

I-20 CGアニメーションを利用した協調化施工管理支援システムの開発

CG Animation for Collaborative Integrated Communications for Construction Management

○福地良彦*

小林一郎**

大村祐司***

野村大樹***

Yoshihiko Fukuchi

Ichiro Kobayashi

Yuji Ohmura

Daiki Nomura

【抄録】本研究では、建設工事の施工管理を円滑にする目的において協調化施工という概念を導入し、その実証実験例としてCGアニメーションを核とした協調化施工管理支援システムを提案する。本システムにおけるCGアニメーションの果たす役割とその妥当性の検証を目的として、施工管理の四大管理項目に着目し、議論する。また、協調化施工管理支援システムにおける電子情報の有効利用と情報伝達手段の一元化の重要性、インターネット上でのデータの共有・共同利用のあり方を提案する。本システム提案の有効性確認のため、大規模土取工事とコンクリートダム建設工事施工管理を事例として取りあげ、考察を加える。

【Abstract】 This paper introduces the idea of Collaborative Integrated Communications for Construction (CICC) and emphasizes a role of Computer Graphics Animation (CGA) to realize it. In order to verify effectiveness of the CGA application, it takes a look at the four major issues in on-site construction management, applies CGA to each of the issues, and discusses them. In addition, the importance of electronic data recycle and effective methods of data transfer is specified and the way of its collaborative use of the Internet is also proposed. Case studies are conducted to verify the proposals in a large-scale soil borrowing project and a concrete dam construction project.

【キーワード】 協調化施工、CG、施工管理、インターネット、情報化施工

【Keyword】 CICC, Computer Graphics, Construction Management, Internet, CIC

1. はじめに

コンピュータ技術の著しい進歩とハードウェアの低価格化によって高性能なCADやCGアニメーションがパソコン上で利用可能となった。さらに、ネットワーク関連技術が著しく進歩したことから、これらの技術を統合し有効に活用する方法の検討が活発になってきている。例えば、草間らはNODE¹という協調設計システムを提案している。また筆者らは情報化施工Computer Integrated Construction(以下CIC)も建設プロジェクト全般におけるコンピュータ利用を目指すものと捉え、このCICの概念に基づいて、その要素技術の一つであるCAD、CGアニメーション技術を建設工

事のライフサイクルの内、施工段階に適用し、協調的作業環境の向上等を目指してきた²。しかし、筆者らがCGアニメーションの適用前提としているCICの概念は、プロジェクト全般においてその効果を発揮し、建設プロジェクトを大幅に改革するものと捉えられていたが、その適用技術分野は非常に多岐に及んでいる。そのため個々の技術の有効性については既にあらゆる分野で実証済みであるが、それらを実際に施工段階に適用するには規格の差によるシステムあるいはデータの互換性や使用機材の特殊性等、多くの問題を含んでいると考えられる。そこで、文献2で示した筆者らの施工管理CGアニメーションシステムの導入概念と

* 正会員 ㈱鴻池組土木本部土木設計部 (〒541 大阪市中央区北久宝寺町3-6-1)

** 正会員 熊本大学工学部環境システム工学科 教授

*** 学生員 熊本大学大学院工学研究科

Leevers³らが提案する建設プロジェクトライフサイクルのうち施工段階に着目し、ネットワーク関連技術、CAD・CG関連技術を核とする Collaborative Integrated Communications for Construction (CICC) という概念を参考にしつつ、日本での実用化を念頭に置き、CGアニメーションを中心として CICC の概念を再定義し、新たに協調化施工支援システム (CG-CICC: 以下 CG キック) を提案し、CG キックについての研究成果をまとめた。なお、CG キックの実現においては CG アニメーションによる仮想空間の創造が重要となる。ここで、その仮想空間を実際の画像出力として利用する場合には、録画アニメーション、リアルタイムアニメーションなどに分類される⁴が、本論文ではそれらを総称して CG アニメーション (以下 CGA) と呼ぶことにする。

2. 協調化施工管理支援システム (CG キック)

2.1 CG キックの概要

ここでは Leevers らの提案を参考にして、我が国での適用を前提として CG キックを提案する。情報化施工 (CIC) においてはライフサイクル全般に関して様々なコンピュータ支援を前提としていることに対して、CG キックでは施工段階における CGA によるコンピュータ支援を主な目的としている。CG キックにより各地に散在する建設プロジェクト関係者はそれぞれ情報を発信することにより、その所在にかかわらずあたかも同一場所で作業を行っているかのような作業環境を提供する。さらに、ここでインターネットを使用することで、施工に関する他の情報 (文書、音声、映像) を全て電子情報として一元化でき、その有効利用が可能となる。さらにその情報の運用はインターネット上で共有・共同利用されることにより情報伝達手段をも一元化することになる。

CG キックに集積される主な情報源として、以下のように分類する。

- ① 工事関係者 (施主、施工者、協力業者など) や地域住民の口頭とその文書による情報
- ② 設計図面、工程計画、施工方法等工事に関する情報

- ③ パソコン内につくられた仮想空間から得られる情報
- ④ 実際の現場から得られる経験に基づく情報

これらの情報を建設プロジェクトの関係者全員に迅速かつ均等に提供し、その見返りとしてそれぞれの専門知識や意見等を共有することにより、効果的な協調的作業環境を実現する。CG キックではこれらの情報を結びつけるため、以下のような事項を念頭に置き環境整備を行う。

(1) データの形式規格の統一

CG キックでやり取りされる情報の形式は一般的なパソコンで利用可能なものとする。

(2) データベースへのアクセス環境

インターネットを通して、情報を送・受信する人が上記①～④の情報が存在するデータベースへのアクセス手段を確保する。

(3) 3次元 CAD モデルによる CGA の利用

3次元 CAD モデルによる CGA の利用により工事現場や施工手順、危険作業等のシミュレーションを作成することで、建設プロジェクト関係者や一般の人々にその建設プロジェクトの特徴を的確に伝え、工事に対する理解を得る。

(4) コンピュータネットワークでの人間の信頼性と役割

CG キックにおいてコンピュータ自体が果たす役割は重要であるが、そのコンピュータにデータを入力すること、つまりその入力人間が行っているという意味において、情報源①で示した関係者のもつ知識は施工管理を改善する意味で極めて重要である。ここで、CG キックはあくまでチームの仕事であり、ある構成員から投げかけられた疑問に、当事者が誠実かつ迅速に対応できない限り本システムの効果は期待できない。CG キックにおける建設プロジェクトチームメンバーは各地に分散し、他の業務と平行して図-1で示したようにインターネット上で共通のデータベースへの情報の入出力を行うことにより CG キックを成立させている。さらに、現場での利用を前提として、大型計算機やグラフィックスワークステーション等は使用せず、汎用的なパソコンを使用し、さらに Windows 上で利用可能なソフトのみを用いる。

CG キックの概念図を図-1に示す。基本的な構想は建設 CALS 等で示されるデータ共有と同じであるが、

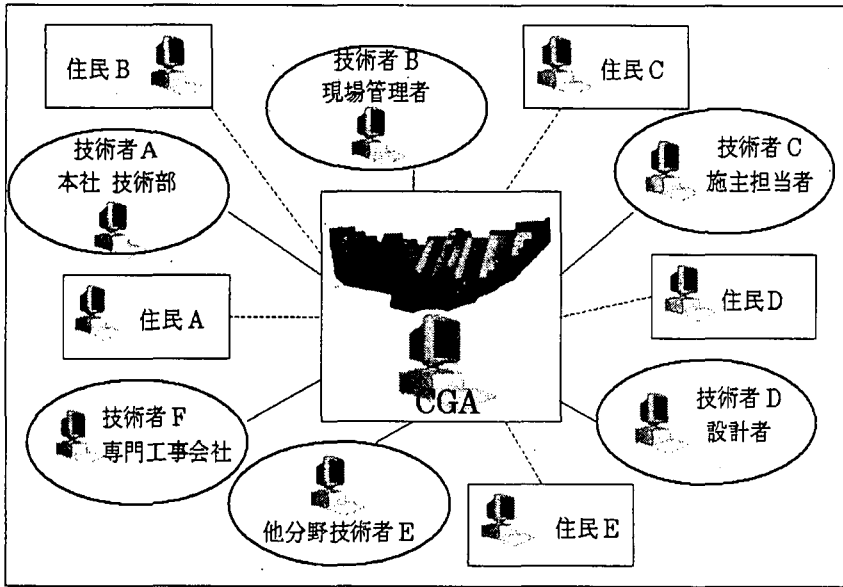


図-1 CG キックの概念図

コンピュータを介した情報交換は、個人の責任を減らそうという性質のものではあってはならない。むしろ文書や経験等をバランスよく利用して、より良い選択を行うためのシステムであること。

④ CG キックの組織的導入が、建設業界及びその関連分野に受け入れられなければならないこと。(しかしながら、当面は当該建設工事のためのチームのみで良い。)

⑤ 全ての情報化施工技術を統合することは多くの困難が予想されるため、本システムにおいては特にネットワーク関連技術、3次元 CAD・CG 関連技術の適用を中心にする。

以下にその特徴的な大きな相違点を2点示す。

- ①あくまで個々の建設工事のみを対象としている。
- ②チームの定義(住民の参加を許すか否かなど)によって、全ての情報をオープンにしたシステムともなりうるし、特殊な情報のみクローズドにしたシステムともなりうる。

2. 2 CG キック導入における前提条件

CG キックの導入により、情報源へのより速い、より容易なアクセスが可能になり、情報収集の目的に沿った的確な情報を得ることで建設プロジェクトへの理解が深まり、結果的に協調的作業環境が実現する。ただし、本研究における CG キックの適用においては以下のことが前提となる。

- ① CAD・CGA システムは、ネットワークを介した協調作業を行うために、特殊なアプリケーションソフトを必要としないこと。(プラグイン等自社開発ソフトであってもそれが不特定多数の人に利用できるなら問題はない)
- ② 協調作業に要求される 3次元ユーザーインターフェイスが、ユーザーに対して簡単に理解できるものであること。
- ③ 各関係者の安定したインターネット技術によるコ

3. 施工管理を支援する手段としての CG キックの役割
 本研究では、前章で述べた CG キックを建設プロジェクトの施工計画・施工管理の分野への適用を試みるが、その前に施工段階の現状での問題点と、CG キックの概念が効果的であると考えられる点を明確にしておく必要があると考える。本章では実際に施工段階に適用する際に議論されるべき問題点の抽出のために、国島らの文献⁵に従い、建設プロジェクトにおける施工者の行う管理について述べ、さらに施工段階での問題点について述べる。

3. 1 施工者による施工管理

施工管理は、一般に四大管理項目といわれる品質管理、工程管理、原価管理、安全管理からなる。一般にこの四大管理項目を基本として、施工者は以下の手順で施工管理を行う。(表-1)

品質管理	工程管理	原価管理	安全管理
品質検査 工事写真撮影	工程進捗状況把握 工程調整	資材使用状況把握 仮設材運用状況把握 機械稼働状況把握 作業確認	安全教育 安全指示

表-1 四大管理項目と実際の施工管理との関連

(1) 施工計画の立案

施工管理にあたり、まず施工者は管理を行う上で必要となるデータ（設計図面、自然条件、労働力等）の収集を行い、四大管理項目に照らし合わせ施工計画の立案を行う。その際、施工者が決定しなければならない計画は、①施工法選定、②工程計画、③仮設計画、④現場管理組織、⑤品質管理計画、⑥作業要員計画と専門業者選定、⑦機械計画、⑧資材計画、⑨安全管理計画、⑩環境保全計画、⑪現場施設計画、⑫資金計画等が挙げられる。

(2) 施工及び施工管理

施工計画の立案後、それを実行するために具体的に様々の管理を行う。表-1の四大管理項目と具体的管理項目の関係からも明らかのように、施工段階は様々の工事関係者及び発注者や設計者等が複雑に絡む段階であり、また計画段階や設計段階、維持管理段階と比べ現場の状況が刻々と変化し、適切かつ迅速な管理が要求される。そのため、常に現場の状況を正確に把握し、進捗状況の把握並びに工事進捗の管理は特に重要な項目であるといえる。

3.2 施工計画、施工管理の問題点

国島らによると施工計画・管理を行うにあたり、現在施工段階には以下のような問題点があるとされている。⁶

- ① 施工管理においては情報の共有あるいは有効利用の立ち後れにより、いわゆる経験重視の性格を持っている。この計画立案方法では、計画は計画立案者の主観的判断に陥りやすく、その経験のみによる判断は必ずしも最適ではない。
- ② 建設業における技術開発はハード的な面が重視されており、計画、管理技術といったソフト面での取り組みは進んでいるとは言えない。つまり、施工過程がますます複雑化、多様化していくのに対し、施工技術者の個人的能力のみでは、合理的な計画立案が困難になりつつある。
- ③ 施工段階は状況が刻一刻と変化する動的なものである。3.1の(2)で述べた施工管理上の四大管理項目に「状況把握」という項目が多数登場しているのもそれを裏付けるものである。ところが、一般に紙の情報を主体とした現在の計画手法におい

て、「状況把握」は必ずしも十分ではない。

- ④ 施工段階は発注者、設計者、施工者が関わる必要のある段階であるといえる。施工においては、状況が絶えず変化するという性格から、突然の計画の変更といった状況も大いに予想できる。その様な場合、分散した各関係者に状況や変更の内容等をいかに正確に、理解しやすい状態で伝達できるか、ということは重要である。やはりこの点においても、③で挙げた問題点と同様に、紙の情報のみでは十分ではない。

3.3 CGキックの適用と重要性

施工管理において管理する項目は、状況把握に関するものばかりではなく、コストに関する問題等、数値に関するものも多く含まれる。本研究でのCGキックの適用性評価においては、あくまでも施工計画を立案または遂行する上で、前章の議論のように施工管理における状況把握の重要性に着目している。CGキックを利用することで、事前に現場を再現し、体験することで工事関係者や沿道住民は現場の状況把握が容易になる。以下にその利用が有効であると考えられる事項についてまとめる。

- ① 複雑な施工手順や危険作業のトレーニングやリハーサル（例えば高架道路復旧工事⁷⁾）を事前に画面上で行うことで、現場での失敗や躊躇を減少させることができる。
- ② 実施工前に完成後の構造物を表現可能であるので、物理的干渉部分の発見、仮設材の搬出経路等の検討を行うことができる。
- ③ 工事PRのために沿道住民や現場見学者に施工要領、工事進捗状況の説明用として用い、工事への理解を深めてもらい、協力を得やすくする効果が期待できる。

4. 施工段階におけるCGの適応事例

4.1 大規模土取工事施工計画への適用

設計施工計画立案におけるCGキックの適用例として、大規模土取り工事の施工計画を事例として、施工計画から施工管理、土取り後の跡地利用計画までの適用を

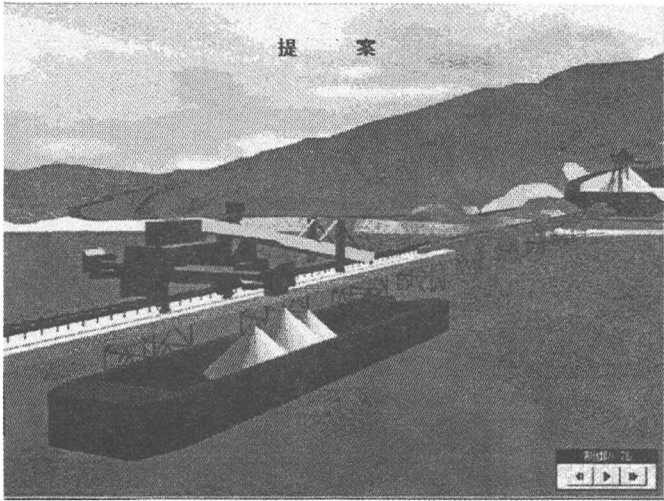


図4-1 録画アニメーションによる仮設備の配置検討

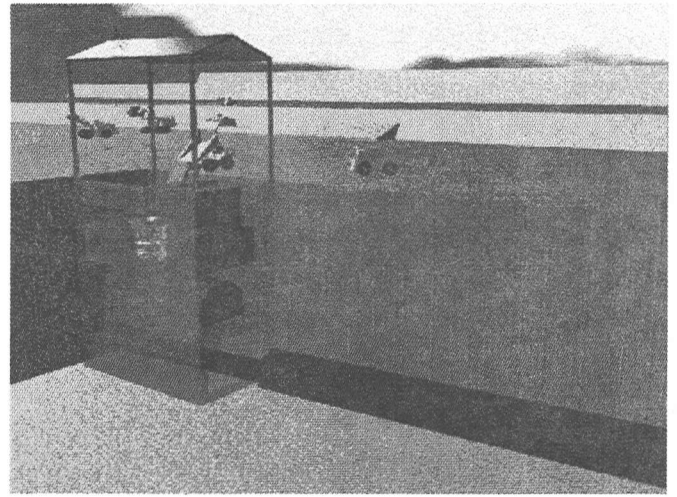


図4-3 土砂運搬方法のシミュレーション

前提としたシステムを作成した。同工事は大規模かつその工事区域は広範囲であるために、図面や模型では十分な計画立案・検討等が行えない。そこで、CGキックを用いて仮想空間内に施工計画通りに建設現場を再現した。これにより、仮設備配置計画・施工法選定の検討、施設の周辺環境への影響等を検討した。本適用事例では、録画アニメーションとリアルタイムアニメーションの2つのアニメーションを併用し、その相補関係により現在のハードウェアの限界を補った。さらに、情報の提供方法としてインターネットを利用した。

録画アニメーションによる施工計画

計画により選定された仮設備、機械を設計図面より正確にモデリングした。地形データに計画通り配置をすることで、仮設備・機械選定とその配置の検討ができる(図4-1)。また、土砂掘削工法(図4-2)、土砂運搬方法のシミュレーション(図4-3)により、計画された施工法の検討も可能となる。

(2) リアルタイムアニメーションの施工計画への利用

このアニメーションでは、建設予定地周辺地区の航

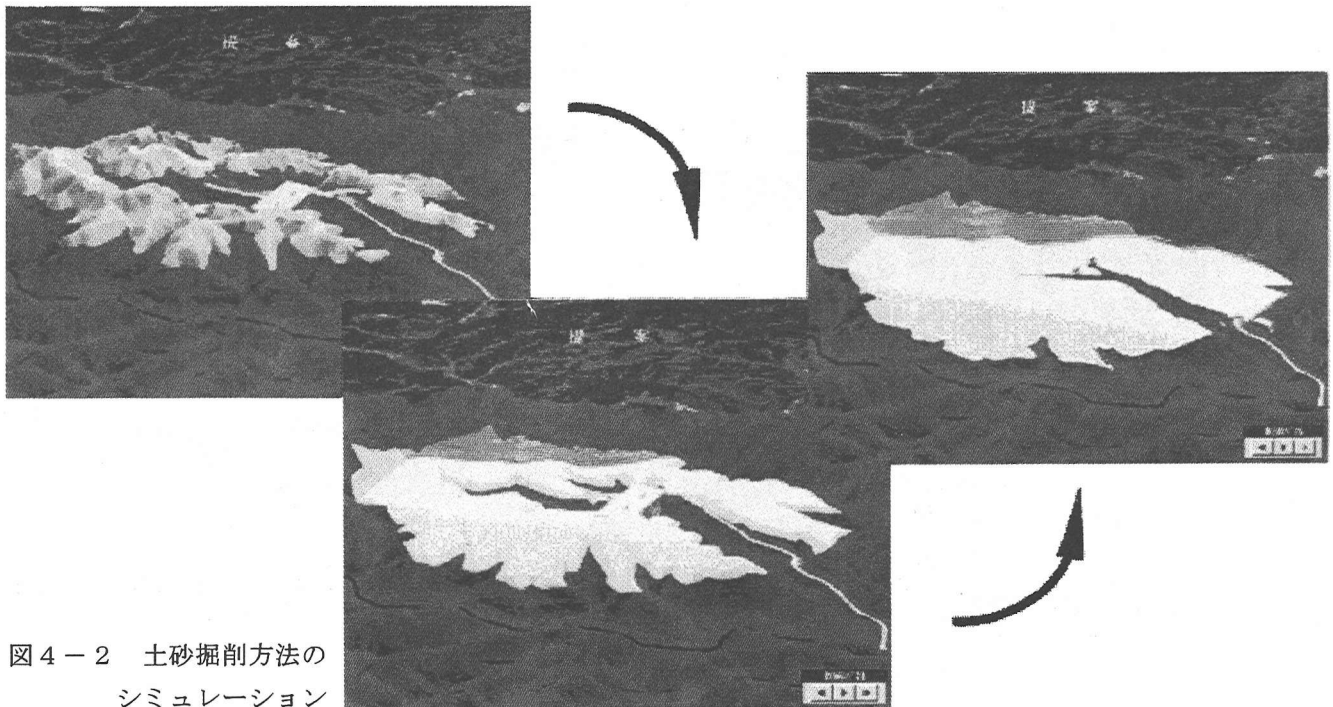


図4-2 土砂掘削方法のシミュレーション

空写真と地図を用いて仮想空間に建設現場を再現した(図4-4)。自由に視点を移動できる RTA の利点により、土取り予定地と周辺地区、仮設備等の相対位置関係が明白となり、表示・非表示の機能により現状と計画案の比較や、複数の施工計画案の比較検討が可能となる。

(3) インターネットを通しての利用

WWWのホームページという性格上、情報提供者は各関係者に情報を配布する作業を行わずに済み、情報の更新に関してもデータのアップロード、ダウンロードという操作で随時行うことが可能である。つまり、それぞれの専門分野の担当者が任意に最新の情報を提供できる環境が整うことになる。

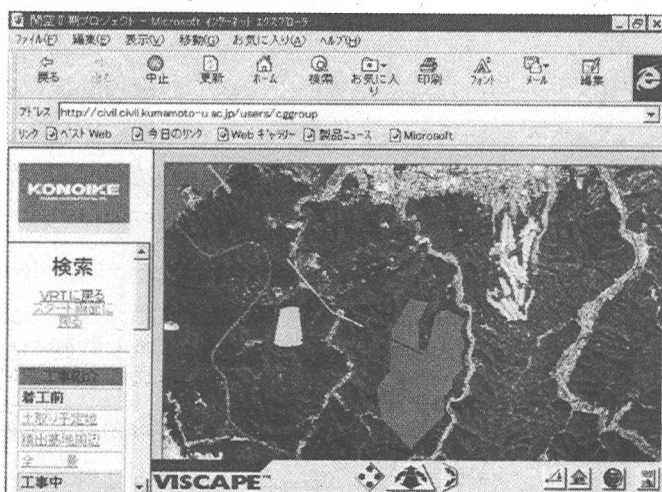


図4-4 RTAによる施工計画(建設現場の再現)

4.2 ダム建設施工管理への適用

ダム工事は、一般に掘削工、基礎処理工、仮設備工、堤体工、周辺整備工といった多くの工程を経ることにより、多くの工事関係者が関わるため各関係者間の情報交換が施工管理上重要となる。また工事現場はバッチャープラント設備を含め広範囲におよび、かつ工事期間が長いため工事の全容を理解することが困難であることが挙げられる。また、本工事は冬季には現場が雪に覆われ作業ができなくなり、工程の少しの遅れが工事の大幅な遅れにつながるため、綿密な計画が必要であり、また工事関係者間の情報交換と共有が工事の成否を左右すると考え、本ダム建設施工管理へCGキックの適用を試みた。⁸

(1) コンクリート打設シミュレーション

堤体工のコンクリート打設状況を、重機を動かしてシミュレートする。図4-5のように視点を上空に置くとコンクリート打設の作業手順・方法が把握でき、詳細にはわからないが全体の作業状況を把握できる。また、図4-6のようにクレーン操縦席に視点を置くと、クレーンのオペレーターからの死角等危険な個所が事前に確認でき安全性の向上にもなる。原価管理に属する機械稼働状況把握、作業確認、及び工程管理の工程進捗状況把握につながる。安全管理の中の安全教育、安全指示にも有効であると考えられる。

(2) 機械稼働、仮設備状況アニメーション

コンクリート打設工程における使用機械の稼働状況

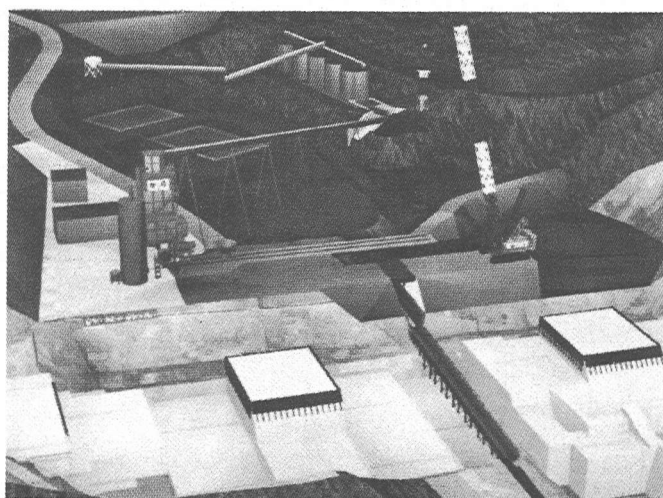


図4-5 コンクリート打設シミュレーション

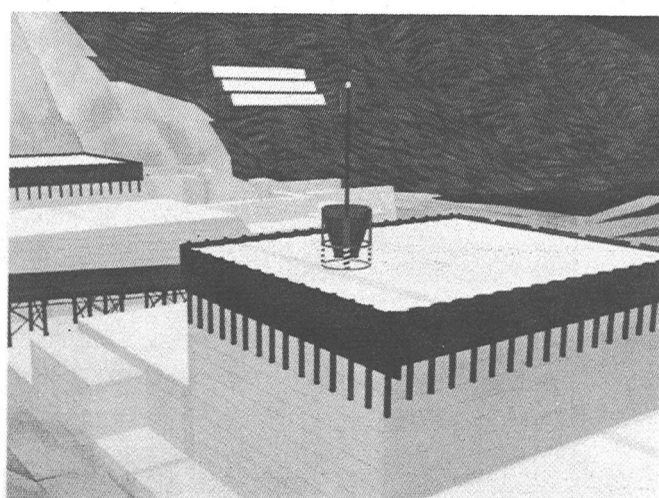


図4-6 クレーンからの視点

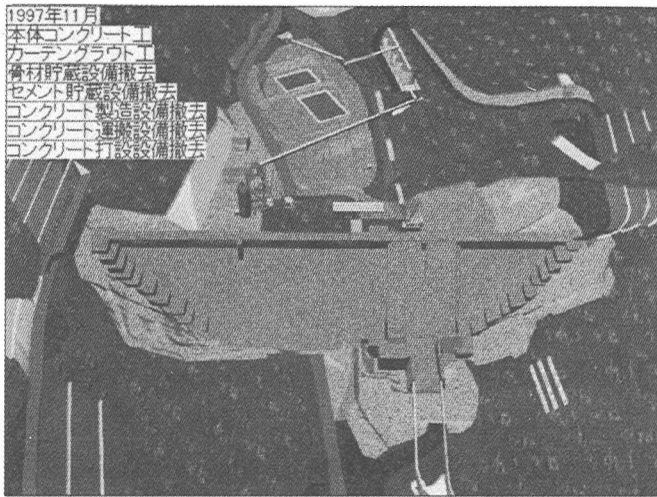


図4-7 機械設備と仮設備の配置・使用状況

と仮設備の配置・使用状況を再現した(図4-7)。これにより、原価管理項目における機械稼働状況把握に有効であると考えられる。また、配置計画の検討も可能である。

(3) 工程シミュレーション

ダム建設の主な工程(転流工、仮設備工、提体工、基礎処理工、掘削工)を月間のバーチャートを基に大まかに3次元視覚化した(図4-8)。これにより、バーチャートだけでは明らかになりにくい工程上の制約、進捗具合等をより明確に表現することが可能となり、工程管理の工程進捗状況把握並びに工程調整に有効であると考えられる。

4. 3 考察

(1) 施工計画への適用の有効性

本適用事例より、施工法選定、仮設計画、機械設備配置といった施工計画においてCGキックが有効であり、さらにCGキックにおける工程の3次元化は工程計画にも有効であることを確認した。

(2) 施工管理への適用の有効性

安全管理については、工事現場における事故発生要因として、常に化する現場の状況の把握が不十分であることが多く挙げられているが、CGキックの適用により現場の状況を事前に把握することが可能となり、安全管理についてもその効果が期待される。

(3) 施工計画・施工管理の問題点の解決

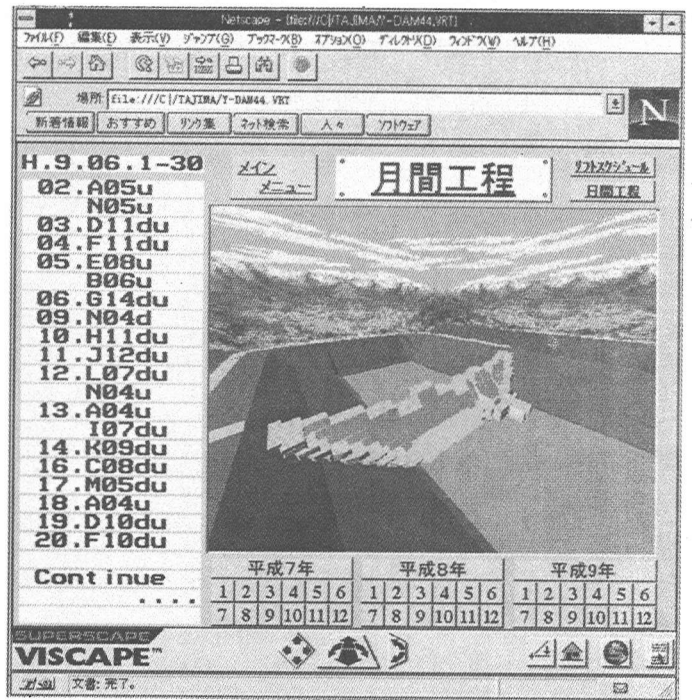


図4-8 バーチャートの3次元化

CGキックは実際にまだ行われていない作業状況を誰にでも理解できる形で表示できる。熟練者はそれの中で3次元化し、その状況をイメージできるが、未熟練者にとっては、言葉や図面のみの情報からそれを的確に判断できないであろう。そこでCGキックによる視覚的情報の提示はこの熟練者の思考をコンピュータ上に事細かに映し出すことにより未熟練者の判断を補助する。また、施工技術や手順が複雑化し多様化すれば、たとえ熟練者であっても個人の能力には限界があり、頭の中の経験のみに頼ってはい合理的な計画立案であるかどうかの判断が困難となる。そこでCGキックを適用することにより、このような場合でも的確な施工管理を行うことができると考える。

5. 結論

(1) CGキックの前提となるCIC、CICCという概念について言及し、CGキック構成と導入分野を提案し、導入に際しての注意点を示した。

(2) 施工段階は分業体制に起因する様々の施工関係者、発注者や設計者等が複雑に絡む段階であり、他の段階と比べ現場の状況が絶えず変化する動的なものであるため、早急な対応が求められる。そこで、現状で

の熟練者の経験による紙の情報を主体とした施工管理の抱える問題点について述べ、ここに CG キックによる協調施工環境の実現可能性を示した。

(3) 実際の2つの工事に対して、大規模土取り工事とダム建設工事を事例として CG キックを適用した。従来の紙等を中心とした情報のみの利用と比較して、CG キックによる情報の共有法が施工管理において特に重要となる状況把握に非常に有効であることを確認した。最後に、本研究において CG キックにおける CGA を実

際に現場の施工管理に適用することで、期待される優位性については十分示されたが、今後いつそう CG キックが施工管理を支援する目的で適用されるようになるためには、現場関係者を含む施工者、設計者、発注者の持つ意見をいかに効果的に反映させていくかにかかっていると思われる。そのため、本研究を進めるにあたり、ネットワークによる情報交換の技術の蓄積のみならず、CG キック（協調化施工管理支援システム）のさらなる事例蓄積により、客観的評価を行っていくことが、今後重要な課題となる。

【参考文献】

- ¹ 草間晴幸ら：「NODEのコンセプトと橋梁デザインへの適用」，土木情報システム 論文集，土木学会，1996，pp83～90
- ² 福地良彦、小林一郎：「施工管理へのCGアニメーションの適用」，土木情報システム 論文集，土木学会，1996，pp75～82
- ³ Leever, David (1993), Adapted from a talk at "Unicom Seminar on Collaborative Work, July
- ⁴ Fukuchi, Yoshihiko; Nakaue, Asao; Logcher, Robert; Kobayashi, Ichiro (1996), "Computer Graphics Animation for Highway Reconstruction after Great Hanshin Earthquake", Proceedings of The Third Asian-Pacific Conference on Computational Mechanics, Vol. 3
- ^{5,6} 国島正彦、庄子幹雄：「建設マネジメント原論」，山海堂，1994，pp118～141
- ⁷ 中上朝雄：「国道2号浜手バイパス浜辺通工区鋼桁撤去」土木施工 山海堂編
- ⁸ 福島県南会津建設事務所：「自然に親しみ自然とともに 田島ダム」，1994