

# 土木工学における CAD の現状と課題

## PRESENT AND SUBJECT OF COMPUTER AIDED DESIGN IN CIVIL ENGINEERING

花 村 義 久\*

By Yoshihisa HANAMURA

### まえがき

産業の高度な発達と国民生活の多様化は、この産業・生活の基盤である国土建設に対し、一層高度で複雑なものを要求しつつある。従来より土木工学においては、コンピュータは調査・計画、設計・施工、計測・管理等に幅広く適用されてきたが、最近のコンピュータグラフィックスやその周辺技術の急速な発達はこの社会的ニーズに応えるうえで重要な役割を果たすであろうと期待されている。そして、このことによりコンピュータの利用方法も新たな展開を見せようとしている。

コンピュータの高速化・小型化、グラフィック機器の高性能化、通信機器の発達、これらの低価格化、あるいはセンサーやロボットの発達により、建設のあらゆる段階での自動化・システム化が現実のものとなりつつある。すなわち、調査段階におけるリモートセンシング、計画段階でのシミュレーション、設計段階での CAD (Computer Aided Design)、施工段階でのセンサー・ロボットによる自動計測・施工、管理段階におけるデータの検索等に代表される自動化やシステム化がすでに研究・開発され、今後の土木事業に新たな飛躍をもたらす可能性が出てきている。

コンピュータに支援された設計“CAD”という概念は約20年前に生まれたが、やっとここにきて社会的・技術的条件が成熟し、産業界一般へ普及するに至った。この CAD は、製造業では設計より製造まで一貫したものとして扱う CAD/CAM (Computer Aided Manufacturing) と

して発展している。CAD は本来設計者がコンピュータとグラフィックスを通じて対話しながら設計や思考活動を行おうとするものであるが、広義に解釈すれば、コンピュータを用いた設計すべてを指すと考えてもさしつかえない。しかし、われわれ土木工学においてはその対象が広く、またいろいろな局面があるので、この言葉では全体を包含することは難しい。ここでは、対象を計画や設計を中心に、その周辺も一部論じる形を取りたいと考えている。その意味では CAP (Computer Aided Planning)/CAD ということになるが、ここでは、むしろ土木計画・設計支援システムと呼ぶのが良いと考えた。

本文では、一般産業における CAD/CAM と土木における計画および設計支援システムの現状について報告し、さらに、土木での支援システムが現在抱えている問題と将来について述べている。

### 1. CAD/CAM の一般状況

#### (1) 企業における CAD/CAM の意義

高度経済成長時代を経て発達した現在の日本企業は、今後さらに先進国型の企業として発展しなければならない状態にある。市場は多様化するとともに競争が激化し、商品のライフサイクルは短くなってきている。これに対応するために、企業は独自の製品開発を短期間に進め、多品種で高品質なものを低コストで生産しなければならないようになった。そこには、従来と質的に異なった高い技術力と柔軟で高能率な生産方式と経営形態が求められている。CAD/CAM や FMS (Flexible Manufacturing System)、FA (Factory Automation) などは、このような時

\* 正会員 工博 (株)横河橋梁製作所 SSC 事業部長  
(〒108/東京都港区芝浦 4-3-4)

代の要求に応えるものとしてでてきたものである。

最近、コンピューターをはじめグラフィック ディスプレイ装置、タブレット、プロッター等のハードウェアとグラフィックスのベーシック ソフトウェアが急速に発達し、低価格で高性能なグラフィック システムが利用できるようになった。設計面では、コンピューターは以前より、解析、個別設計計算、自動設計等の形で利用されてきたが、このグラフィック システムを CAD として使うことにより、適用範囲の大幅な拡大と設計上の質的な転換が可能となっている。CAD は人と機械が一つの系をなし、データベースを背景に複雑で機械的な計算を機械にまかせ、設計者は結果を画像で見て判断しながら設計作業を行うもので、これにより設計内容と作業効率を飛躍的に向上させることができる。

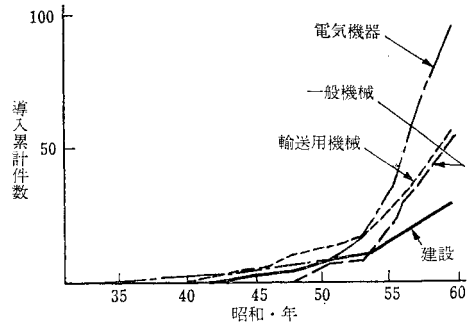
製造面では、生産の合理化は従来加工の機械化と製造ラインの自動化を中心に行われてきたが、これは製品の変化への対応に難かしい面があった。これに対し、コンピューターによる生産管理や NC (Numerical Control) 加工を行う CAM や生産ライン全体をシステム化の対象とする FMS は、多様化する社会のニーズに応えるための多品種少量型の生産方式として、従来とは比較にならないほどの柔軟性と高い生産性を有するものである。この設計と生産のシステムが結びついて一貫したシステムを形成するのが CAD/CAM であり、これによりさらに総合的な効果を期待することができるようになる。

企業において重要性が増している製品開発においても、このグラフィック システムは着目されはじめている。コンピューター上に三次元で実在感のある各種モデル (ソリッドモデル) を作り、これに必要な一連の検討を加えながら試行錯誤を繰り返す、求める製品を見出していく方法である。これは当初 CAE (Computer Aided Engineering)<sup>1)</sup> と提案されたものであるが、現在これは狭義な意味という言葉ととらえられている。CAE は現在では広義な意味で使われ、開発段階では構造解析や実験的なシミュレーションを行い、さらに基本設計、詳細設計、製造ラインから検査工程に至るまで全工程を連携した形で統一的に支援するシステムを言うようになった。

(2) CAD/CAM の歴史的背景と現状

CAD の最初の出現は、1963 年 MIT の Ivan Sutherland により発表された SKETCHPAD システムである。これはランダム スキャン型のグラフィック ディスプレイ装置を用いたもので、高価であったため一般への普及はしなかったが、アメリカ合衆国の航空機産業において先端技術として実用化された。その後、比較的安価で画像の安定度の良いストレージチューブ型のディスプレイ装置が開発され、1970 年前後にプリント基板

等の CAD システムがフルターン キーのスタンドアロン形式で市販され、CAD が実用的な形で電気分野に広まった。その間、多くのモデリングの定義法や三次元処理等グラフィックスに関する研究も積み重ねられていたが、1980 年前後に低価格でカラーや塗りつぶし等が自由にできるラスターキャン型のディスプレイ装置が出現するに及んで CAD は爆発的に普及することとなった。自動車等輸送用機械では早くから研究が行われていたが、最近では機械一般の分野で急速に普及しており、その他の分野でも早いテンポで導入が進んでいる。図-1<sup>2)</sup> は、各分野における CAD/CAM の導入状況であるが、建設業は導入が若干遅れており、導入は主として建築で行われているので、土木では非常に遅れているのが実状である。



注) 58 年以降推定

図-1 業種別 CAD 導入件数

CAD/CAM システムは現在大きな市場を形成している。システムの形態としては、汎用コンピューターにグラフィック機器をダイレクトに結合したもの、ミニコンピューターにグラフィック機器を取り付けたスタンドアロン形式のもの、両者を組み合わせた分散型のものなどがある。一般に市販されているものは、汎用的なグラフィック機能を持つもの、さらにそれに特定のアプリケーションを搭載したものなどがある。一般にはこの市販されているものを CAD/CAM と思いがちであるが、実際には各分野ごとに長年かけて開発されてきた一貫システムのようなものが CAD/CAM システムという形で発展し

区分	建設	橋梁	電気	自動車	造船	一般機械
計画・開発	↑					↑
基本設計	↑	↑	↑	↑	↑	↑
詳細設計	↑	↑	↑	↑	↑	↑
生産設計	↑	↑	↑	↑	↑	↑
加工		↓	↓	↓	↓	↓
検査			↓			↓

■：市販システムの基本機能

図-2 分野別システムと市販システム

てきているものも少なくない。図-2 は、その様子を示したものである。

## 2. 土木工学における計画・設計支援システム

### (1) 支援システムの必要性

すでに述べたように、土木の分野ではこのシステムに関する研究開発が非常に遅れている。にもかかわらず、土木ではその適用が他分野にも増して必要である。それは、次のような理由による。

#### a) 社会的理由

公共性の強い土木事業は、多様化する社会的要求を適確に取り入れ、早く対応しなければならない。また、与えられた予算や資源を効果的に使用するという社会的責任を負っている。

#### b) 企業経営的理由

業界および企業発展の立場から、生産性の向上、経営の体質改善を推進する必要がある。また、他業界に遅れないように、かつ国際競争力を十分持てるようにするべきである。

#### c) 技術的理由

新しい技術的手法を用いることにより新たな国土建設の可能性を切り開きたい。複雑多岐に渡る事業においても正しい技術評価を効率的に下せるようにすべきである。

### (2) 従来のシステムの問題点

土木においては古くからコンピューターが利用され、各分野ごとに多くのソフトウェアが開発されている。中でも業務がある程度定形化していたり、大量の設計作業を含むものは、自動設計や一貫システムという形で開発されている。表-1 は、これらの中から図形処理を伴ったもので代表的なソフトウェアをあげたものである。

従来のシステムは、現在定着し多くの成果をあげているが、これらは一括処理をベースとしており、たとえ会話形式のものでも図形を伴わない会話である場合が多い。そのため、システム運用上次のような問題が生じている。

① 自動設計などは固定化されたロジックに基づいて作られたプログラムであるので、複雑なことに対応できず、適用範囲が限定される。

② フィードバック機能がなく、試行錯誤による設計が行いにくい。

③ 土木の計画・設計に重要な代替案比較による設計法が取りにくく、最適な設計内容が得にくい。

④ 設計の途中で画像により設計内容や景観等周辺

表-1 図化システムの代表例

区 分	従来の図化システム	会話型支援システムとして開発されているもの
測量・地図	リモートセンシング画像処理	○
	航空測量による地図作成	
	国土地理情報システム	○
土地造成・道路・鉄道	土地造成計画設計	○
	道路設計	○
	地下鉄設計	
	トンネル設計	
構造解析・設計	FEM 解析プリ・ポストプロセッサ	○
	骨組・長大橋解析	
	PC・RC 桁設計	○
	鋼橋の設計	○
	橋脚・橋台の設計 擁壁の設計	
基礎・土	仮設構造物の設計	
	杭基礎の設計	
	斜面安定計算	
	浸透解析	
	波動伝播解析	
水	流砂・河床変動計算	
	下水道管の設計	
調査・環境	交通量解析予測	○
	道路交通騒音予測	
	大気汚染拡散	
	潮流水質汚染	
	日照予測	○
	景観	○
施工管理・計測	シールド制御システム	○
	現地計測施工管理システム	○
	工程管理パートプログラム	
	積算システム	○

条件が確認できない。

⑤ 一連の設計作業を行うためには、大量のデータ入力を逐次行わなければならない、設計作業の効率が悪い。

⑥ データベースによる総合的なデータ管理ができない。

⑦ 自動設計などではシステム開発が大規模となり、開発費および開発期間がかりすぎるとともに、メンテナンスも大変である。

### (3) 支援システム開発の現状

以上の問題点を解決するために、CAD 的な形態を取った土木特有の計画・設計支援システムが必要であるが、すでに述べたように土木では開発が非常に遅れており実用化しているのはほんの一部にすぎない。確かに現在建設業で基本的な CAD システムを導入している所がかなりあり、特に大手ゼネコンでは汎用コンピューターで動く CAD システムを持っている所が多い<sup>3)</sup>。しかし土木で実用的に使っている所は非常に少なく、一部の企業で土地造成や構造設計に使われているものの、その他は製図機代りに使われているにすぎない。ただ、企業に

よっては CAE として総合的なシステムの開発を進めたり、本格的な CAD システム化計画を持っている所もあり、また、土木全体では研究的な開発がかなり広く行われているので、これらの積み重ねにより近い将来実用化が進むと思われる。ここでは現在研究ないし開発されているもののうち、代表的なものをいくつかあげることにする。なお、表-1 にもその状況が示されている。

#### a) 交通網計画のための支援システム<sup>6)</sup>

これは、道路網やバス路線網などの交通ネットワークの計画を行うための計画支援システムである。いくつかの代替案を作成し、それらの効果予測と評価をし、必要に応じてフィードバックを行って代替案の追加・修正を行う。計画に必要な各種データは統一的に管理され、基礎資料や代替案の内容、予測結果、評価結果はグラフィック上に視覚表現される。

#### b) 土地造成計画・設計の支援システム

土地造成の業務は、調査・分析、計画設計、基本設計、実施設計、施工管理等があり、最終的にはこれらを一連のものとして支援しようとするものである。まず、ディジタイザにより地形データを入力し、数値地形モデルを作った後、基本作業として複数代替案に対して土地造成のシミュレーションを行う。設計者はディスプレイ上で計画高計算、土量計算などを行い、最小土工量計画高の決定や最小経費による運土計画を行う。その際、地形形状や景観を見ながら作業は行われる。

#### c) 道路計画・設計支援システム

道路設計は土地造成設計の一部として取り扱うこともできるが、さらに道路専用としてシステム化するとより効果的である。筆者のところでは、以前から道路詳細設計における縦横断面と平面詳細図の自動図化や各種設計数量の自動計算のシステム開発を行い、すでに実用に供しているが、現在さらにその上流部である平面路線の選定、縦横断の決定等を CAD として試行錯誤的に行うシステムを開発中である。図-3 は、自動図化した平面詳細図である。

#### d) RC 構造物の設計支援システム<sup>5)</sup>

RC 構造物の形状を決定し、詳細設計を行うための支援システムである。まず、構造物の形状をグラフィックディスプレイで対話的に入力してモデル作成を行い、そのデータを基に安定計算、断面計算、鉄筋条件の決定等の設計作業を行う。さらに、一般構造図、配筋図等の作画を行い、材料計算も行う。このシステムでは、前半ではモデルを概略的に扱って対話形式で試行錯誤を行って基本事項を決定し、後半の詳細設計の段階では自動設計・製図的な形で処理し、図面の構成変更や寸法線の追加、地形図の書き込み等をディスプレイ上で対話的に行う。

#### e) 鋼橋の設計・生産支援システム

鋼橋の分野では、すでに設計から生産にいたる作業を自動設計、自動製図、自動原寸、自動生産の一貫システムという形で自動化し、省力化、工期の短縮、精度の向上、誤作の減少等の効果を得ている<sup>6)</sup>。しかしこれはバッチ中心であるために、機能上の制約、運用上の効率の悪さ、ソフトウェアの拡張、保守の難しさなどに問題があり、これを克服するために CAD/CAM 化の必要性が生じた。筆者のところでは、当初は分散型 CAD/CAM システム (DIGS-I、写真-1) を開発し、部分的な CAD/CAM 化をはかったが、現在ではバッチと会話型とを一体化した統合 CAD/CAM システムを開発している<sup>7)</sup>。図-4 は製図の部分の概略図であるが、これは現在同業 18 社で共同開発している。

#### f) 建設総合支援システム

土木と建築を一体化し、しかも通常的设计業務の上流にある企画・調査・計画から、下流の実施図面・施工図面の作成、施工、アフターケアにいたるまでを対象とした総合的なシステムである。これは CAE とも言えるもので、土木構造物設計システム、建築計画設計システム、大型構造物設計施工一貫システムをはじめ、土木・建築に共通な事業収支システム、見積りシステム、土地造成システム、施工計画管理システムなどよりなっている。このシステムは、数種のグラフィックシステムに各種のアプリケーションプログラムを載せ、お互いにこれらのインターフェースを取る形になっている。

#### g) その他

計画・設計の周辺のものでは、リモートセンシング分野での画像処理、国土数値情報に基づく地図関連図形作成、水文や都市環境に関するデータベース検索、トンネル等の施工現場での自動計測と建設ロボットによる自動施工等が代表的なものとしてある。

土木全体で類似のものとしてはリモートセンシング分

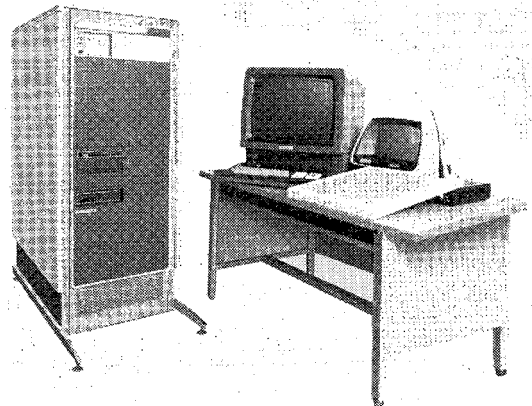


写真-1 分散型 CAD システム DIGS-I

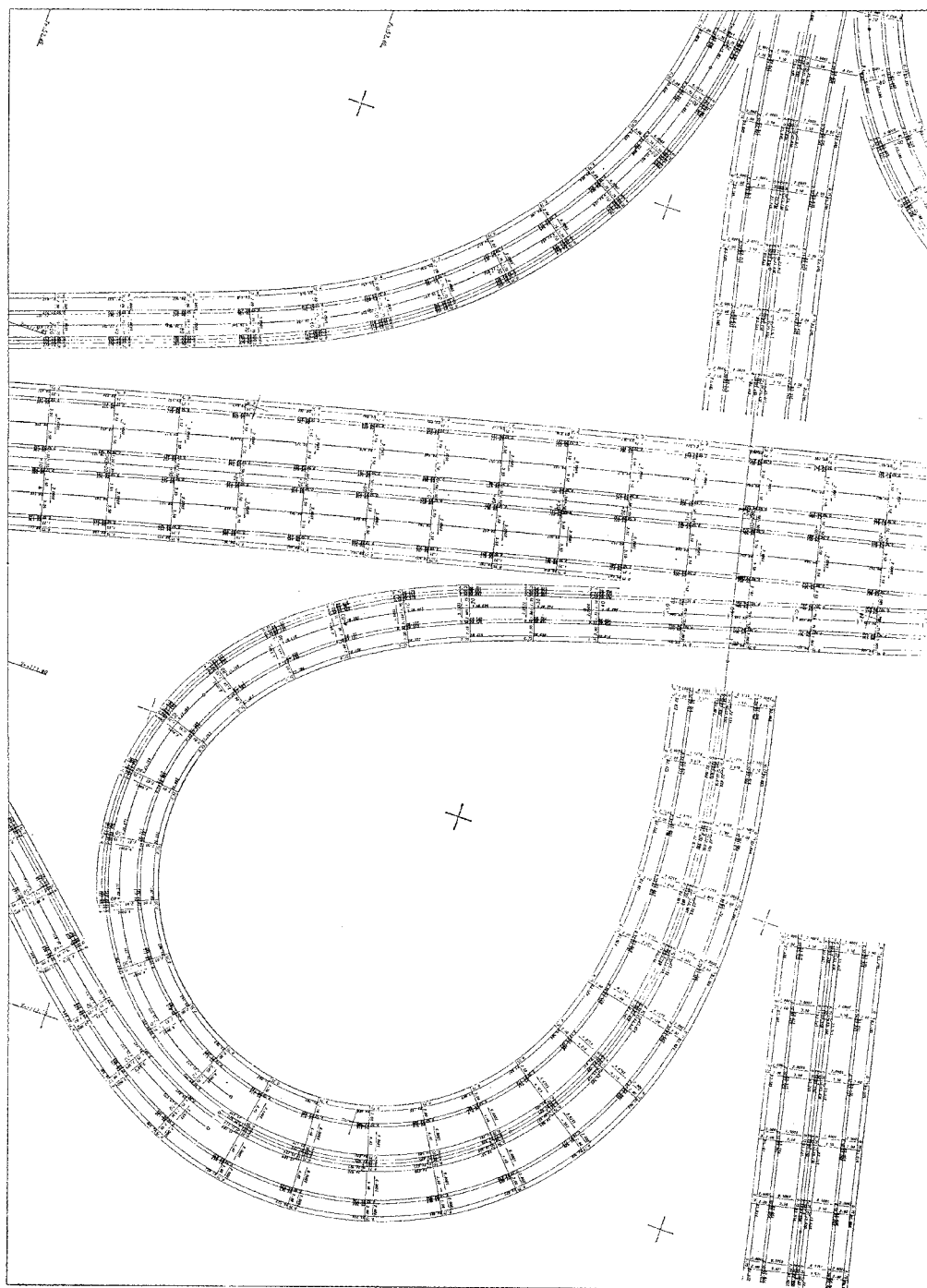


図 3 道路平面詳細図

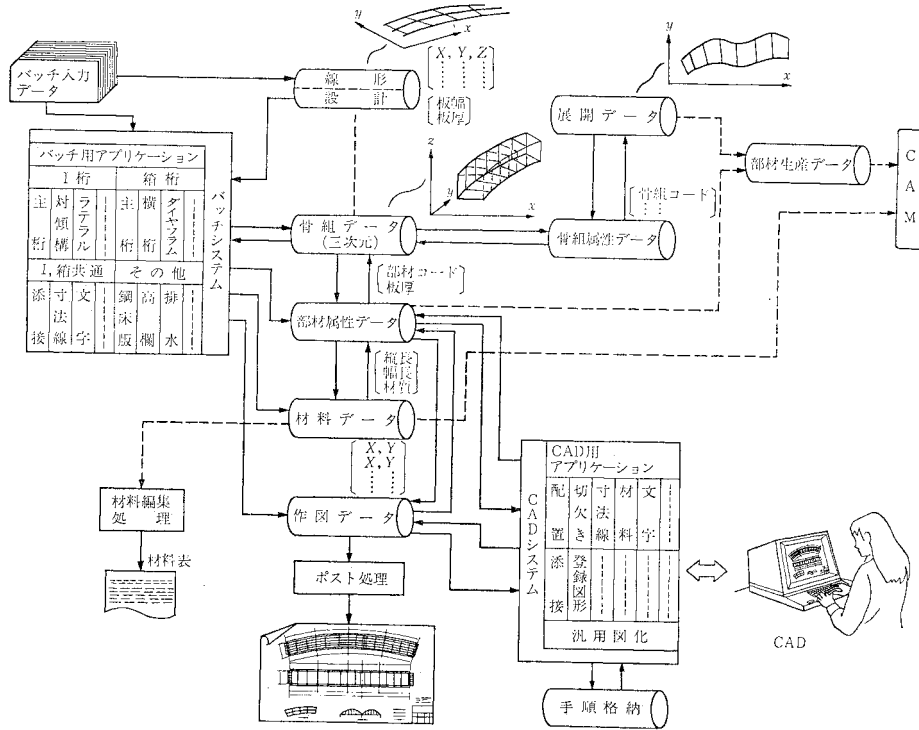


図-4 鋼橋の CAD システム (製図部分)

野での画像処理、国土数値情報に基づく地図関連図形作成、水文や都市環境に関するデータベース検索、トンネル等の施工現場での自動計測と建設ロボットによる自動施工等がある。

の問題に対処できない。

⑥ 工事の請負が、計画・設計段階がコンサルタント、施工段階がゼネコンと分れているのでその効果は現われにくい。コンサルタントでは資金力に欠けるので開発に限界があり、ゼネコンでは計画・設計業務が

### 3. 土木計画・設計支援システムの課題と将来

#### (1) 支援システムの問題点

土木で支援システムの実用化が遅れているのは、次のような理由による。

- ① 対象が、自然、社会、経済、技術等多方面に関連し、いろいろな要素が複雑にからみ合っている。
- ② 土木自身が多くの分野からなりたっているので、全体の統一が難しく、エネルギーも分散し、開発効率が良くない。
- ③ 自然と関わっているため、問題が複雑になり、取り扱うデータも複雑で大量となる。また、行政的、技術的、法規的なデータのバンク化も大規模となる。
- ④ 設計内容が多岐にわたり、設計手順の分析が楽でなく、標準化が行いにくい。
- ⑤ 市販の CAD システムでは、土木固有

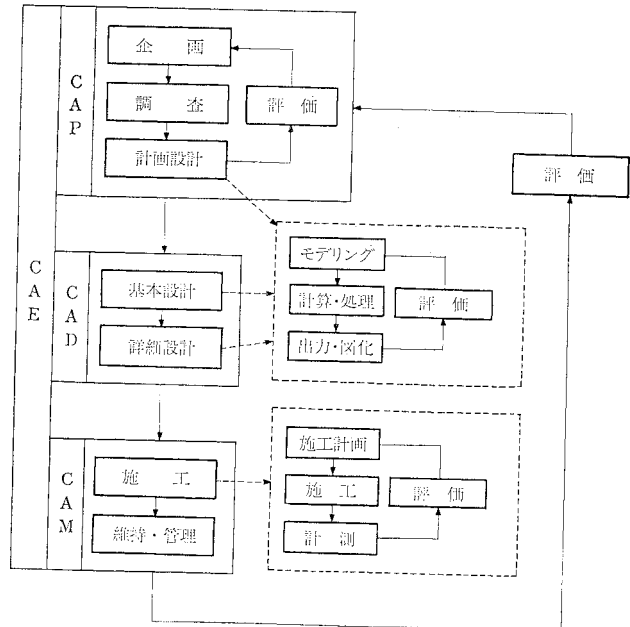


図-5 工事のプロセス

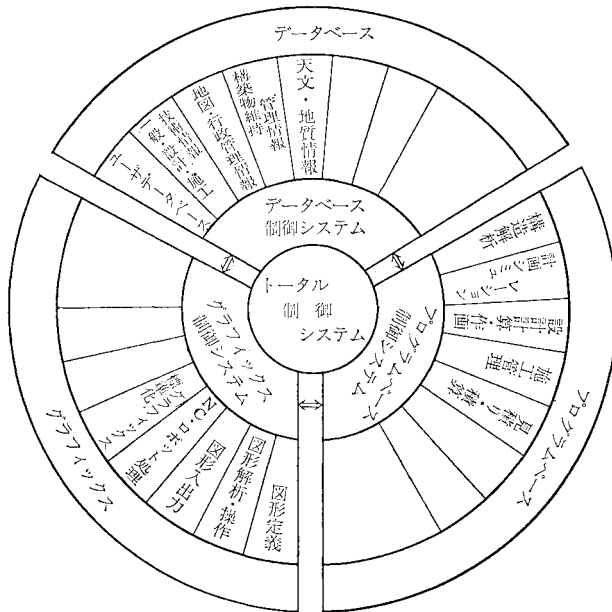


図-6 システム構成図

限定されている。

(2) 支援システムに必要な機能

以上のように、土木では基本的なところで難しい問題をかかえているが、システム化を実現し実効をあげるためには土木専用の統合システムが必要である。システムの立場からみると、工事の企画・調査・計画、基本設計・詳細設計、施工・維持管理という各段階は、それぞれ、CAP, CAD, CAM (Computer Aided Management) という形で考えることができる。そして、これら全体の流れをデータベースを背景に一つのフィードバック系を持つシステムと考え、これを CAE という概念でまとめることもできる。図-5 はその模様を示したものである。ここで、設計内部でも一つのフィードバック系を持ち、たとえば地形とか構造物をモデルとして定義し、これを設計計算等を行った後、図形等で出力し、これに設計上の評価を加えてフィードバックさせる。この場合、モデリングは三次元を念頭においた土木特有の定義方法が必要である。

全体のシステムの構成は、一つの考え方として 図-6 のようにデータベース、プログラムベース、グラフィックスとそれらのコントロール システム、およびこれら全体をコントロールするシステムからなるようなものとして考えることもできる。この場合、データベースは土木の各分野を包含した土木特有のものであり、プログラムベースはプログラムの自由な追加・拡張が可能であるべきである。また、グラフィックにおいては先端的な機器が自由に取り込めるようにするため、標準化の考え方

が必要となる<sup>8)</sup>。

なお、このシステム開発を推進するためには、まず、① 土木全体および土木における各分野の情報の流れを明確にし、② 人と機械の新しい体系を考え (設計法の立場からの分析が必要である<sup>9)</sup>)、③ データベース (土木におけるエンジニアリング データベース) とプログラムベース (基礎領域、共通領域、分野別領域に分類) を明確にし、④ 全体のシステム の概念の確立をはかる必要がある。

(3) 支援システムの将来

グラフィック システムの低価格化、小型化、高性能化により、今後、装置は設計者の手もとに置かれ、自分の手足のように使われるようになる。特に、従来のグラフィック ディスプレイ装置に対し、今後は端末サイドに相当のメモリーと高処理能力を持つエンジニアリングワークステーションが使われ出し、これがデータコミュニケーションの発達と回線の解放と相まって、システムは分散化の方向に向い、ネットワークが組み立て、よりダイナミックな使い方が行われるようになることが予想される。

土木のグラフィックスのハードウェア関連では、図面や三次元の図形入力、大型で高分解能のディスプレイ装置による図形の対話ないし出力、土木特有の機能で高い操作能力をもつ装置の開発などが期待される。

このような環境下で、従来のソフトをベースとしながら、各分野ごとに支援システムの開発が進められ、現実的な形で少しずつ広がりを持つようになると思われる。さらに、基本的なソフト開発 (土木用の三次元図形処理や知識工学を取り入れたエキスパートシステム) やデータベース (各種技術情報の蓄積等) の構築を背景に、システムの計画・設計から施工・管理への縦への発展 (たとえば航空測量の結果を地形情報として土地造成の計画・設計を行い、同じ体系の中で施工段階でも航空測量を行い、施工の管理を行うというような) と各分野間の連携による横への発展がなされ、これがパッチと会話形式とが統合する形で、総合的な土木支援システムの実現へ向うと考えられる。このシステムは、大規模・複雑であり、本章の(1)で述べたように難しい問題を抱えているので、企業が単独で開発を行うのは不可能に近い。したがって、共同研究、共同開発、共同運営等が行われる必要があり、その場合、国の補助制度等も望まれる。もちろん、日常的なソフトの開発はそれぞれの企業で行われることになるが、その場合でも独自で社内の全ニーズに対応することは難しく今後はソフトウェアの流通を積極的にはかろうとする動きが出てくることが予想される。そのためには、ソフトウェアやデータベースの標準化やガイ

ドラインの設定が重要となる。

### あとがき

現在、コンピューターは知能を有する第五世代へと向かい、膨大な処理能力を持つようとしている。また、マイクロコンピューターが VAN (Value Added Network) の実現と相まって、人間の神経細胞のように生活の末端まで浸透しようとしている。土木の支援システムもこの時代の影響を受け、今後非常にスピードで発展することが予想される。

一方、世の中は価値観が多様化し、市民中心の物の考え方になっていることから、公共事業も行政や技術中心の考え方から社会のニーズあるいは社会的・歴史的な条件から物事が判断されるようになってくると思われる。また、土木が公共事業であることから、その内容を最も合理的かつ経済的にすることが社会的使命とされており、この点一般の産業にくらべ、特に重要視される場所である。

ここで論じた支援システムは、このような状況のもとで時代にマッチした有効な生産手段として、現在重要な

位置にあると言える。このテーマはスケールも大きく内容も複雑であるので、長期的、総合的な視点から捉える必要があり、その意味からも今後学会や協会等で積極的に取り組んでもらいたいと願っている。

### 参考文献

- 1) 日本情報処理開発協会：CAEに関する調査研究報告書，1982年5月。
- 2) 日本能率協会：CAD ガイド 84，1984年5月。
- 3) 土木計画システム協会：ACES 10号，1983年6月。
- 4) 小谷通泰：交通計画のための電算機支援システムとその適用例，土木学会・土木情報システム委員会，第8回電算機利用に関するシンポジウム，pp. 1~4，1983年10月。
- 5) 山口允朗，ほか：RC構造物のCADシステム，土木とコンピューター，No. 1，pp. 103~114，1983年10月。
- 6) 花村義久：橋梁設計および生産の自動化システムに関する研究開発とその適用，土木学会誌，Vol. 66，No. 3，pp. 97~103，1981年3月。
- 7) CAD/CAM研究会：CAD/CAM研究報告書，横河橋梁システムサービスセンター，1984年3月。
- 8) 花村義久：コンピューター・グラフィックス国際標準規格GKS，CAD/CAM キーワード，pp. 140~145，図形処理情報センター，1983年10月。
- 9) 吉川弘之：設計論の最近の動向，精密機械，Vol. 48，No. 8，1981年8月。

(1984.8.4・受付)

## 建設コンサルタント

ダムに関する総合技術サービス

# IDOWR

(INSTITUTE OF DEVELOPMENT OF WATER RESOURCE)

## アイドルエンジニアリング株式会社

取締役社長 駒井 勲

東京都杉並区高円寺北2丁目2番1号(巴善ビル)

〒166 電話03(330)3737