

オブジェクト指向3次元CAD/CAMシステムを用いた

施工計画シミュレーションシステムに関する一考察

日本コンピュータビジョン株式会社 後 藤 智

1. はじめに（3次元土木CADシステムの現状とその将来）

ここ数年の3次元土木CADシステムのトレンドを考察すると、土木設計の企画設計段階におけるビジュアルプレゼンテーションが、意匠的に要求どおりの構造物を設計するための強力な手法として位置づけられ、最近ではより現実感をもたせるために、CGレンダリングやCGアニメーションシステムをCADシステムとリンクしたかたちで、利用するケースが増えている。この傾向は、土木業界にとって従来おろそかにされてきた意匠設計に対する一つの手段として認知されつつあり、今後もこの傾向は重要視されていくと思われる。しかしながら、現状では土木設計に関するCAD業務の位置づけが、業界的に明確にされているとはいいがたく、他の製造業界等と比較してまだ初期段階といえる。

また、別の観点から3次元土木CADシステムの将来を考えてみた場合、本来のCAD化のターゲットがビジュアルプレゼンテーションのみで果たして妥当であるのかという議論になる。

たとえば、「シェーディングは綺麗に出来たが、それでその後どうするのか?」「確かに土木設計に対しての付加価値的効果は大きい、そのために費やす費用や工数も馬鹿にならない。」

といったことは、CAD担当者であれば誰もが思うことであり、更には以下のような素朴な疑問も発生する。

- ・ 施工業者ならば、実施工に関する設計業務が計画業務よりはるかに多い。
- ・ 発注者ならば、計画段階における施工方法や施工サイクルを検討する業務も重要である。
- ・ 年々巨大化・複雑化する構造物は、設計上可能であっても実際に施工可能なのか?
- ・ 既設構造物との干渉チェックを3次元的にダイナミックに検討したい。
- ・ 建設ロボットの新規開発のための挙動シミュレーションをしたい。
- ・ 施工現場の最適配置計画の比較検討をして工法決定をしたい。

このようなニーズは設計解析業務や工事の施工計画をたてるときに必ず避けて通れない検討事項であり、CGレンダリングやCGアニメーションの作成よりは、“物造り”に直接結び付く重要なことで、従来はいつも手作業や切り貼りをしてその都度検討しているのが現状で、何か効率よく処理したいと日頃考えられている項目といえる。すなわち、土木設計における3次元CADシステムとして、さらにステップアップするためには、今後の建設ロボットの普及やさらに広がる機械化および情報化施工を考慮した施工シミュレーションシステムも一つの土木CADシステムとして検討することが、本来の土木技術者にとって意義のあることであるという発想も成り立つ。

このような状況の中、本論文ではオブジェクト指向3次元CAD/CAMシステムを用いた施工シミュレーションシステムについての一つの考え方を示し、土木CADシステムにおける“CAD”の新しいアプローチ法を考察するものである。

2. ロボットシミュレーションシステムの土木施工シミュレーションシステムへの適用

最近、工作機械や各種ロボットの挙動シミュレーションをするためのグラフィックシミュレーションシステムが世の中に広がりつつある。このシステムは、基本的にはファクトリオートメーション (F A) の最適設計のための対話型グラフィックシミュレーションシステムを主目的としたシステムが多く、F A に関する各種シミュレーションやプログラミングのためのソフトウェアである。さまざまな分野で活躍する産業ロボットや自動化装置の開発評価、工場内のレイアウト設計、最適機器配置といった問題をグラフィックモニタ上で、実際の動作をシミュレーションすることによってその最適解を算出することが可能である。所定の手続きによって、機器を完全な運動学的特性や路線線形アルゴリズム、および動作特性を考慮したモデルとして作成し、一度定義した機器モデルを自由に配置することにより、機器のサイクルタイム、作業スペースおよびその性能などを比較検討することができる。

このような複雑な F A システムの設計、開発、プログラミング手法は、土木施工に適用した場合、まったく同様のニーズが発生することが理解できる。特に土木施工においては、実物の実験的シミュレーションは困難であり、危険をとまなう土木作業に対して事前にその危険性をシミュレーションできることは非常に意義深い。

3. システム構成およびそのフロー

今回の施工シミュレーションに用いたシステム構成を以下に示す。

<ソフトウェア>

- | |
|--|
| • CADD S 5 (汎用 3 次元 CAD / CAM システム)
施工ヤード、各種建設ロボット、土木構造物等のモデリングとして利用。 |
| • Design View (2 次元 CAD / CAE ツール)
各種建設機器等のパラメトリックモデリングとして利用。 |
| • SimStation (オブジェクト指向ロボットシミュレーションシステム)
実際の施工ヤードでの各種建設ロボットの施工シミュレーションとして利用。 |

<ハードウェア>

- | |
|--|
| • Sun SPARCStation 2 (25.8MIPS, 64MB Memory, 1.3GB Disk) |
|--|

本論文で使用したシステムを用いることにより、実際の土木構造物を施工するにあたって、各施工段階での施工シミュレーションが可能となる。土木施工においては、構造物自身の構築過程の検証もさることながら、構築のために使用する各種建設機械、ロボット等の施工ヤードでの実際の挙動をシミュレーションすることが重要となる。

本システムによるシミュレーションの基本的な流れを右図に示す。

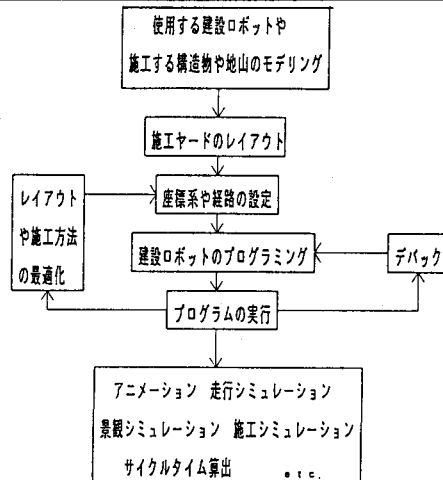


図-1 システムフロー図

4. オブジェクト指向言語による多重プロセスシミュレーションの重要性

建設現場では、掘削・積込・運搬・整形・敷均し・締固めなどのために様々な建設機械類が盛んに稼働しており、これらの複数台のロボットや機械を互いに関連づけて施工シミュレーションをするためには、当然複数のプログラミングが必要である。各ロボットや機械は互いに関係を持ちながら、一台の機械の挙動に対応して、他の機械は影響を受ける場合がほとんどである。

本論文のシミュレーションシステムを使用する場合には、すべてのプログラミングは、オブジェクト指向言語によるシミュレーション環境のもとで実行される。つまり、個々のロボットや機械に対してはそれぞれ別のプロセスを宣言し、これを制御することが可能で独立にそのタスクが定義されていることになる。また、このような施工ヤード内の「要素」に関する動作手順を決定するプログラムは、そのプログラムとデバックとをタスク毎に単独で実行できるのも、オブジェクト指向言語の有利な点である。

5. ケーススタディ（都市部における橋梁架設シミュレーション）

本論文では、施工シミュレーションとして橋梁架設シミュレーションを行った。一般に都市部における土木工事では、実際の施工対象となる構造物の力学的検討もさることながら、既設の構造物や周辺環境を考慮した安全な施工方法の選定が最重要視される。既設／新設構造物の干渉チェックや、掘削にともなう地盤沈下による既設構造物の力学的変位、安全施工のための交通対策など実施工段階に入ってから新たに発生する物理的問題は多い。

本論文では、送り出し工法に注目し、実施工で発生するいくつかの物理的問題点を事前にコンピュータグラフィック上で何度もトライアルすることを試みた。対象となった施工ヤード周辺環境としては、既に供用されている在来営業線を跨がなければならない、当然そのダイヤに影響をおぼすことなく、少ない時間的余

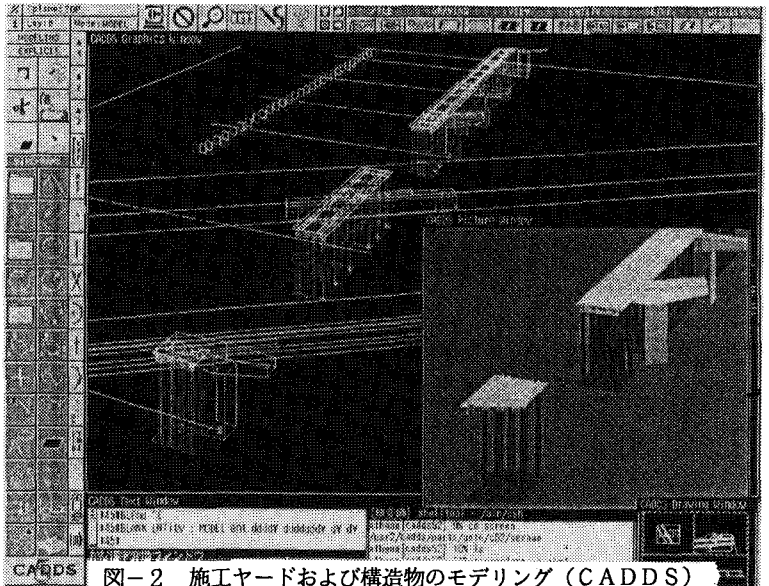


図-2 施工ヤードおよび構造物のモデリング (CADDSS)

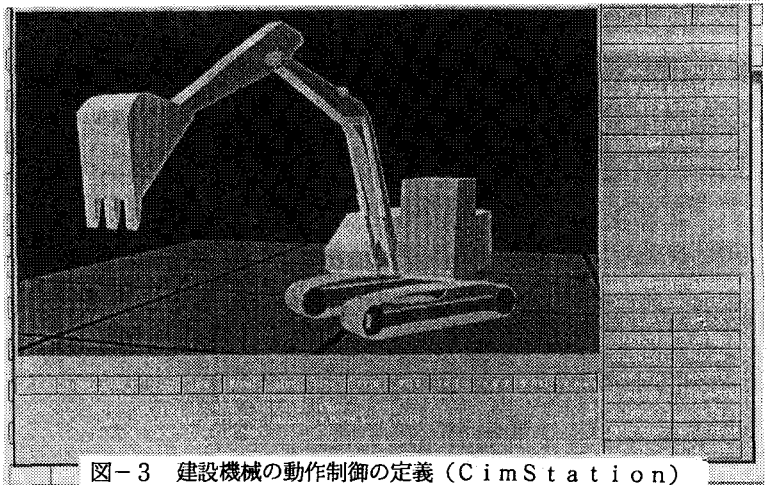


図-3 建設機械の動作制御の定義 (CimStation)

裕のなかで、安全かつ秒単位で速やかに架設する施工技術が要求された。通常このような場合、技術者は過去の経験をもとに施工計画段階において綿密な検討の末、一つの施工方案を決定するが、リハーサルや試験施工が許されない土木工事では、実際の施工が完了しなければ、いわゆる「施工ストーリーの本当の結末」を得ることができないのが現状である。

今回の検討では、一つの試みとしてクレーンによる架設部材の引上げから始まり、桁組立、在来線上送り出し、ジャッキアップ／ダウン、横取り、降下といった押し出し工法の一連の施工作業を時間の経過を考慮しながら、コンピュータ上であたかも実際に施工しているかのようにテクニカルレビュー（技術の見直し）ができるようなシステムを構築した。

建設機械の6自由度の動きや各施工段階ごとの時間間隔は、すべて多重プロセッシング処理でプログラミングされ

ているため、それぞれのファクターを任意に変更することで、さまざまな条件での施工時間の変化や構造物の挙動の違いを検証することができる。

6. おわりに

今回の事例では、オブジェクト指向3次元CAD/CAMシステムを用いて、簡単な施工モデルを構築したにすぎないが、CADが単なる設計製図システムやCGシステムのモデルとしての用途にとどまらず、実際の施工状況を事前にシミュレーションすることも土木CADの一つのカテゴリとして認知する手掛かりをつかむことができた。さらに今後、巨大化／複雑化する土木構造物のための施工計画CAD/CAMシステムには、このようなオブジェクト指向の機能をもったツールが、実施工に関するテクニカルレビューのために不可欠になるものとおもわれる。

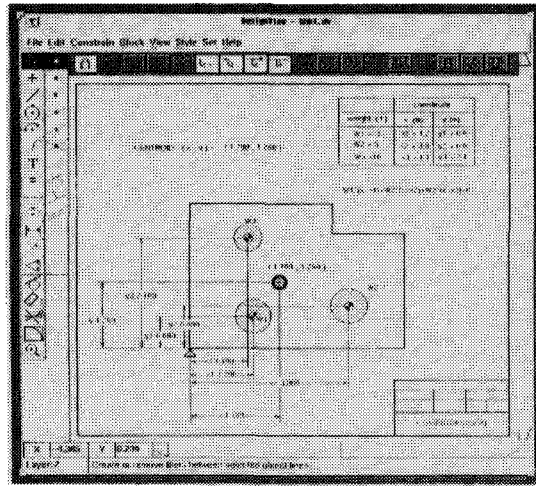


図-4 概念的施工シミュレーション (Design View)

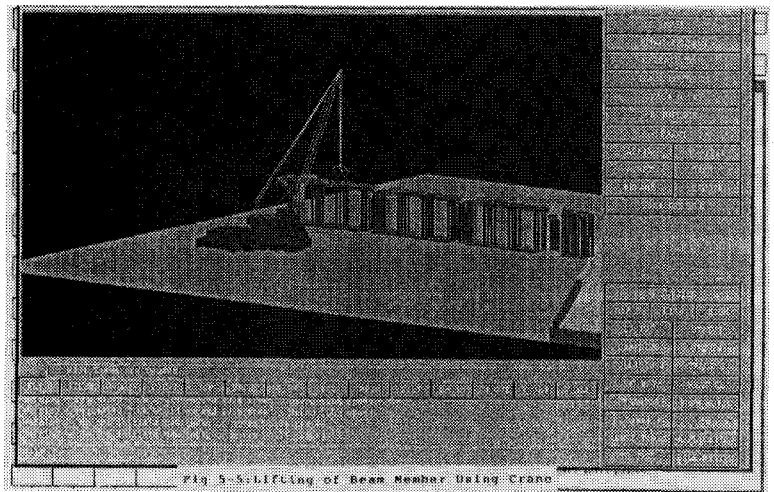


図-5 3次元施工シミュレーション状況 (CimStation)