

## コンピューターを利用した情報化の傾向

### 1. ま え が き

土木工学の分野にコンピューターが導入されてからすでに 10 年以上を経過し、表一に示すように、コンピューターは多方面で利用されている。しかし、その使われ方の大部分は、これまで技術者の行なっていた手計算をたんに機械に肩代りさせたに過ぎず、またプログラムの開発は専門ごとに散発的に進められている傾向があり、土木全体としての効率的な利用が計られていないなど、不十分な点が多い。

今後の 10 年において情報化社会への移行は必至であり、データ伝送技術の進歩やコンピューターの需要の飛躍的な増大が予想される今日、土木工学の分野においても、そのための準備を整えておく必要がある。それには、まず従来専門ごとに取り上げられてきた独自の発想や方法論を一般化し、土木工学をコンピューターの利用という面から見直し、新たに体系づけを行なう、いわゆるシステム エンジニアリングを試みなければならないであろう。これによって、専門化された一部の構想や

手法が、他部門に応用され進歩をもたらす可能性が出てくる。

さらに、設計の省力の面に力点が置かれている段階から一歩進めて、多くの設計要素をシステム化して、その中には人間の感覚などの要素を取り入れて問題を解く手段としてコンピューターを活用し、調査計画管理などの面にもよりいっそう反映させていくべきであろう。

ここでは、道路計画設計、構造物設計、および観測データの処理の 3 項目にしぼって、土木の分野におけるコンピューター利用の現状を紹介することにした。

### 2. 道路計画設計

道路の計画設計の分野は、道路自体の計画設計と交通の計画、管理の分野に大別され、情報化の傾向に関してこの二つに大別して記述するのが便利である。

#### (1) 道路自体に関して

道路自体に関する情報化の傾向については、設計手法として自動設計、設計の検討手法として透視図法の実用化、模擬運転装置による検討手法などの進展があげられる。以下それぞれについて、ここ数年の進展状況と今後の見通しについて触れてみることにする。

##### a) 線形の自動設計

現状では線形の選択は人間が行ない、工事実施に必要な座標値の計算が電算に乗せられている程度であるが、一方で digital terrain method のように、地形、地質等を情報化して土工量等の積算までを自動化する試みも行なわれている。最近マサチューセッツ大学で開発された ICES (Integrated Civil Engineering System) が紹介され、そのうちの ROADS (Roadway Analysis and Design System) はその一つで、道路公団などで試用しているが、近い将来、日本の実情に合ったシステムが開発されることになろう。自動設計のためにぜひとも必要なことは、地形・地質に関する数値化情報を安直に得られるように、地理調査院のような国家機関が地形データベースを持つことで、これがなければコンピューターによる路線選定は研究としてはあり得ても、実用には至らないであろう。

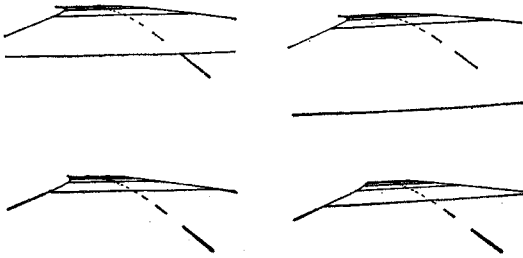
表一 土木におけるコンピューターの利用状況  
(試行中のものを含む)

部 門	項 目 ・ 内 容
鉄 道	<ul style="list-style-type: none"> <li>○構造物の設計計算、標準設計、自動製図</li> <li>○貨物ヤードの貨車仕分けの自動化</li> <li>○線増計画、シミュレーション</li> <li>○積算の機械化</li> </ul>
道 路	<ul style="list-style-type: none"> <li>○線形の自動設計、透視図</li> <li>○模擬運転装置</li> <li>○トラフィックの管理、交通管理 (信号機の自動制御)</li> <li>○OD調査、トラフィックの予測</li> <li>○構造計算</li> </ul>
港 湾	<ul style="list-style-type: none"> <li>○設計—堤体の安定、円形おべり、地盤沈下、岸壁の構造計算</li> <li>○調査—波浪観測記録処理、強震観測記録処理</li> <li>○計画—高潮津波計算、取扱貨物量の統計データ処理、臨海工業地帯配置の適正規模、航路などのシミュレーション</li> </ul>
河 川	<ul style="list-style-type: none"> <li>○洪水制御システムの自動化、テレメタリング</li> <li>○ダムに応力解析</li> <li>○水理計算</li> </ul>
施 工	<ul style="list-style-type: none"> <li>○施工管理システム—工程管理、コスト管理、仮設の計画、土工量、見積積算 (ダムのリフトスケジュール、PERT、CPM)</li> </ul>

### b) 透視図法

設計された道路の立体的線形の検討手法として有効であるが、本格的に用いられ始めたのは、コンピューターによる計算の高速化・自動作図が可能になってからである。日本では東京大学生産技術研究所、建設省土木研究所等がプログラムを開発しているが、自動化の程度は諸外国に劣らぬもので、設計段階の道路をブラウン管上に映画的に映し出すことも低コストで可能になっている。今後は透視図による判断基準を確立するための研究が必要になろう。

図一 ブラウン管上に映し出された設計段階の道路4例



### c) 模擬運転装置

道路の完全性を律するものは自動車と道路との間の力学的関係ではなく、これらに関与する人間との間の人間工学的関係も重視しなければならない。土木研究所では、前述のブラウン管による連続透視図化をアナログ計算機と運転装置を連動させ、走行に関する記録と心身反応に関する記録との比較から、道路線形に関する判断基準を求める目的で昭和43年度に道路環境シミュレーターを完成させている。

写真一 模擬運転装置



## (2) 交通の計画・管理

交通の面では、現象解析の手法としての交通のシミュレーション、将来予測、計画のためのOD解析、経済予測、管理のための交通情報提供システム、交通管制システム等で情報化が進んできている。

### a) 現象解析

コンピューター内で交通を実現させると、再現性が高く、実測では困難な測定も容易に行なえること、計画上の道路についても調査可能で交通条件も安易に変更できる等の利点があり、ここ数年その実施例は増加している。多くは交通信号に関するもので、遅れを測定対象とするものであるが、中央道の2車線道路シミュレーションのように、登坂車線の効果、交通容量を対象としたものもある。現在の問題は、コンピューターの容量、演算速度の制約のために、実現象を忠実に模擬しようとするのが不可能もしくは、演算時間が極度に長くなることである。先に述べたICES, ROADSにはシミュレーションのプログラムも含まれており、走行速度、経費等が測定できるようになっている。日本で実施された例はすべてケーススタディ用であるが、今後は汎用性あるシミュレーションプログラムが効率的な道路の計画管理のために必要になろう。

### b) 予測

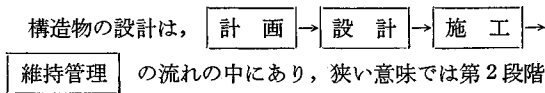
道路投資が先行型になるにつれ、効率的な道路網を策定するために、交通の予測、またその誘因となる経済予測の比重は増してきている。道路網策定のためには、広い地域をカバーする交通の動きを知るためのOD調査が不可欠であるが、その解析から予測に至るまでには、おびただしい量の情報処理、繰り返し計算が必要であり、電算機あって初めてOD調査が実用の域に達したと良いほどである。OD調査も単に自動車のみを対象とするものでなく、人と物の輸送体系を対象とするパーソントリップ調査に発展してきており、処理すべき情報量も飛躍的に増大しており、予測手法も、経済予測、土地利用計画、輸送機関全体の整備計画を総合したものになってきているが、電算機の能力向上により情報処理の速度が速くなったために可能となったものである。輸送の発生要因である経済活動の予測についても、産業間の連関など、経済の仕組みにまでさかのぼった予測手法が要求されており、膨大な経済指標の諸統計、輸送統計を有機的に結合して解析する計量経済学的手法が、本州四国連絡架橋、国土開発縦貫道等の大規模プロジェクトを契機として広く用いられるようになってきている。予測の分野では電算機によって理論が実用化される傾向が特に強いが、情報化の進行によりさらに新しくより密な予測手法が開発されることになろう。またこの分野ではデータの積み上げが特に大切であり、膨大な情報をいかにして後世のために使いやすく保存するかが大きな課題である。

### c) 交通管理

現実の道路網を能率よく安全に運営することも、道路建設者に課せられた至上課題である。この面でも情報処理の自動化に頼るべき点が多い。昭和44年度に充足し

た交通情報センターについても、道路情報の自動化なくしては運営は不可能である。交通情報センターは旅行経路選定、交通状況、道路状況、災害状況等の情報を利用者に直接サービスすることから、交通をより効率よく処理するための信号制御、う回指示、規制等を行なうことを目途としており、このために全国の道路に関する道路状況、交通状況、気象状況等の情報を蓄積して、予測、制御指令を行なうための大計算システムが必要になる。これに関連して、交通感知機、あるいは事故、渋滞検知システム、凍結、煙霧発生感知器等の情報収集機器も発展を要求される。交通信号制御については、システムの制御は日本ではまだ数少なく、銀座周辺の広域制御がその代表的なものであるが、現在次々に計画がなされており、将来は交通情報センターで統括して全国的に行なわれることになる。安全の面では、事故統計を自動処理できるよう情報化して蓄積することが道路施設の安全性の評価、防護柵等の事故防護施設の設置計画、設計のために必要であり、警察、道路公団等で情報化が進められている。

### 3. 構造物設計

構造物の設計は、の流れの中にあり、狭い意味では第2段階の「設計」を意味するが、「設計」にあたっては絶えずこの流れの関連を意識して行なわれなければならない、コンピューターの大きな能力を活用する設計のシステムとしては、この流れが一貫して扱われるものであろう。

10年あまり前、コンピューターが構造物設計に導入されたのは、まず構造解析の部分で、一部の簡単な部材断面の決定に用いられたが、現在では計画面に、あるいは設計から工費積算、設計から施工手配へと結んだものがつくられて実用に入る動きが認められつつある。

以下にその概況を示す。

#### (1) 構造解析

まず、論理構成が明らかになっている構造解析面に導入されたコンピューターは、現在に至ってますますその利用度は高まり、一般化し、高次不静定構造物の応力算出、振動解析など、日常の設計計算に欠くことのできない手段となっている。

汎用骨組解析プログラム、ASKA、STRESS のように世界的に名あるものはすでに10数個を数えるに至り、日本でもいくつかの汎用プログラムがつけられるようになっていく。有限要素法のごとき解法も随所で活用をみるようになっていく。しかし、これらも非弾性領域あるいは大変形の場合にはお扱いのむずかしさを残し、今後

の研究開発に待つところが多いようである。

#### (2) 標準化と自動設計

道路、鉄道その他、橋梁等構造物の多くは設計の標準化がここ数年その様式を整え、設計自動化の動きは活発となった。

応力計算から進んで部材断面を自動的に求めることは、すでに7~8年の経験を有し、橋桁の多くの形式、下部構造などの自動設計はひろまったが、この1~2年、自動製図にまで至る設計の自動化が実用に入った。

建設省制定土木構造物標準設計13、14、15の設計図集は、2040種類の寸法形状の組合せに対応した設計計算から製図に至るまでのすべての工程がコンピューターによって行なわれ、結果そのままを写真にとって出版されたものであり、国鉄でも、上路プレートガーダー、箱形合成桁、I形および箱形PC桁、ボックスカルバート、シーサスクロッシングなどの自動製図プログラムがつくられ、要求に応じて任意の寸法のものの図面がつけられるような準備がなされている。

自動製図まで至る自動設計化は、プログラミングになお相当の手数要すること、設計図自体の表現方式の再検討、企業体間における設計詳細の統一、製図機の飛躍的改善が望まれるなど、まだ問題もあるが、もはや実用化の域に入ったといえよう。

#### (3) 設計と製作との連携

設計の自動化は、鋼橋の部門では製作の自動化と結んで合理化への歩を進めている。

自動製図機のペンをガス切断機に、ドリルにおきかえることにより、従来の設計図、原寸図の概念の変更が生じつつある。

また、設計計算から主要材料の算出、板取り、材料準備あるいは工費の計算、その他各種の製作管理へと続くシステムも、すでに一部は実動に入っているようである。

#### (4) 比較設計

1形式の構造物の自動設計が簡単にできるようになると、ある構造物の設計に際し二、三の形式を概略設計してみた上で採用すべきものを決めることも容易になる。これがさらに進んで、たとえば橋梁形式を上・下部あわせて比較する一貫した比較設計プログラムをつくる努力がなされている。また一方、既存例を各種の要因、属性に分析し、新設計に際しそれらの分析の結果から最適形式を選ぼうとする試みも行なわれ、比較設計の自動化への努力が盛んに進められているが、この分野はいずれもまだ一般化、実用化するまでには至っていないのではな

いかと思われる。

#### (5) 維持管理システムから設計へのフィードバック

耐用命数を数十年から百年と長期に考える土木構造物では、設計によって投入した材料・構造の適否は、長年月にわたる維持管理上のデータのフィードバックによって判定されることも多い。したがって、管理下の構造物の状況を把握し、それから得られる情報の検索によって、設計を合理化する努力も進められている。

このような情報検索システムは、維持管理上の計画、経費の推定などを主眼とするものではあるが、新構造物建設にあたっては、類似設計の索引などに有効な手段ともなるものである。

### 4. 観測データ処理

本節では実用化された例として、波浪観測と強震観測のデータ処理について述べる。

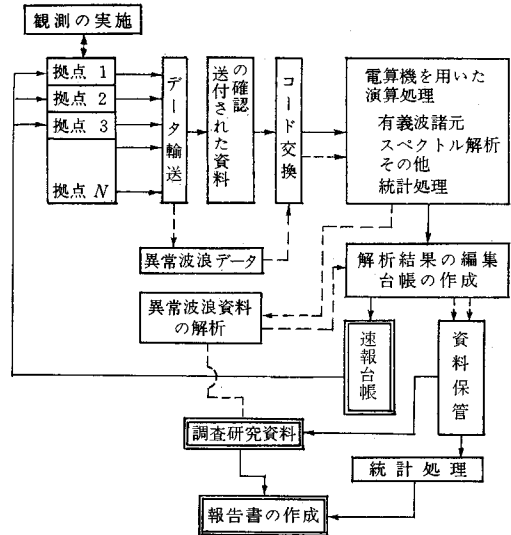
#### (1) 波浪観測データの集中処理

沿岸波浪観測は昭和 28 年小名浜港でわが国初の定期的観測に成功し、その後波浪観測の有意性と観測技術が徐々に普及し、機器の開発・改良も行なわれ、現在約 220 地点（うち港湾関係約 100 地点）で観測が行なわれていると推定される。

その間、ここ数年来港湾技術研究所において現地観測におけるデジタル記録方式を開発し、波浪観測データの電算機による集中処理システムが実用化されるので、運輸省港湾局では昭和 43 年 10 月「波浪に関する拠点観測の実施」をとりきめた。日本沿岸における波浪の特性を把握し、異常波浪を確実に観測して港湾および海岸の施設計画、設計、災害対策、基礎的研究のための資料を得る目的で、15 拠点について昭和 49 年度までの 7 年計画の実施体制となっている。これで、拠点については従来手計算に頼っていた作業をすべて機械化し、波浪データ処理作業の能率を向上させ、多くの観測データを統一的技術水準で集中的に処理できることとなる。

現地波浪観測記録を高速デジタル計算機で処理する場合、波高計の出力は一般にアナログ信号であるため、まず記録のデジタル化を行なう必要がある。そのため、現地波高計にデジタル記録装置を付加し、紙テープで特殊コードのデジタル記録をとって港研に送り、同じく港研で開発したコード変換機（PT to MT コードコンバーター）により磁気テープに収録し、同所既設の電算機（TOSBAC-3400）によってデータ処理され、平均波、有義波、1/10 最大波、最高波など波の諸元が行印字機で打出され、同時に磁気テープに記録され

図-2 波浪データ集中処理システム



る。なお現在の処理系では、デジタル記録計のサンプリング間隔 0.5 秒で、記録された 1 測点 1 ヶ月分の波浪データ（360 ケース）を処理するのに要する時間は、コード変換に約 1 時間、電算機による演算約 4 時間である。

電算機により得られた結果は、現地観測データ送付後一定期間内に台帳形式に編集され、各担当拠点に送付される。

磁気テープに収録された記録および有義波演算結果については、一定期間ごとに統計処理され、各拠点における波浪の発生確率、波浪特性値の変動などが明らかにされることになる。また、異常波浪時の波については、有義波法によるデータ処理のほか、水面変動の瞬時値の分布、波高分布、パワー スペクトルなども求められることになっており、これら資料に基づいて、各拠点および日本沿岸の波浪の特性の解明を図り、データが蓄積されれば波浪追算および予報の精度の向上、港湾および海岸事業に効果的に活用されることとなる。

#### (2) 強震観測データの処理

港湾関係では、全国主要港湾に設置された強震計（昭和 44 年 12 月現在 37 港・57 台）から得られた記録は港湾技術研究所に集められ、その主なものはデジタル装置により数字化される。そして、必要な補正を行なった後に一定の形式で磁気テープに記録・保存されている。この数字化された記録を用いて、応答スペクトル、フーリエ スペクトル等が計算される。これらの数字化された記録を印字作表したもの、応答スペクトル、フーリエ スペクトル等を総合し、港湾地域強震観測年報として発表している。この年報のスペクトルのグラフは、すべて

電算機で自動作図したものである。年報は 1963 年から 1968 年までについて出版されており、1968 年十勝沖地震の主な記録については特集号的なものが出されている。

電算機の普及以前には、地震の記録に秘められている沢山の情報を十分に利用することはできなかった。その大きな原因の一つには、さきに述べたスペクトルの計算は非常に時間がかかり、実際上不可能であったことがあげられる。しかし、このような障害は電算機により簡単に取り除かれ、記録のもつ情報が十分活用できるようになった。それゆえに、強震観測がこのように積極的に進められているともいえる。

得られた情報、すなわちデジタル化された記録やスペクトルは、すでに構造物設計のためのデータとして活用されている。具体例として、衣浦港の海底沈埋トンネルの耐震設計では、衣浦での記録に重点をおいた応答スペクトル等がつくられ、これにより耐震性が検討されている。

また、直杭棧橋のようにたわみやすい構造物上に大型クレーンやアンローダーが置かれる場合には、応答スペクトル等により構造物の地震応答を検討したり、デジタル化された記録を用いて、直接地震応答を計算するなどして、適切な耐震設計を行なうようになってきた。スペクトルやデジタル化された記録が耐震設計に関する研究に欠くことができないことはいうまでもない。

将来は強震記録と解析結果を集積して標準スペクトルや標準地震がつくられ、それらが設計条件として与えられるようになるのではなからうか。もちろん、それを受けての設計計算も電算機により簡単迅速に行なわれるようになるであろう。また、記録を電算機で処理するために、より都合のよい強震計や関連機器の開発もなされるであろう。

(筆者・藤田大二/正会員 建設省土木研究所道路部道路研究室主任研究員、田島二郎/正会員 国鉄構造物設計事務所次長、北村浩行/正会員 運輸省港湾技術研究所設計基準部長)

### トンネル工学シリーズ 3 第3回トンネル工学シンポジウム

B5判・146ページ トンネル土圧/トンネル土圧の測定方法と現況/トンネル用鋼アーチ支保工の強度について/トンネル掘削における余掘りの実態について/セグメントの設計について/栗子トンネルの工事計画と施工実績について/国鉄親不知トンネルの施工実績について/青函トンネルにおけるウォールマイヤー式トンネル掘削機の掘削試験について/大阪地下鉄線複線型と単線型シールドの実施例と問題点/シールド工法による駅部の施工計画について/わが国における中小口径シールド工事の現況について

1000円・会員特価 800円 (〒70)

### トンネル工学シリーズ 4 わが国シールド工法の実施例・第1集

B5判・338ページ 第I部 工事概要/第II部 設計および実績/第III部 セグメント/第IV部 シールドおよび付属機械/第V部 工事用機械その他/第VI部 主な図表類

2200円・会員特価1800円 (〒110)

/付録 鉄道および道路・下水道・上水道・電力および通信・地下道その他に分類 158 件を収録

### トンネル工学シリーズ 5 第4回トンネル工学シンポジウム

B5判・268ページ ソ連の地下鉄/アメリカのトンネル工事を視察して/アメリカにおける山岳トンネル工法/アメリカにおけるトンネル掘さく機/アメリカにおける都市トンネル/アメリカにおけるコンサルタント業務/アメリカにおける請負工事の諸事情について/アメリカのトンネル施工に関する新技術/欧州のトンネル工事を視察して/欧州におけるトンネル請負工事の諸事情について/欧州における山岳トンネル工法/欧州におけるトンネル掘進機について/欧州のシールド工事/欧州における地下鉄工事/欧州における沈埋工事

1800円・会員特価1600円 (〒100)

### トンネル工学シリーズ 6 第5回トンネル工学シンポジウム<最新刊>

B5判・124ページ 六甲トンネルの砕破帯突破について/トンネルの掘さくに伴う地表沈下測定例について/牧の原地すべり地区のトンネル施工について/紅葉山線・新登川トンネルの蛇紋岩区間の施工法と膨張土圧の測定結果について/京葉線・多摩川河底沈埋トンネルについて/大阪地下鉄の沈埋管工事一堂島川と道頓掘川の施工例について-近鉄難波線の大型機械化シールドの施工例について

1000円・会員特価 900円 (〒100)