」と入力
- c) 4D-VR 空間における 3D 立体モデル構造物の完成度 1 の状態を「1」とデータベースに入力

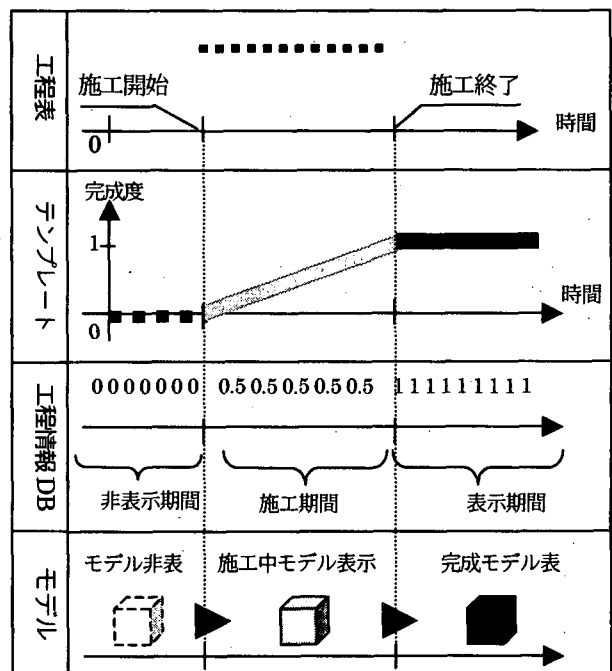


図-4 テンプレートと工程情報 DB の関連

一方、4D・VR空間における3D立体モデル構造物の状態は3形態をとっており、非表示、施工中表示、完成表示がそれにあたる。図4を用いて構造物が建設される例で説明すると、時間軸0から施工開始までの期間は、工程情報DBでは「0」と入力される非表示期間であり、3D立体モデルは非表示の状態である。次に、施工開始から施工終了までの間は、工程情報DBでは「0.5」と入力される施工期間であり、施工中を示す3D立体モデル（灰色立体）が表示される。施工終了以降は、工程情報DBでは「1」と入力される表示期間であり、完成を示す3D立体モデル（黒色立体）が表示される。

このように、4D・VR空間における3D立体モデルの状態をテンプレートから読み取り、非表示、施工中、表示の3形態に分類し、それを「0」、「0.5」、「1」の数列のデータベースに関連付けることで、任意の施工日における各3D立体モデル構造物の状態を表すことができる。工程情報DBの3D立体モデル状態を示す数列から、任意の施工日の数値を拾うことで、現場状況を再現した4D・VR空間を表現できるようになる。

#### (4) 工程連動プログラム

Cult3Dで作成した3D立体モデルを、工程情報DBでWWWサービス上において管理し、4D・VRを構築する工程連動プログラムの概要を述べる。

工程連動プログラムは、工程情報DBに入力されている数値情報を実際に3D立体モデルへ反映させるものである。クライアントからサーバに対して4D・VR閲覧の要求があると、サーバ内の工程連動プログラムが3D立体モデルデータと工程情報DBから4D・VRの作成を行い、ウェブ配信を行う。4D・VRは一般ブラウザソフト上で起動するので、クライアントは単に4D・VR専用のHPを開くだけで、いつでもどこからでも現場状況の観察ができるのである。このようにHPを介して4D・VRを公開することにより、全員が常に最新のデータを共有することができる。

一方、現場からの意見により工程表に変更があった場合は、工程情報DBを更新するだけでよく、現場へ最新の4D・VRを迅速に供給できる。このリアルタイム性を考慮してプログラムは、ASPと呼ばれるアドオンモジュールをWWWサーバに組み込み、JavaScript<sup>11)</sup>及びVBScriptを用いて構築している。

プログラムの構造は、JavaScriptによるCult3Dアクション実行と、VBScriptを用いた工程情報DBの読み込みの大きく2つの過程から成り立っている。

## 4. 実証フィールド模擬実験

### 4. 1 適用事例

実証実験を予定した現場は、福井県九頭竜川と八ヶ川の合流部に建設予定の八ヶ川樋門工事である(図5、図6)。発注者は国交省交通省近畿地方整備局福井工事事務所である。平成15年2月の時点では、工事は始まっておらず、本報告は、準備段階での試行実験であり、著者らのうち山本が発注者側を、前川が受注者側を担当し、運用試験をおこなった。対象の工種は、樋門工事における遮水矢板設置、均しコン、躯体工であり、対象の全工期は163日間である。実証フィールド実験の目的は、施工シミュレーションのプロトタイプ構築と、4D・VR、可視化エンジンの使用性などを確認することである。

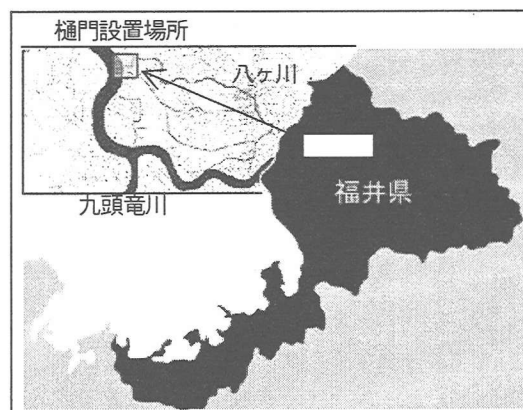


図-5 八ヶ川樋門設置場所

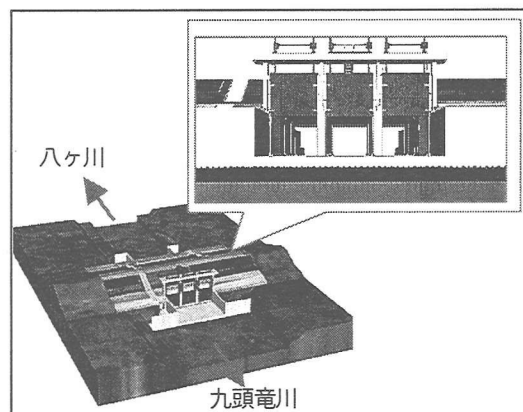


図-6 VRによる完成予定図

#### 4. 2 システムの運用環境

熊本大学工学部施設設計研究室内に設置された実験用サーバを使用し、受発注者は福井県内からこれを使用した。4D-VR公開用のHPを開設した (URL: <http://gdp1.civil.kumamoto-u.ac.jp/project8/>)。仕様は OS : Windows NT Server 4.0 SP6a、WWWサービス構築にはIIS (Internet Information Server) 4.0を使用している。クライアントのブラウザソフトは、IE5.5sp2 (Internet Explorer 5.5sp2) 以降を使用している。なお、その他のブラウザソフト、例えば Netscape Communicator,Operaでも動作において問題はないが、実証フィールド実験では使用していない。クライアントが4D-VRを見る場合、Cult3Dプラグインをブラウザにインストールする必要がある (1MB程度)。プラグインのダウンロード先は、URL : <http://www.ddweb.ne.jp/cult3d/download/download.asp>であり無償で公開されている。4D-VRを閲覧する際のクライアントPCの仕様についてだが、ビデオメモリ8MB程度のグラフィックスパフォーマンスで十分対応できる。

#### 4. 3 施工シミュレーション専用HPの構成

施工シミュレーション構築において立ち上げた専用HPについての紹介を行う。HPは (1) 4D-VR表示画面と、(2) 工程情報DBを再利用し、ウェブ上における工程計画を表示したウェブ工程表、4D-VRを時間軸において制御するための (3) TS (Time Schedule) ボタン、(4) アドバイザーとの意見交換に使用するウェブ掲示板の4つから構成されている。

##### (1) 4D-VR表示画面

図-7は4D-VRの画面である。左半分がVR画面で、右半分に工程表を示した。操作方法としてはマウス、キーボード、PC用コントローラのいずれかを用いる。しかし、マウスでの微妙な操作は難しく、主にキーボードでの操作を行った。4D-VRのキーボード操作のためのボタン配置はHPに紹介している。また、PC用コントローラが用意できるのであれば、キーボードのボタンをそれぞれコントローラに割り当てることで、コントローラによる操作も可能である。PC用コントローラを用いればより実現感が高まる。

今回使用した4D-VR空間における3D立体モデルは、

施工状況に合わせて施工中 (赤色)、コンクリート養生中 (青色)、完成 (白色) の3段階に分けて表示している (図-8)。これにより任意の施工日における現場の具体的状況が、視覚的に理解できる。

このような4D-VRの利用により、構造物同士の干渉の様子など図面自体が抱える内在的なミスなども発見できる。例えば、佐敷大橋実証フィールド実験<sup>12)</sup>では、VRにより鉄筋の干渉部分を施工前段階で数箇所発見することができ、その後の施工に大きく貢献できた。また、今回の実証フィールド実験で使用した3D立体モデルは、地形3D立体モデルと構造物3D立体モデルの2種であったが、地物、足場、建設重機、人間などを配置すればさらに臨場感が出るものとする。

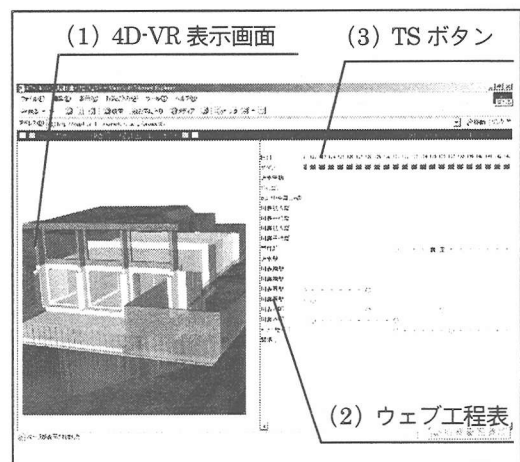


図-7 4D-VR 専用 HP 構成

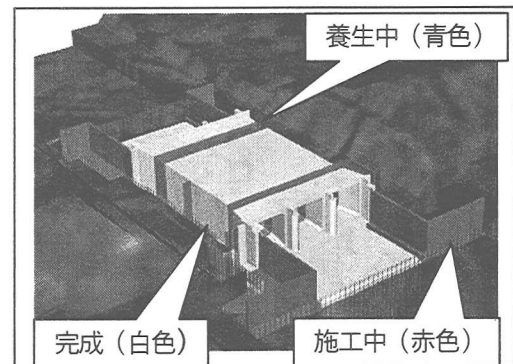


図-8 3D 立体モデルの 3 形態

##### (2) ウェブ工程表

ウェブ工程表は、HP上で閲覧できる工程表のことである (図-9)。作成に際しては、4D-VRにて用いている工程情報DBを再利用している。①は工程日を示しており、②は工種名、③は施工の開始、④は施工期

間を、⑤は施工終了日をそれぞれ示している。⑥では施工期間におけるコンクリート養生期間を示している。

このよう従来の工程表を見ながら、任意の現場状況や視点からの施工進捗状況を同時に把握することにより、正確かつ迅速に施工内容を包括的に理解することができる。

### (3) Time Schedule(TS)ボタン

TSボタンは、4D-VRの時間軸に対する変化を行うもので、HP画面の右上にウェブ工程表に沿って配置してある。クライアントは、このボタンの中から観察する日時を選定してクリックすると、任意の工程日を再現した3D立体モデルを表示できる。

図-10は、TSボタンにより、4D-VR空間において工程が進む様子を連続的に表示させたものである。上段の4D-VRは正面（九頭竜川から八ヶ川方向）左斜め上方向からの視点であり、下段は背面（八ヶ川から九頭

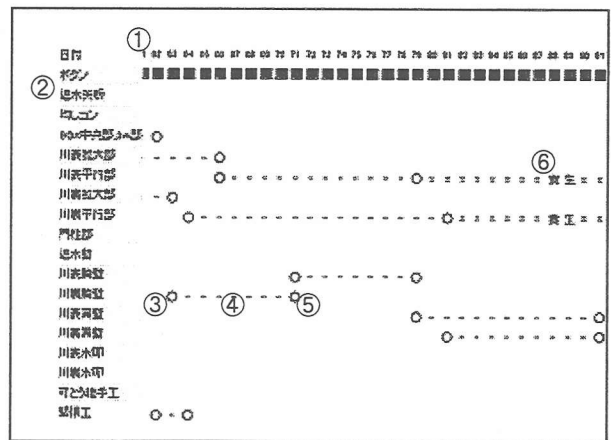


図-9 ウェブ工程表説明画面

竜川方向)からの視点である。1つの視点から各施工日の状況を連続的に観察できるよう、施工日を変更した際、4D-VR空間における視点変更は行われないうようにしてある。このように、4D-VRでは、施工が進行する様子を視覚的に把握できるため、工程計画の立案だ

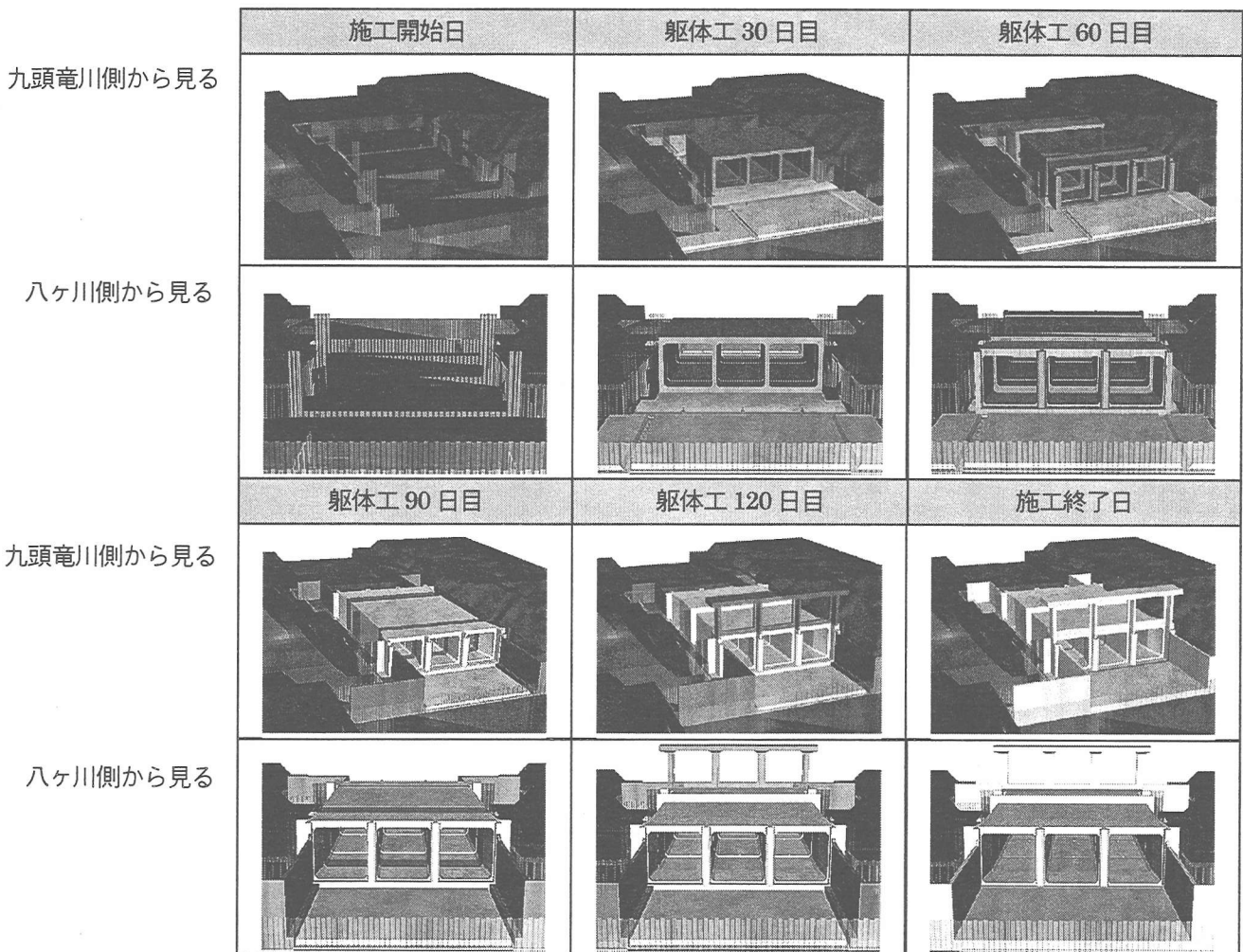


図-10 4D-VRによる施工の進捗状況

けでなく、施工管理にもその効果は期待できると考えている。ボタン自体は、工程連動プログラムと同様、JavaScriptとVBScriptにより作られている。最初にHPを開いた際、全3D立体モデルオブジェクトがダウンロードされる。このデータを工程表に従い表示・非表示させる原理となっているので、施工日を変えるたびに再び3D立体モデルデータをダウンロードすることはない。従って施工日変更による3D立体モデルの変化に対するレスポンスが早いという特徴を持つ。

#### (4) ウェブ掲示板

構造物や工程表の不具合、4D-VRやシステム自体の問題の指摘や改善を図る目的で、ウェブ掲示板を設置した。本システムのプロトタイプ構築以前から構築に関する意見交換や、プロトタイプ製作後もシステム自体に関する論議を頻繁に行い、実証フィールド実験のコミュニケーション手段として大いに貢献している。

### 4. 4 まとめ

#### (1) 4D-VRの改善

機能性、操作性などHP上での使用に関しては十分実用に供することがわかった。一方、フィールド実験開始当初は、完成構造物の表示、非表示の2通りしか用意していなかったが、VR空間内で、施工開始や施工中を視覚的に捉えにくいことがわかった。そこで、施工中を示す赤色のVRオブジェクトと、コンクリート養生中を示す青色のオブジェクトを追加した。

#### (2) 4D-VRについて

上記の3D立体モデルオブジェクトの改善後すぐに、コンクリート養生期間に対する疑問点が見つかった。均しコン・翼壁・拡大部・遮水壁・水叩き部分において養生期間が不足しているというものであった。当初は工程情報DB中のデータのミスの可能性を検討したが、工程計画の元データの単純なミスであったことが判明した。

コンクリートの養生期間を表示したことで、直後に問題点が浮き彫りになった。当初から想定はしていたが、4D-VRは設計図面や工程表そのものの完成度の照査に威力を発揮することを確認した。

#### (3) 可視化エンジンについて

(2) で述べた養生期間の不足に対して、工程情報

DBの更新と4D-VRへの反映は、スムーズに行えた。工程変更の要求に対して迅速に対処すると共に、現場へ施工情報を速やかに供給できるシステムとなっていることが示された。

しかし、現時点では、工程情報DBへの数値入力の際、施工の開始日と終了日を工程表から自動的に検索できるようになっていない。4D-VRの作成自体は自動化されたものの、情報の入力作業は未だ、なされていない。工程表から自動的に工程情報DBへ数値が入力されるプログラムの開発は今後の課題としたい。

#### (4) システムの利用法

本システムは、計画段階と施工段階で下記のような利用法が考えられる。

##### (4-1) 計画段階における利用法

###### ① 図面のチェック

VR画面内で、視点を移動させつつ構造物の部材間の取り合いや他の構造物との距離を確認できる。更に構造物を上空の視点から見れば、平面図と同じものなので、図面イメージでの確認も可能である。正面図、側面図なども同様である。

###### ② 施工空間の把握

等身大の人物模型を挿入すれば、施工空間内に入り込んだときの周囲のスケール感がわかり、事前にかなり正確に現場の様子を確認できる。施工時の部材間の干渉チェックや構造物のクリアランスなども確認可能である。住民への工事説明用としても住民各自の興味ある視点（我が家からどう見えるかなど）がその場で提供できる。

###### ③ 工程の把握

工程表と連動しているため、工程シミュレーションができる。特に、部材の施工前後の日程（コンクリートの打設や養生の時間など）を詳細に確認できる。

##### (4-2) 施工段階における利用法

###### ① 施工と計画の比較

施工開始後は、現在の施工状況と計画上の工程とを比較、確認することで、現場の細部の把握や工程の変更などに役立てることができる。

## ②作業の確認

今後の作業の段取りなどを、遠隔地から確認したり、現場では、作業チーム全員で工程を確認することで、今後の作業の意思統一に利用できる。

## ③施工情報の公開

ビューアーは無償でダウンロードできるので、情報公開も可能である。一般市民にとっては、施工シミュレーションは珍しいものであるばかりでなく、自由に視点を移動しながら VR 内の施工空間に入っていける。

## 5. 結論

本論文は、建設プロジェクトの効率的運用のための情報化の流れを踏まえ、意見集約型工程計画システムの提案を行ったが、その内容は、以下の通りである。

(1) 2章では、①最適化ブロック、②可視化ブロック、③意見集約ブロックからなる本システムの概要を示し、現場だけでなく、遠隔地に分散するプロジェクト関係者の意見を集約した工程計画システムを提案した。

(2) 3章では、3次元のVRに時間軸を加えた、4D-VRの利用を提案し、工程表から得られた工程に関するデータベースと3次元のCGデータをリンクしVR上で表示するための可視化エンジンの構成要素について詳述した。

(3) 4章では、4D-VRを用いた施工シミュレーションのプロトタイプの構築を目的とした、実証フィールド模擬実験について紹介し、さらに実験を通じたシステムの改善点などを述べた。

現在、建設CALS/ECは、次世代CALS/ECの段階に入りつつあるが<sup>13)14)</sup>、情報の共有、高度利用に関する具体的な研究はその緒についたところである。本論文で提案した4D-VRを用いた施工シミュレーションは、工程計画における建設情報の高度利用の一例として位置付けることができると考える。今後は、策定されたデータの仕様との連携、例えばプロダクトモデル<sup>15)</sup>からの3D立体モデルデータの構築方法などの研究を進める必要があると考えている。

## ( 参考文献 )

- 1) 緒方、小林他：建設プロジェクトにおける合意形成のためのバーチャルモデルの利用、土木情報システム論文集、第7巻、pp.81-88、1998.10.
- 2) 緒方、小林他：VMを用いた工程可視化システムの構築に関する研究、土木情報システム論文集、第8巻、pp.1-8、1999.10.
- 3) 平井、小林他：ウェブ技術を用いた施工管理支援システムの構築とその運用、土木情報システム論文集、第8巻、pp.49-56、1999.10
- 4) 小林、邵他：ウェブ技術を用いたコラボレーション型授業による3次元道路設計演習、土木学会、土木情報システム論文集、11巻、東京、pp.103-112、2002.10.
- 5) 国島、庄子他：建設マネジメント原論 山海堂 1994.
- 6) Bonsang Koo and Martin Fischer : Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction, CIFE Technical Report #118, 1998.
- 7) Florian, B.A, Martin, A.F, and John, C.K. : AEC 4D Production Model: Definition and Automated Generation, CIFE Working Paper #52, 1998.9.
- 8) 野中郁次郎他：知識創造企業、東洋経済新報社、1996.
- 9) CYCORE Cult3D ホームページ：<http://www.cult3d.com/>
- 10) 北山洋幸：Visual Basic システムプログラミング入門、技術評論社 1999.
- 11) 宮坂：JavaScript ハンドブック 応用編 SOFTBANK 2000.
- 12) 前掲3)
- 13) 国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp/>
- 14) JACIC CALS/EC ホームページ：<http://www.cals.jacic.or.jp/>
- 15) たとえば、矢吹他：IFCに基づいたPC中空床版橋の3次元プロダクトモデルの開発、土木情報システム論文集、VOL.11、pp.35-44、2002.10.