

計数型継電器式電気計算機と応用力学問題への応用

成 岡 昌 夫*
松 繩 勉**

I. 計数型継電器式電気計算機

1. はしがき

科学技術の発達にともない、研究・調査・設計にぼろ大・煩雑な数値計算が要求されるようになり、これを従来のソロバン、計算尺、手動・電動の卓上計算機で処理することが困難であり、かつ、多くの時間を必要とするため、この種の高度の数値計算を行う計算機の要求がおこつてきた。この要求にともない、自動計算機が急速に発展し、計算が高速・自動化されるようになり、また、数値計算の方法も進歩し、いままで人力では計算できなかった問題まで解けるようになってきた。

自動計算機は、1945年頃より、米・英・仏・独などで研究、製作され、R.R. 社、I.B.M. 社の製品がわが国でも相当使用されている。なお、わが国でも、各方面で国産の計算機が研究、試作されているが、富士通信機KKの継電器式電気計算機は、わが国で実用化された最初のものである。以下、電気計算機、特に上記の計算機の機能を説明したいと思う。

2. 電気計算機の種類

電気計算機は、卓上計算機のような単なる計算用具でなく、頭脳の役割を所持し、一連の計算に対し記憶力と判断力を持つて、所定の計算を機械みずから行う性能を有している。最小限必要なことは、「数を記憶する能力」と「加減乗除などの計算をする能力」を持つていることである。

数値を表わす方法として、物理量を使用するものと、数値をそのまま使用するものがあり、前者を計量型(Analogue)、後者を計数型(Digital)という。計量型では、数値を、長さ・軸の回転角などの機械量、あるいは、電圧・電流・抵抗などの電気量に転換し、これによつて数値の記憶および計算結果を表わす。計数型では、数値を、そのまま、継電器・真空管・トランジスター・パラメトロン・磁気テープなどを用いて表わし、記憶および計算結果も、これらによつて表わされる。

計量型計算機の代表的なものは、微分解析機、交流計算機である。これらは単能計算機で、精度は低いが、操作は簡単である。

計数型計算機には、事務用計算機と多元連立方程式や

高次方程式などの、一般学術数値計算を行う万能計算機とがあり、この計算機では精度をあげることができる。これをその構成要素から電子管式電気計算機と、継電器式電気計算機に大別できる。

一般に、電気計算機の性能は、速度・信頼度・記憶容量・取扱い保守の容易さ・経済性などにより決定されるが、継電器式は電子管式にくらべて、超高速度を望めないが、人手で計算する場合にくらべると、100倍以上の速度を持つている。また、長寿命でかつ安定な継電器を使用し、また、一つの継電器に多数の接点をもつていて自己検査回路を容易に持たすことができるので、計算の信頼度がきわめて高い。なお、プログラミング(後出)が容易で、手軽に使用でき、保守費も低廉である。

3. 機能の概要

電気計算機の機能は、個々の計算機によつて異なるが、ここでは、富士通信機KKのFacom(Fuji Automatic Computer)-128 継電器式計算機を主体として述べる。

(a) 数値の符号化 電気計算機で数値計算を行うには、数値を符号化して、機械が読みとれるようにする必要があり。通常、数値を表わすには、十進法(Decimal system)を使用するが、電子管式計算機では、二進法が一般に採用されている。二進法(Binary system)は、各桁の数字を0と1との二つの数字で表わす。これと十進法とを比較すると、表-1 のようである。

計算機の演算には、三進法(Excess 3 code)が理論上、素子の数が最小となるが、二進法が演算装置としては最も簡単になるので、多くの電子管式計算機に採用されている。しかし、二進法で計算した結果を十進法に変換する装置に手数がか

表-1

十進法	二進法
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001

かるので、二進五進法(Biquinary system)を採用しているものもある。この二進五進法は、ソロバンのように、二進法と五進法を併用し、十進法で読取りができて便利である。また、この符号は自己検査回路を作るのにも好都合で、計算の信頼度を増す利点があり、Facomではこの符号を採用している。これは、表-2 に示すように数値は常に二つの継電器の動作により表わされ、数値の表現は七つの継電器の組合せで行う。

* 正員 工博 京都大学教授、工学部土木工学教室

** 有隣電機株式会社 社員

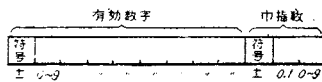
表-2

十進法	二 進 五 進 法						
	0	5	4	3	2	1	0
0	○						○
1	○					○	
2	○				○		
3	○			○			
4	○		○				
5		○					○
6		○				○	
7		○			○		
8		○		○			
9		○	○				

計算機は、一般に、数値の表わし方によつて、二つの型式に分けられる。一つは、移動小数点方式 (Floating point system) で、他は固定小数点方式 (Fixed point system) である。Facom の場合は、主として、前者を採用しているが、一部、後者を採用している。Facom の移動小数点方式による数値の表わし方は、±の符号と、有効数字 (8桁) に ±19 のべき指数をつけ、小数点は最上位の桁の次においてある。従つて、取り扱う数値の範囲が広く、プログラミングが容易となる。たとえば -1230 は $-1.230\ 000\ 0 \times 10^3$ として計算を行う。取り扱う数値の範囲は、絶対値で $9.999\ 999\ 9 \times 10^{19} \sim 1.000\ 000\ 0 \times 10^{-19}$ であり、0

図-1 数値の構成

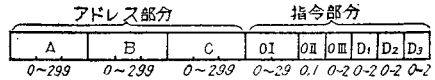
は特に 0.000 000 0 $\times 10^{-19}$ と表現する。



数値の構成は図-1のとおりで、これを符号化し、テープに穿孔して、数値テープをつくる。

(b) プログラミング (Programming) 電気計算機は、計算速度が大きく、誤りがないという、機械のみが持つ特徴を有しているが、計算能力としては、四則演算・開平算を行いうるのみで、わずかながら、a) 二つの数の大小判別の能力、b) 正負符号の異同判別の能力、c) その判別の結果を利用して、数値の移し方を変更したり、あるいは、人間があらかじめ作った何種類かの命令の中から適当なものを選択する判断力をもっているにすぎない。すなわち、知能の程度がきわめて低く、人間のかわりをつとめることはもちろんできない。すべての数値計算を実際に行いうるという点で万能であつて、人間が計算すべき問題を分析して、四則演算程度の簡単な計算の集合に改め、その計算を順序づけて、

図-2 命令の構成

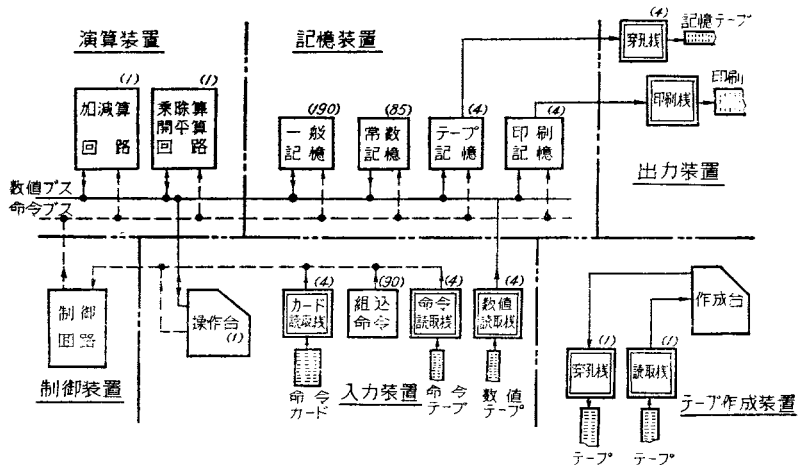


計算機に命令できるようにすることが必要である。この順序づけた命令をつくることを、プログラミングという。Facom-128 の命令の構成は、図-2 に示すように、16桁の数字からなり、これを符号化して、テープに穿孔し、命令テープを作成する。各数式ごとにこれを準備しておけば、すべての計算に、すぐ応ずることができる。

命令の構成は、アドレス部分と指令部分よりなり、前部の9桁を3桁ずつに分けて、A,B,C欄、後部を6つの部分にわけて、OI,OII,OIII;D1,D2,D3欄と名づけている。指令は、OIによつて大別され、OII,OIIIによつてOIの内容をさらに細かく規定し、加減乗除・大小判別・印刷などの各種命令を指令する。A,B,C欄は、OIの指令によつて、被演算数、演算数および結果を記憶格納する記憶装置の場所(アドレス)を指定するか、あるいは、数個あるいはそれ以上の多数の命令群(ルーチン)がある場合に、次に接続する命令群の番号の指定などをする。D欄は、アドレス変更の有無、ルーチン番号、印刷、テープ穿孔、テープ読取りなどの指定をする。

四則演算あるいは開平算のような基本演算だけにすると、プログラミングは簡単であるが、反面、複雑な計算に対しては、プログラミングが長くなり、時間もかかり、かえつて煩雑となる。従つて Facom-128 では、各種の付属装置(たとえば、アドレス変更用記憶装置、ルーチン回転数記憶装置、ルーチン番号記憶装置など)を加え、演算機能としては、固定小数点加減算、特殊除算、若干の論理計算などを加え、また数値計算において頻繁に使われる計算(たとえば、初等関数の計算、複素数の演算、ベクトル・マトリックスの演算)などは、組込

図-3 Facom-128 ブロック ダイアグラム



命令として機械に内蔵し、四則演算と同様に簡単に使用できるようにして、プログラミングが冗長にならないようにしている。

(c) 装置の概要 Facom-128 のブロック ダイアグラムを 図-3 に、外観を 写真-1,2 に、配置図を 図-4 に示す。この装置は、入力装置・出力装置・記憶装置・演算装置・制御装置・テープ作成装置・電源よりなる。

写真-1 操作室



写真-2 継電器室

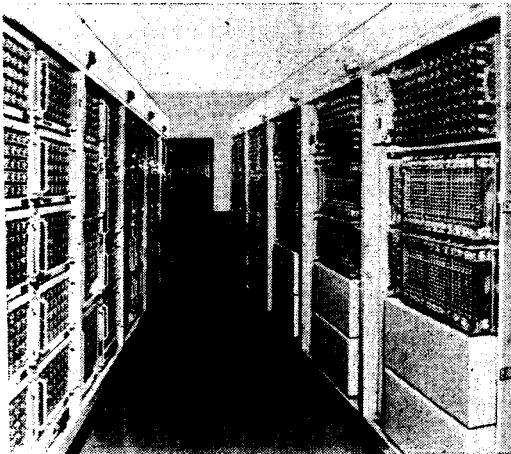
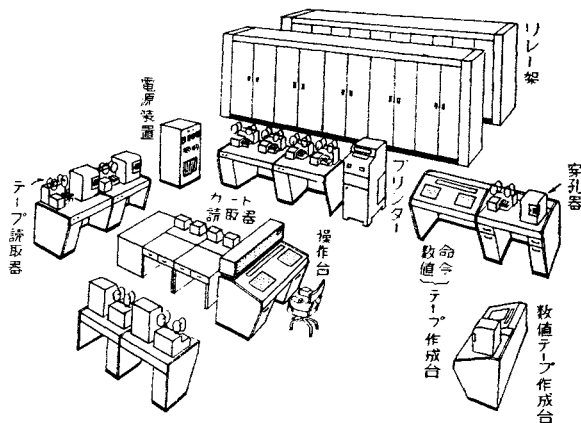
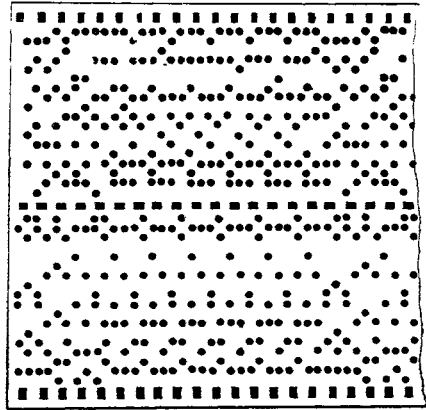


図-4 Facom 電気計算機配置図



i) 入力装置 計算機に情報を送りこむための装置であり、このためにあらかじめ作成した命令および数値テープの符号読取のために、命令および数値読取機を有している。これに使用するテープは、一般に、油浸穿孔機を用い、命令テープのようくり返し使用する場合は、図-5 のような不燃性フィルムを用いる。このほかに、テープのかわりにカードも使用する読取機を備えて、20ステップ以内の短い命令、あるいは数値に使用するのに便利ようにしてある。

図-5 不燃性フィルム (孔は穿孔したものを示す)



ii) 出力装置 計算結果あるいは途中の数値を知るために、一行 60 字を同時に印刷することのできる同時印刷機を使用する。これは、毎秒 2 回の速さで印刷され、移動小数点方式のほかに、固定小数点方式によつて

図-6 印刷形式

(1) 移動小数点方式										
	+1.234 000 0	+03	+1.234 567 8	+09	+3.141 592 7					
	+00	+4.342 944 8	-01							
(2) 固定小数点方式										
	1234	+3.141 592 7	+0.434 294 48							
(3) 命令の印刷										
	1	111	112	113	10	0	2	1	1	
	行数	A	B	C	O-I	O-II	O-III	D1	D2	D3

も印刷することができる (図-6 参照)。数値をテープに残し、次の計算に使用したい場合には、テープ穿孔機により、テープを作成することもできるようにしてある。

iii) 記憶装置 一般・テープ・印刷・常数および特殊の記憶などの各装置があり、一般記憶装置が Cross bar switch の原理を応用した機械的記憶装置である以外は、いずれも継電器を用いている。

一般記憶装置は、入力装置より与えられた数値を格納し、一度たくわえられた数値は、次にその場所に新しい数値を入れる命令のくるまでは、何回でもその数値をとり出すことのできるようになっていて、新しい数値の格納命令がくると、自動的に払われる。

テープ記憶装置は、一般記憶装置だけでは不足するが、記憶した順序に読みとつて計算できる場合、または長時間保存の必要のあるときに使用されるもので、穿孔機と読取機が対となつている。一つの数あるいは符号が読み取られると、自動的に一ステップ進むように作られている。

印刷記憶装置は、一般記憶装置と同様に用いることもできるが、印刷機と直結しているので、印刷命令が与えられると、これに蓄積された内容を、あらかじめ定められた型式によつて、自動的に印刷する。

常数記憶装置は次のようなものである。一般の計算あるいは関数の計算において、特定の数値、たとえば、0, π など頻繁に用いられる常数を、テープから読みとつて一般記憶装置にたくわえることは、煩雑になるので、このように使用頻度の高い常数は、あらかじめ計算機内に組み込んでおき、必要なときに取り出して用いる。

特殊記憶装置は、一般記憶装置と同じ機能を持つているが、それ以外に、四則以外の特殊の演算を行うもので、たとえば、対数・指数関数の計算や、有効数字の任意の桁数のみを読みとつたりすることができる。

(d) 演算装置 加減乗除その他の計算を実際に行う装置で、加減算装置と乗除開平方装置よりなる。Facom-128の演算装置は、移動小数点方式に従つて構成されているが、特殊演算として、固定小数点方式による計算もできる。また、いわゆる四則演算でできない演算、たとえば、整数商に対する剰余を求めること、ベキ指数の差のみを求めることなどが、特殊除算命令を利用してできる。

移動小数点方式では、誤差の評価がむづかしいので、演算結果の四捨五入、切捨て、切上げが任意に行われるようになつている。

最も特徴とするところは、加減算、乗除算の二つの装置の中に、それぞれ固有の記憶装置をもつていて、一般記憶装置のかわりにこれを用いて、連続加算、連続乗算あるいは加減算と乗除算を交互に行う場合に、演算時間を短縮できる。その他、高精度を要する計算に対して、有効数字を高めることができる。たとえば、有効数字8桁のものを16桁として計算するのであるが、この計算時間はかなり長くなる。

(e) 制御装置 ある命令が読みとられてから演算が終るまでの各種操作の制御を行うもので、各構成装置間を結合して数値(命令)の情報を転送する線を、数値(命令)バスという。数値バスは、A, B, Cの三つの独立したバスをもつ3バス方式が用いられ、数値の構成が69単位であるので、69本の線群からなつており、命令バスは、命令の構成が69単位であるので、69本の線群からなり、情報は常に並列に転送される。

計算を行うには、まず、数値テープと命令テープをそ

れぞれ所定の読取機にかけて起動すると、命令は、命令読取機から読みとられ、制御装置により、命令バスを通じて各構成装置に伝達され、その入口のゲートを開閉する。一方、数値は数値バスを通じて、命令に従つて、指定の記憶装置に格納されたり、あるいは演算が行われたりして、演算結果が印刷あるいはテープに穿孔されるまで、すべて自動的に遂行される。

情報はすべて Self-checking code で表わされ、演算は自己検査回路によつて、常に各所で確認されているので、回路の誤動作があると、機械はただちに停止するようになつている。従つて、機械の運転中には、誤まつた計算はない。機械が途中で停止すると、自動的に二次試験(Second trial)が行われるようになっており、再び同じ命令を遂行して、再度計算をする。誤動作は、継電器の接点の接触不良のような、ごく単純な原因にもつづくことが多いので、大部分の障害は二次試験によつて匡正され、演算がそのまま続行される。また、演算の進行状態は常に操作台で監視され、機械が停止すれば、ただちに故障の場所を発見することができる。

制御装置は、このほか、特殊な機能をもつている。すなわち、記憶装置としての番号を持つており、命令テープから与えられた内容を蓄積すると同時に、一般記憶装置からも数値を移して、その内容で各種の制御を行う。たとえば、(a) いくつかの副命令群の中から所要の副命令群を呼出す場合に目的の副命令群の番号を格納する記憶装置、(b) 副命令群を連続くり返して使用する場合、その回数を記憶し、1回使用すごとに1が引かれ、0になつたときに次の指定された命令に移るようにした回数記憶装置、(c) 命令によつて指定されたアドレス番号を一定量だけ変更させる装置、(d) 使用頻度の高い命令群を機械内に組み込み、組込命令として、それ自身で独立した演算を行うか、各種の組込命令を組み合わせる装置、などを有し、計算時間の短縮をはかつている。

組込命令装置のうち、独立した演算を行うものに、三角関数および逆三角関数・対数および指数関数・複素数の加減乗除算などがあり、組み合わせるものには、多元連立方程式・マトリックス・ベクトルなどに関する演算がある。

(f) 操作台 機械の操作および保守に必要な各種の電鍵類と監視用ランプを備える。機械の起動は、操作台上の起動電鍵によつて行われ、計算が開始されると、動作状況は、各装置のおもな継電器に対応したランプにより表示されるので、機械が障害で停止した場合、ランプの点滅状態で、障害場所をただちに発見できる。操作台から、電鍵により、命令あるいは数値を与えることができ、また、ランプ上に読みとることもできる。すなわち、計算の途中で人間の判断を入れるとプログラミングが容易になることがあるので、この場合に用いたり、あ

るいは、数値・命令の入力がきわめて少ない場合に、そのテープ作成の手間がはぶける。

その他、計算続行不能すなわち無限大・不定などのランプ表示、計算の強制停止、命令テープの印刷用などの各種の電鍵を備えている。

4. 演算の種類と所要時間

(a) 基本演算 加減算 0.15~0.2 秒; 乗算 0.15~0.3 秒; 除算および開平方 0.20~1.4 秒 (平均 1.2 秒)

(b) 組込命令によつてできる演算 複素数の加減算 0.4 秒; 複素数の乗算 2 秒; 複素数の除算 5.5 秒; $\sin x$, $\cos x$, $\tan x$ 3~5 秒; $\sin^{-1}x$, $\cos^{-1}x$, $\tan^{-1}x$ 5 秒; $\sinh x$, $\cosh x$, $\tanh x$ 3~5 秒, $\log_{10} x$, $\log_e x$ 5 秒; 10^x , e^x 4.5 秒。

(c) 組込命令によつてできるその他の計算 ベクトル, マトリックスの演算; 高次代数方程式, 連立多元一次方程式の計算: Simpson 法による定積分の数値計算; 補間法の計算: フーリエ分析 (6, 12, 24 成分) など。

多元一次方程式の計算は, 6 元, 1 分; 10 元, 10 分; 15 元, 25 分; 20 元, 67 分; 25 元, 180 分を要し, 逆マトリックスの計算は, 多元一次方程式の約 3 倍の時間を要する。

5. 計算機が行うる計算

計算機は, 計算速度が大きく, 疲労がなく, かつ誤りを犯さない特徴を持つている反面, 実行しうる計算の点では, とうてい人間におよばない。たいていの計算機は四則演算を行いうるのみで, Facom-128 は, これに開平方と若干の論理計算を加えたにすぎない。見方を変えると, 計算機は微積分をはじめ, あらゆる計算を行うことができる。しかし, その内容は数値計算すなわち原理的には四則演算のくり返しにすぎない。たとえば

$$I = \int_0^1 x^2 dx \quad (1)$$

を計算する場合, 人間ならば

$$\int x^2 dx = \frac{x^3}{3} + C \quad (2)$$

という不定積分を行つて, 式 (1) を計算する。また人間の場合は, 式 (1) を計算したといつてきしつかえない。しかし, 現在の計算機は, 式 (1) を計算することができない。計算機は, 式 (1) を計算するのではなく, 式 (2) あるいは式 (1) を数値積分する方法たとえば Simpson の法則によつて展開された数式を計算する。このように, 計算機に計算をやらせるには, 数値計算法がすでに確立されたものであることが必要である (人間の解析できないものを解析する計算機は, もし出現するとしても, かなり遠い将来と思われる。数値計算法さえ確立されると, 全部自動化される時代は早くくるかもしれない)。

計算機に適した数値計算法としては,

a) 計算途中の記憶容量ができるだけ少ないこと

b) 高度の判断を要しないこと

c) 同じ形式をくり返すような計算式であることなどがあげられる。

自動計算機が利用されるようになってから, 古くからある数値計算法を改良し, 計算機に適した方法が考えられている。たとえば, 微分方程式の数値計算法として代表的な Runge-Kutta 法は, 一部改められて自動計算機に利用されており, また, 連立多元一次方程式では, Gauss の消去法に代つて, 必要記憶数の少ない点より, 共軛勾配法が利用されている。なお, 高次代数方程式の解法として, Hitchcock の方法も, 根が近接しているときを除いては, 有効である。

6. 計算例

今までに取り扱つた計算の中から, おもなものを示すと, 次のようである。

電気工学: フィルターの計算 (高次代数方程式), フーリエ分析 (一次元), 水晶振動子 (固有値の計算), 四端子網 (複素行列の連続乗積), 磁場計算 (Simpson 法則による数値積分), 架空地線 (複素関数の絶対値), 円筒波 (Bessel, Neumann 関数の計算), 機械音響系 (複素数の絶対値), メッシュ電流 (台形係数行列の連立一次方程式)。

機械工学: ハリの応力 (連立一次方程式), 振動系 (複素係数振動方程式), タービン (初等超越関数を含む連立方程式)。

光学: レンズ近軸光線追跡, 斜光線追跡, 非点収差。

天文・気象・地球物理学: 恒星視位計算 (ベッセル式補間法), 星の高度・方位角, 数値予報 (ボアソン型偏微分方程式), 地震影響分析 (二重フーリエ解析), 地球磁場 (固有値方程式の代数方程式への変換)。

その他: 中性子の非弾性散乱の計算, 投入算出分析, 水路の水面高度の計算, 航跡計算, 計量抜取のための数表の作成, 相関係数の計算, 直交行列の計算など。

(松縄 記)

II. 計数型電気計算機の応用力学問題への応用

まず, 英米の例を述べ, ついで筆者の経験を述べたいと思う。1.2 は手引きであるので, 出所を明らかにしておく。

1. National Bureau of Standards では, Eastern Automatic Computer (略称 SEAC) を持っている。1953 年 6 月に行われた ASME の計算機械の応用に関するシンポジウムで, SEAC で行つた応用力学の問題の話があつたが, その標題は次のとおりである。

柱の塑性座屈, 壁のあるときの sound transmission integral, 一様な流れの中におかれた flexible cable の張力と形, stiffener の入つた外皮をもつ箱バリの曲げに対する安定問題, 30 種の回転体の圧力分布, 数種の翼・

横すべり角・その横すべりによるローリング・モーメント，超音速ノズルの試験部での流れの状態，真空管内部で弾性的に支持されたものの減衰，二次元 supersonic flow の orthogonal kernel function の方法，多桁と小桁をもつたデルタ翼の構造解析と影響係数，テーバーした片持バリの 23 点の影響係数，着陸時の応力解析，inelastic な H 型柱の initial curvature の強さに対する影響，非線型熱伝導・ロケット・衝撃波の研究（穂坂：航空学会誌，2（昭 29），323～331）。

上記のシンポジウムの記録は，ASME ; Digital & Analog Computers and Computing Method, 1953 に載せられている。

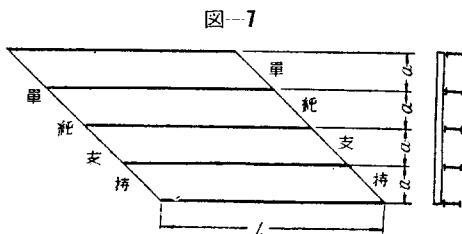
なお，テーバーした片持バリの影響係数に関する論文は Samuel Levy ; Journal of Applied Mechanics, 20 (1953), 131～133 を参照されたい。

2. D. Williams ; Recent developments in the structural approach to aeroelastic problems. Journal of Royal Aeronautical Society, 58 (1954), 403～428 および Aircraft Engineering, 26 (1954), 303～307 は，Aeroelasticity のための飛行機構造の解析に Digital Computer を使う方法を解説したものである。第 1 部では，マトリックスを用いて構造物の強度および振動を解析する通常の方法と digital computer の用法とを簡単に述べ，第 2 部では，実際構造物への適用法をデルタ翼を例にとつて説明している。

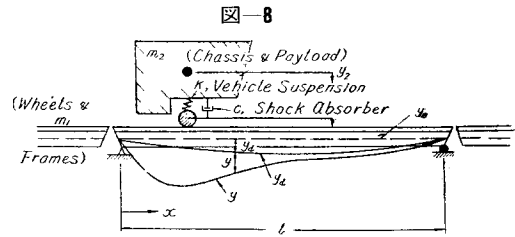
デルタ翼の片翼を，胴体を含めて，50 コに区分して，マトリックスの諸演算を digital computer で行くと，inversion が 5 時間，掛算が約 10 分，iteration で 12 コの固有振動数を誤差 2% 以下で求めるのに 12 時間を要するが，これを人間が行うと，inversion に 2.5 年，iteration には何十年もかかるそうである（航空学会誌，3（昭 30），69）。

3. Illinois 大学は，ILLIAC (University of Illinois High Speed Electronic Automatic Computer) を備えている。これを用いて計算した 2 つの例を紹介しよう。

図-7 の 5 本主桁の斜 I 桁橋を，相対する二辺で単純支持され，斜辺に平行な辺において 5 本の主桁で弾性バリ支持されている平行四辺形連続板とみなし，これを階差法で，ILLIAC を用いて解き，主桁のタワミ，曲げモーメントの影響係数を，相関剛比 $H=EI/Nl$ (EI : 桁の



曲げコワサ， N : 床板の剛度， l : 主桁のスパン)，桁間隔とスパンとの比，斜角のいろいろの値に対して求めている。{T.Y. Chen, C.P. Siess, N.M. Newmark: University of Illinois Bulletin, No. 439 (1957)}。



道路橋の衝撃の問題に関しては Hillerborg の研究があるが，N.M. Newmark は，この問題のさらに詳細な研究を行つた。橋梁上の自動車を図-8 のように考え， y_2, y_1 および一般座標 q との関係式を導き，この関係式を解くために，

$$\dot{y}_n = \dot{y}_{n-1} + (\Delta t/2)(\ddot{y}_n + \ddot{y}_{n-1})$$

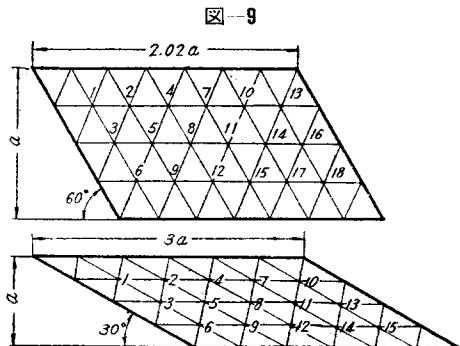
$$y_n = y_{n-1} + (\Delta t)\dot{y}_{n-1} + \{(\Delta t)^2/6\}(\ddot{y}_n + 2\ddot{y}_{n-1})$$

の関係を用いて，ILLIAC によつて数値積分を行つている。この計算において， Δt は自動車は橋梁を通過するに要する時間の 1/300 にとつている。計算は，weight parameter $R=(m_1+m_2)/ml$ (m : 単位長さあたりの重量)，stiffness parameter $\mu=(\text{橋梁の固有振動周期})/(\text{車両の固有振動周期})$ ，speed parameter $\alpha=vT/2l$ (T : 橋梁の固有振動周期， v : 車両の速度)のいろいろの値の組合せに対して行い，amplification factor A {動的曲げモーメント(タワミ)/静的曲げモーメント(タワミ)}を求め，また実験値と比較している (T.P. Tung, L.E. Goodman, T.Y. Chen and N.M. Newmark: Highway-Bridge Impact Problems, Highway Research Board Bulletin 124 (1956), 111～134)。

4. 著者の研究室で Facom-128 に依頼して計算した二，三の例を示そう。

(a) 四辺単純支持平行四辺形板の影響係数の計算

四辺単純支持平行四辺形板は等分布荷重満載の場合に対して，階差法で解かれている。この場合は連立多元一次方程式の右辺が同一の既知数で，手動計算機でも大した



ことはない。しかし、右辺を未知数において、タワミの影響係数（影響面）を求める問題は、手動計算機では大変厄介である。すなわち、この問題は方程式の左辺の係数よりなるマトリックスの逆マトリックスを求める問題に帰する。斜角 60° (30°) の場合、 $a \times 2a$ ($a \times 3a$) の平行四辺形板では、図-9 のように格子点を 18 (15) とし、逆マトリックスを解くのに 138 分 (85 分、検算とも) を要した。

(b) 斜角 30° 、スパン 3.12 m、主桁数 5 本、主桁間隔 30 cm、横桁 1.04 m 間隔の合成格子桁斜橋を直交異方性板とみなして、25 の格子点を設けて、階差法で解き、影響係数を求めたが、この場合 25 元の逆マトリックスを計算するのに、約 300 分 (検算とも) を要した。この 25 元の逆マトリックスの計算が、Facom の現在までに行つた最大であるが、80 元までのものが可能だそうである。

(c) 斜角 45° 、スパン/幅員 = 1.5 の直交異方性平行四辺形板 (相対する二斜辺単純支持、他の二辺自由) の固有振動数を求めるために、階差法により 18 コの連立方程式を求め、これより固有値 λ を計算する場合、一応 λ の 18 次方程式を求め、これより根を計算した。すなわち行列式を展開したわけであるが、数値が大きくなつて丸めの誤差が相当大きく、最低次および第 2 次振動数ぐらゐまでしか確かでない。しかし、18 行 18 列の行列式を展開するのに約 90 分しか要しない。

さきの D. Williams の論文によると、iteration によつて、振動数を求めているが、これには High speed electronic automatic computer を用いている relay 式で iteration を行つてもよいわけであるが、低速であるので、時間がかかる。従つて relay 式の場合、固有値問題を解く決め手はまだないそうである。もちろん、Facom-128 より高性能のものが完成されるところ断定はできない。

まことに、電気計算機の威力は、おそるべきものである。われわれは、engineer として、単に計算に時間を費す必要がなくなり、もつと creative な方面に専念することができよう。 (昭 32. 3. 18)

追記 1. Journal of the Boston Society of Civil Engineers の Vol. 44, No.1 (1957) に、MIT の Computer Laboratory の Saul Namyet 教授が Analog and Digital Computers in Civil Engineering という解説を書いている。この解説の末尾にある文献中、応用力学に関係あるのは次のようである。

- 1) J.M. Biggs and others : Bridge Vibration—A Theoretical and Experimental Investigation of the Vibration of Simple-Span Highway Bridges, Progress Report No.2 (内容は次の 1. と同じ)

- 2) R.K. Livesley : The Application of an Electronic Digital Computer to Some Problems of Structural Analysis, Structural Engineer, **34** (1956), p. 1. これは参考になる。
- 3) R.K. Livesley : Analysis of Rigid Frames by an Electronic Digital Computer. Engineering, **187** (1953), p. 236 (昭 32. 6. 15)

追記 2. 最近 Digital Computer という言葉がいたるところで目につくようになった。さらに追記する。

1. John M. Biggs, Herbert S. Suer, Jacobus M. Louw ; The Vibration of Simple Span Highway Bridges, Proc. ASCE, Paper No. 1186 (1957) では、解析に Digital Computer に Analog Computer とを併用している点が注目値する。

2. Proc. of ASCE, Vol. 83 Journal of the Structural Division, No. ST 4 をみると、A.M. Lount ; Distribution of Loads on Bridge Decks (Paper No. 1303) では、load distribution theory による計算も electronic digital computer を使えば容易であると論じている。また、Charles F. Scheffey ; Application of Digital Computers to Bridge Design (Paper No. 1308) のような論文もある。

3. Proc. of the 1955 Western Joint Computer Conference が The Institute of Radio Engineers, から出ている。その内容は analog と digital の双方の computer について、原理から応用までの全般にわたつている。標題に関係あるのは、次のようである。

P.H. Denke and I.V. Boldt ; A General Digital Computer Program for Static Stress Analysis.

4. ドイツの文献からは、digital computer を応用した研究を、寡聞にして知らない。Bauing., Bd. 34, Heft 4 によると、Univac Europa を輸入して、Frankfurt an Main にすえつけたようである。

5. 著者のみ最近の航空関係の文献から気のついたものは、次のようである。

- a) W.F. Cabill, S. Levy ; Computation of Vibration Modes and Frequencies on SEAC, Journal of Aeronautical Science, **22** (1955), Dec.
- b) B. Mazelsky and R.F. O'Connell : The Integrated Use of Analog and Digital Computing Machines for Aircraft Dynamic Load Problems. Journal of Aeronautical Science, **23** (1956), p. 721.
- c) P.M. Hunt ; The Electronic Digital Computer in Aircraft Engineering Structural Analysis, Aircraft Engineering, **28** (1956). p. 70, 111, 155 (昭 32. 8. 26)

[成岡 記]