

I-11 施工管理へのCGアニメーションの適用

CG Animation for Computer Integrated Construction Management

福地良彦*
Yoshihiko Fukuchi*

小林一郎**
Ichiro Kobayashi**

【抄録】情報化施工の実現に当たっては、設計者、施工者、施主等関係者間の情報の共有化および情報交換能力の向上が不可欠である。また、情報の中でもCGアニメーションを用いた画像情報の有効利用は、機械あるいは建築関係の業界における製品の品質向上あるいは生産性の改善に多くの成果をもたらしている。本論文では情報化施工の一環として、CGアニメーションの果たす役割を建設プロジェクトのライフサイクルにわたって評価し、有効な適用分野を提案するとともに、独自にCGアニメーションシステムを構築した。提案するシステムの有効性と適用の効果を確認するために、ダム建設工事、大阪市此花地区再開発プロジェクト、高架道路橋震災復旧工事を事例研究として取りあげる。

【Abstract】 Computer graphics animation systems provide the ability to integrate on-site engineers' expertise into design systems as well as construction management processes. Computer graphics animation improves coordination and communication among engineering, construction and client organizations. The expedited communication leads to a substantial improvement of quality and productivity in the AEC industry. Computer graphics animation makes it possible to move through the design objects and view the proposed facility interactively in virtual environment. In this way, all participants can work as a team beyond their specific interests. A collaborative work environment is created.

The paper introduces the application of computer graphics animation as a tool for the construction management in terms of computer integrated construction, evaluates the role and proposes recommendations for the application. In order to verify the effectiveness of the application, case studies were performed in a dam construction, an urban redevelopment project in Osaka, and a highway reconstruction project in Kobe.

【キーワード】 CG、アニメーション、情報化施工、施工管理、パソコン、CAD、建設工事

【Keywords】 Computer Graphics, Animation, Computer Integrated Construction, Construction Management, Personal Computer, CAD, Construction

1. はじめに

CGアニメーションの建設への展開はこれまで大規模プロジェクトのコンセプト提案業務や設計コンペ等を中心に多くの利用例がある。ただし、アニメーションの制作には多大な初期投資と膨大な作業量を必要とするのが常識であり、企画段階で生成されたCGデータが設計や施工の段階で有効利用されることはまれであった。また、通常はCG制

作プロダクションや自社専門部署でCG図面や模型を作るが、企画の変更が生じたときには、これらのものはゼロから作り直されていた¹。

ところが、近年のCG関連のハードウェアやソフトウェアの急激な低価格化と高性能化により、大型コンピュータやEWSのみが持っていた高度なグラフィックス処理機能がパーソナルユースの小型コンピュータ（以下パソコン）で利用可能となった。このため、施工管理のような建設工事単位でもCG

* 正会員 (株)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 助教授

アニメーションが利用可能となった。ここではパソコンを使用し、CGデータを設計者だけでなく、施工者さらには施主も含めて共同で再利用することに重点を置いた施工管理CGアニメーションシステムを提案し、その有効利用方法を検討する。

2. CGアニメーション

CGアニメーションは基本的な機能の相違からビデオゲーム等で使用されるリアルタイムアニメーションとFSXを駆使した劇場用映画で用いられる録画アニメーションの二つに大別される。

リアルタイムアニメーションはVR(仮想現実)とも呼ばれ、任意の視点から連続的に三次元空間を可視化するとともに視点を移動する機能を有するアニメーションである。この方法では視点の移動ごと、あるいは画像内の物体の移動ごとにフレーム(画面)を生成し直す必要があるため、動画を実現するには相当なグラフィックス処理能力を必要とする。

リアルタイムアニメーションは次のような4つの段階から成り立っている。

第1段階: CADソフトなどを用いた3次元モデルの作成

第2段階: カメラ、物体の配置などのアニメーション制御パラメータの設定

第3段階: マウスなどの入力に基づいた物体やカメラの移動

第4段階: レンダリング。第3段階に戻る。

リアルタイムアニメーション生成能力はハードウェアのグラフィックス処理能力に大きく左右されるが、最も重要な特徴は、オブジェクトやカメラをインタラクティブに制御する能力にある。そのため、モデルの数や複雑さ、またグラフィックス処理能力が全体のパフォーマンスにかかわってくる²。

リアルタイムアニメーションとは異なり、録画アニメーションはインタラクティブ性はない。この方法では事前にレンダリングを完了し、メディアに記録された状態で再生されることになるのでフレームの生成時間が通常問題とならない。従って、多数の光の反射や現実に近い陰影効果といったより洗

練された技術を用いることができる。

録画アニメーションの製作過程は多くの点でリアルタイムアニメーションの場合と似ている。リアルタイムアニメーションと同じく、三次元オブジェクトの作成が第1段階である。その際、キーフレームにおけるオブジェクトとカメラの動きがファイルに保存される。次の段階で、作成の実際のフレーム生成過程が始まる。レンダリング時間は影の表現方法など、レンダリング方法に左右される。レンダリングが終了し、画像が保存されると、次のフレームに移る。この過程は第1段階で作成されたオブジェクトとカメラの動きを再現し終えるまで繰り返される^{3,4,5}。

3. 情報化施工(Computer Integrated Construction)

C I C (Computer Integrated Construction)は製造業において採用されたC I M (Computer Integrated Manufacturing)の考えを建設業に適用したもので、建設業界のさまざまな分野で適用可能である。C I Cにより建設業で共有可能な様々な電子データやコンピュータ関連技術の相乗効果を利用して、企画、設計から施工管理、施設管理までの建設工事のライフサイクル全般を通じて情報の最適化が可能となると言われている^{6,7}。

C I Cの導入に際しては次のような事項を考慮する必要がある⁸。

- (1) 技術者間の仕事はコンピュータの利用を通して協調的なものでなければならない。
- (2) 設計データと施工データの共有に不可欠な統合されたコンピュータシステムが必要である。
- (3) 施主と施工者間で工事や維持管理に必要な情報が共有されなければならない。
- (4) プロジェクト関係者間、たとえば施主や取引業者、下請業間での積極的な電子情報の交換が必要である。

EulerによればC I Cの目標は設計や施工の生産性の向上や品質の改善のために建設過程全ての段階を通じて、さまざまなデータや、工法選定等の専門知識の継続的統合を行うことである⁹。それによ

り建設された構造物は施主の要求するコスト、スケジュール、性能に近づけることが可能となり、施工段階においては積極的な情報交換を行う環境が整い、施工管理過程がより効率的に行うことができる。

4. 施工管理CGアニメーションシステムの構築

かつてはEWS(エンジニアリングワークステーション)やGWS(グラフィックスワークステーション)などでの利用が中心だった三次元CADやCGアニメーションが、パソコン上で利用可能となってきている。これまで建設工事施工管理分野へのCGアニメーションの利用については東京湾横断道路や明石海峡大橋建設工事など、大規模建設プロジェクトにおいて適用された事例報告がある¹⁰。それらはCGを駆使しており、効果的なプレゼンテーション(顧客サービス)手法として評価を得ている。ところが、それらは前出のEWSやGWSにより生成されているため、(1)システム構築と運用、維持に要する費用；(2)CG生成に必要な時間；(3)ビデオを媒体として使用した場合の呈示装置の可搬性；(4)対話性の限界(あらかじめ決められたパス設定)などが問題となっている。

一方、一般の建設工事現場では測量、数量計算、経理処理などでのパソコンの利用はもはや一般的となっており、近年ではパソコンのマルチメディア機能をもその安全教育や現場説明などに適用している例もある¹¹。この点に着目し、一般に建設工事現場で見受けられる程度のパソコンを使用し、工事現場単位あるいは工務支援としての利用を前提とした施工管理CGアニメーションシステムの構築を試みた。

本システムは図-1に示したように、建設工事の施工管理を円滑に、かつ効率的に行うための手助けとして位置づけ、施工現場の四大管理要素、すなわち、工程管理・原価管理・品質管理・安全管理のそれぞれに適用可能なCGアニメーションシステムである。また、概念図に示すように、ビデオテープに記録されたアニメーションに代表される録画アニメーションだけでなく、操作者が任意の視点を設定でき、仮想現実感を実現できるリアルタイムアニメーションの機能も付加し、それぞれのアニメーションの長所・短所を相互補完している。リアルタイムアニメーション作成用ソフトウェアとしては

施工管理CGアニメーションシステム

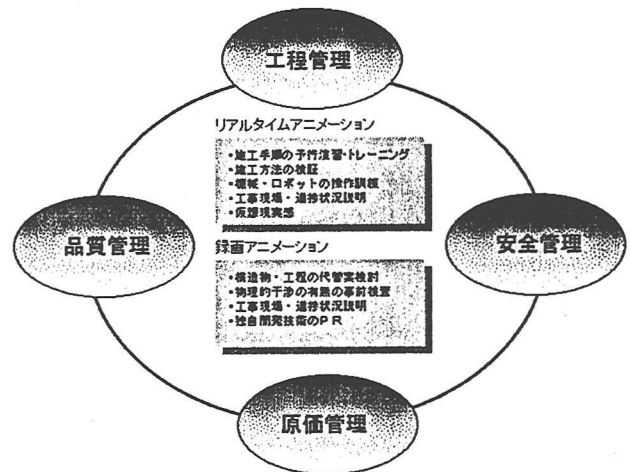


図-1 施工管理CGアニメーションシステムの概念図

米国 Superscape 社の VRT を使用し、録画アニメーション作成ソフトとしては Autodesk 社の 3D-Studio を使用した。また、これらのソフトのインターフェイスとして Macromedia 社の Director を使用した。ハードウェアとしてはデスクトップ型パソコン(Compaq Deskpro)を使用した。

CGアニメーションのように、土木とは全く関係のない分野で開発された技術を利用する場合、独創的なインターフェースソフトの開発や最新機種ではあるが高価な大型機を用いるよりも、既存の多くの利用技術をいかにうまく組み合わせて独創的な運用システムを構築するかが研究のテーマとなると考える。このような観点から利用するハードウェアやソフトウェアは極力一般のパソコンユーザーにとって標準となっているものを用いることが必要となる。

プレゼンテーション装置としてはインターネット接続機能を有するデスクトップまたはノートパソコンを想定し、データの更新、追加が遠隔地から行えることを条件とした。また、インターネットWWWサーバーへのデータ登録が可能であるため、遠隔地の技術者間でのCGデータ共有やプロジェクトのPRも実現可能となる。後述する適用事例においては、実際にインターネットを利用し、鴻池組(大阪市)と熊本大学(熊本市)の間で画像データの共同作成が試みられた。また、画像の一部はデモンストレーション用に加工され、営業用ノートパソコンに客先での利用が行われた。

建設工事においてCGアニメーションシステムを用いることにより、関係者間の意志の疎通を円滑化し、共通認識を持てるようになり、より効率的にプロジェクトを進めることが可能となる。建設事業が複雑になって、様々な土木技術の使用の必要性が高まれば高まるほど、関係者間のコミュニケーションはさらに重要なものとなる。ここでのコミュニケーションとは建設事業の物理的な相関関係を素早く正確に伝達する能力である。CGアニメーションはこの過程において重要な役割を果たす。特に、三次元CGアニメーションを適用することで建設事業関係者は、曖昧な解釈や間違った解釈なしにお互いの考えを交換し、データの相互利用が図れる¹²⁾。

5. 建設工事への適用

建設工事へのCGアニメーションの適用には以下のような有効性が考えられる。なお、文中のカッコは後述する適用例に対応している。

- (1)物理的で現実可能な構造物のイメージを迅速で効率的に表現する能力を持つことで、設計者や施主のニーズを確認し、これらのニーズに対する解決策を早い段階で得られる。(此花地区再開発プロジェクト)
- (2)施主の意向に沿った設計計画を、三次元アニメーション画像でコンピューター画面上に、直接的もしくはインタラクティブに展開できる。(此花地区再開発プロジェクト)
- (3)複雑な建設機械の操作や施工手順に対して、施工を安全に行うためのトレーニングや施工そのもののリハーサルができる。(高架道路橋震災復旧工事)
- (4)建設工事により影響を受ける沿道住民などに対し、事前に工事の進捗状況や完成予想を分かりやすく呈示できることで、工事に対する理解が深まり、友好的な協力が期待できる。(高架道路橋震災復旧工事・ダム建設工事)
- (5)現場作業開始前にコンピュータ画面上に施工計画そのものを作り出し、また不明瞭な作業工程を見つけだすことができる。(高架道

路橋震災復旧工事)

- (6)設計を改善するためのあらゆる意見を取り入れるため、設計の早い段階で、設計・管理・施工・運用・維持に携わるすべての分野の人々を計画に参加させることができる。(此花地区再開発プロジェクト)

なお、本年度からは建設省直轄工事の一部にCALCの実証フィールド実験が実施され、またIAI(Industry Alliance for Interoperability:建設関連産業における情報の共有化・相互運用を目指す組織)での活動も本格的に始動するなど、建設プロジェクトでのデータの共有やその二次利用がこれまで以上に活発になることが予想される。これにより企画計画段階で生成された三次元CADデータは施工計画段階だけでなく運用・維持管理段階でも有効利用できる環境が整うことになる。本システムは建設プロジェクトのライフサイクルでのCADデータの有効利用を進める上で重要な役割を果たすことになるが、設計段階での三次元CADモデルに施工管理上の知識や価値を付加し、施設維持管理段階へ受け渡すことを最終目的としている。

5. 1 ダム工事への適用

ここでは施工管理アニメーションシステムの一部として工程計画アニメーションと施工計画アニメーションを適用する。工程計画アニメーションとはコンクリートダムにおける柱状ブロックコンクリート打設工法でのリフトスケジュールを可視化し、さらにリアルタイムアニメーションを採用することにより、360度いかなる視点からでも三次元で工程検証を可能にするシステムである。まず、パソコンによる汎用表計算ソフト(ここでは、マイクロソフト社のMS-Excel)を用いて開発した既存のコンクリートダム工程計画システムとリアルタイムアニメーションを統合したシステムの開発を試みた。工程計画システムでは、コンクリートの打設計画の変更や月間工程の変更等が検討されるが、これらの日程が書き込まれた表計算表のシートそのものを画像データの入力値

に変換し、リアルタイムアニメーションの画像を自動的に作成する。図-2にこのシステムの概要を示した。ダム堤体のコンクリート打設工程の任意の日に対応する仮想空間が作成されると任意の場所から三次元的に現場の状況を検討できる。図-3は仮設計画シミュレーションシステムによって作成されたダム本体工事

中の画像である。本システムでは、録画アニメーションを用いて設備配置計画、仮設工事計画あるいはダム周辺の景観整備の施工シミュレーションを行う。これらの画像はダム竣工後の景観シミュレーションや工事見学者への施工手順の説明用にも利用できる。

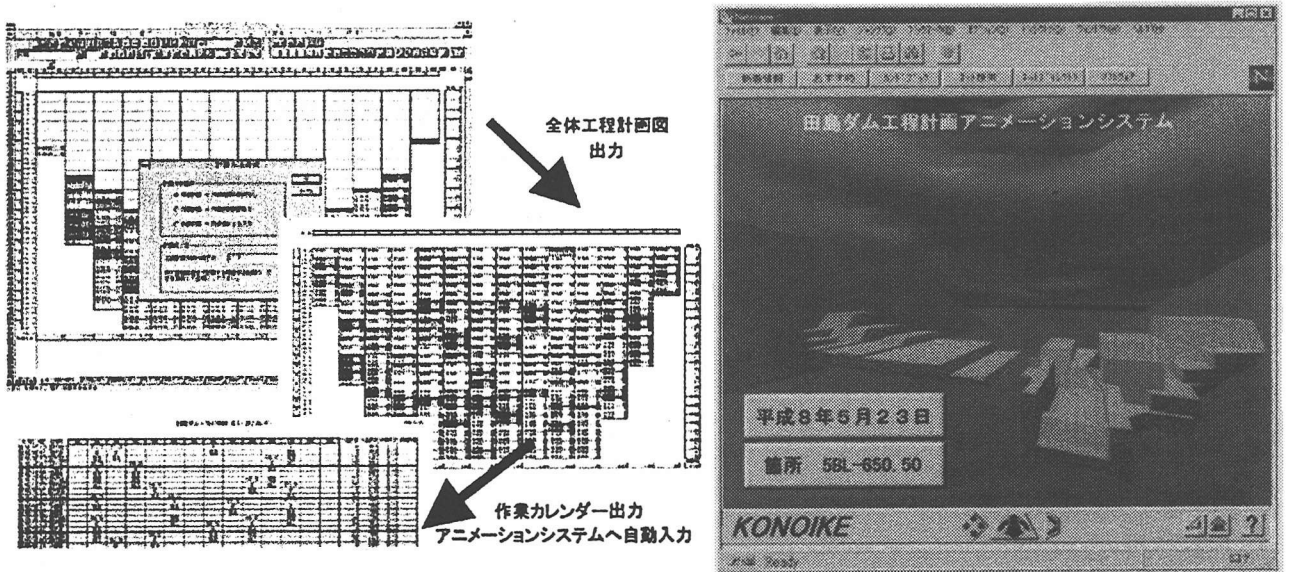


図-2 工程管理アニメーションシステム

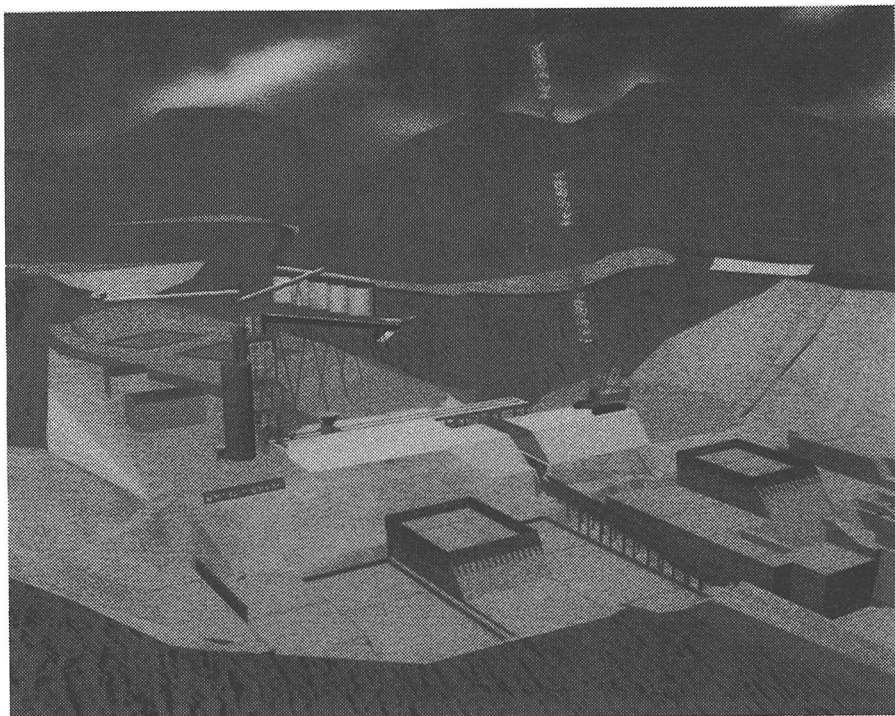


図-3 仮設計画シミュレーションシステム

5.2 此花地区再開発プロジェクトへの適用

ここではリアルタイムアニメーションを建設工事へ適用した事例を紹介し、その適用性を評価する。本プロジェクトは大阪市此花区の工業地帯に計画されている大規模レジヤ施設に伴う周辺工場地帯の再開発プロジェクトである。本プロジェクトにおいて、建設会社における企画提案活動用に此花地区の現況を作成したものであるが、図-4に示すように航空写真と三次元モデルを有効に利用して、オブジェクト数をできるだけ削減し、リアルタイムアニメーションでのデータ量の制約を克服した。現在、現況復旧と平行して企画提案用の将来計画や、既に決定されている計画などを入力中である。

リアルタイムアニメーションを使用することによって以下のような長所や短所が明らかになった。

長所

- (1)客先の要望に応じ、人間の視点や航空機からの視点等、あらゆる角度から現場を視察することができ、当該地区再開発プロジェクトの全体像や周辺の地形・地物の位置関係が容易に理解できる。
- (2)当該地区現況と再開発計画を瞬時に切り替

えることができ、計画の概要が容易に理解できる。

- (3)施設設計完了前に周辺との景観的な関係や干渉を検査でき、設計終盤での変更が削減できる。
- (4)特殊な画像表示装置(エンジン)は一切使用せず、インターネットのWWWブラウザで再生可能なため、通常のパソコンで再生可能である。
- (5)上記(4)のようにパソコンレベルでの情報交換が可能となるので、物理的には遠く各地に離れて仕事をするスタッフが仮想プロジェクトチームを編成し、作業をすすめることが可能となる。

短所

- (1)内容に現実味を持たせれば持たせるほど表示速度は遅くなり、動きがぎこちなくなる。
- (2)面数(ポリゴン数)を最小化しているため三次元モデルがやや現実味に欠ける。

以上のようなリアルタイムアニメーションにおける表示能力の制限はあるが、その部分をもう一つのアニメーションである録画アニメーションで補うことにより両手法の相乗効果でより有効なプレゼンテーションツールとすることが可能であると考ええる。

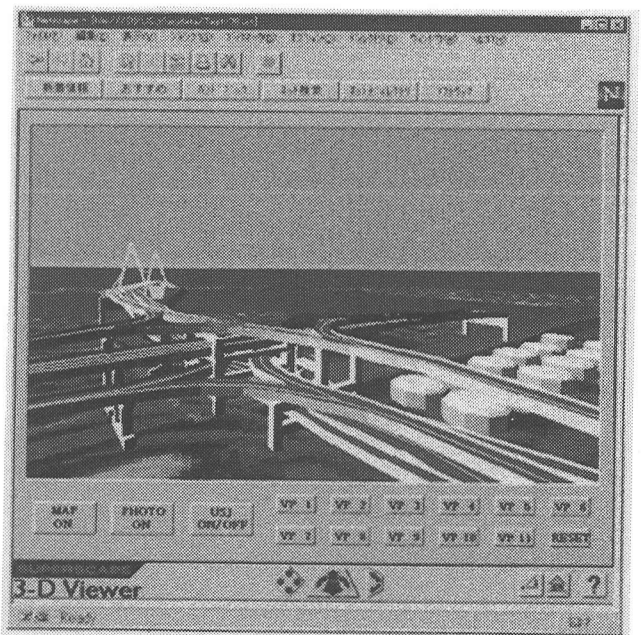
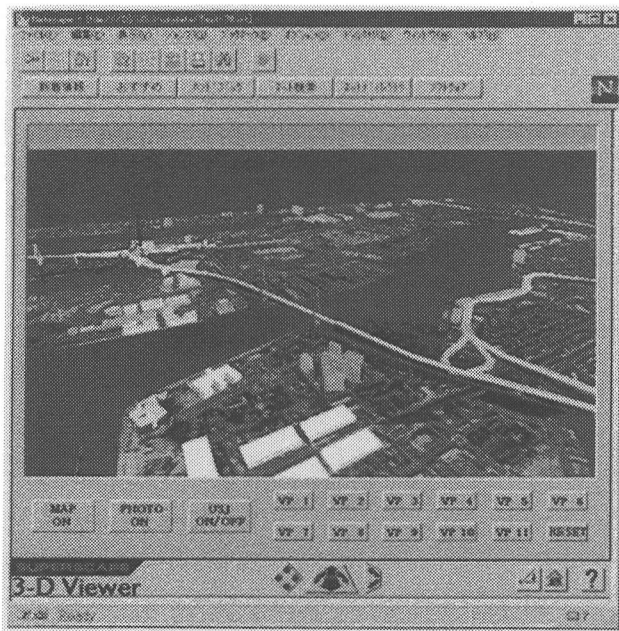


図-4 再開発プロジェクトへのリアルタイムアニメーションの適用例

5.3 高架道路橋復旧工事への適用

ここでは、阪神淡路大震災後の高架道路橋の復旧工事へのCGアニメーションの適用例を示す¹³。工事場所は構造物が錯綜し、同時に数カ所で復旧工事が行われた。このような混乱した都市内での突貫工事を無事終了しなければならぬような状況の現場では、全関係者の協調的な取組みが必要とされるだけでなく、沿道住民の協力も不可欠であった。この点で、特に現実感のある画像が

作成できる録画アニメーションが有効に機能した。図-5はプレゼンテーション用の選択画面である。画面上の複数の選択画面の一つをマウスでクリックする事によって、以下に示すような幾つかの復旧工事用アニメーションを見ることができる。これは、工事内容の広報用に作り直したものであるが、この方面でCGアニメーションの効果は予想以上のものであった。



図-5 復旧工事CGアニメーションの選択画面

図-6は被災した桁や橋脚の撤去や復旧の様子を表現している。図-7は桁の撤去過程においての3台の大型クレーン車（360トンの吊上げ能力）の設置場所を

実施工前に、構造物との離隔や干渉などを確認するために、コンピューター画面上で全体の撤去過程を現場技術者に周知させるのに用いられた。

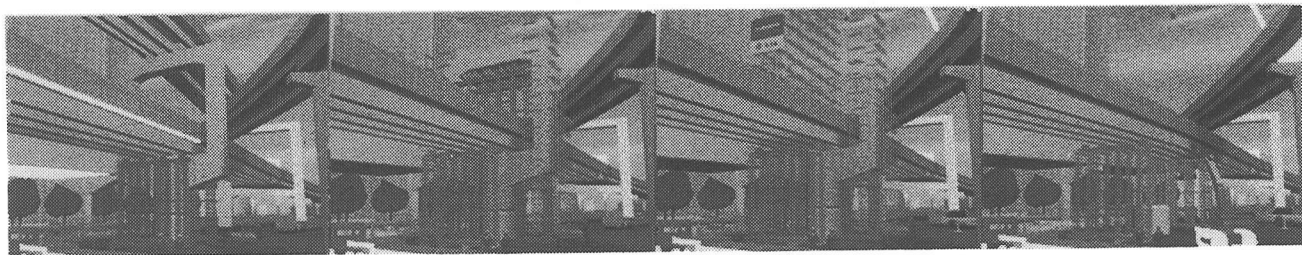


図-6 橋脚撤去施工手順のアニメーション

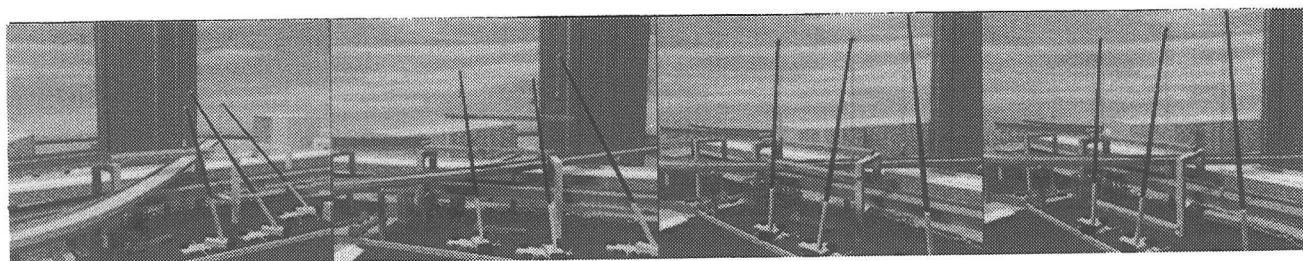


図-7 被災した道路橋梁桁の撤去施工手順アニメーション

6. 結論

本研究はCGアニメーションの果たす役割を建設プロジェクトのライフサイクルにわたって評価するとともに、具体的な事例をあげてCGアニメーションの有効な適用分野を提示し、独自にCGアニメーションシステムを構築した。また、三件の適用事例を取り上げ、提案したシステムの有効性と適用の効果を確認し、以下のようなことが明らかとなった。

- (1)入力される画像データは、従来のようにCG専門の画像製作スタッフ（外注によるデータ作成を含む）のみが行うのではなく設計や施工のチームあるいは施主からの数値データを基にして画像が作成されていく。また、それらの画像はインターネットを通して転送して見ることができる。通常のパソコンレベルで構築された本システムの意図は施主、設計者、施工者、あるいは地域住民も含んだ第三者が画像にアクセス可能である点にある。
- (2)工事計画の三次元可視化の例としてダム工事への適用例を示した。工程計画アニメーションシステムへのリアルタイムアニメーションの適用からは、任意の日の工事現場を三次元的に描き、現場の状況を検討できる。また、録画アニメーションによる仮設計画シミュレーションシステムからは、周辺の景観整備も含めた設備配置計画や仮設工事計画が可能となる。
- (3)此花地区開発プロジェクトの例を示し、地域の再開発プロジェクトへのリアルタイムアニメーションの適用を試みた。開発地域の現況を任意の視点から見るができるため、多様な価値観を持つ不特定多数の人に対してそれぞれの視点からの検討が可能であり、プロジェクトの全体像や地形・建物の位置関係が容易に理解でき、全体の意識統一がはかれることを示した。
- (4)震災復旧工事への録画アニメーションの適用例として、橋脚や高架橋桁の撤去・復旧手順アニメーションを作成した。これらから、夜間の作業手順の確認や重機等の配置の可能性の検討等にCGアニメーションが有効であることが確認された。また、工事内容の広報用CGアニメーションの利用は予想以上に効果のあるものであ

ることが判った。

なお、本システムは今後も多くの実施例を蓄積しつつより実用的なものにしていく必要があると考える。また、インターネットを利用した共同利用を前提としているため、利用者全員がこの方面に関してある程度の知識を有し、情報交換が行えるかどうか本システムの発展には不可欠なものとなり今後の検討課題の一つとなる。

参考文献

- ¹ Hurrión, R. D. "Using 3D Animation Techniques to Help with Experimental Design and Analysis Phase of Visual interactive Simulation." *The Journal of Operation Research Society*. July 1993: 693-699
- ² Cleveland, A.B., Jr. "Technology: 3D Animation." *Perspective*. Jacobus Technology. July/August 1991:4-7
- ³ Foley, James et al. "Computer Graphics: Principles and Practice." Second Edition. Addison-Wesley Publishing Company. 1993
- ⁴ Mitchell, William and McCullough, Malcolm. "DIGITAL DESIGN MEDIA." VAN NOSTRAND REINHOLD. 1991: 206-232
- ⁵ Cleveland, A.B., Jr. and Francisco, Vernon. "The use of Real-Time Animation in the Construction Process." *Proceedings from a Transportation Research Board 67th Annual Meeting*. January 11-14, 1988. Washington, D.C.
- ⁶ Kangari, et al. "Experiencing Computer Integrated Construction." *Journal of Construction Engineering and Management*. ASCE June 1993:309
- ⁷ Rodriguez, Walter. "Visual Simulation: Considering the Dynamic Nature of Construction." *Construction Business Review*. July/August 1992: 56-61
- ⁸ Fukuchi, Yoshihiko and Kobayashi, Ichiro et al. "Computer Graphics Animation for Highway Reconstruction after Great Hanshin Earthquake." *Proceedings from Third Asian-Pacific Conference on Computational Mechanics* September 1996
- ⁹ Fukuchi, Yoshihiko and Kobayashi, Ichiro et al. "Computer Graphics Animation for Highway Reconstruction after Great Hanshin Earthquake." *Proceedings from Third Asian-Pacific Conference on Computational Mechanics* September 1996
- ¹⁰ 浜島鉦一郎他(1993):「マルチメディアを用いた明石海峡大橋橋台工事のプレゼンテーション」第18回土木情報システム講演集 土木学会編 P17~20
- ¹¹ 浜島鉦一郎他(1995):「マルチメディアを利用した工事計画の住民説明」第13回建設マネジメント問題に関する研究発表会・討論会講演集 土木学会編 P101~110
- ¹² 福地良彦(1994):「Animation for Computer Integrated Construction」マサチューセッツ工科大学修士論文
- ¹³ 中上朝雄(1995):「国道2号浜手バイパス浜辺通工区鋼桁撤去」土木施工 三海堂編 P25~P31