

## 電子計算機とその応用 (3)

### 国産電子計算機による土木計算の 応用例について

山 本 欣 子\*

#### 1. ま え が き

世はまさにエレクトロニクス時代とさえいわれるごとく、諸外国に伍してわが国の電子工業も、近年目ざましい発展を示してきた。

なかんずく先進国に比して約 20 年近くの遅れがあるとはいえ、電子計算機の分野においては最近の技術的発達は驚異的なものがあり、着々とその歩をつめ躍進の一途をたどりつつある。

昭和 31 年、32 年にわたり、初めて大学、または官公庁の研究所において研究的に試作が行なわれて以来、翌 33 年には各メーカーの手に移って商品化の段階に入り現在はずでに事務、科学、自動制御の各分野においてそれぞれ実用化の段階に移りつつある。一部には量産態勢に移ろうとするメーカーもあり、また各社とも研究を重ね大学、研究所等の協力を得て特殊回路、新素子を使用するのさらに高性能の汎用機の計画も見られる。

元来計算機的能力は、単に高速度の数値計算を行なうというだけでなく、広く一般に情報の処理を行なうという目的を持つものではあるが、科学技術計算においては比較的単能的な機械を使用してもある程度まではその目的を達し得る場合が多いので、現在の規模の国産機でも十分利用可能の段階にあるといえよう。その分野は理、工、農、医、心理、経済等にわたるが、ここでは特に国産機を使用する土木関係の若干の計算例をあげ御参考に供したい。

#### 2. 電子工業振興協会 電子計算機センターの概要

##### (1) センターの業務

昭和 32 年 6 月に制定された“電子工業振興臨時措置法”にもとづき電機メーカー約 50 社が加盟して設立された当協会の重要業務の一つとしてあげられるものに国産電子計算機の総合センターの運営がある。その業務は次のようなものである。

a) 国産デジタル型電子計算機の設置 従来わが国の官庁、大企業等で使用されて来た電子計算機は、その

\* 日本電子工業振興協会

ほとんどが IBM または RR の製品であって、これらに対する賃借料および輸入金額は年額約 50 億円にも達する。それらを国産品に切りかえたいというのは国家的要望でもあり、それに応じて当センターは現在の国産機の性能のいかんを実証する場として開設された。まず各社の代表機を設置運転し、その性能限界のチェックかたがた、User 自身の使用において利用可能の実証を行なうことを目的とする。

b) プログラマーの養成 特殊機器に限定せず、実習をおもにして、一般のプログラミングの概念を習得させる。

c) 計算サービスによる計算機応用の PR 計算機が実用可能なあらゆる業種を調査し、その要求に対し国産機の実用の可能性を実証するとともに、計算機製造のためのデータを把握することをおもな目的とする。

d) その他国産機に対する総合的なデータおよび情報を収集し広く一般の参考に供する。

#### (2) 現在設置運転中の計算機の性能表

現在当協会に設置されている機種は表-1 に示す 4 機である。

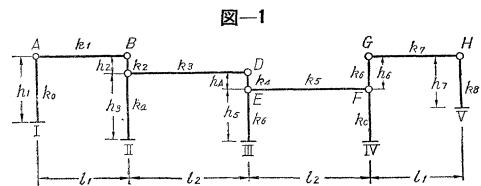
表-1 に示す 4 機のうち、JEIDAC 201 および 202 は従来の PCS (Punch Card System) 機械の本体の部分を電子計算機化したいわゆるデータ処理用として設計されたもので、事務用計算専用で使用している。また、JEIDAC 101 および 102 は Stored Program 方式の機械であり、ともに IBM カードの入出力も備わっていることから事務用、科学用汎用として使用される。

#### (3) おもな計算例

前記 JEIDAC 101 および 102 を使用して行なった計算例には次のようなものがある。

#### 例 1 ラーメンのタワミ角方程式およびモーメントの計算

##### a) 構造 図



##### b) 計算式

- $k$ : 剛比
- $C$ : 荷重項
- $K$ : 温度による固定端モーメント
- $P$ : 集中荷重
- $E$ : 弾性係数
- $\Delta l$ : 温度による伸び

とし、

$$n_1 = \frac{h_2}{h_1}, \quad n_2 = \frac{h_3}{h_1}, \quad n_3 = \frac{h_4}{h_1}$$

表-1

電子計算機名		JEIDAC-101 (NEAC-2203)	JEIDAC-102 (HITAC-301)	JEIDAC-201 (FACOM-212)	JEIDAC-202 (TOSBAC-2103)
製造会社名		日本電気KK	KK日立製作所	富士通信機製造KK	東京芝浦電気KK
構成素子		トランジスタ 1500 ダイオード 11000	トランジスタ 2000 ダイオード 20000	パラメトロン 8000	トランジスタ 5000 ダイオード 1000
制御	クロックパルス方式	200 kc 直列	230 kc 直列	14 kc 並列	50 kc 並列
プログラム方式		内部	内部	内部, 外部	プラグボード
命令	方式種類	1 1/2 アドレス 87	1 1/2 アドレス 74	1 アドレス 73	1+1 アドレス
インデックスレジスタ		3	2	—	—
数値	小数点形式	固定, 浮動	固定	固定	固定
	現数桁	10 進 12 桁 (内符号 1 桁)	10 進 13 桁 (内符号 1 桁)	10 進 13 桁 (内符号 1 桁)	10 進 4 桁, 6 桁, 8 桁, 10 桁
記憶装置	方式	高速磁気ドラム	高速磁気ドラム	磁心	トランジスタ カウンタ
	容量 平均アクセスタイム (ms)	2040 語 3.0	1960 語 3.0	32 語 —	18 桁 入力 68 桁, 中間 102 桁 出力 48 桁
平均速度	加減算 (ms)	3.2	3.5	3.0	0.9
	乗算 (ms)	5.4	10	15	16
	除算 (ms)	9.0	11	30	20
*増強記憶装置	方式容量 平均アクセスタイム	磁心マトリックス 200 語 2 μs 低速磁気ドラム 10000 語 10 ms	磁心マトリックス 200 語 2 μs	—	低速磁気ドラム 3000 語 10 ms
入出力装置	テープ読取機 (字/秒)	PTR 200	PTR 200	PTR 200	PTR 400
	テープせん孔機 (字/秒)	10	10	30	ラインプリンタ 12 文字
	プリンタ (字/秒)	頁式 8	頁式 8	頁式 8	76 字×400 行/分
	カード読取機 (枚/分)			100	150
	カードせん孔機 (枚/分)			100	150
	IBM, RR との連動	可能	可能	IBM-513 IBM-405	RR-Sensing Punching Unit
*増強入出力装置	テープ読取機	同上 PTR	同上 PTR	同上 PTR	—
	高速テープパンチ	—	—	3000 字/分	—
	さん孔タイプ	—	—	頁式 900 字/分	頁式 8
	カード入出力装置	533 相当 200/100	533 相当 200/100	現状通り	現状通り
	高速度ラインプリンタ	96文字 120字×200行/分	64文字 120字×200行/分	現状通り	64文字 120字×200行/分
本体の大きさ(底面積)		1.3 m <sup>2</sup>	1.3 m <sup>2</sup>	4.5 m <sup>2</sup>	0.9 m <sup>2</sup>
本体の消費電力		0.5 kVA	0.5 kVA	5 kVA	0.9 kVA

\* 印は 35 年 10 月増強付加

$$n_4 = \frac{h_5}{h_8}, \quad n_5 = \frac{h_4}{h_8}, \quad n_6 = \frac{h_5}{h_7}$$

$$n_7 = \frac{h_6}{h_7}$$

とおけば,

$$C_1 = C_{AB} \quad C_2 = -C_{BA} + C_{i1}$$

$$C_3 = C_{CD} + C_{i1} \quad C_4 = -C_{DC} + C_{i2}$$

$$C_5 = C_{EF} + C_{i2} \quad C_6 = -C_{FE} + C_{i3}$$

$$C_7 = C_{GH} \quad C_8 = -C_{HG} + C_{i4}$$

$$C_9 = -\frac{h_2}{3} P_1 + \frac{2}{3} C_{i1}$$

$$C_{10} = -\frac{h_5}{3} (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + \frac{2}{3} (C_{i3} + n_6 C_{i4})$$

$$C_{11} = -\frac{h_4}{3} (P_1 + P_2) + \frac{2}{3} C_{i2}$$

$$C_{12} = -\frac{h_6}{3} P_4 + \frac{2}{3} n_7 C_{i4}$$

$$C_{i1} = 6 EK_2 \frac{\Delta l_4}{h_2}, \quad C_{i2} = 6 EK_4 \frac{\Delta l_2}{h_4}$$

$$C_{i3} = 6 EK_c \frac{\Delta l_2}{h_5}, \quad C_{i4} = 6 EK_5 \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{h_5}$$



$n_2$	$n_3$	$\left( \begin{array}{c} \theta_A \\ \theta_B \\ \theta_C \\ \theta_D \\ \theta_E \\ \theta_F \\ \theta_G \\ \theta_H \\ u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{array} \right)$	
$k_a n_4$	$k_a n_5$		
$k_3$	$k_4$		
$k_c$			
$k_5 n_6$	$k_5 n_7$		
$\frac{2}{3} n_1 n_2$	$\frac{2}{3} n_1 n_3$		
$\frac{2}{3} (n^2 + k_a n_4^2 + k_b + k_c + k_5 n_6^2)$	$\frac{2}{3} (n_2 n_3 + k_a n_4 n_5)$		$\frac{2}{3} k_5 n_6 n_7$
$\frac{2}{3} (n_1 n_3 + k_a n_4 n_5)$	$\frac{2}{3} (n_3^2 + k_4 + k_a n_5^2)$		
$\frac{2}{3} k_5 n_6 n_7$	$\frac{2}{3} (k_5 + n_7^2 k_5)$		

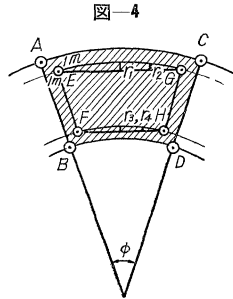
d) 所要時間およびプログラム ステップ

プログラム：約 150 ワード

演算時間：約 1分

例 3 アーチ ダムの座標ならびに体積計算

a) 概要 図-4 におけるようなアーチ ダムの斜線ブロックの4点 ABCD の座標, 周囲より 1m 内部の4点の座標, EG および FH の弧の弦との距離, およびブロックの体積を求める。



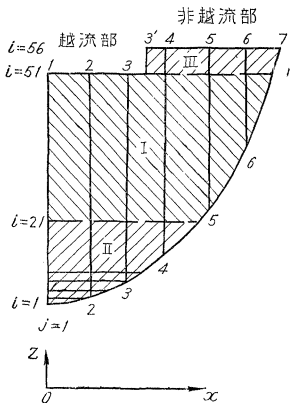
b) 計算式

① 隅の4点の座標：図-5

に示すようにアーチ ダムの断面を縦(j) 横(i) に区切って考える。Z の変化は i=1~2 で 1m でほかはすべて 1.5m ずつ変化するものとする。図のような3つの部分に分けて考える必要がある。

I 中央部

図-5



$$\phi_{i1} = 0$$

$$\phi_{ij} = \tan^{-1} \frac{a_j}{b_j - K_i}$$

図-6

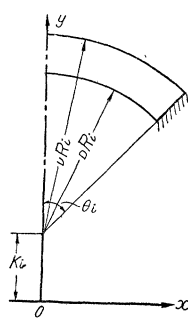
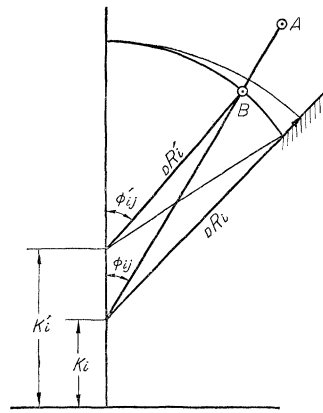


図-7



であるから

$$\begin{cases} x = R_i \sin \phi_{ij} \\ y = R_i \cos \phi_{ij} + K_i \end{cases}$$

となる。R\_i は上流面, 下流面, それぞれについて求められる。

II 変厚部

図-8 に示すアバットにおけるアーチの厚さ T\_i は Z\_i の2次式として

$$T_i = \alpha Z_i^2 + \beta Z_i + r$$

(alpha, beta, r とともに既知)

図-8

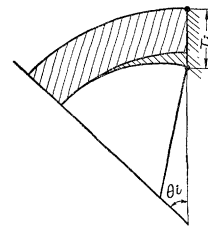
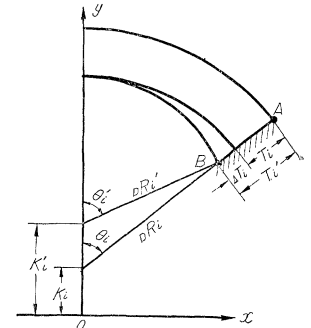


図-9



であらわされ,  $\Delta T_i = T_i' - T_i$  とすれば,

$D R_i' / K_i' \theta_i'$  は次の三元連立方程式から求まる。

$$\begin{cases} D R_i + K_i = D R_i' + K_i' \\ (D R_i - \Delta T_i) \cos \theta_i + K_i = D R_i' \cos \theta_i' + K_i' \\ (D R_i - \Delta T_i) \sin \theta_i = D R_i' \sin \theta_i' \end{cases}$$

従ってアバットにおけるA点はIの場合と同様に

$$\begin{cases} x = v R_i \sin \theta_i \\ y = v R_i \cos \theta_i + K_i \end{cases}$$

で求められ B点は

$$\begin{cases} x = D R_i' \sin \theta_i' \\ y = D R_i' \cos \theta_i' + K_i' \end{cases}$$

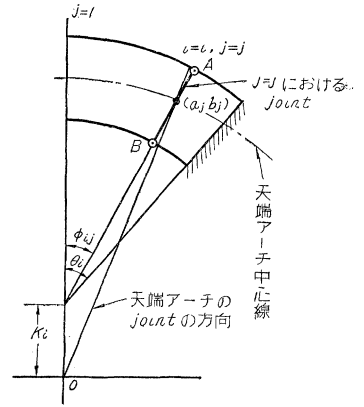
で求まる。従って中間の joint の点は A点はすでに述べた方法で, B点は円と直線の交点として

$$\begin{cases} x^2 + (y - K_i')^2 = D R_i'^2 \\ y = \cot \phi_{ij} x + K_i \end{cases}$$

から x, y を求める。phi\_ij' は x, y より

$$\phi_{ij}' = \tan^{-1} \frac{x}{y}$$

図-10



で求められる。

Ⅲ 越流部のある部分

この部分の  $j=1\sim 3$  は越流部の切欠きがあるため、

図-11における AB を  $Z=Z_i$  のところにある越流部との境、CD は天端にある越流部との境とすると、AB の座標は円と直線の交点として

$$\begin{cases} x^2 + (y - K_i)^2 = R_i^2 \\ y = \cot \phi_0 x \end{cases}$$

から求められ、 $\phi_{i3}'$  は

$$\phi_{i3}' = \tan^{-1} \frac{Dx + Ux}{Dy + Uy}$$

より求める。

図-11

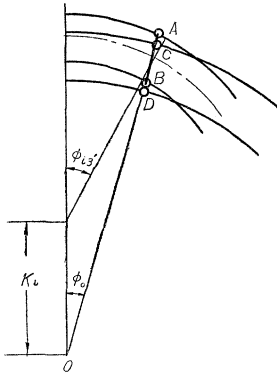
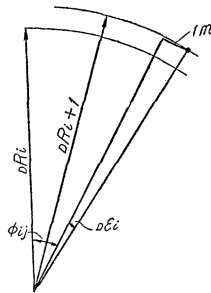


図-12



② 1 m 内部の4点の座標：これもⅠⅡⅢ

の部分に分かれ

Ⅰ 中央部

$$D\epsilon_i = \sin^{-1} \frac{1}{DR_i + 1}$$

$$U\epsilon_i = \sin^{-1} \frac{1}{UR_i - 1}$$

$$\begin{cases} x = R \sin(\phi_{ij} \pm \epsilon_i) \\ y = R \cos(\phi_{ij} \pm \epsilon_i) + K_i \end{cases}$$

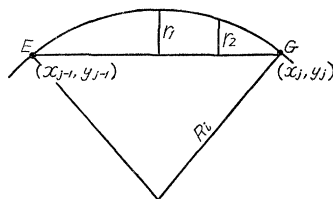
Ⅱ 変厚部

上流はⅠと同じ下流は円と直線の交点として

$$\begin{cases} x^2 + (y - K_i)^2 = (DR_i' + 1)^2 \\ y = \cot \phi_{ij} x + K_i \pm \text{cosec } \phi_{ij} \end{cases}$$

から求められる。

図-13



Ⅲ 越流部のある部分

この場合は上下流とも円と直線の交点として求められる。

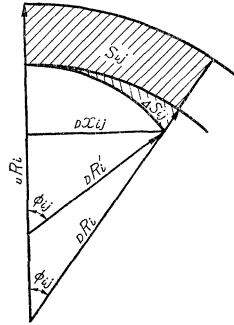
$$\begin{cases} x^2 + (y - K_i)^2 = R_i^2 \\ y = \cot \phi_0 x - \text{cosec } \phi \end{cases}$$

③ 1 m の内点の弧と弦の距離：図-13 から明らかに

$$r_1 = R_i - \sqrt{R_i^2 - \frac{1}{4}[(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2]}$$

$$r_2 = \sqrt{R_i^2 - \frac{1}{16}[(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2]} + r_1 + R_i$$

図-14



から求められる。

④ ブロックの体積：ブロックの面積  $A_{ij}$  は  $\phi_{ij}$  の張る面積から  $\phi_{ij-1}$  の張る面積を引いたもので、これと一つ下のブロックの面積を平均して高さを掛けたものが  $V$  となる。

従って

$$S_{ij} = S_{ij} + \Delta S_{ij}$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \phi_{ij} (UR_i - DR_i)^2$$

$$\Delta S_{ij} = \frac{1}{2} \phi_{ij} DR_i^2 - \frac{1}{2} \phi_{ij}' DR_i'^2 - \frac{1}{2} (K_i' - K_i) D\epsilon_{ij}$$

$$A_{ij} = (S_{ij} - S_{i,j-1})$$

$$V_{ij} = \frac{1}{2} (Z_i - Z_{i-1}) (A_{ij} + A_{i-1,j})$$

( $Z_i - Z_{i-1}$  は  $i=1$  のときは 1.0 m, ほかは 1.5 m)

c) 計算法

Input Data :  $UR_i$  上流面半径

$DR_i$  下流面半径

$\theta_i$  中心角の 1/2

$K_i$  円の中心の移動量

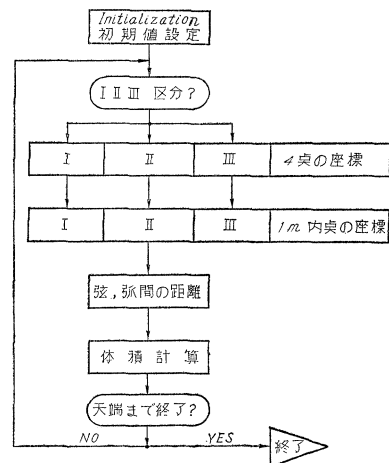
$a_j, b_j$  ダム中心線と、ダムジョイントの交点

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  変厚部の  $T_i$  決定定数

$\phi_0$  (or  $\phi_{se,s}$ ) 天端における越流部が張る角の 1/2

フローチャート

図-15



$i=1$  から  $i$  ごとに区切って各  $j$  につき計算し天端まで続けて行なった。

d) 所要時間およびプログラム ステップ

プログラム：約 600 ワード

演算時間：約 50 分

印刷時間：約 40 分

注：以上この計算は大分県電気局北川ダムの施工計算として行なったものである。

### 3. 土木工学方面への電子計算機利用について

従来、土木または建築設計の分野においては、ばく大な構造計算量に多くの労力と費用とを投入してきたが、電子計算機に切りかえるという面においては一部にはなお多くの隘路と危惧が存在するように見受けられる。その理由として

(1) この分野の計算は長年にわたる手計算体験の結果、数式そのものが非常に簡単化され、いわゆる手計算向きに改良されているものが多い。

(2) また、計算結果の数値そのものをナマで使用する場合はほとんどない。つまり計算結果は単なる目やすに過ぎず、実用的には、それに多くの安全率を負荷して利用する関係上、高精度の計算は無駄であり、無意味である。

(3) 計算システムの全体を計算機にのせることが困難であろうという見方、つまり多年の経験により視察により決定した方がより早い部分はかなり存在する。従って機械にかけやすい一部のみを捨てて機械化してもあまり利益にならないのではないかという観点。

(4) 電子計算機による計算費が一般的には相当高価に考えられる。

(5) 計算機に対するばく然たる不安および不信感。などがおもにあげられると思うが、ここで考えなければならないことは、電子計算機の登場によって従来の数式および計算方法自体、なんらかの改革を行なわねばならないのではなからうかということである。手計算向きに簡単化されているとはいえその計算ステップは概して大変長い。すなわち一連の式を小部分に細分し、その一部分ずつを取り上げて非常に簡単であるといっている場合もあるのではないかと思われる。それらを一連の計算式としてプログラムしてしまってもよいのではないかという気がする。そしてまたそれと同時に数式の一般化の必要性というものが生じてくる。現在実用化段階にある、いわゆる中型計算機程度までは演算を機械にのせるプログラミングの仕事というのはかなり複雑なものである。従って1回限りのものは機械にかけることが必ずしも大した利益にならない場合も生じてくる。それには広範囲の利用に供せられるような一般性を持った数式の使用がぜひとも必要となる。同一プログラムでデータのみをそのつど変えることで計算ができるということになれば、その使用頻度が高ければ高いほど、計算機は絶大な威力を発揮する。例えばラーメン計算における連立一次方程式等はその最もよい例の一つで、5元以上になると手計

算ではやや面倒であり、数個解く中にはかなりミスも出てくるであろう。大体 Storage 2000 words 前後の中型機では右辺のみが違う場合は 10 元くらいなら 1 回に 160 組は同時にとけ約 30 分程度 (1 組なら 0.4 分)、20 元なら 67 組、約 70 分 (1 組なら 2 分) 最大 42 元が約 12 分ととける (現在試験中の JEIDAC 101 の外部ドラムを使用すれば 100 元くらいまでは一度に解けることとなる。地下 2 階地上 8 階程度の高層ビルの各スパンの荷重計算が一挙にできるかも知れない)。

計算機の能力にもよるが、一部には人工頭脳などともてはやされるが、電子計算機も結局は計算機械でしかない。ある程度まではやはり人間が手とり足とり指導してやらなければ自分からは何もできない。しかしまた逆になんらかの数式または関連を指示することができさえすれば、どんなものでも実行可能であるともいえる。従って剛比の決定の問題なども適当な判定条件と Operation 法とを指示してやれば機械に最適な剛比を選ばせることも不可能ではない。

また、計算機によっては計算精度は任意に決定できるのが普通である。高精度な計算が無駄であるような単なる目やすをうるのみでよいという計算もプログラムいかんによっては大した無駄も生じないですむであろう。

また現状では計算費は決して安価なものとはいえないが、現在どの設計事務所においても相当の工数が計算業務のためについやされていると思われる。手まわし計算機を使用し、それぞれの事務所内で計算しているとれば一見計算費を消費していないかのように見えるが、その実は多くの人件費の計算費として支払われていることになるのであるから、その工数を計算以外の仕事に向ければ、はるかに多くの仕事をこなさうし、各人の能力も十分活用できて、長い目で見ればあなたがら電子計算機の計算費は高価であるということはいいい切れないのではないかと思う。

使ってみなければ計算機の価値をわからないということもできるが、計算機利用に危惧を抱く大きな原因の一つとしていわゆる食わずぎらいの傾向がなきにしもあらずであろう。しかしやや複雑な合成桁、連続桁の計算や、ダム構造の計算など、やはり機械にまかせたいという希望は誰しも持つことであろうし、現在それらの方面の利用度が急速に増加しつつある傾向は、なによりもその実績が使用価値を物語っているといえよう。

しかしまだここに相当大きな問題が残されている。計算機を利用するからには、その能力を十二分に使いたいということである。土木の計算に限らずほかの技術計算においても機械の能力を十分活かして使っているというものにまだあまり遭遇したことがない。というのは、ただ単に数値計算を高速度でやるということだけでは電子計算機らしい使い方とはいえないであろう。計算機は決し

て万能ではない。しかし機械独特の判断力とか、ある種の創作力ともいえるような、もう少しすぐれた能力を現在の機械でも持っているはずである。事務の機械化にとともに、会社内の管理業務の一切の方式を根本的に改造する必要が生じてくることは、また少し違った意味で電子計算機の発達は工学の分野にも、ある程度の革命をもたらしたことは事実であろう。ここらあたりに各分野の専門家と、機械使用側の担当者がお互いに歩み寄り協力し合って、新たに開拓する興味ある分野があるのではないかと思われる。

#### 4. むすび

当協会が現在の4機を設置してより約1年、その間に取り上げた技術計算の種類も数も、まだまだ十分とはいえ、従ってここにあげた計算例もごく一部のものでしかないが、最近数カ所に国産電子計算機による計算センターの開設も見られ、現在の中型機の性能で技術計算においては、ある程度満足の得られる状態で、すでに実用化の段階に入っていることを裏書きしている。

なお現在、当協会においては、line printer による出力の能率化、core memory を使用して演算のスピード強化、カード入出力によるデータ処理の合理化、および外

部磁気ドラム、磁気テープなど数10万 words におよぶ補助 memory を使用しての計算能力の拡大化などのテストを実施中である。国産電子計算機の能力自体、その演算スピード、キャパシティー入出力機能、またはそれらにもなっておこる自動プログラムによるプログラミングの簡素化の問題等、まだまだ開発の余地は多分にあるが、いずれ近き将来、国産機も多岐の付属装置をようしたシステムとしての計算機として、倍増の能力を発揮しうる時期が到来するであろう。

現在わが国の土木技術は、国内のみならず、広く海外にまでも躍進しつつある事実と考え合わせてみても、先んずれば人を制すの故事を引くまでもなく、技術的国際競争においても電子計算機の存在は不可欠であるといえよう。

おわりに、筆者が土木工学の分野には全くの素人であるため、いきさかのはずれの向きがあるやも知れず、その点おおかたの御批判と御叱責を戴きたく、なおこの稿をまとめるにあたり、貴重な資料を提供され、誠意ある御協力を戴いた建設技術研究所の石井弓夫氏に深く感謝するとともに、貴重な御意見と種々の御指導を戴いた日本技術開発 KK の川元、磯貝両氏に心より御礼申し上げます。  
(原稿受付：1960.9.25)

定評ある

# 土木関係 優良図書

図書目録および内容見本  
をご希望の方は土木学会誌  
で見たとご記入下さい。

株式  
会社 技報堂

東京都港区赤坂溜池5番地  
振替東京10 電話(481)8581

## 図書目録・内容見本送呈

東京地盤調査研究会編	東京地盤図	A3判・130頁・¥7,500
工博八十島義之助著	土木工学通論	A5判・350頁・¥400
工博石井靖丸訳	チェボタリオフの土質工学上巻	A5判・350頁・¥650
	下巻	400頁・¥700
東大助教授渡辺隆著	土質調査および土質試験	B6判・300頁・¥450
工博石井靖丸訳	軟弱地盤工法	B6判・600頁・¥300
工博種谷実著	機械化土工	B5判・164頁・¥500
片平信貴著	道路工学	B5判・550頁・¥1,800
工博平井敦著	鋼橋(Ⅲ)	B5判・550頁・¥1,800
工博横道英雄著	鉄筋コンクリート橋	B5判・472頁・¥1,300
河野正吉他著	建設機械概要	A5判・150頁・¥300
工博杉戸清著	下水道学	B5判・260頁・¥500
	前篇	238頁
	後篇	
工博岡本舜三著	応用力学	B5判・136頁・¥350
工博福田武雄著	木構造学	B5判・254頁・¥500
土木学会編	土木工学ハンドブック	A5判・2240頁・¥3,700 布 ¥3,200