土木構造物の自動設計

—— その考えかたと期待される効果について ——

丸安隆和*・中村英夫**
村井俊治***・若林芳夫****

1. 自動設計の意義

工学における設計とは，一つの動機に対して，技術者が創意をなし，性能その他の必要な条件を満足し，しかも最も経済性の高い諸元 design parameter を見出す過程であると考えられる。この解である設計諸元は，一般に図で表現され，設計者の意図はこの設計図を介して製作者に伝達される。

自動設計とは，この設計過程のうち，設計者の創意をもとにして引続き処理される過程，すなわち最適に諸元を求め，それを設計図として表現する過程を，人手を介することなく機械による計算と論理判断によって処理するものである。

自動設計の意図するところはつぎの三つの点である。

1) 設計の迅速な処理，2) 設計者を単調で面倒な計算や製図から解放し，その能力，経験をより高い次元の仕事，すなわち創意と高度の判断を必要とする仕事に向けることを可能にすること，3) 設計されたものから得られる利益 merit を最大にする解，すなわち最適解としての設計諸元を求めること，の三点である。

従来の土木構造物の設計においては，はじめに経験に基づいて仮定した設計諸元が一定の性能（これは効果測度とでも呼ばれるものであって，土木構造物設計の場合は応力度，安全率といった力学量であることが多い）を満足しておれば，その仮定値を解としているか，あるいはその諸元を二，三変えてみて，それらの場合の工費を比較して解を決めるという方法をとっている。このようにして求められた解は，その設計問題の解として用いうる（feasible）一つの解であるにすぎず，最適解であるとは限らい。

* 正会員 工博 東大教授 生産技術研究所
** 正会員 工博 東大助教授 生産技術研究所
*** 正会員 東大助手 生産技術研究所
**** 学生会員 東大大学院学生

このように，自動設計では，従来の方法に欠けている設計問題の解法の根本的な問題が解決されるのである。

すなわち，自動設計は設計作業の生産性を高めるだけでなく，設計の質の向上も可能にする。このような理由から最近では，たとえば回路設計，レンズ設計など多くの工学分野で盛んに自動設計の開発が行なわれており，土木工学の分野でもこのような試みがなされはじめている。

本稿では，われわれの研究室で行なった二，三の経験をもとにしてその概要を説明することにした。

2. 自動設計の過程

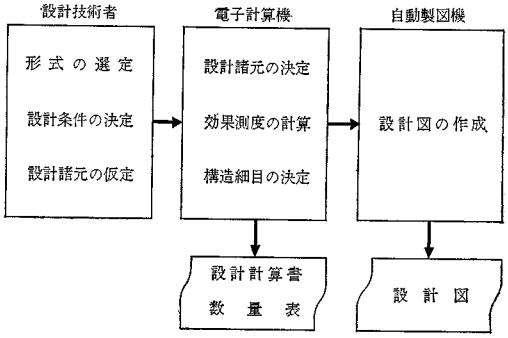
自動設計の過程は，それを分担する主体にしたがって図—1 のように大別できる。

この内容を鉄筋コンクリート橋脚の設計に例をとって説明しよう。

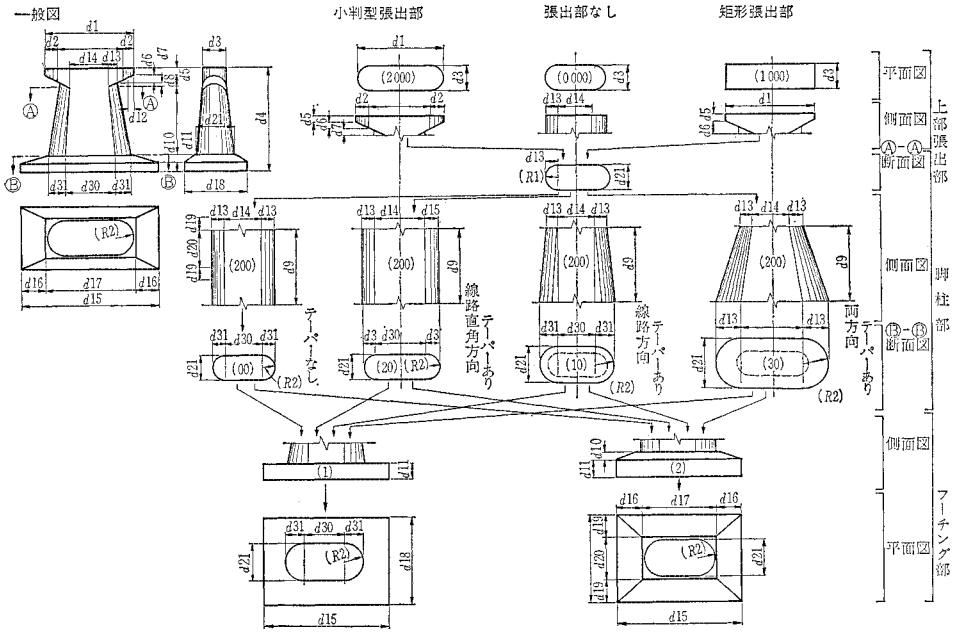
（1） 形式の選定

一つの独立した橋脚を設計する場合，橋脚はその幾何学的形状によって何種類かのタイプに分けられる。図—2 に示されているのは，われわれの自動設計プログラムで扱かいうるタイプのうち小判形断面をもつ橋脚の例で

図—1 自動設計フローチャート



図—2 小判型断面脚をもつ橋脚の形式



ある。どのタイプを選択すべきかは，上部工や周囲の条件により，構造上，美観上の見地から設計者により決められる。(3) で仮定する設計諸元は，選定したタイプに応じた与え方をしなければならない。形式について自動設計を行ない，その結果の比較がなされるべきである。

(2) 設計条件

設計条件として電子計算機に与えるべきデータは，つぎのようである。

1) 上部工からの荷重
2) 材料の単位重量
3) 許容応力度，許容支持力
4) 地震震度，摩擦係数
5) 水位，流速
6) 鉄筋の最小かぶり
   鉄筋の最大，最小間隔
   配力鉄筋の主鉄筋に対する割合

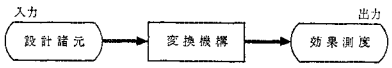
(3) 設計諸元の仮定

設計諸元の初期値としては，原理的にはこれらを全てゼロにしても良いが，繰り返し演算の回数を減らす意味から，可能な限り最適解に近い値を与えるべきである。橋脚設計の例において初期値として電子計算機に与えるべき設計諸元は 図—2 に示されるものである。

(4) 最適設計諸元の決定，効果測度の計算

応力度，効果測度の計算とは，図式的に書くと 図—3 のような過程として示される。このような計算過程は，

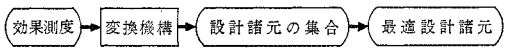
図—3 応力度，効果測度の計算



単なる効果測度のチェックにあるに過ぎない。

設計とはこの逆変換の過程であって，効果測度の逆関数としての設計諸元を決める操作であるともいえる。このような逆関数値は無数にあるのが一般であるが，最適設計とは，この解の中から merit を最大にならしめるものを求めることになる。すなわち上と同じように示せば 図—4 のようになる。

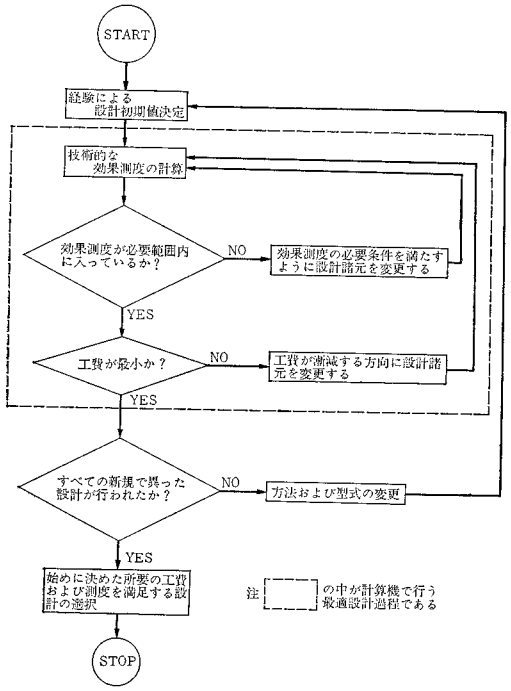
図—4 最適設計を求める



しかしこのような逆関数は一般に直接には決められないので，現実には逐次近似により最適解へと収束させていく方法がとられる。すなわちこの場合設計計算の手順は，従来の設計法と同じ方法を用いて行なわれ，設計諸元をいろいろ 変えてみて その中から merit の最大になるものを適び出すのである。図—5 はその場合の計算手順を示している。

この方法では，どのような設計問題でも確実にとき得るので，いささか原始的ではあるが非常に有効である。しかしすべての設計諸元を連続的に変えるわけにはいかないから，実際にはこれをある量ずつ離散的に変更してゆき，それらより得られる merit を比較する。

図—5　最適解を求めるフローチャート



この方法の欠点は，すべての組合わせの設計諸元について比較を行なえば，途方もない計算量になってしまうため，現実にはかぎられた組合わせについてだけ計算を繰り返すことになる。そのため絶対の最適解が必ずしも得られない（このような欠点を補なって，いま少しすっきりと最適設計問題を解く方法について **3**. で述べる)。

逐次近似の結果，最終的に決められた設計諸元に関して求められた効果測度は，設計された性能を表わす資料として印字され設計者に示される。

（5） 構造細目の決定

(**4**) で決められる設計諸元は，設計される構造の総ての細目を決めるものではなく，構造上，経済上特に重要な諸元のみを与えるものである。橋脚の設計の場合必要な主鉄筋量は設計諸元として決められるが，配力鉄筋，ハンチ筋等は別に構造細目の段階で決められる。また主鉄筋についても，決められた必要鉄筋量を，直径何ミリの鉄筋をどのように配置するかなどは，構造細目として決められるのである。

実際の設計では，このような細部の設計が非常に多く必要であるが，これらは従来設計図をかくとき，設計者ないしは熟練した製図工の経験にもとづいて行なわれてきたものである。自動設計ではこの過程も電子計算機により行なわれるが，その場合，従来経験的にあいまいな決め方をしていたこれらの細目を，どのように基準化してアルゴリズムするかに苦しむことが多い。

構造細目まで決まると，電子計算機から必要材料の量が求められ，これらが表に印刷されて与えられる。

（6） 設計図の作製

(**4**),(**5**) で決められた設計諸元，構造細目にもとづいて，構造各部の位置は電子算計機から座標で表わされて出力される。自動製図装置はこのデータを読み込み，これによって設計図を自動製図する。自動製図の詳細については **4**. で述べる。

3. 最適設計

先に述べたように，最適設計とは効果測度の逆関数として無数に存在する設計諸元の集合から，最も Merit の大きなものを選び出す操作であると考えられる。これは，またつぎのようにいいかえることもできる。“所要の技術的効果測度（性能）を満足し，かつ merit を最大ならしめる設計諸元を決めること”。したがって，これは数学的には最大最小問題として扱かい得るものである。このような最大最小値問題を解く方法として考えられるのが Linear Programming, Dynamic Programming, Non Linear Programming 等であるが，このうち LP, DP は制約が多いため一般的な解決とはなり得ず，結局取り得る方法としては，現在では Non LP だけのように思われる。

Non LP は，つぎに述べるように比較的適用範囲の広い手法ではあるが，一般的に極大値は求められても最大値は求められないという難点がある。しかしわれわれの設計問題では，最初に仮定する近似値は比較的最適値に近いことが普通であるので，その近傍における local な最大値が最適解を与えると考えてよい場合が一般である。このような意味において，Non LP の手法は現在考えられる一つの有力な手法であるといえる。

Non LP の手法として現在いくつかの方法が提案されているが，ここではそれらのうち比較的使いやすいと思われる Cutting Plane Method について簡単に述べてみることにする。

≪Cutting Plane Method≫

Cutting Plane Method では，問題をつぎのように定式化される問題を取り扱かう。

“非線形関数で表わされる制約条件

$$g_i(\boldsymbol{X}) \leq 0$$

を満足し，目的関数

$$f(\boldsymbol{X})$$

を最大ならしめる $\boldsymbol{X}=(x_1, x_2, \cdots x_n)$ を求めること”

この問題を解くために Cutting Plane Method では

$g(\boldsymbol{X})\leq 0$ なる集合を超多面体で近似し，また目的関数 $f(\boldsymbol{X})$ を線形目的関数で近似する。このように制約条件，目的関数ともに線形化されるとき，この問題は Linear Programming の問題に帰せられ，それを解くことによって一つの近似解が得られる。この解はもちろんもとの問題の解ではないから，この操作を順次くり返し，ある一定の精度で収束するところまで行なって最適解を求める。

この過程を段階的に示せば，

1) 近似値 $\boldsymbol{X}^\circ=(x_1^\circ, x_2^\circ, \cdots, x_n^\circ)$ を与える

2) $f(\boldsymbol{X})$ を線形目的関数 $h(\boldsymbol{X};\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}^\circ)$ で近似する。

$$h(\boldsymbol{X};\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}^\circ)=f(\boldsymbol{X}^\circ)$$
$$-\nabla f(\boldsymbol{X};\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}^\circ)(\boldsymbol{X}-\boldsymbol{X}^\circ)$$

3) $p_i(\boldsymbol{X};\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}^\circ)=g_i(\boldsymbol{X}^\circ)$
$$-\nabla p_i(\boldsymbol{X};\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}^\circ)(\boldsymbol{X}-\boldsymbol{X}^\circ)$$
を計算し超平面をつくる。

ただし $\nabla p_i(\boldsymbol{X})=\left(\frac{\partial g_i}{\partial x_1}, \frac{\partial g_i}{\partial x_2}, \cdots, \frac{\partial g_i}{\delta x_n}\right)$

4) $p_i(\boldsymbol{X};\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}^\circ)\leq 0$ を満足する $\boldsymbol{X}$ のうち $h(\boldsymbol{X};\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}^\circ)$ を最大にするものを Linear Programming により求める。

5) 4° の解 $\boldsymbol{X}'=(x_1', x_2' \cdots, x_n')$ をつぎの近似値として 2)～4) を繰り返し十分小さな正の数をとって $g(\boldsymbol{X}^k)\leqq\varepsilon$ になったときに終わる。

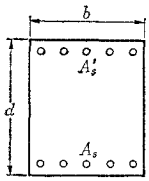
実際にこの計算を行なう場合，解が振動して収束しない場合がある。これをさけるためには変数の変動量に制限を設け $(1-k)\boldsymbol{X}^i\leq\boldsymbol{X}^{i+1}\leqq(1+k)\boldsymbol{X}^i$ ただし $0<k\leq 1$ とする必要がある。

Cutting Plane Method で最大値が必ず決まるのは $g_i(\boldsymbol{X})\leq 0$ が凸で，$f(\boldsymbol{X})$ が凹の場合に限られる。それ以外の場合にはあくまでも local な最大値が決まるにすぎないことに注意しなければならない。

Cutting Plane Method を用いた最適設計問題の一つの簡単な例として，複鉄筋コンクリート長方形ばりの最適断面を決める問題を取り上げてみよう。

図—6 に示されるような断面に，曲げモーメント M が作用する。この断面に対する工費は，コンクリート，鉄筋の量と型わくの量によって決められるとするとき，最も経済的な断面を与える A_s, A_s', d を決定する。ただし，はりの高さは d_m 以下でなければならない。

図—6 断面例



この問題を定式化すると，

制約条件

$$g_1=\sigma_c-\sigma_{ca}\leq 0 \cdots\cdots(1)$$
$$g_2=\sigma_s-\sigma_{sa}\leq 0 \cdots\cdots(2)$$
$$g_3=d-d_m\leq 0 \cdots\cdots(3)$$

を満足する A_s, A_s', d のうち

目的関数

$$f=k_1bd+k_2(A_s+A_s')+k_3(2d+b)$$
$$=(k_1b+2k_3)d+k_2(A_s+A_s')+k_3b \cdots\cdots(4)$$

を最小にするものを求めることになる。k_1, k_2, k_3 は，それぞれコンクリート，鉄筋，型わくの単価である。

三つの独立変数 A_s, A_s', d の間には

$$M=\frac{1}{3}bx^2\sigma_c+\sigma_s'A_s'(x-d)\sigma_sA_s(d-x)\cdots(5)$$

$$\sigma_sA_s=\frac{1}{2}\sigma_cbx+\sigma_s'A_s' \cdots\cdots(6)$$

$$\sigma_s=n\cdot\frac{d-x}{x}\sigma_c \cdots\cdots(7)$$

$$\sigma_s'=n\cdot\frac{x-d'}{x}\sigma_c \cdots\cdots(8)$$

の関係がある。σ_c, σ_s, σ_s', x は design parameter A_s, A_s', d で表わされるものであり，挙動変数 behavior variable と呼ばれるものである。

式 (5)～(8) を A_s で偏微分して整理すると，

$$\begin{pmatrix} \frac{2}{3}bx\sigma_c+\sigma_s'A_s'-\sigma_sA_s & \frac{1}{3}bx^2 & A_s(d-x) & A_s'(x-d') \\ \frac{b}{2}\sigma_c & \frac{b}{2}x & -A_s & A_s' \\ -n\sigma_c\frac{d}{x_2} & n\frac{d-x}{x} & -0 & 0 \\ n\sigma_c\frac{d'}{x^2} & n\frac{x-d'}{x} & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial A_s} \\ \frac{\partial\sigma_c}{\partial A_s} \\ \frac{\partial\sigma_s}{\partial A_s} \\ \frac{\partial\sigma_s'}{\partial A_s} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_s(d-x) \\ -\sigma_s \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = 0$$

これを解いて

$$\left(\frac{\partial x}{\partial A_s}\right), \left(\frac{\partial\sigma_c}{\partial A_s}\right), \left(\frac{\partial\sigma_s}{\partial A_s}\right), \left(\frac{\partial\sigma_s'}{\partial A_s}\right)$$

が得られる。同様に A_s', d について式 (5)～(8) を偏微分することにより，

$$\left(\frac{\partial x}{\partial A_s'}\right), \left(\frac{\partial\sigma_c}{\partial A_s'}\right), \left(\frac{\partial\sigma_s}{\partial A_s'}\right), \left(\frac{\partial\sigma_s'}{\partial A_s'}\right)$$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial d}\right), \left(\frac{\partial\sigma_c}{\partial d}\right), \left(\frac{\partial\sigma_s}{\partial d}\right), \left(\frac{\partial\sigma_s'}{\partial d}\right)$$

を得る。

以上の準備をしたのち近似値 $\boldsymbol{X}^\circ=(d^\circ, A_s^\circ, A_s^{\circ\prime})$ を仮定し，この点における接平面を求める。

$$p_1(\boldsymbol{X};\ \boldsymbol{X}=\boldsymbol{X}^\circ)=\sigma_c^\circ-\sigma_{ca}+\left(\frac{\partial\sigma_c}{\partial A_s}\right)_0(A_s-A_s^\circ)$$

$$+\left(\frac{\partial \sigma_c}{\partial A_s'}\right)_0 (A_s'-A_s'^\circ)+\left(\frac{\partial \sigma_c}{\partial d}\right)_0 (d-d^\circ)$$

$$p_2(X;\ X=X^\circ)=\sigma_s^\circ-\sigma_{sa}+\left(\frac{\partial \sigma_s}{\partial A_s}\right)_0 (A_s-A_s^\circ)$$

$$+\left(\frac{\partial \sigma_s}{\partial A_s'}\right)_0 (A_s'-A_s'^\circ)+\left(\frac{\partial \sigma_c}{\partial d}\right)_0 (d-d^\circ)$$

$$p_3(X;\ X=X^\circ)=d^\circ-d_m$$

このとき“制約条件

$$p_1(X;\ X=X^\circ)\leq 0$$

$$p_2(X;\ X=X^\circ)\leq 0$$

$$p_3(X;\ X=X^\circ)\leq 0$$

を満たし，目的関数

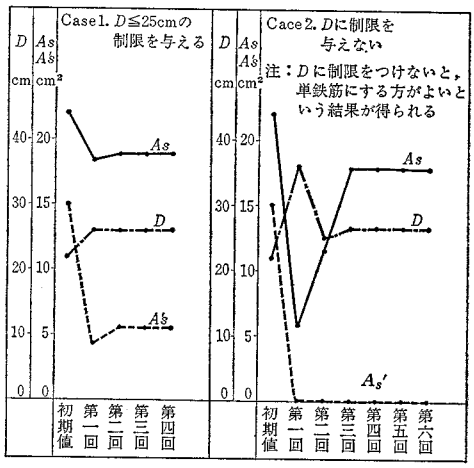
$$f=(k_1 b+2k_3)d+k_2(A_s+A_s')+k_3 b$$

を最小とする非負の $X=(d, A_s, A_s')$ を求める” 線形計画問題をシンプレックス法で解く。シンプレックス法を適用するに際しては，制約条件式における定数項の符号（不等号の向き）にしたがって助変数（artificial variable）を導入し，罰金（penalty）を与えるようプログラム化しておく必要がある。

この操作を $g_i(X^k)\leq \varepsilon$ を満足する i が存在するようになるまで続け，そのときの $X=X^k$ をもって，この最適設計問題の解とする。

図—7 および **表—1** はこの例において，$M=5.0$ t-m $b=100$ cm としたときの最適解へと逐次近似されてゆく状態を示したものである。この種の最適設計問題を解く

図—7 最適解への接近



ルーチンは，**図—5** に述べたような trial 法で一つの構造設計をするような場合にも，その中で断面算定計算を行なうためのサブルーチンとして用いて有意義であろう。

4. 自動製図

電子計算機により決められた設計諸元および構造細目

表—1

Case 1 ($d\leqq 25$ cm の制限を与える)

	A_s (cm²)	A_s' (cm²)	d (cm)	OPT	σ_c (kg/cm²)	σ_s (kg/cm²)	σ_s' (kg/cm²)
初期値	22.0	15.0	22.0	95.645	47.052	1 184.088	448.069
1回	18.402	4.351	25.0	64.468	46.139	1 234.698	460.866
2回	18.939	5.509	25.0	66.163	44.998	1 200.038	449.971
3回	18.939	5.505	25.0	66.159	45.00	1 200.0	450.0
4回	18.939	5.505	25.0	66.159	45.0	1 200.0	450.0

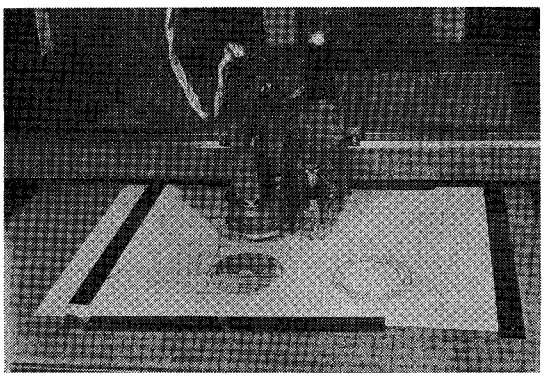
Case 2 (d に制限を与えない)

初期値	22.0	15.0	22.0	95.645	47.052	1 184.088	448.069
1回	5.883	0	35.967	65.898	41.733	2 530.109	—
2回	11.533	0	24.898	53.079	58.079	1 941.656	—
3回	17.851	0	27.575	63.863	42.103	1 151.691	—
4回	17.888	0	26.518	62.137	44.897	1 197.703	—
5回	17.877	0	26.485	62.071	45.00	1 199.996	—
6回	17.877	0	26.485	62.070	45.0	1 200.0	—

にもとづき，自動製図機は設計図を自動的に製図することができる。

自動製図機はかくべき線を座標値の形で電子計算機より受け取り，これにしたがってペン先の動きを数値制御し図をえがく。このように，電子計算機からのデータをD-A 変換し，図形を描く装置として Curve plotter と呼ばれるものが最近の電子計算機システムに付属しているが，自動製図機はこれと本質的には変わりなく，ただえがく図の精度がはるかによいという点が違っているだけである。

写真—1 自動製図機と図化作業



写真—1 に示されている自動製図機は，特に土木設計を主な目的として東大生研に設置されているものである。この製図機は3種類のペンおよび1本のスクライビング針を自動的に選択して ±0.02 mm の精度で曲線をえがく。線をえがく速度は 1.2 m/min である。この自動製図機で書くことのできる基本の曲線は，直線および円曲線であって，その他の任意の曲線は，ある区間ごとに分割してこの基本曲線により近似されねばならない。図をかくに際して電子計算機より自動製図機に与えるべきデータは，

1) ペンの種類を示す符号

2) 直線をかくときはその始点および終点の座標

3) 円弧をかくときは，その始点および終点の座標と円弧半径および回転の方向

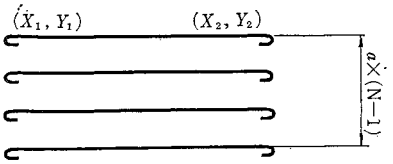
である。

自動製図機で構造物設計図をつくるには，電子計算機はすべての線について上のようなデータをすでに決められている設計諸元，構造細目にもとづいて求めなければならない。このためのプログラムはかなり繁雑である。そのため，プログラムを簡単にするためのソフトウエアをわれわれはつくっている。これは，たとえば鉄筋の配置図をかく場合，直径 25 mm のフックつきの鉄筋を間隔 a で n 本えがくような場合

PALINE X_1, Y_1, X_2, Y_2, a, N

とプログラムすれば，図—8 のような配筋図をえがくのに必要なデータが得られるようになっている。現在構造設計図のために約 30 種のこのようなルーチンが開発されている。

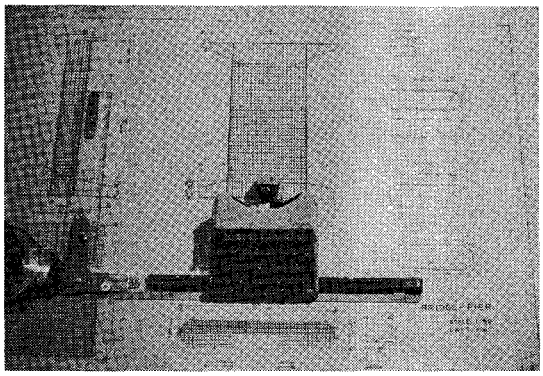
図—8 配　筋　例



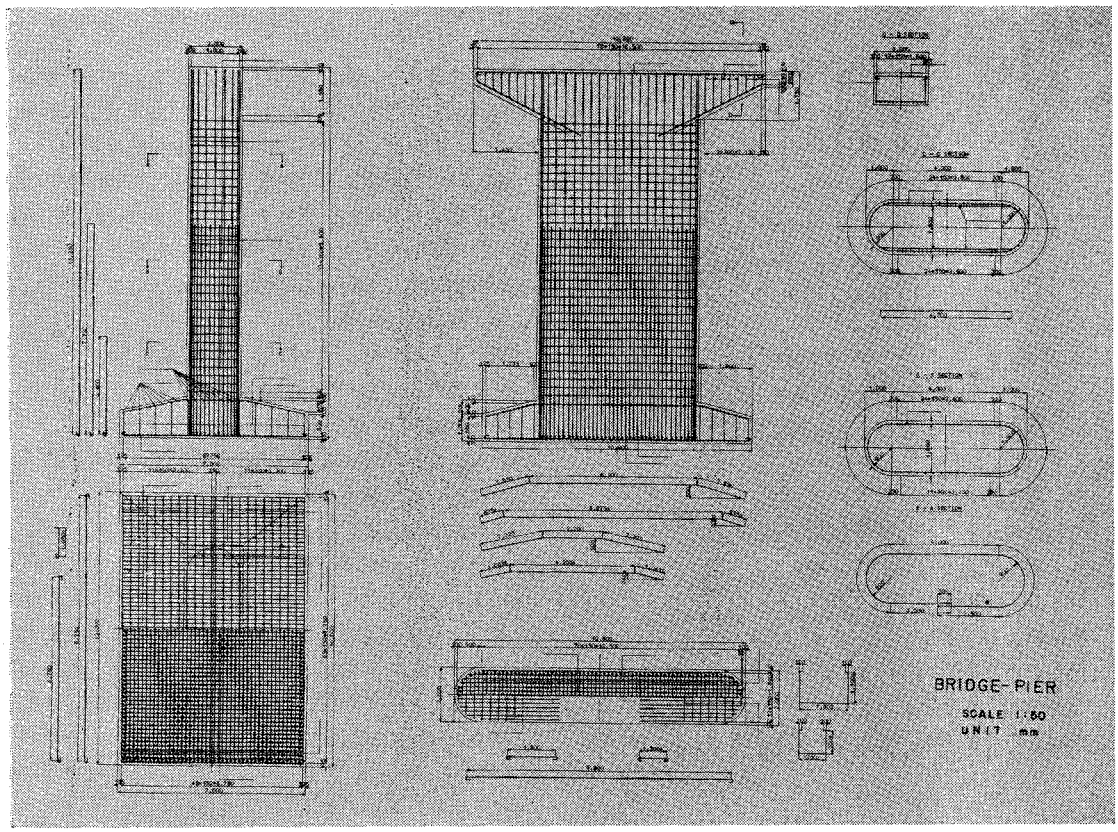
このようにして自動製図された一例を示したのが 図—9 の鉄筋コンクリート橋脚，および 図—10 の鉄筋コンクリート ニューマチックケーソンの設計図である。

本例に見るように，現在自動製図されるのは線だけであって，寸法その他を示す数字，記号等は機械では行なわれない。これらの数字は，その該当する場所を示す記号とともに電子計算機より表に印刷されて示され，これを自動製図された図の中に 写真—2 に示されるようなタイプライターを用いて書き入れる。その場合特に鉄筋コンクリート構造では寸法が複雑であるので，寸法表と

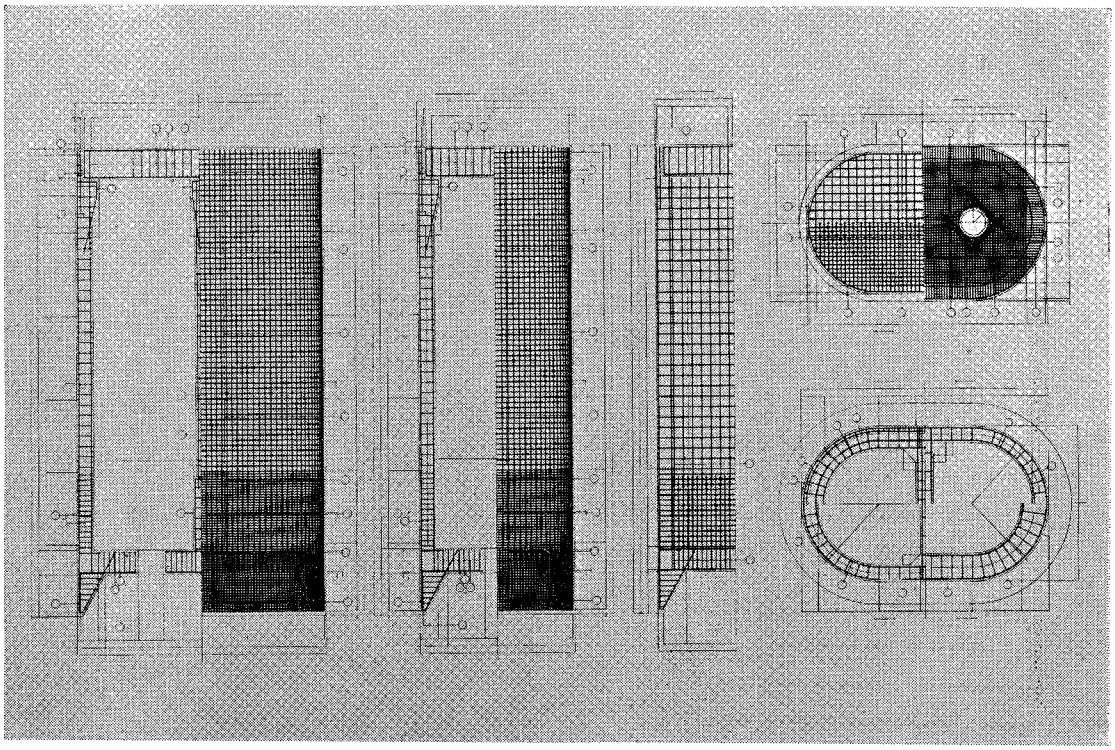
写真—2 自 動 印 字 作 業



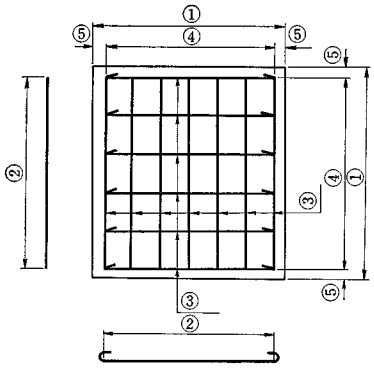
図—9 自 動 製 図 さ れ た 一 例（鉄筋コンクリート橋脚）



図—10 自 動 製 図 さ れ た 一 例（鉄筋コンクリートニューマチックケーソン）



図—11 印 字 順 序



図との対応を間違いなくするために，常に表の数字を図にかき込む順序をつぎのように限定し，混乱のないようにしている。

1) 輪 郭 寸 法
2) 鉄筋取り出し図番号および寸法
3) 鉄筋引き出し線番号
4) 鉄 筋 間 隔
5) 鉄筋かぶり

現在この自動製図機に寸法数字を書くタイプライターを取りつけ，数字をプログラム指令によりタイプすることを研究中であるが，まもなく実用できると思われる。

5. 能率面からの検討

以上に述べた自動設計法は，実作業としてみた場合能率的にはどうであろうか。ここに述べてきた橋脚の設計は，この間に対して一つの解答となり得るだろう。

橋脚の設計計算に用いた電子計算機は OKITAC 5090（記憶容量 4 000 語，磁気テープ）であり，設計諸元は図—5 に示したような trial and error 法によって決めたのであるが，その際の所要時間をあげると，

1) 演算約 30 分
2) ラインプリンター印刷 約 2 分
3) 紙テープさん孔 約 3 時間 40 分
4) 自動製図 約 4 時間

である。これ以外に人間の手による寸法数字の書き入れなどに約 2 時間程度が必要である。

この数字を見ると紙テープのさん孔に非常な時間を要していることに気づくが，これは現在さん孔速度が 7 字/sec というきわめて遅いさん孔装置を用いているためである。最近の高速さん孔装置は 100～200 字/sec の速度であるから，これを用いるとこの時間は 1/15～1/30 に減ずることができる。もちろん，電子計算機に自動製図機のデータの転送を磁気テープを介してか，あるいは ON-Line System として行なえばこの時間ははるかに少なくすることができる。

以上の数字は現在では小型機に属するともいえる電子計算機を用いて得たものであるが，さらに大型の最近の計算機を用いればこの演算は飛躍的に早くなり，経済性もより高められよう。ちなみにこの橋脚を HITAC 5020 で処理したときの実演算時間は3分，図—10 のニューマチックケーソンの設計諸元までを決める計算では IBM 7090 を用いて約2分であった。なおこのケーソンの設計においては，設計諸元を決めるまでを IBM 7090 で，そのあとの処理を OKITAC 5090 で行なった。このケーソンの自動製図には約6時間を要した。

自動設計の能率を検討するのにいま一つの大切な要素は，プログラムの開発に要する時間である。上記橋脚の設計を OKITAC 5090 によって行なった場合，プログラムは ALGOL と類似の ALGOLIP によったが，2人で約6ヵ月を要している。それゆえこのようなプログラムの開発の手数を考えるとき，自動設計の対象として取り上げるべき構造物は，おのずから将来利用される機会の多いものに限定されよう。

6. おわりに

本稿では，土木構造物の自動設計の方法をわれわれの経験をもとにしつつ説明してきた。われわれの実験的な経験からだけいえば，自動設計は設計の能率と向上に非常な効果を発揮することは疑う余地がないように見える。またフランスの公共事業省の橋梁設計課での鉄筋コンクリート橋の自動設計の成果は，構造細目の標準化と作業システムの整備がなされれば実作業として非常に有効であることを教えてる。現在のわれわれの設計の対象のなかである程度の標準化がなされていたり，あるいは標準化が可能で自動設計プログラムを開発するに足る構造物は，鉄筋コンクリート構造だけを考えても，高架橋，橋台橋脚，暗きょ，トンネル，井筒基礎，よう壁等多数ある。これらの自動設計プログラムの開発は，設計の能率，内容を向上せしめるため早晩着手されるべきであろう。

終りに，本文で例示された橋脚については，八千代エンジニアリング（株）OR 室，ケーソンの設計については大林組設計部および機械計算室と協同で開発したものであることをつけ加えておく。大半のプログラムは，それらの会社の人々および丸安研究室に在籍した学生諸君の手によったものである。感謝の意を表したい。

参考文献

1) Albouy, J.C., Bonnet, A.: Automatic Design on Electronic Computers of Standard Bridges in Reinforced Concrete.
2) 一色真幸：レンズの自動設計，数理科学，1966.3
3) 須賀雅夫：技術と数理，1966.7
4) 大久保禎二：構造物の最適設計法について，昭和41年度・土木学会講演会概要集
5) Saaty, T.L.: Bram, J.: Non linear Mathematics.
6) Woods: Highway Engineering Hand-book, Chap 5-5 Digital Computers. McGraw-Hill
7) 中村英夫・柴田正雄：道路透視図作製の新しい方法，土木学会論文集第135号
8) McGraw Hill: Recent Advances in Mathematical Programming, Philip Wolfe.
9) Optimum Structrnral Design used Linear Programming, A.M. A.S.C.E

（1967.4.27・受付）

土木技術者のための **振動便覧**

本書は，土木工学に関係ある振動問題は新技術も含めてもれなくとりあげ，内容は基礎編と応用編に分け，基礎編では共通の問題，応用編は振動原因ごとにとりまとめてありますので，ただ単に振動学に興味をもたれる人ばかりでなく，一般の方々も啓蒙の書としてぜひご一読下さるようおすすめいたします。

内　容

基礎編■第1章　振動理論／第2章　地盤の振動／第3章　構造物の振動／第4章　流体を含む系の振動／第5章　振動測定および各種解析法／第6章　土と材料の動的性質

応用編■第7章　地震による振動／第8章　風による振動／第9章　水による振動／第10章　車による振動／第11章　機械による振動／第12章　衝撃的現象／第13章　振動の利用

付録■A1　耐震規定／A2　耐風設計規定／A3　構造物の固有振動数／A4　構造物の対数減衰率／A5　振動に対するじょ限度

体裁：A5判　450ページ

定価：2400円　会員特価：2000円　送料：150円

申込先：東京都新宿区四谷一丁目　土木学会へ