

## I-1 VMを用いた工程可視化システムの構築に関する研究

## VISUALIZATION OF CONSTRUCTION PLANING SYSTEM SUPPORTED VIRTUAL MODEL

緒方正剛\*、 小林一郎\*\*、 星野裕司\*\*\*、 福地良彦\*\*\*\*  
 Seigo Ogata, Ichiro Kobayashi, Yuji Hoshino, Yoshihiko Fukuchi

【抄録】 現在、建設工事の工程管理は、計画 (Plan)、実施 (Do)、検討 (Check)、処置 (Action) の PDCA サイクルで行われている。着工後、何らかの不具合が生じると、何らかの対策が講じられ、改めて計画が立案される。それに伴う工期の長期化、建設コストの増加が問題となっており、建設工事の生産性改善が求められている。本論文は、これらの問題解決のひとつとして、最適な工程計画を立案を支援するためのシステムを提案する。このシステムは、着工前にコンピュータ内で PDCA サイクルをシミュレートすることを目的としたもので、VR (仮想現実: Virtual Reality) 技術と工程管理ソフトを統合したものである。これを工程可視化システムと呼ぶ。本システムを導入することで、実施工において理想的には、PDCA サイクルは一度で済むこととなり、経済的かつ効率的な施工が可能となる。

【Abstract】 A cycle of construction management process is the Plan, Do, Check and Action. Inconsistency in the construction planing usually turns out after actual activities start. Finding flaws on the site costs a lot of workload and money. On the other hand, the leverages of cost reduction and productivity enhancement of construction projects exist.

This paper proposes the system which makes it possible to simulate the management cycle in the computer. The system consists of the VR ( Virtual Reality ) technology and the scheduling tools. It enables to plan almost complete, and reduces problems found after starting construction. Accordingly, construction will be economical and efficient.

【キーワード】 工程計画、仮想現実、バーチャルモデル、可視化

【Keyword】 Construction Planning, Virtual Reality, VirtualModel, Visualization

## 1. 序論

建設工事の施工は、計画 (Plan) →実施 (Do) →検討 (Check) →処置 (Action) の PDCA サイクルで行われている<sup>1)2)</sup>。一般に、着工後、計画された工程と実施後の工程の比較・検討が行われ、不具合が生じた場合、それに対する処置が施される。建設 CALS 導入の動きにも見られるように、建設

コストの縮減、生産性改善が求められる中、現状の建設工事の在り方が問われている。特に工程計画立案に限定して議論すると、その不正確さから生じる問題等により、多くの時間的ロスや建設コストの増大等が懸念される。そのため、PDCA サイクルで進められる現在の工程計画手法を改善するような手法が必要となる。

\* 学生員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2 丁目 39-1)

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

\*\*\*\* 正会員 (株) 鴻池組 土木本部技術企画部 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1)

一方、建設業界へのCGアニメーションの利用が普及しつつあり<sup>3)</sup>、筆者らは、施工支援を目的としたCGアニメーション利用に関する研究を行ってきた<sup>4)5)</sup>。一連の研究で、CGアニメーションについて、施工支援を目的とした施工支援録画アニメーション(FAA: Frame Accurate Animation)とVR技術を利用し、合意形成を主目的としたバーチャルモデル(VM: Virtual Model)に関する研究を進めている。前者が、施工現場をより詳細に再現できるのに対し、後者はある程度のリアリティーを保持しながら仮想空間内を視点移動できることが特徴である。

本論文は、VMと市販の工程計画作成ソフトを統合して、コンピュータ内の3次元空間でPDCAサイクルのシミュレーションを行うシステムを提案するものである。これは、計画段階で立案された工程計画を可視化し、そこから得られた結果を計画段階にフィードバックし、工程計画の再検討・立案を行うことを支援するためのツールである。ここでは、これを工程可視化システムと呼ぶこととする。

本論文は、まず2章で、現在の工程計画立案とその評価方法について問題点を抽出し、本システムの提案を行うとともに建設業界における必要性について論じる。3章では、本システムの具体的な構成を示し、その可能性について考察する。4章では、熊本県に架設中の佐敷大橋(仮称)建設工事における

実証実験を紹介し、実用化の可能性について考察する。最後、5章は結論である。なお、実用化を前提としているため、ハードウェアとして市販のDOS/V機を使用、ソフトウェアについても動作環境、機能、性能等の問題を考慮した上でSuperscape社製のVRT(Virtual Reality Toolkit)を用い、工程計画作成ソフトに関しても最も一般的であると思われるMicrosoft社のMs-Project98を使用した。

## 2. 工程可視化システム

### 2.1 工程可視化システムの必要性

工程計画は、工事の種別、内容、工期及び現場の実状に加え、施工法やその他全体の施工計画の基本方針を考慮して決定されるのが一般的である。さらに、現場条件や季節等の自然条件、長期休暇等の人的条件等あらゆる制約条件も考慮することが重要である。計画立案後、各種工程は工程表として図表化される。現在、工程計画の立案は、過去の類似した工事のデータと工程立案者の経験を基にして工事進捗状況、現場状況等を考慮して立案されている。

ここで問題となるのは、第一に工程計画の立案にあたっては、考慮しなければならない条件が膨大で、その多くを過去のデータや経験に頼るだけの手法では十分でないということ、第二に作成された工程表は2次元の図面であるため、作業スペースや機材の搬入出経路の確保等、実施後にはじめて具

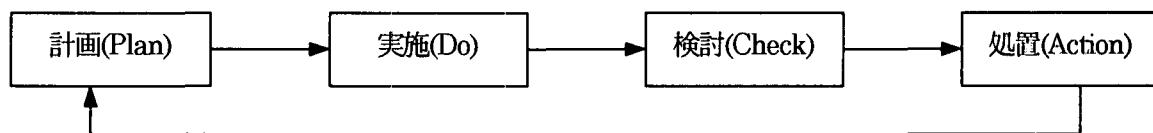


図-1 PDCAサイクル

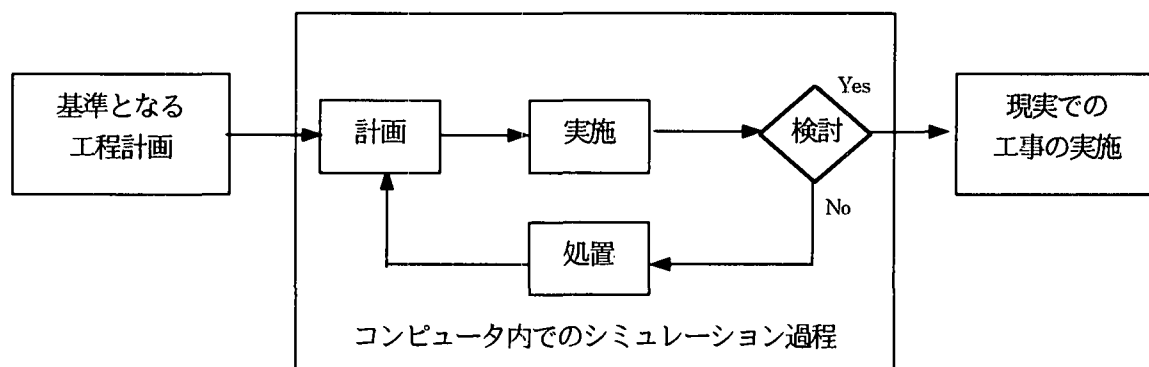


図-2 工程可視化システムの導入

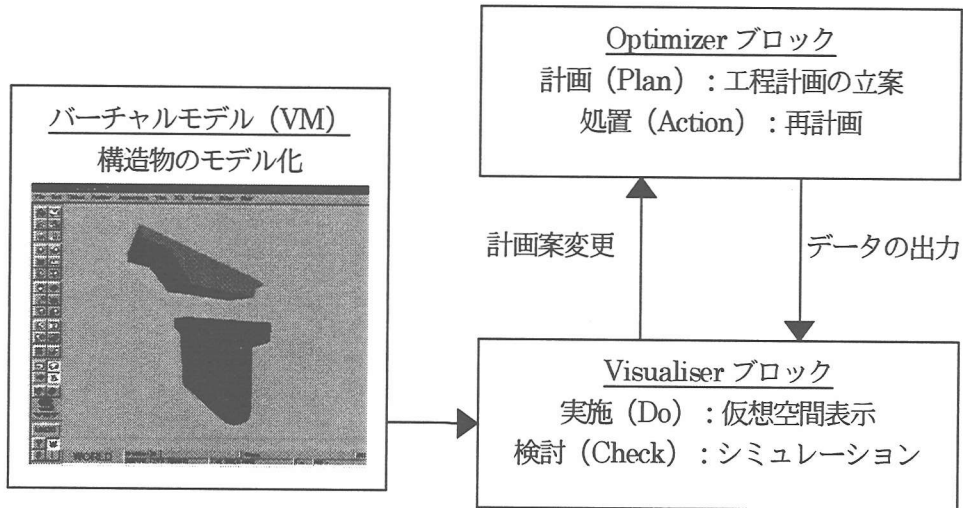


図-3 工程可視化システムの構成

体的に検討できる要因が多く存在すること、等である。これらの問題は、工程計画の立案とその検討による評価を行うための判断材料が十分でないことに起因しているようである。

現在の PDCA サイクルを図-1 に示す。計画を立ち上げ、実際に施工する。その後、不具合が生じた場合に何らかの処置を施し、再度計画するという流れで作業が進められる。このサイクルに対し、本システムを導入することで、図-2 に示すように、上記のサイクルを「コンピュータ内でのシミュレーション」で仮想的に施工を行うものである。基準となる工程計画を基に、このシミュレーションの中で、擬似的に施工を行い、仮想的に施工された現場を任意に移動することで、問題点を発見する。発見した後、適切な処置を講じ、再度計画を練り直す。これらのサイクルを実施前に、コンピュータ内で行うことで、理想的には現実での PDCA サイクルによる施工を一回で終了させようとするものである。

本システムを適用することで、通常 PDCA サイクルで行われている施工を、コンピュータの中で、予め何度も仮想的に施工を繰り返すことで、やり直しにより生じる多大なコスト増加と時間的ロスを大幅に削減できる。つまり、コンピュータの中で PDCA サイクルを何回も行うことで、最適な計画の立案を支援するとともに、実際の工事では、着工後の処置 (Action) を理想的にはゼロにしようとするものである。この点で、現在の建設工事の在り方に一石を投じ、根本的な生産性の改善が図れること

が期待される。

## 2.2 工程可視化システムの概要

本論文で提案する工程可視化システムは、Optimizer (最適化) ブロックと Visualiser (可視化) ブロックの 2 ブロックから構成される。いずれも適当なソフトウェアや企業独自で開発したツールを使用しても差し支えない。本システムは、図-3 に示すように、Optimizer ブロックから出力されたデータを Visualiser ブロックに読み込むことで、仮想の施工現場を再現し、設計者はこの空間の中で計画を最適なものへと変更していく。変更後の計画を Optimizer ブロックに戻すことで計画案を最適なものへと変更していく。

### 2.2.1 Optimizer (最適化) ブロック

本論文では、コスト的に現場に最も導入しやすく、かつプロジェクトの計画を効率的に作成することができるソフトとして、Ms-Project98 を用いる。特徴として、特定の業種や業務の管理手法にも対応可能であり、プロジェクト管理表としてもその進捗状況を効率的に管理できるといった点が挙げられる。多くの事例報告<sup>6),7)</sup>からも、工程管理能力は確かなものであると判断できる。

このブロックでの最大の特徴としては、作業間の依存関係を記述することが可能である点である。例えば、工事間の間隔や、工事の終了期日、ある条件が整わないと開始できない工事等を設定できる。

このような幾つもの制約条件を記述することで、工事間の関連付けを行った以降、計画を変更した場合でも制約条件に従い自動的に変更される。さらに、多くの作業の中からクリティカルパスで区別して表示することが可能であるので、ここで作成された工程計画は、常に想定された条件下では最適であると言える。

作業の流れとしては、基準となる工程計画を基にあらゆる制約条件を組み込み、最適な工程表を作成し、そのデータをテキストファイルとして次に詳述する Visualiser ブロックに出力する。ここで必要とされるデータは、工程計画で区分された各工事の開始日と終了日である。なお、ここで行われる作業は、PDCA サイクルの内、計画 (Plan)、処置 (Action) である。

### 2.2.2 Visualiser (可視化) ブロック

ここでは、通常のDOS/V機をベースとしたエディタの内、その可視能力、拡張性を考慮した上で、英国Superscape社のVRTを用いた。ソフト自体の汎用性はそれ程高くないが、必要となるのは仮想空間内のモデルの作成時に限られ、実際の現場で本システムを使用する際には、必要となるのは専用のブラウザのみである。

Optimizerブロックより入力されたデータを基に、仮想空間を生成する。その中で視点を移動させることで、PDCAサイクルをシミュレートするのである。シミュレーションには次の3タイプがあり、次のように分類される<sup>8),9)</sup>。

- (1) 操作型：仮想空間内において行動することにより現実世界に手を加えることを目的としている。
- (2) 体験型：現実の世界で行動をせず、仮想空間で身体経験をつかむことが目的である。
- (3) 評価型：操作型と体験型との中間的な位置付けで、人間が身体動作により仮想世界を評価し、その結果をフィードバックすることで、現実世界を操作するというものである。

建築分野での設計段階におけるVRの応用事例は、多く報告されており<sup>10)</sup>、土木分野においても建設プロジェクトにおける計画・設計段階での合意形成ツールとしての利用や景観検討への利用等が報告されている<sup>11)</sup>。本論文で提案するシステムは、VRをベースにしている点や、利用目的等を考慮すると(3)評価型

に分類される。

まずVR技術を用い、必要となる構造物をモデル化し、シミュレートするための仮想空間 (VM) を作成する。予めVM内で、テキストデータとの関連付けを行うためのプログラムを各構造物に組み込んでおく。そのため利用者は、必要となるデータを入力するだけで、そのデータに応じた仮想空間をシミュレートすることができる。仮想空間でシミュレートした後、工程計画を検討し、改めて変更後の工程計画をOptimizerブロックに戻り、工程計画を練り直すといった作業が繰り返される。ここでの作業としては、PDCAサイクルの内の実施 (Do) と検討 (Check) に相当する。

## 3. 工程可視化システムの構築とその利用

### 3.1 工程可視化システムの構築

#### (1) 工程表作成、及びデータ出力

Ms-Project98 により、基準となる工程計画を立案し、工程表を作成する。次に、工事区分毎の開始日・終了日のデータをテキスト形式 (\* .txt) で出力する。

#### (2) VM 作成

対象となる構造物を工程計画で定められた工事区分毎に分けて作成する。CAD で設計時に作成されたデータを DXF ファイルとして出力し、そのデータを活用することで、最小限の作業で VM を作成することができる。最後に、作成したオブジェクトを仮想空間内に配置し、仮想空間全体を構築する。なお、それぞれの構造物には(4)で示すプログラムが組み込まれる。

#### (3) 操作ボタン (アイコン) の作成

インターフェースとなる画面に操作ボタン (アイコン) を作成する。(2)と同様に各ボタンにもプログラムが与えられる。ユーザーはボタンをクリックする事で、プログラムを実行できる。

#### (4) プログラム作成 (仮想空間へのデータ入力、及びオブジェクト制御)

VM 内に(1)で出力したテキストデータを読み込み、それぞれのデータに対応するオブジェクトに関連付ける。この作業後、読込んだデータを利用し、日付を入力することでその日の現場の状況、工事の進捗状況を工程表に従って再現するプログラムや、ある工事が行われている段階での現場の状況を再現する

プログラムを作成する。これらを(3)で作成したボタンに割り当てる。

#### (5) 工程計画の実施、検討

(3)で作成したボタンをクリックすることで、工程計画を3次元可視化し、さらに、その空間内をシミュレーションすることで計画案の検討を行う。

#### (6) 結果のフィードバック

検討による結果、何か不具合が発見されたとき、工程計画の評価を(1)にフィードバックする。

#### (7) 再検討・再計画

検討結果のフィードバックにより、処置を行う。

本システムにおいて、データ出力時、及びデータ読み込み時における注意事項が幾つかあるが(例えば、形式は「西暦/月/日」とする、あるいは出力時にパスを指定する等)、基本的な概念としては、特に工程計画作成ソフトは何でもよいというのが条件である。最低限のルールとして、\*.txt という形式を条件としているのみである。また、仮想空間作成ソフトに関しても、今回は Superscape 社製品を使用した。同様の割付を他のソフトでも行うことで、本システムと同様の機能を十分発揮できるものと思われる。そのため、企業が独自で開発した工程作成用のツール全てに対応することができるものである。

### 3.3 工程可視化システムの可能性

Visualiser ブロックで用いる構造物モデルの VM 作成を行う必要があるが、システム利用に関しては、WWW (World Wide Web) 上でシミュレーションすることができる。そのため、現場のパソコンに Ms-Project98 のインストールと、WWW にアクセスできる環境が最低条件となるが、そのような環境下であれば、本システムは、遠隔地間で十分利用可能である。各現場で工程計画のシミュレートができるため、現場の状況に応じた計画の立案が可能となる。また、データもそれ程大きくないので(本論文の事例で 200K)、WWW 上でのデータ交換もそれ程問題とならない。また WWW 上で閲覧する場合、Superscape 社より無償でダウンロード可能な Viscap5.15 が専用のブラウザとして必要となる。

### 4. ケース・スタディー

平成 8 年度に試験的に適用した田島ダム建設工事の事例を基に、幾つかの問題点の改善を図った。本章ではそれを踏まえ、熊本県に架設中の佐敷大橋(仮称)建設工事に対し適用を行った。その内容を紹介するとともに、考察を行う。

#### 4.1 佐敷大橋(仮称)建設工事

佐敷大橋(仮称)は、熊本県芦北郡芦北町女島一計石地内に建設予定で、芦北 2 期地区広域営農団地農道(通称:オレンジベルト)整備事業の一環として行われるものである。諸元は、形式:PC3 径間エクストラードロード橋、橋長:225m、幅員:9.25m~12.25m、工期:平成 10 年 3 月~平成 12 年 11 月となっている。

本工事は、九州でも初というエクストラード形式の橋梁架設であるため、施工前例が少ないのが最大の特徴である。この形式は、従来の桁橋において上床版に配置された PC 鋼材をより効果的に用いるために斜材として桁の外に配置し、大偏心のプレストレスを主桁に作用させ、曲げモーメントを改善させた構造である<sup>12)</sup>。

#### 4.2 適用結果

##### (1) 全工程シミュレーション(図-4)

工事箇所を入力することで、その工事時の現場の状況とその箇所を瞬時に示すことができる。また、同じ期間に行われている工事箇所を示すことも可能である。多くの工事に区分され、それらが重複して行われる工事においては、ある工事の実施時期やその時の現場の状況、同じ期間に行われている工事を示すことで、工程計画の検討を支援することができる。今回、上部工でも主塔建設から桁の張出し、ケーブルの緊張、それらの工事に伴う仮設備の配置に区分されている。また、仮想空間内を任意の視点から表示させることで、従来の 2 次元の工程計画表では困難であった作業スペースや機材の搬出入経路の確認、工事箇所やその形状の把握等ができるため、より不具合の少ない工程計画の立案が可能となる。以下に、各アイコンの説明を加えておく。

- ① 工事箇所入力ボタン：工事箇所の入力で、ある工事時の現場の状況とその箇所を示す。
- ② 日付入力ボタン：日付を入力することで、その日の現場の状況、工事箇所を示す。
- ③ 視点場設定ボタン：予め設定された視点に移動する。
- ④ 視点軌跡設定ボタン：予め設定された視点移動の軌跡に沿って再現される。

(2) 任意視点からの全景の確認

同一工事日における工事状況を任意の視点から確認できるようになった。様々な業種の工事関係者が出入りする現場においては、現在の工事状況や機材等の輸送経路等、確認したい事柄は多岐に渡る。そのため、各人に応じた観点で現場の進捗状況を確認、検討できることは有効であると考えられる。図-5は、同一工事日における現場の様子を任意の視点から見たものである。

(3) 任意視点から細部に至るまでの確認

現場の作業員が、その日の工事箇所の状況を的確に把握しておくことは、作業を効率よく進めるととも

に、現場での予期せぬ事故を防ぐ意味で、極めて重要なことであると言える。2次元の図面等からでは把握しにくい工事状況を、作業員をはじめとする工事関係者は、システムを利用することで、3次元で確認する事ができる。図-6は、主塔建設における同一工事箇所を任意の視点から(a)~(c)の順で全景から近景までの視点移動の様子を示している。

(4) 工程計画変更時のシステムの対応

悪天候等不慮の事象により、予定通りに作業が進まなかったり、あるいは現場の条件から計画通りの工程で作業ができない場合、再度 Optimizer ブロックに戻り、計画案を検討することとなる。先述のように、システム中の2ブロックはそれぞれ独立した形を採っているが、橋梁の各構造物とデータが関連付けられているため、工程変更に対し比較的容易に対応可能である。図-7、8は、変更前・後での工程表と工事状況の違いを示している。この事例では、工程表は実験的に簡素で短期間の工事を仮に想定して作成したものを用いている。このように、工程の変更に対しても、2ブロックを統合したシステム構成により容易に対応できる事が確認される。



栈橋・橋脚建設工事

(b) 張り出し工

(c) 完成系

図-4 全工程シミュレーション



(a) 東側からの視点

(b) 北側からの視点

(c) 床版上部からの視点

図-5 同一工事日の現場

### 4.3 考察

今回、橋梁本体、栈橋や主塔建設時における足場等を含めた構造物を再現した。また、操作ボタンとして、①工事箇所入力ボタンを設けることで、ある工事が行われている期間の状況を瞬時に可視化でき、②日付入力ボタンを設けることで、日付入力のみで長期にわたる工期から指定した日付の状況を可視化することができた。さらに、③視点場設定ボタン、④視点軌跡設定ボタンを設定することで、操作性の向上を図った。また、今回はより現場の状況を把握しやすくするため、重機や地形データを考慮した。このことで、重機との干渉を考慮した工程計画の検討等、資材の搬入、搬出経路の確認等ができる等、さらに具体的でかつ総合的な工程計画案の検討が可能となる。今回の事例では、主塔工設計において、当初、主塔工、張り出し工の順序で行われる予定であったが、実際の現場の状況では、作業スペースが確保できず設計通りの工程は不可能であることが確認された。そのため、床版を3ブロック張り出した後、主塔工を施工するという工程に変更された。また、その2通りの工程を比較しながら検討できるため、具体的にその違いを示すことができる。このことは、本システムを利用することで得られた成果のひとつである。

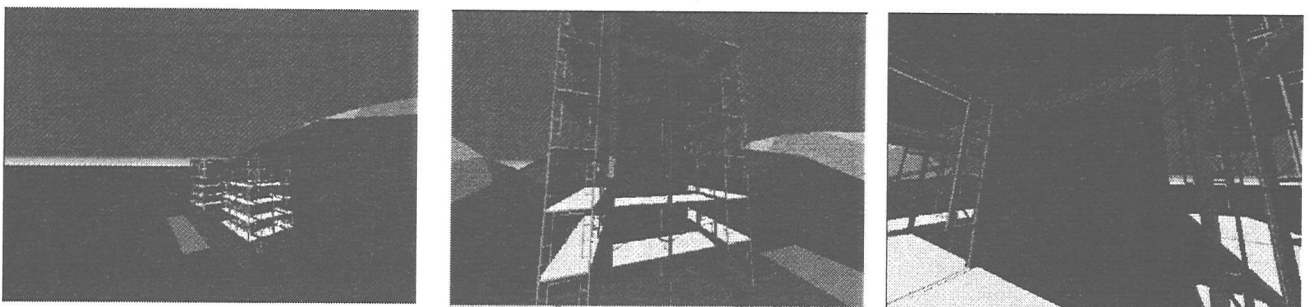
実用化に向けた取り組みに対しては、守るべき注意事項が多く、使い勝手の点で若干操作性に欠けるといった指摘がなされた。現場における業務の多忙さから、極力操作が簡単で制約の少ないシステムへの改善が求められ、現状では、実用化に踏み切る可能性は少ないとの指摘も受けた。過去の事例に比べ一部の操作性が改善されたように、今後、事例を蓄積し、現場サイドの要望を参考にすることで操作性の改善に努める必要がある。つまり、現場との密

なコミュニケーションも重要な課題のひとつである。また、本システムは、各工事毎に空間内のオブジェクト数とインタラクティブ性との兼ね合いを考慮しながらの作成となるため、やや現実味に欠乏しているが、システム単独で利用するのではなく、写真やパンフレット等の他の資料と併行して活用することで、システム全体として補完することができると思う。

システム自体の機能面に対しては、複数の代替案の切り替えを1回の操作でできれば良い、という要望があった。現在のシステムでは代替案毎に日付データを作成しておく必要があるため、これに伴う注意事項と制約があり、やはり現状では実用化は困難ではないかという結論に達した。そのため、機能性を向上させる反面、操作方法については簡易化していく方向でシステムを改善していかなければならないという認識を得た。

### 5. 結論

本論文は、市販の工程計画作成ソフトと筆者らが研究を進めてきた VM とを統合することで工程可視化システムとしての構築を試み、その実証実験を行った。本システムはその工程計画の可視化能力により、現場の状況が複雑で、複数の工事が重複して行われる建設現場の工程計画検討に適用することでその真価を発揮することができると思う。例えば、地下鉄の駅の建設工事等では、駅構内の工事や鉄道工事を始め、ガスや水道、通信ケーブル等、専門の業者による工事も複数行われる。また、機材や建設機械の搬入、搬出経路の確保等、地上の工事からの影響も大きい。これらの各工事を仮想空間で実施し、立案した工程計画を検討できることは、工程計画の評価を助ける。その結果、複雑な工程計画でもより完成度が高い立案が可能になると予想される。



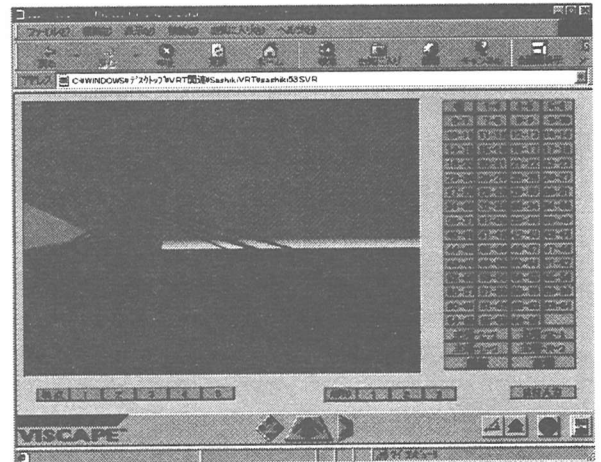
(a) 遠景

(b) 中景

(c) 近景

図-6 主塔工建設時の任意の視点

タスク名	開始日	終了日	先行タスク
99	cable15	2日 1999/11/15	1999/11/16 147,33.60
100	cable15	2日 1999/11/15	1999/11/16 148,33.60
101	cable16	2日 1999/11/24	1999/11/25 149,32.61
102	cable16	2日 1999/11/24	1999/11/25 150,32.61
103	cable17	2日 1999/08/25	1999/08/26 183,64.66
104	cable17	2日 1999/08/25	1999/08/26 184,64.66
105	cable18	2日 1999/09/07	1999/09/08 185,8.24
106	cable18	2日 1999/09/07	1999/09/08 186,8.24
107	cable19	2日 1999/09/16	1999/09/17 187,7.25
108	cable19	2日 1999/09/16	1999/09/17 188,7.25
109	cable20	2日 1999/09/27	1999/09/28 189,6.26



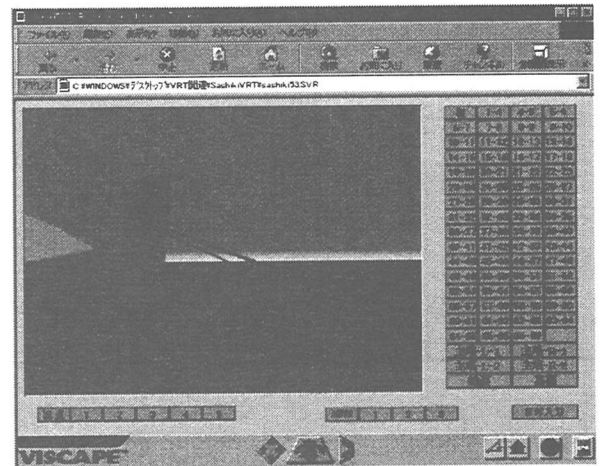
工程変更前の Optimizer ブロック

→

Visualiser ブロック

図-7 変更前の工程可視化システム (平成 11 年 8 月 25 日)

タスク名	開始日	終了日	先行タスク
99	cable15	2日 1999/11/15	1999/11/16 147,33.60
100	cable15	2日 1999/11/15	1999/11/16 148,33.60
101	cable16	2日 1999/11/24	1999/11/25 149,32.61
102	cable16	2日 1999/11/24	1999/11/25 150,32.61
103	cable17	10日 1999/08/25	1999/09/07 183,64.66
104	cable17	2日 1999/08/25	1999/08/26 184,64.66
105	cable18	2日 1999/09/15	1999/09/16 185,8.24
106	cable18	2日 1999/09/15	1999/09/16 186,8.24
107	cable19	2日 1999/09/24	1999/09/27 187,7.25
108	cable19	2日 1999/09/24	1999/09/27 188,7.25
109	cable20	2日 1999/10/05	1999/10/06 189,6.26



変更後の Optimizer ブロック

→

Visualiser ブロック

図-8 変更後の工程可視化システム (平成 11 年 8 月 25 日)

## 6. 謝辞

本論文を執筆するに際し、熊本県芦北事務所の遠藤明男課長をはじめ耕地課の方々並びに鴻池・オリエンタル・佐藤 JV の松田英夫所長をはじめ工事事務所の方々のご協力を頂きました。また、本論文の一部は、平成9～10年度・科学研究費(09650591)の支援を受けました。記して謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 建設省・国土庁所管 財団法人 地域開発研究所 土木施工管理技術研究会：土木施工管理技術テキスト，施工管理編（改訂第5版），1998.
- 2) 土木学会編：第四版土木工学ハンドブック I，技報堂出版，1989.
- 3) 新井他：パソコンによる CG と道路設計の視覚化への応用，第 22 回土木情報システムシンポジウム論文集，pp.133-140，1997.
- 4) 福地他：施工段階における CG アニメーションの役割と有効性に関する考察—田島ダム建設工事での適用の総括—，第 23 回土木情報システムシンポジウム論文集，pp.1-8，1998.

- 5) 緒方他：建設プロジェクトにおける合意形成のためのヴァーチャルモデルの利用，第 23 回土木情報システムシンポジウム論文集，pp.81-88，1998.
- 6) 株式会社 SCC ライブラリーズ制作グループ：これでわかるプロジェクト 98，株式会社 SCC，1998.
- 7) Microsoft Office HP： <http://www.asia.microsoft.com/japan/Office/>
- 8) 廣瀬通孝：バーチャルリアリティって何だろう—仮想と現実の間—，ダイヤモンド社，1997.
- 9) 西垣通：聖なるバーチャルリアリティ—情報システム社会論—，岩波書店，1995.
- 10) 柳田他：VR による空間把握に関する基礎的研究，建築学会第 21 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，pp.85-90，1998.
- 11) 荻原他：VRML と JAVA による分散景観シミュレーション，第 22 回土木情報システムシンポジウム講演集，pp.167-170，1997.
- 12) 渡辺宗樹：エクストラードロード PC 橋，土木学会誌 Vol.83pp67,1998