

# 電子計算機による土木事業の 設計数量化計算手法

(林道事業への電子計算機導入手法)

## I. 試験項目

電子計算機による土木事業の設計数値化計算手法（林道事業への電子計算機導入手法）

## II. 試験担当者

機械化部林道研究室 小林洋司, 福田光正

## III. 試験目的

最近、一般土木において電算機利用を前提とした最適設計、自動設計、自動製図の開発研究が注目されてきている。一方、林業土木の林道関係においても調査、設計、施工、管理と一連の業務にわたり、そのとりまとめに多くの日数と経費を必要とし、それをいわゆる経験的土木技術をもとに多くの情報を処理しなければならない。しかし今後における林道事業の増大と熟練技術者の不足を考えると、電算機利用を前提とし、科学的合理性を基礎にした最適設計、自動設計、自動製図の開発研究が必要と思われる。この研究は林道の測量から設計までをシステム化し、これらに電算機を導入し、自動設計から自動製図までを総合的に行なうことを目的としており、具体的には電算プログラムの開発にある。

## IV. 試験の経過と得られた成果

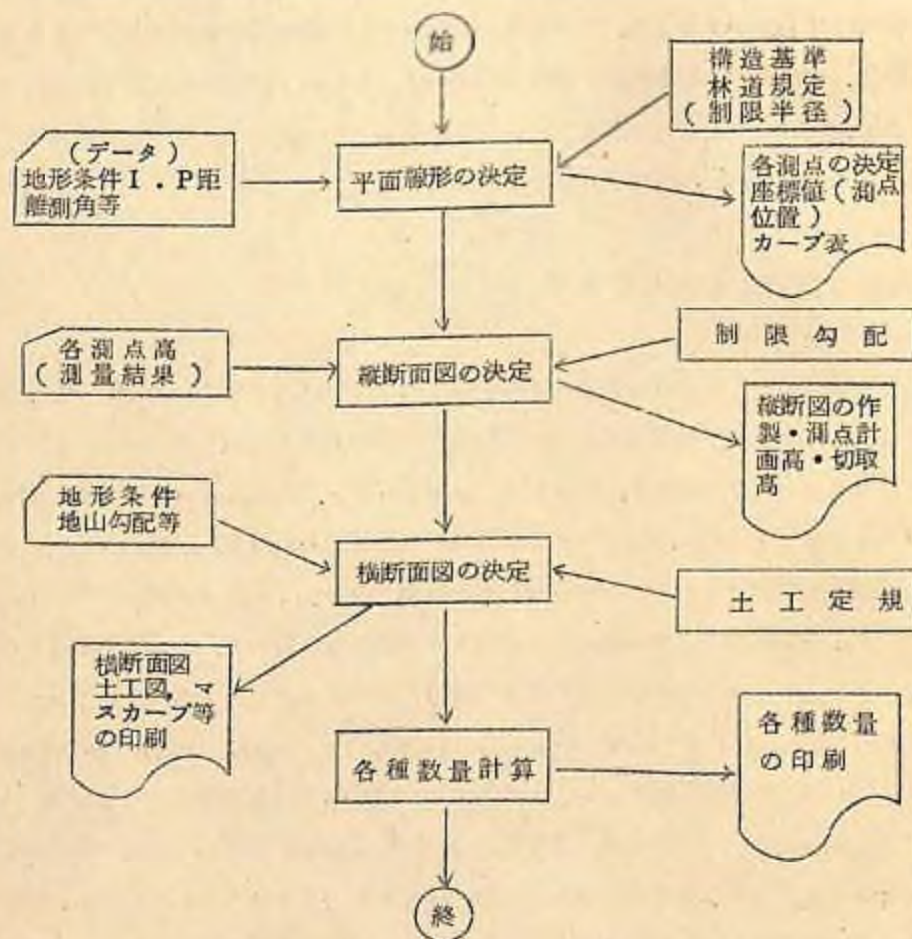
### 1. 試験の概要

電算機を用いての設計の自動化に関する手法の開発は、すでに一般道路の路線の計画及びその設計において空中写真を合わせ利用した研究が内外で進められている。そのおもなものは海外においてはアメリカ、フランス、スウェーデン、スイスにおいて進められ、とくにアメリカのMITのDr. Millerは数値地形モデル(Digital Terrain Model)を提唱し実用化をはかっている。これはIBM、マサチューセッツ州公共事業局、公共道路局、フォード財団などの援助を受け総額300万ドルを費やし、1967年末からIBMのプログラムライブラリーとして公表され実用に供された。すなわち、ICES ROADS (Integrated Civil Engineering System, Road Design System) として完成されている。もちろんこれは高速道路を対象にしたもので、一般道路とくに山岳地においては不適で、目下道路公団で修正検討中と聞いている。我国における研究は主として、東大生産技術研究所の丸安、中村を中心として行われた。これについて概説すれば空中写真より数値地形モデルを作成し、これを中心に概略設計を行なっている。この手



法は平面線形については座標値の算出、調整計算(クロソイド曲線等)、縦断勾配についてはその選定をダイナミックプログラミングにより試みているが、いずれも林道に対しては手法そのものが構造の著しい相違、山岳地などの影響により充分に使えず、とくに実施設計に対しては適用不可能である。ただ、路線計画のさいの空中写真を利用した手法は林道の場合も一部応用が可能と思われる。本研究は主として実施設計に当っての林道設計の技術向上、省力化、精度向上を目標に行なったもので、概略設計を終え実施測量時点より後の設計を電算機で行なわせようということである。林業土木に電算機を使用する試みは多少みられるがその多くは計算機としてのみの使い方である。本研究による電算機を用いた林道設計の全体の流れ図を示せば図-1のようになり、各作業は一つのサブシステムとしておのおの関連し、全体として一つのシステムを構成している。本方式による設計の考え方について概略を述べ

図-1 電算機による林道設計の流れ図



れば次のとおりである。

### 1-1 平面の設計

従来行なわれた線形の測点の取り方は、まずIP点で角度をはかりカーブ表を開いて、その地点のカーブを地形や他のIPとの関連を考えて決め、延長を計算して測点を決定するが、本方式による測点のとり方ではまずIP点を中心として起点よりの追加距離として点を設置していきこれを測点と考え、この測点について縦横断測量をし、これをデータとして電算機内でカーブの計算、測点の修正、場合によっては路線の修正等を行なう。現場における測量の手間を簡単にしようというねらいで、ここでの平面測量としてはIP間距離と交角法による角度のみを測量すればたり、他の方位角、内角、外角については電算機により求め、さらにIP点でのその地点における隣接のIPと地形に合った曲率半径をも決定し、測点、BC、MC、EC点あるいは測点の修正点の位置はもちろん、現地設定データについても電算機によって計算し、図化もこの座標値をもとに行なり。この平面の時点で決まったデータをもとに後述の計算が自動的に行なわれる。

### 1-2 縦断面の設計

縦断面における計画線を決定することが、本研究の主テーマであり、これが林道設計の土工に関する経済性あるいは技術的問題、走行性の点のすべての問題に対して大きな要因となるように考えられる。とくに林道は一般道路に比して制限内の範囲が広いためコストに大きな影響を与えるため、技術的にも施工維持に及ぼす影響が大きいと思われる。走行性については一般道路ではとくに問題が多く平面との関連等も検討されているが、林道の現状は設計速度も20km/時前後で問題が少なく、林道設計ではむしろ工費の点で影響が大きい。そこで本システムの目的としては、施工法と技術的問題を加味して土工量を最小にすること、あるいは切取、盛土を流用区間内でバランスを取ること等の経済的なメリットを最大にすることとした。

### 1-3 横断面の設計

横断面とくに土工横断面は路面保持に対して最も影響を及ぼすが、さらに設計の上でもすべてに関連をもち平面、縦断面といえども横断面の形状を無視しては行いえない。とくに切取高、盛土高と地形とのむすびつきの面で構造物の造成あるいは工費の増大、路面保持、安全性等に影響する。そこでこの関係について考究し、このような関連性のうえで構造上最適とする土工横断面が考えられるのではないかという点で検討し、標準化を試みた。問題は単独の土工横断面についてはこういった考え方の最適解が存するが、これのみで土



工基面を決定することはできず隣接あるいはある区間の横断面のすべてが相互にそれぞれ影響し合っているためこの問題は縦断、場合によっては平面にまで影響を及ぼすのである。この点についてはフィードバックにより解決を試みた。

## 2. 試験の経過

### 2-1 昭和44年度

当試験項目の初年度に当り林道事業に電算機を導入するため現在行なわれている業務について検討を行ない、電算機のもつ演算の高速性、情報の高処理能力、正確性、自動性といった特性を活かし、導入の可能性を調べた。また一般土木、その他の分野ですでに開発された種々のプログラムについての資料収集を行なった。構造物に対する土圧についてクーロンの土圧係数を林道に利用しやすい形で数表化し、さらに擁壁の設計及び転倒計算などの技術計算のプログラム化した。林道設計については土積数量計算のプログラム化を行ない、東京営林局水窪営林署内戸中山林道の設計数量計算を行なった。

### 2-2 昭和45年度

林道設計の自動化に手がけ、まず土工横断面についてその定式化をはかり、さらに土工基面の盛土、切土の判定、擁壁の有無などを自動的に判定させ、一つの土工設計を行わせるプログラムを作成した。縦断面については計画勾配決定方法を検討し、最小自乗法による三次曲線あるいは一次曲線の選択法から経済的合理的計画勾配決定の方法に関するプログラム開発を行なった。平面については曲線半径の自動的決定、曲線設置データ作製のプログラムを開発した。

### 2-3 昭和46年度

測量データからなる林道の実施設計について、平面図における路線線形、縦断面図における計画高、横断面図における土工設計、土工数量計算及びマスカーブ作製までの一連の作業を自動的に行なう総合プログラムを作成し、さらに平面図、縦断面図、横断面図、マスカーブについて、ラインプリンタによる図面作製用プログラムをも開発した。また平面の曲率半径の決定、縦断面の計画勾配についての決定方法の精度を上げ現地に合りように検討し、プログラムの修正を行なった。長崎県千々鶴林道、名古屋営林局第二樺谷林道、北海道白音林道についての測量結果をデータとしてこのプログラムについて計算した。

## 3. 試験の成果

昭和44年度、45年度については農林研究計算センタを通して日科技研の電子計算機OSBAC-8400モデル41を、昭和46年は統計調査部機械集計室の共同利用電算機

HITAC-8500を使用した。なおプログラム言語は現在もっとも普及し、技術計算に向いているFORTRANを使用した。林道設計のプログラム開発についてその成果を記すが、プログラムリストについては省略する。

### 3-1 基本的考え方及び理論式

林道設計の自動化プログラムに関する概略の考え方は前にもふれたが具体的な数式のおもな点を次に述べる。

#### 3-1-1 平面線形の決定

データとして、IPの測角、距離、測点により、曲線設定、測点位置を決定する。各IP点の交角法による角度(AN<sub>i</sub>)、方位角(AHO<sub>i</sub>)、外角(AGA<sub>i</sub>)、内角(ANA<sub>i</sub>)とすればそれぞれの値は図-2より解るように次式によって求められる。

$$AHO_i = AN_i + AHO_{i-1} - 180.0 \quad (1)$$

$$AGA_i = |180.0 - AN_i| \quad (2)$$

AN<sub>i</sub> ≥ 180.0 のとき

$$ANA_i = 360.0 - AN_i \quad (3)$$

AN<sub>i</sub> < 180.0 のとき

$$ANA_i = AN_i \quad (4)$$

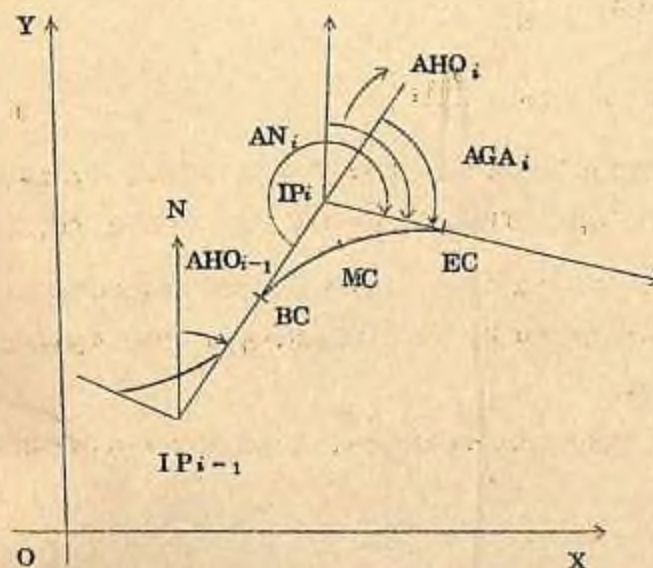


図-2 平面線形の因子



Rの決定は二通りの方法によった。すなわちデータとして推定のSL (External length) を与えて決める方法と内角に対する半径Rを標準化してこれによって求める方法である。

推定のSLによりRを設定する場合は (5)式によって求まり、このRはさらに10 m

$$R = \frac{SL \times \cos \frac{1}{2} AGA}{1.0 - \cos \frac{1}{2} AGA} \quad (5)$$

の単位に括約される。

次に内角に対する曲線半径を標準化する。これは実際の設計例についてもかなり相関関係があるので(6)式のような高次多項式により曲率半径を関数化し、決定したRについては前例と同様に10 m単位に決めた。

$$R = 150 + (x-800) \{ 0.2 + (x-1050) \{ 0.4 \times 10^{-2} + (x-1300) \{ 0.4 \times 10^{-4} + (x-1450) \{ 0.123 \times 10^{-5} + (x-1550) \{ 0.4 \times 10^{-7} + (x-1620) \{ 0.1404 \times 10^{-7} + (x-1660) \{ 0.3706 \times 10^{-8} + (x-168) \times 0.5412 \times 10^{-9} \} \} \} \} \} \} \quad (6)$$

Rが決定されればCL, TL, SLの値は次式により計算される。

$$CL_i = \pi \times R_i \times AGA_i / 1800 \quad (7)$$

$$SL_i = R_i / \cos \frac{AGA_i}{2} - R_i \quad (8)$$

$$TL_i = (R_i + SL_i) \times \sin \frac{AGA_i}{2} \quad (9)$$

これらはさらに次のような因子によってチェックされなければならない。それは隣接の曲線が重ならないことで、 $TL_i$  と  $TL_{i-1}$  の和は  $D_i$  よりかつ  $TL_i$  と  $TL_{i+1}$  との和は  $D_{i+1}$  より小さくなければならない。さらに制限半径のチェックについても同様であり、こうした一連の作業をプログラムで自動的に行い各IPに関する曲線表が完成される (図-3参照)。

作図のため各測点について座標値を求める必要があり、これは基準の測点の座標値を与えて次式により求める。

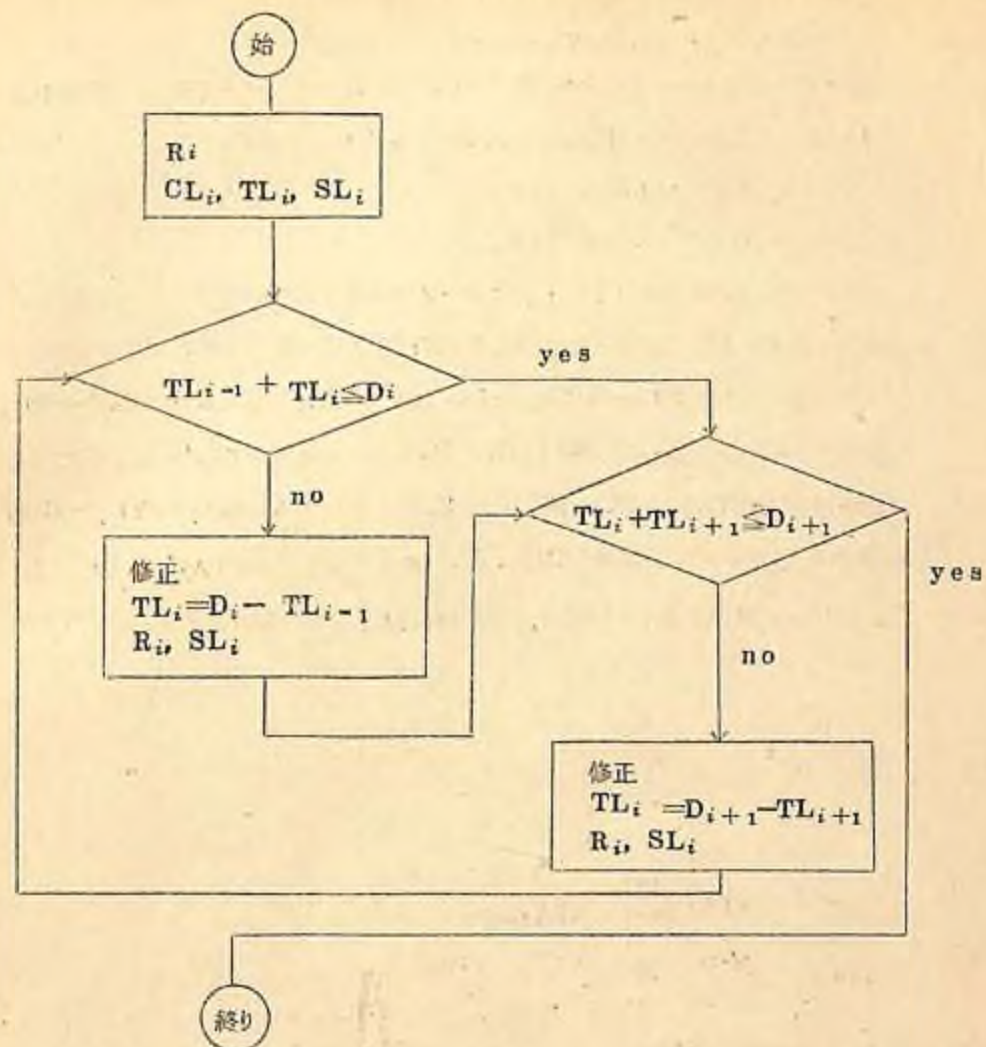


図-3 曲線半径の修正

注)  $TL_{i+1}$  については最小半径に対するTLである。

IP<sub>i</sub>点の座標値 (X<sub>IP<sub>i</sub></sub>, Y<sub>IP<sub>i</sub></sub>) は

$$\begin{cases} X_{IP_i} = D_i \times \sin AHO_{i-1} + X_{IP_{i-1}} \\ Y_{IP_i} = D_i \times \cos AHO_{i-1} + Y_{IP_{i-1}} \end{cases} \quad (10)$$

BC<sub>i</sub>, EC<sub>i</sub>点について同様に

$$\begin{cases} X_{BC_i} = (D_i - TL_i) \sin AHO_{i-1} + X_{IP_{i-1}} \\ Y_{BC_i} = (D_i - TL_i) \cos AHO_{i-1} + Y_{IP_{i-1}} \end{cases} \quad (11)$$



42

$$X_{MO_i} = SL_i \times \cos Z_i + X_{IP_i}$$

$$Y_{MO_i} = SL_i \times \sin Z_i + Y_{IP_i}$$

$$XB=R_i/\cos\beta=\text{ATAN}(XB), L_i=R_i\times\beta\text{とすれば}STA_{j'}=BC_i+L_i\text{となり}$$

STA<sub>j</sub>が  $BC_i + TL_i < STA_j \leq BC_i + 2TL_i$  のときは  $XX = BC_i + 2TL_i - STA_j$

$$XB=R_i/XX, \beta=ATAN(XB), L_i=R_i \times \beta \text{ となり } STA_{j'} = BC_i + L_i \text{ とな}$$

る。STA<sub>j</sub>がBC<sub>i</sub>より小さいとき、あるいはEC<sub>i</sub>より大きいとき修正は必要ない。

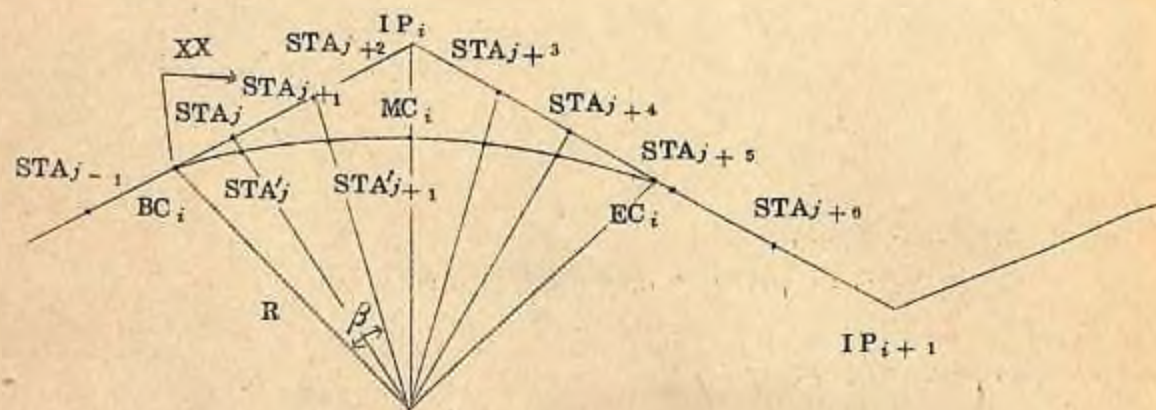


圖-4 測点の修正

$$\begin{cases} BC_i = EC_{i-1} + D_i + (TL_i + TL_{i-1}) \\ EC_i = BC_i + CL_i \\ MC_i = BC_i + CL_i / 2.0 \end{cases}$$

94

各測点の座標値を求めると、 $STA_j$ が $EC_{i-1}$ より大きく $BC_i$ より小さいとき、

$$T = STA_j - EC_{i-1} + TL_{i-1} \text{ とすれば}$$

$$\begin{cases} X_{STA}^j = T \times \sin AHO_{i-1} + X_{IP}^j \\ Y_{STA}^j = T \times \cos AHO_{i-1} + Y_{IP}^j \end{cases} \quad (5)$$

となり  $STA_j$  が  $EC_i$  と  $BC_i$  の間にあるときは  $B = (STA_j - BC_i) / 2 R_i$

$$RL=20 \times R_i \sin B, \quad AN_i \leq 180 \text{ のとき } A=AH O_{i-1}+B, \quad AN_i < 180 \text{ のとき}$$

$$A = AHO_{i-1} - B \text{ とすれば}$$

$$\begin{cases} X_{STAj} = RL \sin A + X_{BCi} \\ Y_{STAj} = RL \cos A + Y_{BCi} \end{cases} \quad (10)$$

となる。 $STA_j$ が $EC_{i-1}$ より小さいときあるいは $EC_i$ より大きいときは次の段階で求められる。

## 3-1-2 縦断面の決定

地盤高と測点間距離をデータとして、これをもとに前述の目的に合う計画勾配を決定する方法で、具体的には最小自乗法によって一次直線と三次曲線に回帰させ検討した。

三次曲線にあてはめる場合は回帰曲線を(4)式とし、起点からの測点までの距離を $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ , そのときの地盤高

$$\hat{y} = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 \quad (17)$$

を  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_i, \dots, Z_n$  とするとこのときの(17)式を求めるにはこれより(18)式を作り,

$$\begin{cases} A + Bx_1 + Cx_1^2 + Dx_1^3 = Z_1 \\ A + Bx_2 + Cx_2^2 + Dx_2^3 = Z_2 \\ \vdots \\ A + Bx_n + Cx_n^2 + Dx_n^3 = Z_n \end{cases} \quad (19)$$

さらに正規方程式(9)式を求めこれより係数



$$\begin{cases} nA + \sum xB + \sum x^2 C + \sum x^3 D = \sum z \\ \sum xA + \sum x^2 B + \sum x^3 C + \sum x^4 D = \sum xz \\ \sum x^2 A + \sum x^3 B + \sum x^4 C + \sum x^5 D = \sum x^2 z \\ \sum x^3 A + \sum x^4 B + \sum x^5 C + \sum x^6 D = \sum x^3 z \end{cases} \quad (19)$$

A, B, C, Dを求める。計画高は起点からの距離 $x_i$ を(17)式に代入してそのときの $y_i$ の値を求めればよい。図-5のようにこれと地盤高 $Z_i$ との差 $\varepsilon_i$ が求める切取高あるいは盛土

$$y_i - Z_i = \varepsilon_i \quad (20)$$

高で、この計画線は適用範囲において切、盛高の自乗和が最小のものである。

一次回帰による場合は前例と同様に各測点 $x_i$ と $Z_i$ について計画高を求めるが、初期計画高を $b_0$ 、計画勾配を $a$ とすれば求める計画線は(21)式のように表わせる。

$$y = ax + b_0 \quad (21)$$

これを最小自乗法により

$G = \sum (y_i - Z_i)^2 = \sum \varepsilon_i^2$  を最小にする $a$ を求める。すなわち $G$ を微分すると $a$ は(22)式のように求められる。

$$a = (\sum x_i y_i - b_0 \sum x_i) / \sum x_i^2 \quad (22)$$

この場合全区間単一の勾配であることは土量の流用、地形の起伏などから考えられず、同一勾配の取り得る区間について決定しなければならない。そこで同一勾配の区間としてはブルドーザの流用距離、車両の走行を考えて地形に合った区間を電算機によって選択させ決定することを試みた。図-6のごとく、区間を $x_0 \sim x_n$ とし、(22)式より求めた勾配を $A_1, A_2, A_3$ とし各区間の推定分散 $S^2$ を(23)式より求め、その値が最小の区間を選び、このときの勾配がもっとも切盛が小さく地形に合った区間と決めた。

$$S^2 = \sum \varepsilon_i^2 / (M - N) = \sum (y_i - ax_i - b_0)^2 / (M - 2) \quad (23)$$

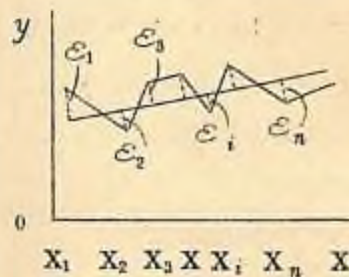


図-5 計画線決定の原理

### 3-1-3 土工横断面図及び

#### 土工数量計算

土工横断面図を模式的に表わす Y と図-7 に示す通りで、各点を断面面積及び設計計算のため XY 座標値として表わした。各点のとり方は道路施工路面の中心に原点(0)

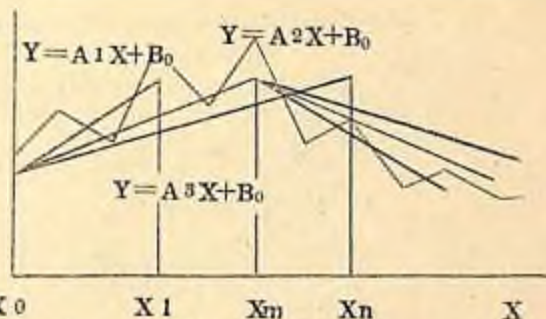


図-6 区間と勾配の決定方法

を置き右に右道路幅員をとった路肩(B), 同様にして路肩(C),

法頭, 法尻をA, Dとすれば地盤線をAD, 法をAB, CDと表わせる。また左側法勾配( $\rho_1$ ), 右側法勾配( $\rho_2$ ), 左道路幅員( $l_1$ ), 右道路幅員( $l_2$ ), 拡幅( $p, l$ )とすれば、上述の各、法勾配、地盤線、路面は(24), (25), (26), (27)式のごとく表わせる。なおこれら変数の値はそれぞれ正の値、負の値によって表-1のようになる。

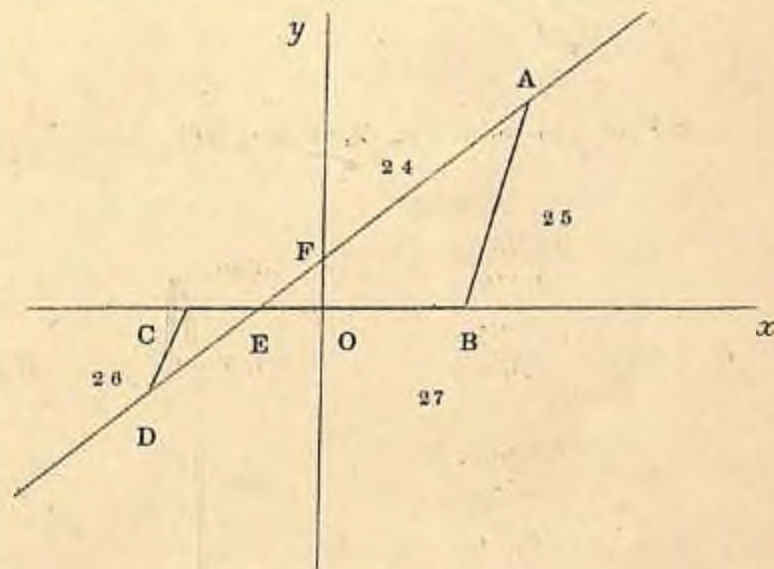


図-7 土工横断面図



表-1 土工横断面における変数の表現法

	正 (+)	負 (-)
$a$ (地盤勾配)	右上り	右下り
$v$ (切取盛土高)	切取高	盛土高
$\rho_1$ (左法)	盛土法	切取法
$\rho_2$ (右法)	切取法	盛土法
$l_1$ (中心線より左路巾)		負
$l_2$ (中心線より右路巾)	正	
$pl$ (拡幅)	右側拡幅	左側拡幅

$$-ax + y = v \quad (24)$$

$$\rho_1 x - y = \rho_1 l_1 \quad (25)$$

$$\rho_2 x - y = \rho_2 l_2 \quad (26)$$

$$y = 0 \quad (27)$$

図-7の各点A, B, C, D, E, Fの座標値は上述の式から求めると図のように求まる。

$$A \begin{cases} Ax = \frac{v + \rho_1 l_1}{\rho_1 - a} \\ Ay = \frac{\rho_1 v + a \rho_1 l_1}{\rho_1 - a} \end{cases} \quad B \begin{cases} Bx = l_1 \\ By = 0 \end{cases} \quad C \begin{cases} Cx = l_2 \\ Cy = 0 \end{cases} \quad (28)$$

$$D \begin{cases} Dx = \frac{v + \rho_2 l_2}{\rho_2 - a} \\ Dy = \frac{v \rho_2 + a \rho_2 l_2}{\rho_2 - a} \end{cases} \quad E \begin{cases} Ex = \frac{v}{a} \\ Ey = 0 \end{cases} \quad F \begin{cases} Fx = a \cdot 0 \\ Fy = v \end{cases}$$

次に、以上の座標値をもとに土工横断面図の設計、断面積の計算を行なう。

自動的に土工横断面図を決め、断面積、法長を計算するためには与えられたデータによってタイプ分けして考える必要があり、これらを図-8のとおり4つの型に分類した。型の適用は、データにより式からEx, Bx, Cxを求め、図-9のようにEx, Bx,

図-8 土工横断面図の標準の型

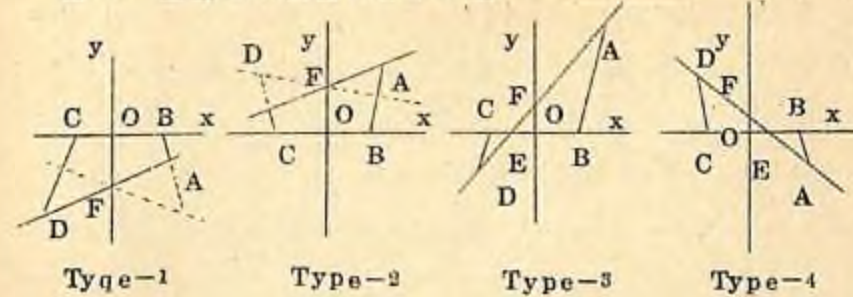
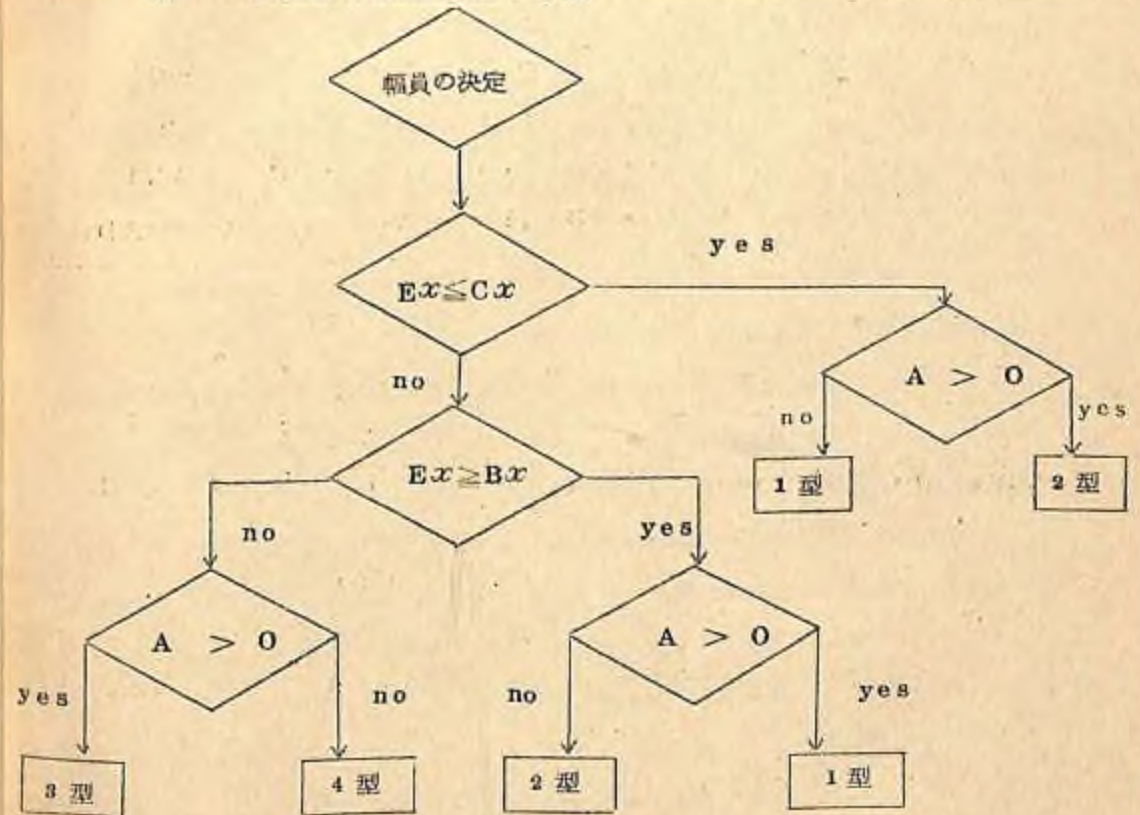


図-9 土工横断面図の型の分類



Cxを比較してExがBxより大きく地山勾配が正の場合には1の型、Aが負の場合は2の型、ExがCxより小さくAが正の場合は2の型、Aの負の場合は1の型、ExがBxとCxの間にあり、Aの値が正の場合は3の型、負の場合は4の型となる(図-9)。側溝の有無、横断土工の型が決まればそれに応じてあらかじめ与えられた構造基準(土工定規)によって、切取法、盛土法、側溝の有無、道路幅員が決まる。各タイプ別の側



溝数 (SOK), 左側法勾配 (ROUL), 右側法勾配 (ROUR), 左側路肩座標 (SL), 右側路肩座標 (SR) は土工定規よりの盛土勾配 (GB), 切取勾配 (GC), 側溝上巾 (SDD), 左側道路幅員 (AL1), 右側道路幅員 (AL2) から表-2 のように決まる。

表-2 土工横断面の型による各因子の値

タイプ (N)	1	2	3	4
側溝 (SOK)	0.0	2.0	1.0	1.0
左側法勾配 (ROUL)	+GB	-GC	+GB	-GC
右側法勾配 (ROUR)	-GB	+GC	+GC	-GB
左路肩座標 (SL)	AL1+SDD	AL2	AL2+SDD	AL1
右路肩座標 (SR)	AL2-SDD	AL2	AL2	AL2-SDD

以上決定された因子について適切であるかどうかの検討を行なう。たとえば法勾配が地山勾配より緩な場合は法が止まらないので法止工等を行うことになる。

このように各因子が最終的に決められタイプ分けされると、図-7の各点の真の座標値  $A(A_x, A_y)$ ,  $B(B_x, B_y)$ ,  $C(C_x, C_y)$ ,  $D(D_x, D_y)$ ,  $E(E_x, E_y)$ ,  $F(F_x, F_y)$  が求まる。

図-8において四辺形ABCDの面積 (SS), 三角形CDEの面積 (SA), 三角形ABEの面積 (SB) はそれぞれ (29), (30), (31) 式によって求まる。

$$SS = \left\{ |(A_y + D_y) \times (A_x - D_x)| - |(A_x - B_x) \times (A_y - B_y)| - |(C_x - D_x) \times (D_y - C_y)| \right\} / 2.0 \quad (29)$$

$$SA = |(B_x - E_x) \times A_y| / 2.0 \quad (30)$$

$$SB = |(E_x - C_x) \times D_y| / 2.0 \quad (31)$$

又法長 AB, CD は

$$AB = (A_x - B_x)^2 + A_y^2 \quad (32)$$

$$CD = (C_x - D_x)^2 + D_y^2 \quad (33)$$

これらの値に関する切取, 盛土の区分は図-8の土工の型によって表-3に示す。

さらにこの決定された数量をもとにそれぞれの設計示方書に合った積算方法を用いて土工数量計算からマスカープの計算までを行なう。なお, このプログラムは東京営林局

表-3 タイプ別による切取, 盛土区分

タイプ (N)	1	2	3	4
切取断面積 (CA)	0.0	SS	SA	SB
盛土断面積 (BA)	SS	0.0	SB	SA
切取法長 (CL)	0.0	AB+CD	AB	CD
盛土法長 (BL)	AB+CD	0.0	CD	AB

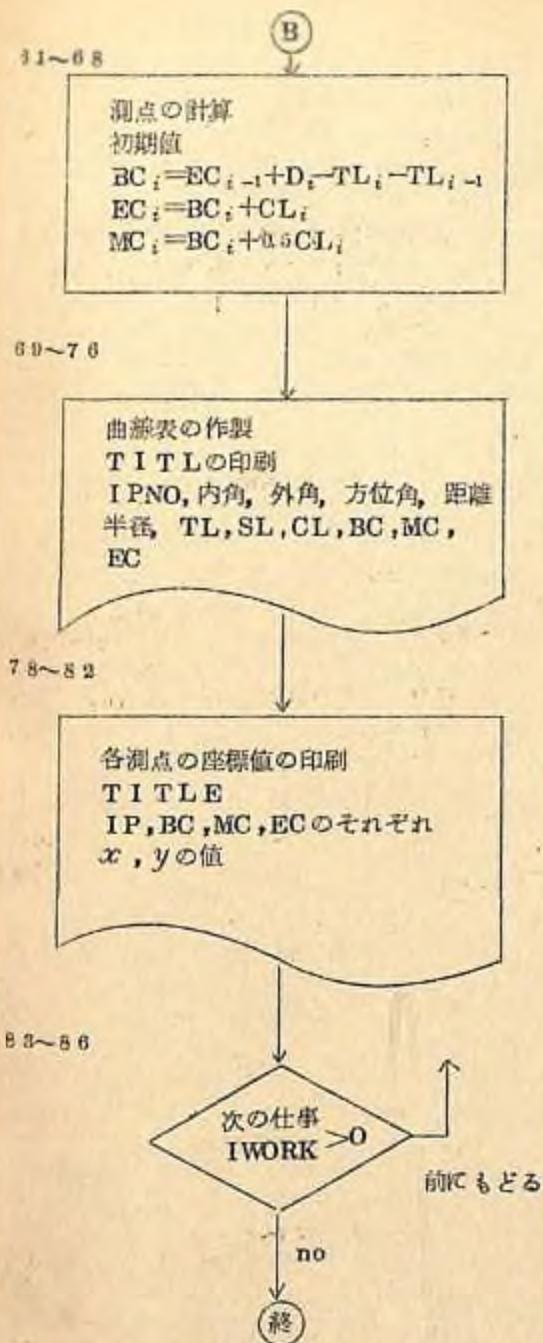
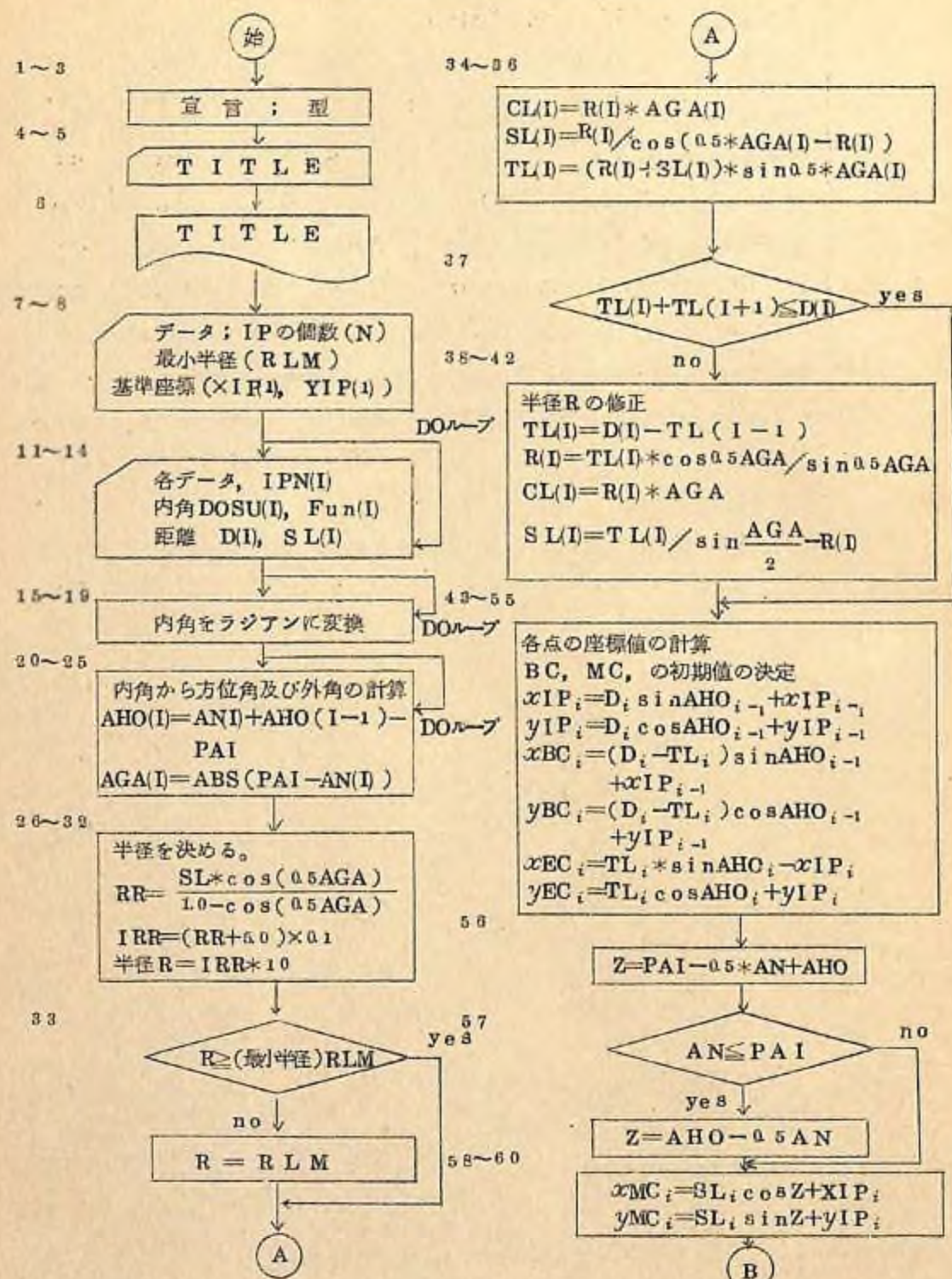
の方式によった。また, 上述の横断面における各点は座標値として表現したので, この値を図点に表わし, それを相互に線で結ぶことによって作図が可能である。従って, XYプロッタを用いれば, 自動図化は可能であるが本例についてはラインプリンタによって図化を試みた。

### 3-2 プログラムの流れ図

以上についてそれぞれの関係を流れ図に示せば次の通りになる。肩の数字はプログラムリストの行数である。



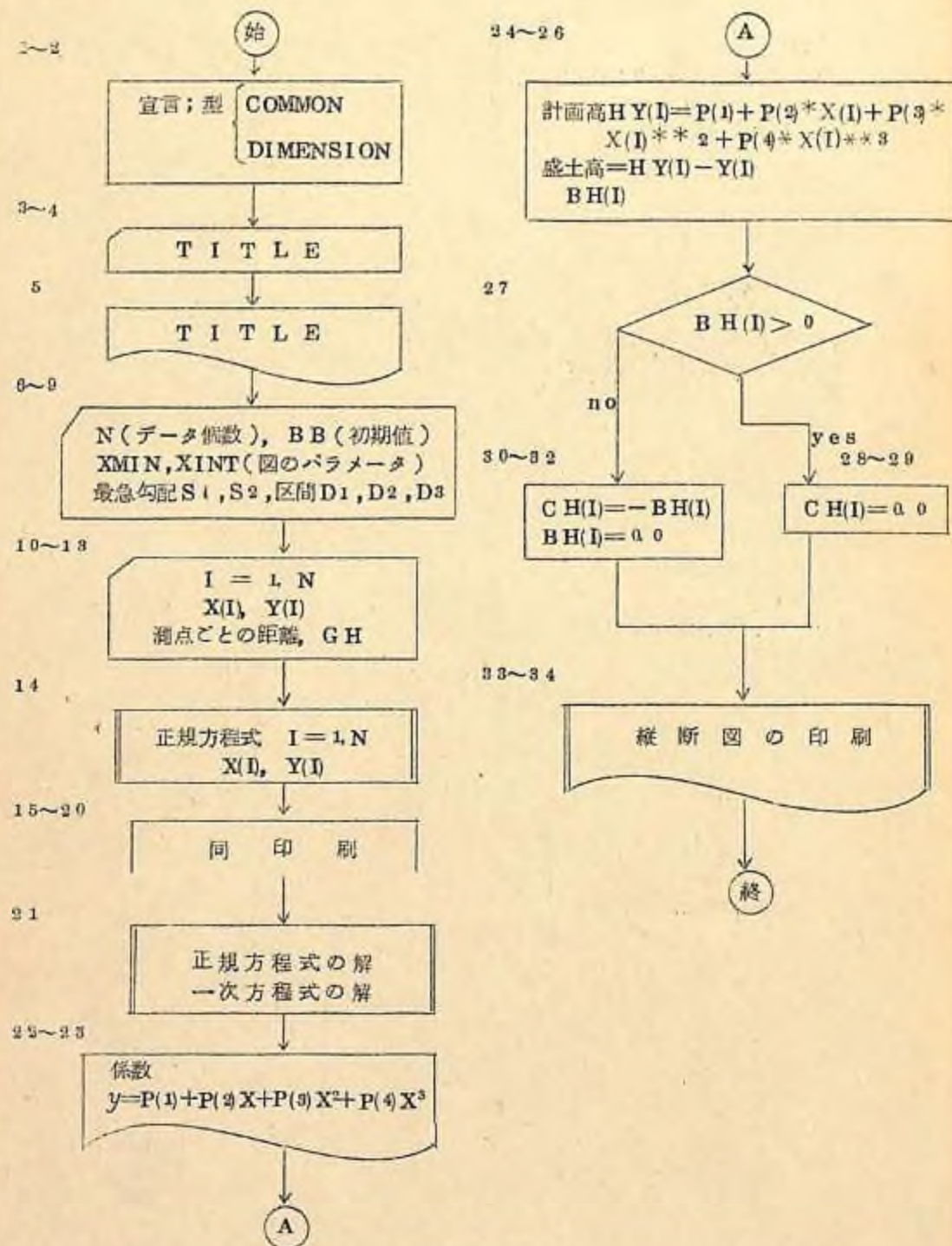
3-2-1 平面線形の決定



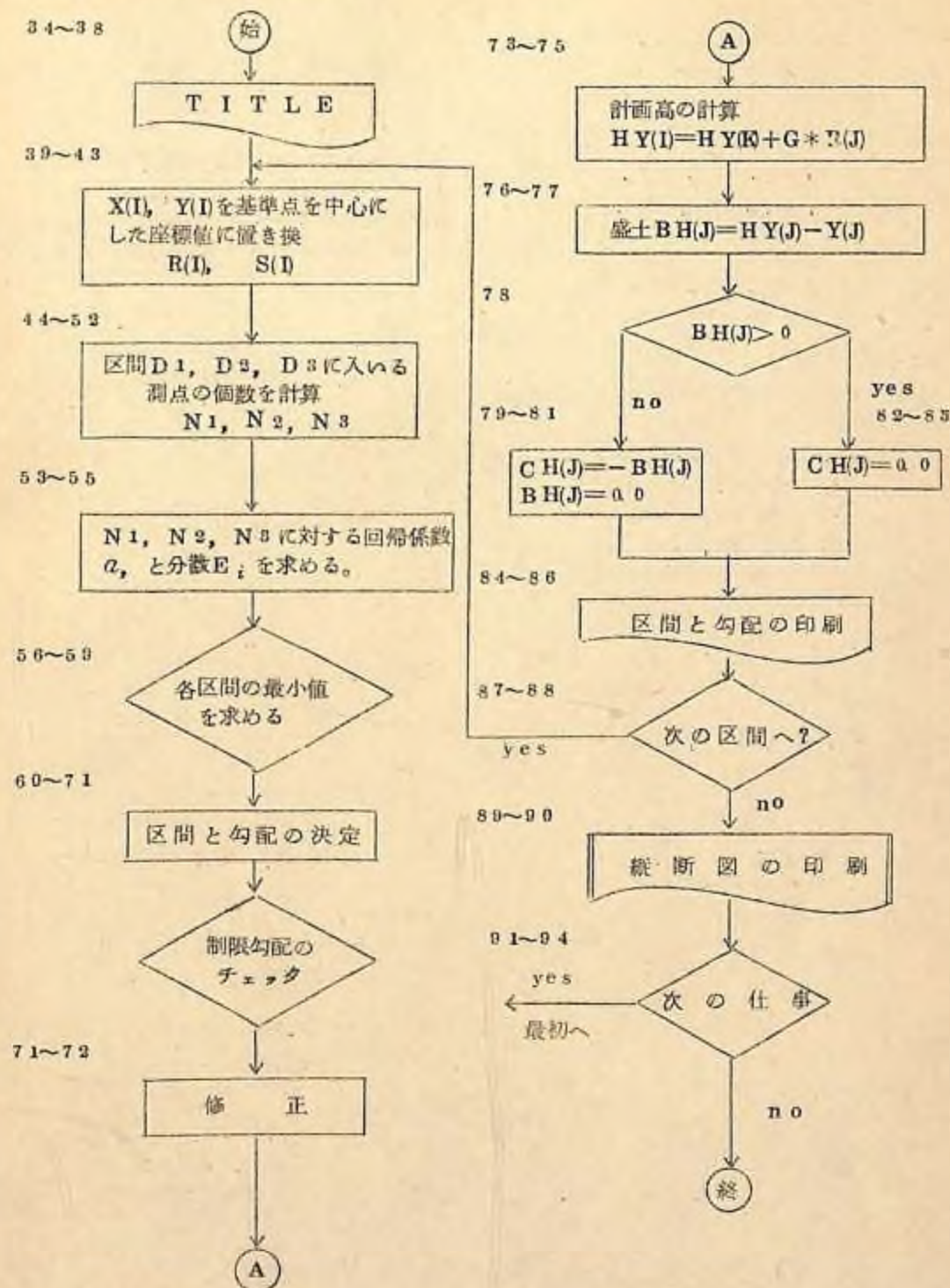


8-2-2 縦断面の決定

[三次曲線回帰による場合]

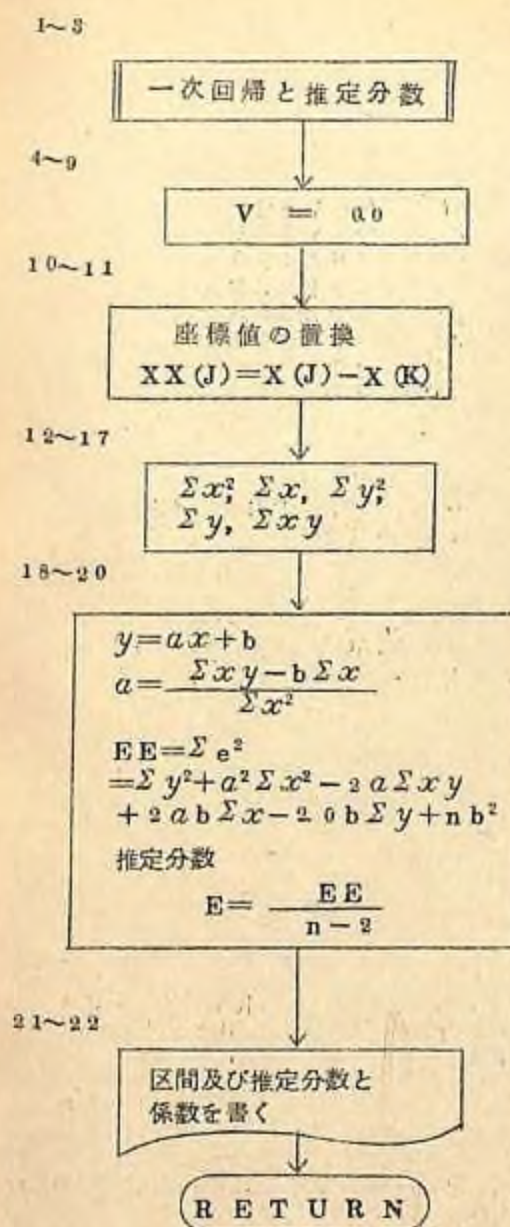
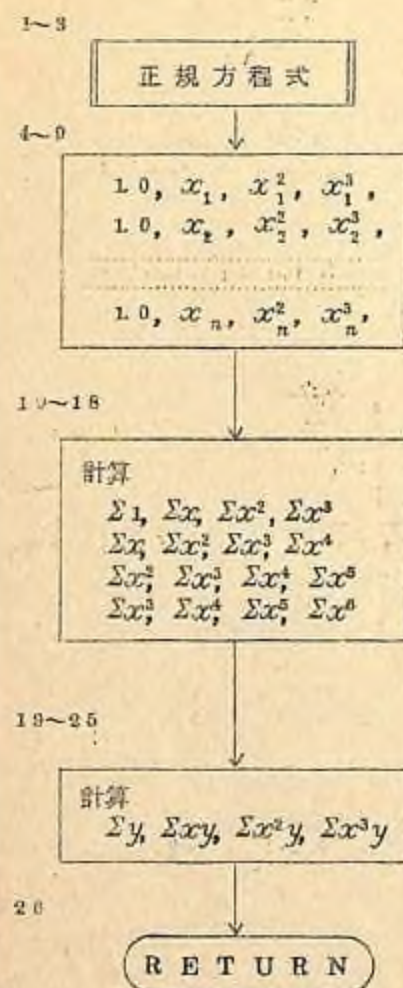


[一次回帰による場合]

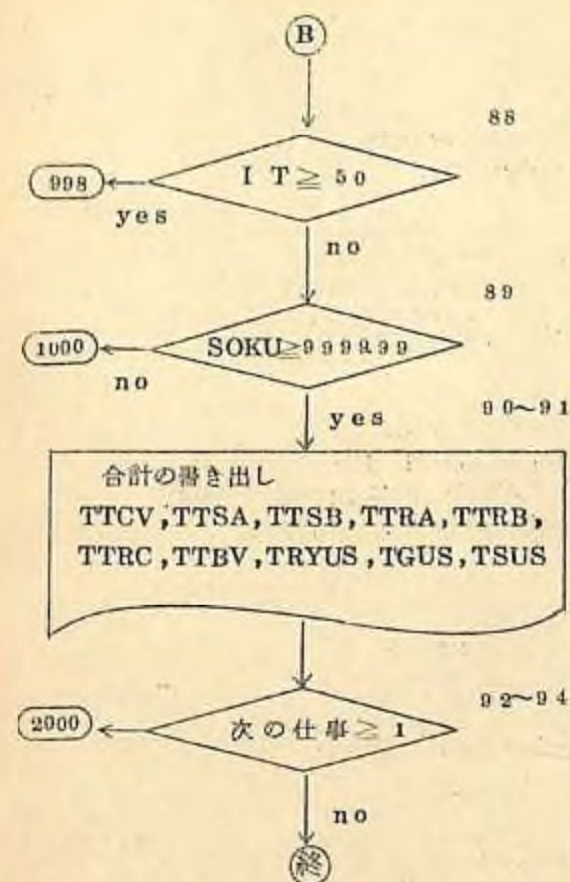
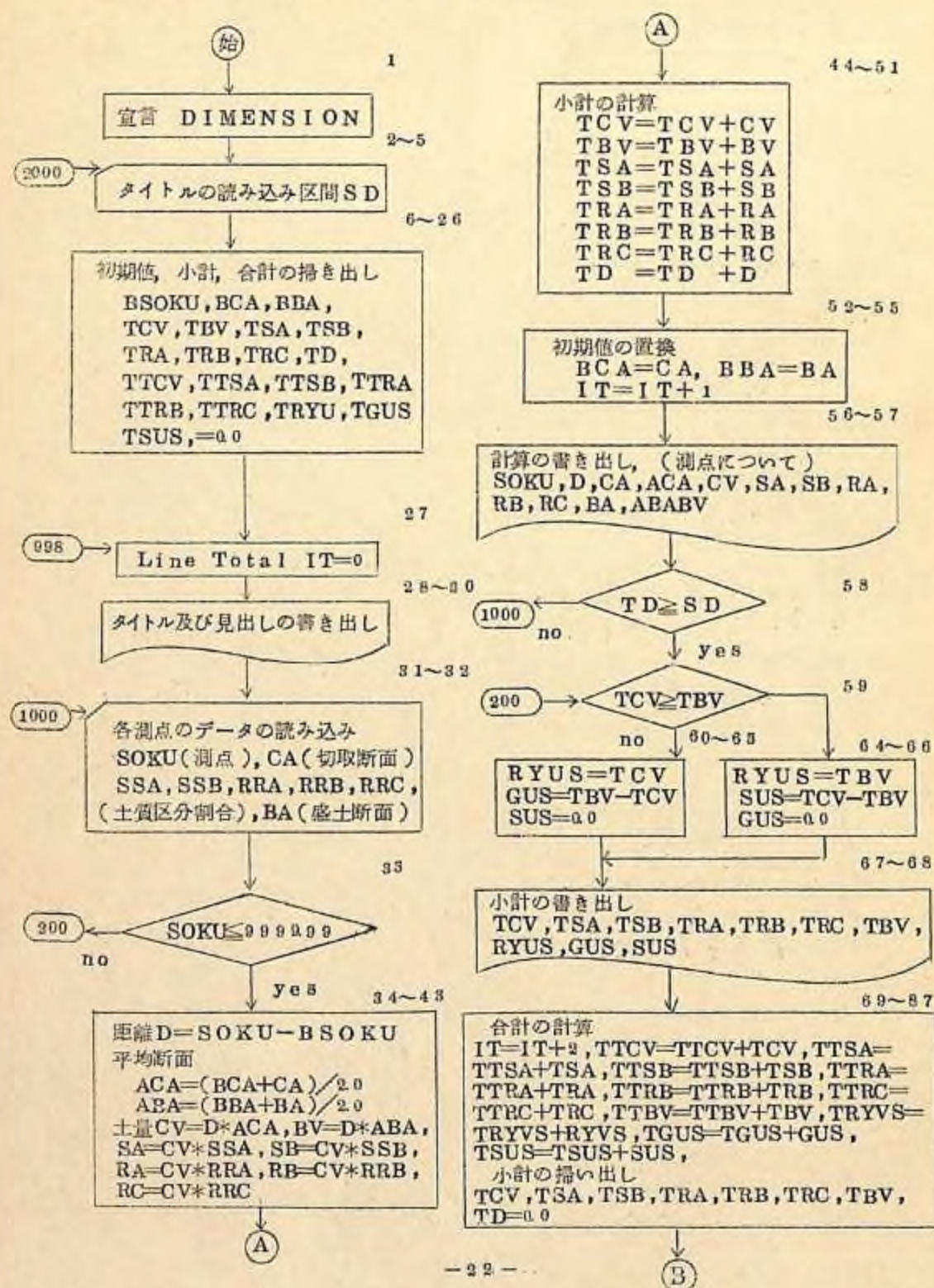




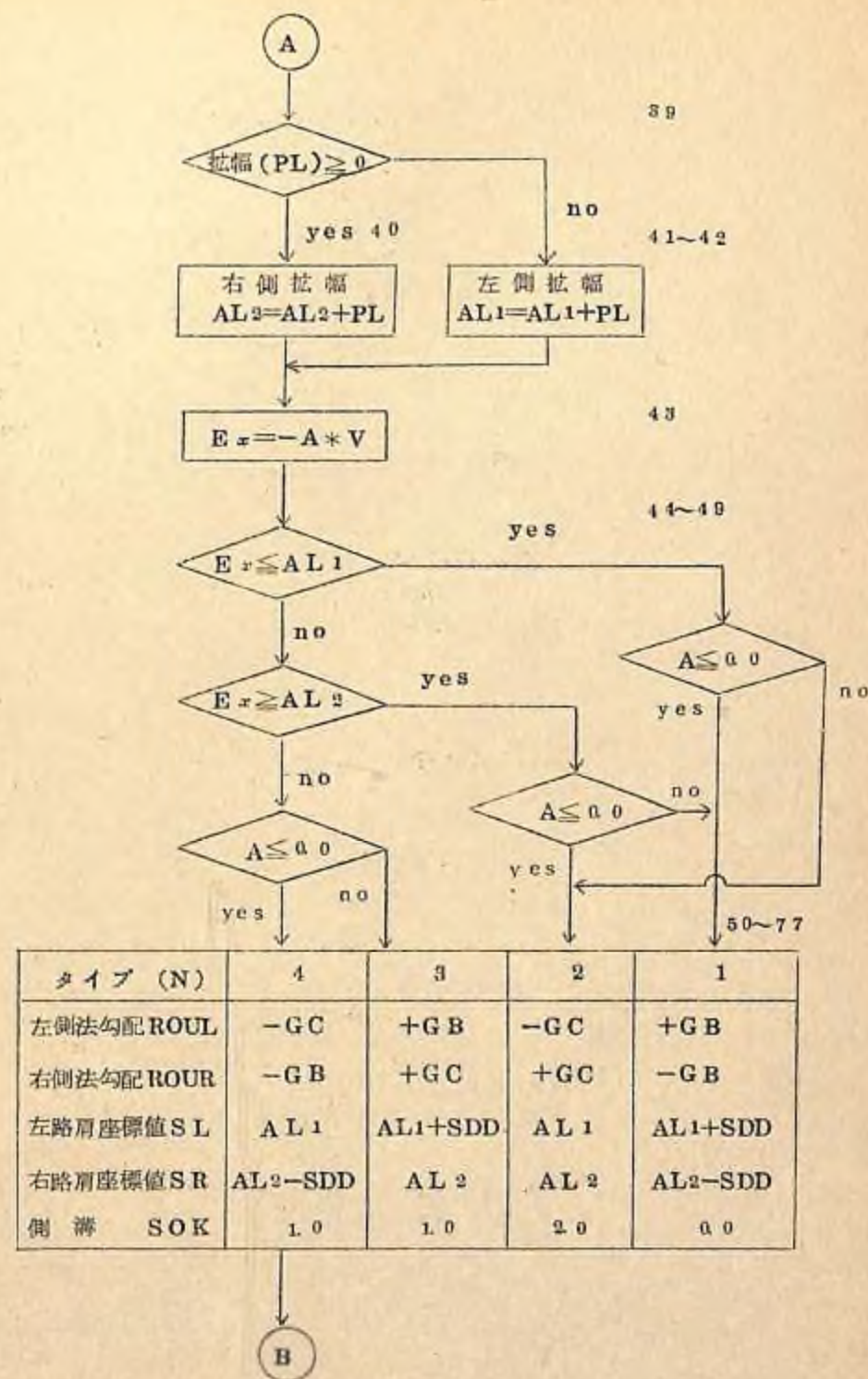
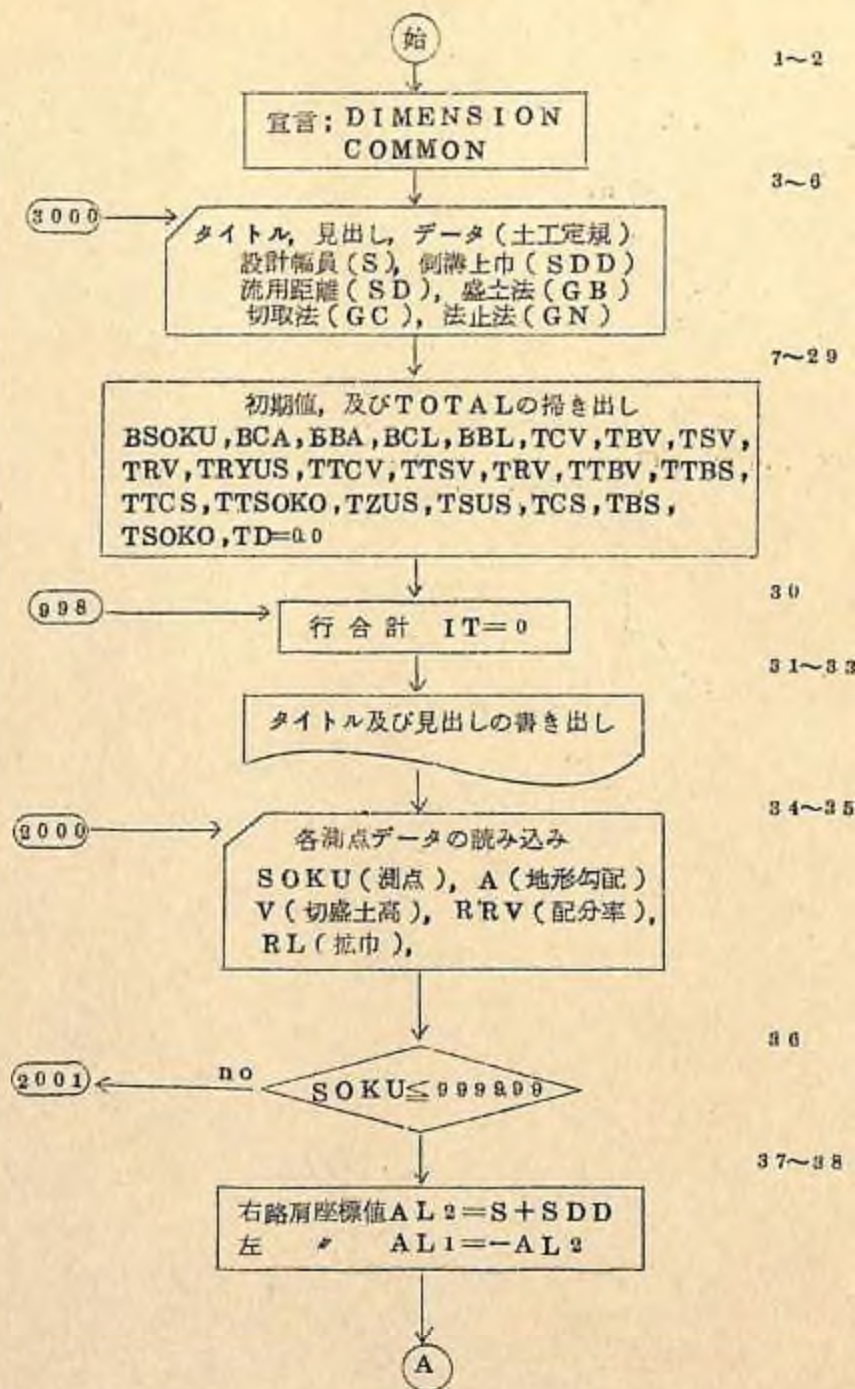
[ 副 プ ロ グ ラ ム ]







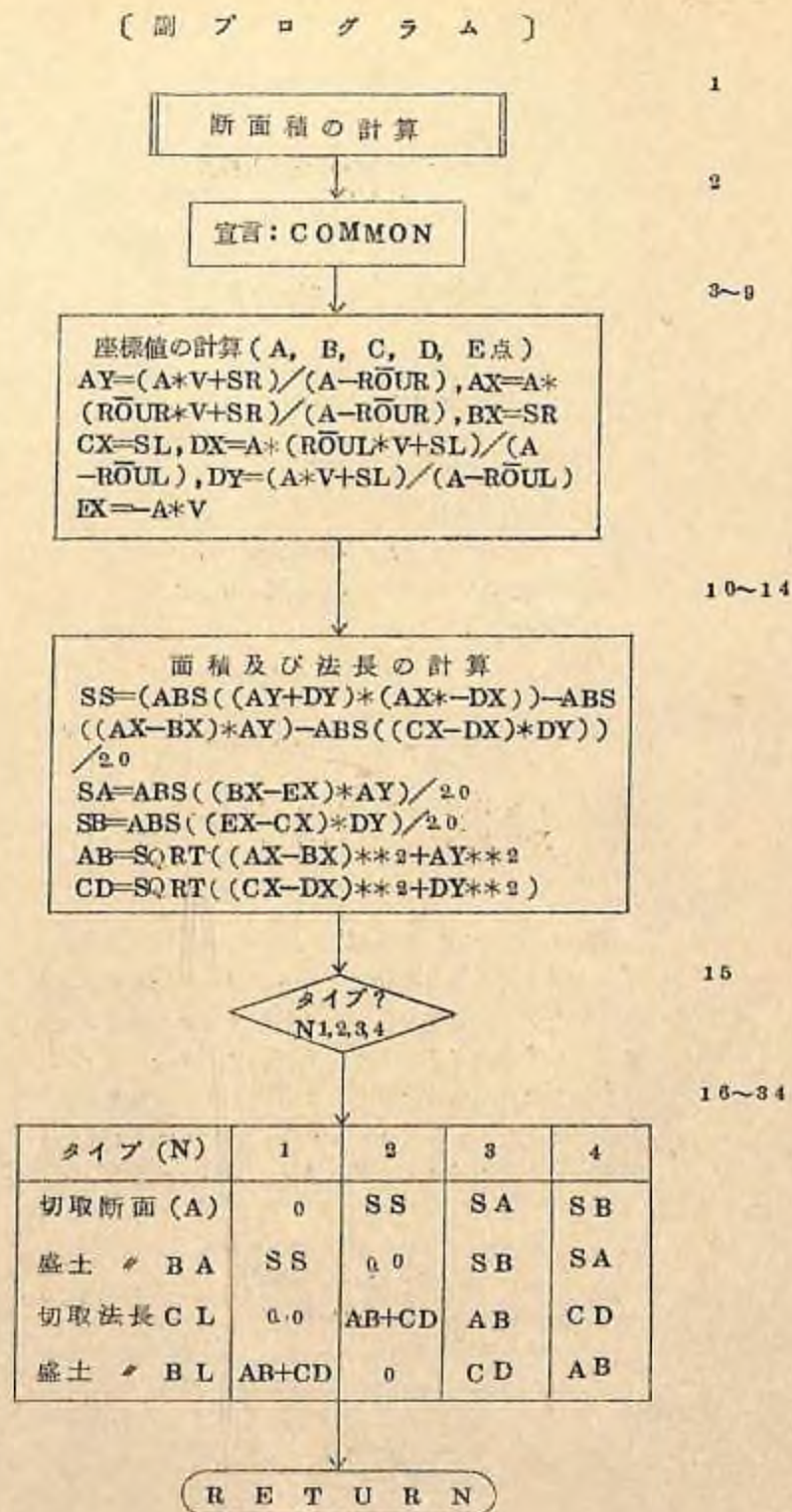
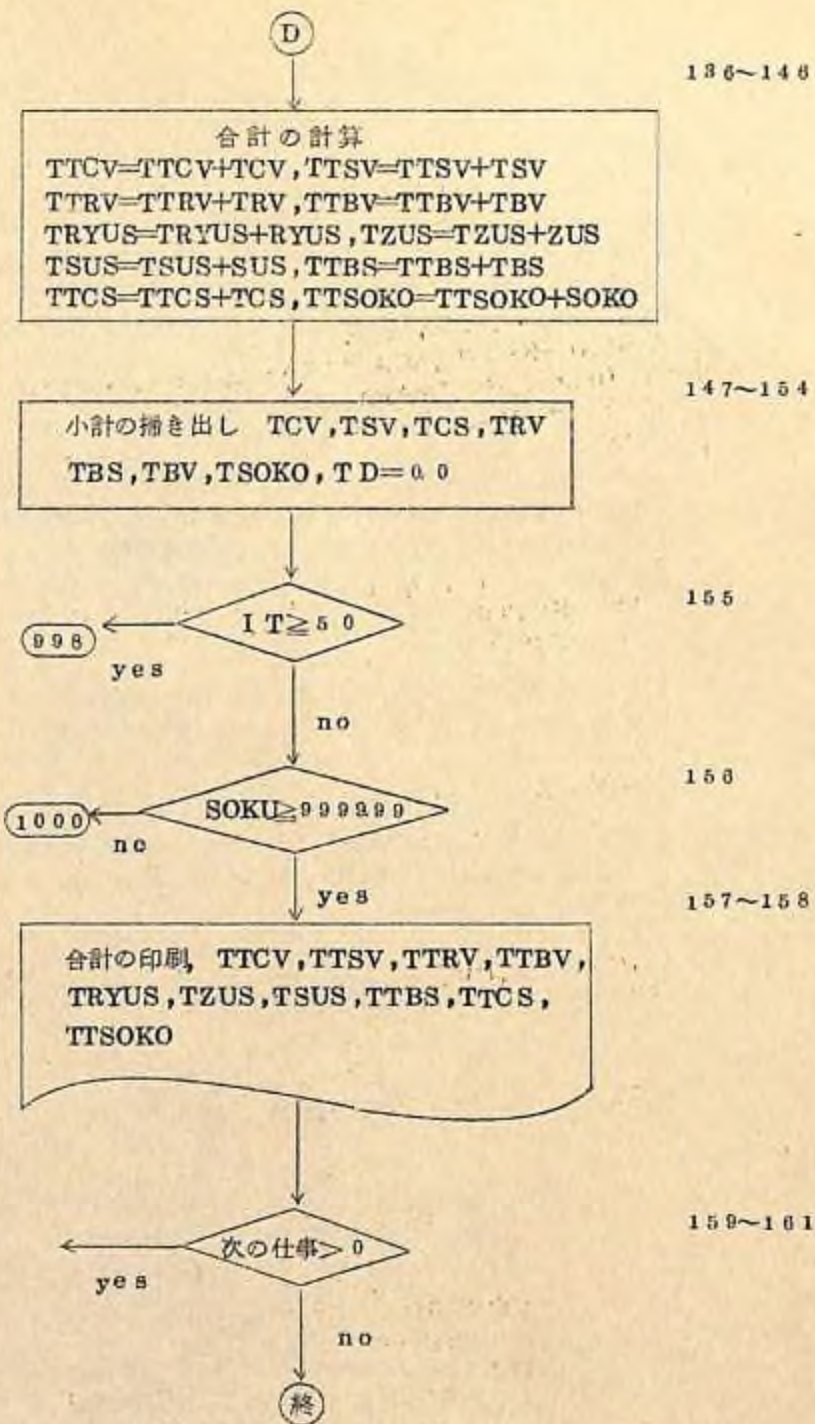
















上述した各林道設計に関する総合プログラムデータの書き方は付表-1の要領によるが、注意すべき点はタイトルについて2~30まで何を書いてもよいことである。測点の添加距離は何mおきでもよいがカーブの部分が引かれぬ数値である。角度は交角法による値を取る。データは10カラムずつで実数の場合は左端より書き整数は右側につけて書く。ただし、IPと測点の番号だけは左側でよい。地盤線のデータは地山勾配の割分の形で書き右上りのとき正、右下りのとき負で表わす。縦断のデータにおける選択範囲は80~200mぐらいの目安がよいと思われる。IPの数の限度は50点、測点は100点でIPの初期値の内角は方位角を用いる。

## 3-4 計算結果及び考察

このプログラムによって、測地の測量データをもとに設計を行なってみた。場所は東京営林局戸中山林道、名古屋営林局第一根谷林道、北海道白音林道、長崎県千々線林道である。このうち長崎県の千々線林道について示すと、区間はNa.1~Na.51の1kmで比較的平坦な地形であり、その傾斜は平均10°前後、もっとも急なところで30°である。現場技術者による設計と比較しつつ、この計算例の結果について考察を加える。

## 3-4-1 平面線形

おもに曲率半径の決定と曲線設置データについてがその中心であるが、先に上げた二方法のうち推定のSLを与えて計算する方法は現場の設計に近い現地地形に合った値が得られ、ほとんど問題はないと思われる。他方、標準値をもとに曲率半径を与える方法はその値のとり方にもよるが、内角に対して曲率半径を標準化することによって走行性に対してかなりよい結果をみたが、この方法はいずれも局所地形に対する情報が少ないために、ともすると不適な結果の起る場合があった。後者の方式による計算結果を表-4に示す。

## 3-4-2 縦断線形

先に示した方式に従って電算機により自動的に作られた縦断線形と現場技術者によるものの比較を図-10に示すとAの3次曲線による計画線はなめらかな走行性に良好であり、比較的現場で行なわれた線形(C)に似ている。切盛の現われ方についてはBの一次回帰による計画線がよく地形に合った切盛は平均的であるが、一部走行の面で不適である。なお、これら三方法についての土積数量計算結果を示すと表-5のとおりである。これによると当初目的である切盛の平均化はA、Bともに目的を達成している。



表-4 自動設計による曲線表と現場設計による曲線表

IPNO	データとして用いた値		自動設計による計算結果							
	交角	距離	外角	方位角	半径	T・L	S・L	C・L	IP(x)	IP(y)
1	140	0	140	140					10000	10000
2	232	50.2	52	192	220	110.4	255	205.4	13227	6155
3	62	36.0	118	74	150	249.6	14.12	3089	12478	2633
4	237	71.2	57	131	575	310.9	789	569.6	19323	4506
5	122	30.4	58	73	150	831	215	1518	22206	2011
6	191	33.0	11	84	900	867	042	1728	25990	3122
7	206	58.0	26	110	500	115.4	132	2260	31698	3728
8	161	94.5	19	91	600	100.4	083	1900	40578	496
9	201	68.5	21	112	500	927	055	1833	47227	380
10	207	60.5	27	139	500	1200	142	2356	52837	-1887

IPNO	現場設計			
	半径	T・L	S・L	C・L
1				
2	200	9.8	2.3	18.2
3	150	24.9	14.1	30.8
4	400	21.7	5.5	30.8
5	200	11.1	2.8	20.2
6				
7	800	8.4	2.1	86.2
8	800	13.4	1.1	26.6
9	1000	18.5	1.7	36.6
10	600	14.4	1.7	28.2

図-10 三方法による計画線を入れた縦断面図

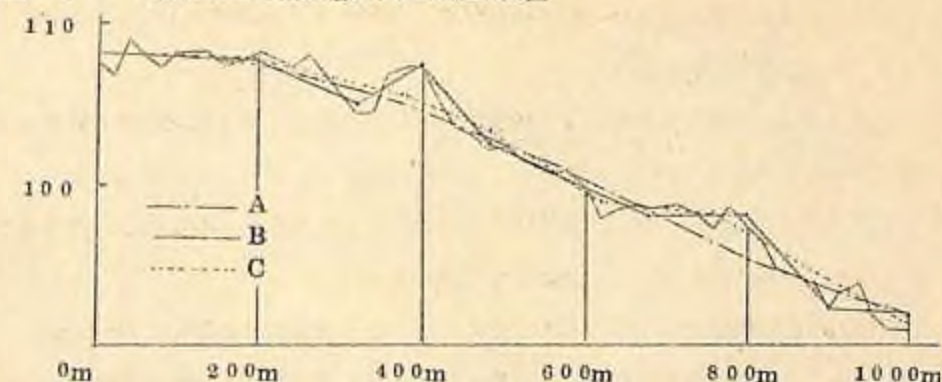


表-5 土積数量の比較表

	切取 (CV)	盛土 (BV)	流用 盛土(RV)	純 盛土(JV)	捨土 (SV)	CV+BV	BV/CV	RV/BV
三次回帰による(A)	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$		
一次回帰による(B)	6271.9	6461.8	1704.0	4757.7	4566.9	12732.8	1.030	26.4%
現場の設計による(C)	4940.9	4957.6	1790.6	3167.0	3150.3	9898.5	1.003	36.1%
	3787.4	7010.8	2230.5	4771.3	1548.0	10779.2	1.851	31.9%

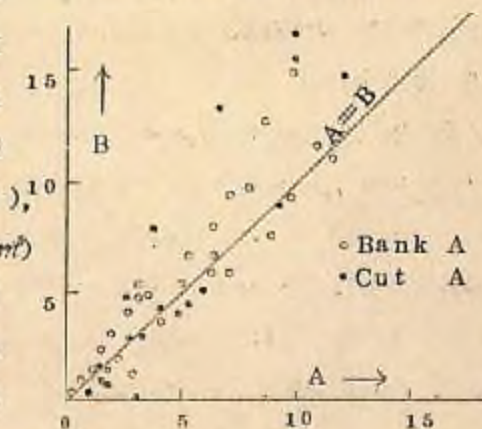
注：流用盛土とは平均運搬距離30m以内、純盛土はその他の場合をいう。

土量の流用についてはBが最もよくAがもっともわるい。これらの計算例から推察できることは林道の場合、Bの一次回帰によって区間距離を選択する方法が工費の面で最も有利と思われる。したがって縦断面図の計画線を自動的に決めていく方法としてはこれが適切であろう。

図-11 現場設計による土工断面積(A)と自動設計による土工断面積(B)の対比

3-4-3 横断面図及び土工数量計算

図-11は土工横断面図の断面積について現場設計と対比させて示したものである。土積数量計算の結果は総切取量3787.4 $m^3$ (現場設計3816.1 $m^3$ )、総盛土量7010.8 $m^3$ (同じく5988.0 $m^3$ )であった。現場設計との違いはデータの与え方にあるが最も手数のかかる土工横断面の設計自動化については一応





の成功をおさめている。以上、平面から横断土工数量計算結果までの一連のアウトプットについて、その一部を長崎県千々線林道の一部テストデータにより付表-2に示す。

### 3-5 まとめと今後の問題点

これまで述べてきた電算機による林道設計の一連作業に関する総合的自動化プログラムを開発するにあたって生じたかなり期待が持たれる項目は次のとおりである。

- 1) 曲線設置のための諸計算、及び測点設置のデータを正確に与えることができるため従来の平面測量方法についての簡便化も可能である。
- 2) 曲線半径の決定により構造基準を完全に満たす平面線形が自動的に得られる。
- 3) 従来、土量の流用や切盛のバランスを経験と勘で考えながら縦断線形の決定に当たっていたが、それを具体的に計算することにより合理的な縦断線形が自動的に得られる。
- 4) 横断土工面について定式化し、土工基面の設計と断面計算を自動的に行なうことができた。
- 5) 土工の流用計算、土積数量計算を自動的に計算しかつ印字することができた。
- 6) 土工定規に従い、法勾配、法止工を決定し、規格もチェックすることができる。
- 7) 平面図、縦断面図、横断面図、マスカープについてそのすべての図面を人手をかいすることなく自動的に作ることができる。

このように、少なくとも林道技術者の手をわずらわす多くの設計諸作業を電算機で行なうことが可能である。なお今後、解決しなければならない項目をあげれば、

- 1) 本方式は内業における実施設計が主であったが、路線選定、現地測量についての機械化も今後、必須のことと思われる。
- 2) 1)に関連するが林道設計の自動化手法において路線測量値をいかにして空中写真、地形図等から入手するかを検討、研究を必要とする。
- 3) 構造物との関連及びそのものの設計手法についてさらに検討が必要と思われる。

### 3-6 発表文献

- 1) 小林 洋 司 : 土木事業における電算機導入について-2, II. 積算の実際例, 林道(30), 3~3(1969.12)
- 2) 小林 洋 司 : 林道設計における自動化の研究, 合理的縦断勾配決定の検討, 林道(36), 2~4(1971.1)
- 3) 小林 洋 司 : 林道設計における自動化の研究(I), 合理的縦断勾配決定の検討, 81回日林講, 358~359(1970)

4) 小林 洋 司 : 林道設計における自動化の研究(II), 平面線形および土工横断面の検討, 82回日林講, 308~310(1971)

5) 小林 洋 司 : 林道設計における自動化の研究(I), 81回日林講要旨集, 424~425, (1970)

6) 小林 洋 司 : 林道設計における自動化の研究(II), 82回日林講要旨集, 196, (1971)

7) 小林 洋 司 : 林道設計の自動化プログラム, E.C 共用利用研究速報(30), 4, (1971)

8) 小林 洋 司, 平 賀 昌 彦 : 電子計算機による土木事業の設計数量計算手法(林道事業の電子計算機導入手法), 44年度林試年報, 126(1970)

9) 小林 洋 司, 平 賀 昌 彦 : 電子計算機による土木事業の設計数量計算手法(林道事業の電子計算機導入手法), 45年度林試年報, 102~103, (1971)



付表-1 林道設計総合プログラムデータの書き方

1 \*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H・KOBAYASI

必ず入れる。 2 カラム以下何をかいてもよい。(タイトル)

140 80 1000 1000

(最小半径) (これ以下の外角は三角  
カーブになる。)

基準となる起点の(X, Y)座標値

6 (IP点の数)

1	140	0.0	0.0	IP間 距離	
2	232	0.0	50.2		
3	62	交角法に	0.0		}
4	237	よる角度	0.0		
5	122	(度)	0.0		
6	180		0.0		

(分)

12 (測点の数)

1	0	10735	5.7	0.0	0.0	(土質の 割合)
2	200	10528	3.7	0.0	0.0	
3	1	11	1	1	1	
12	220	10732	5.07	0.0	0.0	

5 10 (縦断の同一勾配をとりえる選択区間)

(起点の) (最大) (最小)  
高さ 勾配 勾配

108.48 0.12 -0.09

2.0 (側溝の1/2) 0.5 (側溝の  
土巾) 4.0 (流用距離) 1.0 (盛土法) 0.5 (切取法) 0.3 (法止法)

1.1 (流用  
係数) 1.0 (体積) 0.20 (CH or BH) (マスカーブの目盛の単位)



付表--2 林道設計総合プログラムの一連のアウトプット例

1) IP, BC, MC, ECの座標値

\*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H・KOBAYASI

\*\*\*\*\* IP, BC, EC NO ZAHYOTI

IP	IP-X	IP-Y	BC-X	BC-Y
1	100000	100000	100000	100000
2	132268	61545	125174	60998
3	124783	26331	120973	50750
4	103225	45957	103344	37388
5	222961	20108	216685	25563
6	245147	26891	245147	26891

MC-X	MC-Y	EC-X	EC-Y
100000	100000	100000	100000
120796	60928	120973	50750
134416	36661	148780	33212
191516	38249	216685	25563
223408	22211	230912	22539
245147	26891	245147	26891

2) 曲線表

\*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H・KOBAYASI

\*\*\*\*\* KYOKUSEN - HYO \*\*\*\*\*

IPNO.	NAIKAKU	GAIKAKU	HOOIKAKU	KYORI-D	NANKEI-R
1	1400	14000	14000	0	0
2	2320	5200	10200	5020	226
3	620	11800	7400	3600	150
4	2370	5700	13100	7120	573
5	1220	5800	7300	3040	150
6	1800	000	7300	2320	0

T・L	S・L	C・L	B・C	M・C	E・C	MEMO
0	0	0	0	0	0	
1104	255	2054	3016	4043	5070	
2496	1412	3089	5070	7515	9059	
3109	780	5696	10574	13422	16270	
831	215	1518	16270	17029	17788	
0	0	0	19277	19277	19277	



3) 測点に関するデータと縦断勾配の計算

\*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H. KOBAYASI

\*\*\*\*\* SOKUTEN NI KANSURU DATA \*\*\*\*\*

NO.	STA.	GRAND H.	MOVE.	X.
1	0	10735	0	10000
2	2000	10528	0	11286
3	4000	11104	002	12570
4	5847	10790	003	13020
5	7315	10635	-002	13305
6	8099	10838	-070	13835
7	9843	10835	0	15727
8	11218	10825	161	17657
9	13627	10861	069	19351
10	15427	10771	063	20894
11	17295	10854	-085	22605
12	19277	10732	0	0

FROM	1 TO	5	E=
FROM	1 TO	6	E=
FROM	1 TO	7	E=
FROM	1 TO	8	E=
FROM	1 TO	9	E=
FROM	1 TO	10	E=

THE OPTIMUM SECTION IS FROM 0 TO 15427

FROM 10 TO 12 E=

THE OPTIMUM SECTION IS FROM 15427 TO 19277

4) 縦断面図における計算結果

\*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H. KOBAYASI

NO.	STA.	GRAND H.	FORMATION H.
1	0	1073500	1084300
2	200000	1052800	1083449
3	389996	1110496	1082598
4	584650	1079198	1081812
5	731460	1061276	1081187
6	809945	1080683	1080854
7	984277	1083500	1080009
8	1121757	1088850	1079229
9	1362668	1102485	1078502
10	1542749	1078892	1077735
11	1729541	1083285	1077012
12	1927687	1073200	1076244

Y.	
10000	
8468	
6935	
5196	
3812	
3360	
3565	
3955	
3777	
3060	
2189	
0	
045397	GG=
041164	GG=
039986	GG=
038235	GG=
039762	GG=
035133	GG=

AND THE GRADE IS -0.426 PERCENT.

001298 GG= -0.00387

AND THE GRADE IS -0.387 PERCENT.

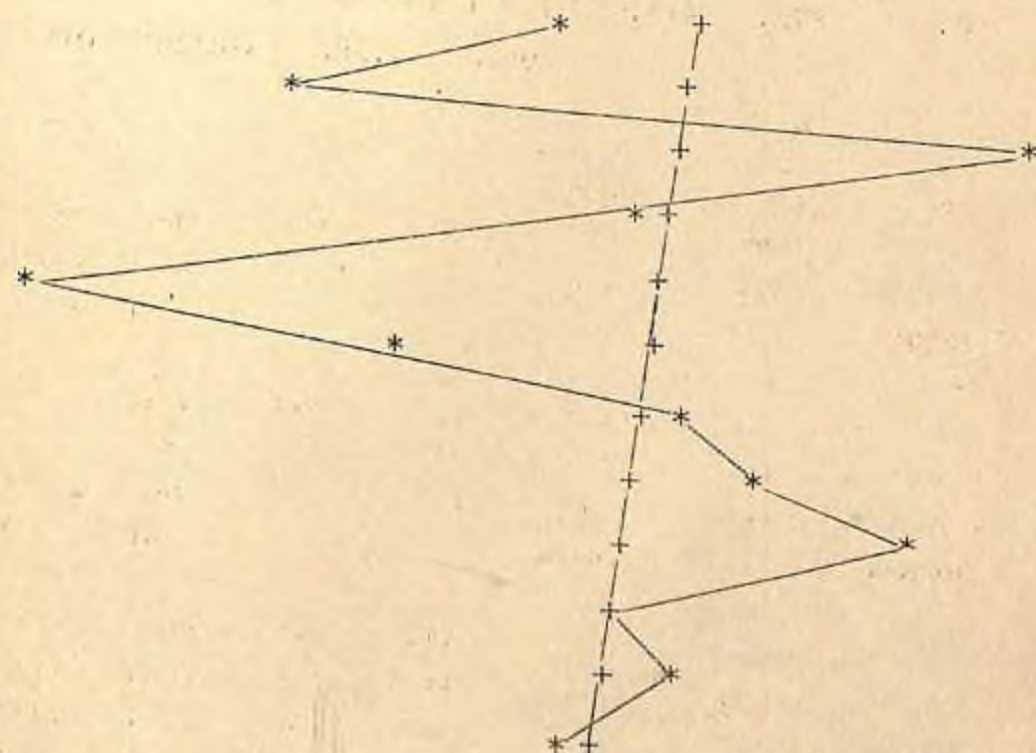
BANKING H.	CUTTING H.	GRADE
10800	0	-0.4255
80649	0	-0.4255
0	27899	-0.4255
02614	0	-0.4255
49912	0	-0.4255
20170	0	-0.4255
0	03431	-0.4255
0	09621	-0.4255
0	23984	-0.4255
0	01157	-0.3874
0	06273	-0.3874
03044	0	-0.3874



5) 縦断面図

\*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H. KOBAYASI

NO	D	G.H	F.H	B.H	C.H
1	0	10735	10843	108	0
2	2000	10528	10834	306	0
3	4000	11105	10826	0	279
4	5847	10792	10818	026	0
5	7315	10313	10812	499	0
6	8099	10607	10809	202	0
7	9043	10835	10801	0	034
8	11018	10889	10792	0	096
9	13627	11025	10785	0	240
10	15427	10789	10777	0	012
11	17295	10833	10770	0	063
12	19277	10732	10762	030	0





## 6) 土積数量計算表

\*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H. KOBAYASI

NO.	STA.	DISCUTTING				
			AREA	A.ARE	VOLUME	SOIL
1	0	0	0	0	0	0
2	2000	2000	0	0	0	0
3	4000	2000	2951	1475	2950	2950
4	5847	1847	235	1593	2041	2941
SHOKEI		5847			5801	5801
5	7315	1468	0	117	172	172
6	8099	785	0	0	0	0
7	9843	1843	498	249	459	459
SHOKEI		4000			631	631
8	11018	1975	702	600	1185	1185
9	13627	1709	2228	1465	2504	2504
10	15427	1801	157	1192	2147	2147
SHOKEI		5485			5827	5827
11	17295	1808	392	274	512	512
12	19277	1981	006	199	394	394
SHOKEI		3849			907	907
*GOKEI*		19277			13266	13266

BANKING						SUTE-DO	DOHA	KIRI-MEN	SOKKO
ROCK	AREA	A.ARE	VOLUME	JYU-YODO	JUN-MORI				
0	579	0	0				0	0	0
0	2367	1473	2046				1313	0	0
0	0	1184	2367				980	1220	200
0	427	213	384				456	1306	277
0			5708	5708	0	184	2749	2616	477
0	5202	2815	4182				1611	215	73
0	2248	3725	2924				1177	0	0
0	126	1187	2188				1433	378	92
0			9244	621	8613	0	4221	593	166
0	006	066	131				293	764	197
0	0	003	05				35	1118	256
0	051	026	46				82	974	270
0			182	182	0	5654	400	2857	724
0	0	026	48				85	316	280
0	149	074	147				112	219	297
0			185	185	0	712	186	535	577
0			15829	6716	8613	6550	7575	6600	1944



7) 土工横断面図

\*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H. KOBAYASI

\*\*\*\*\* FIGURES OF ROAD CROSS SECTION \*\*\*\*\*

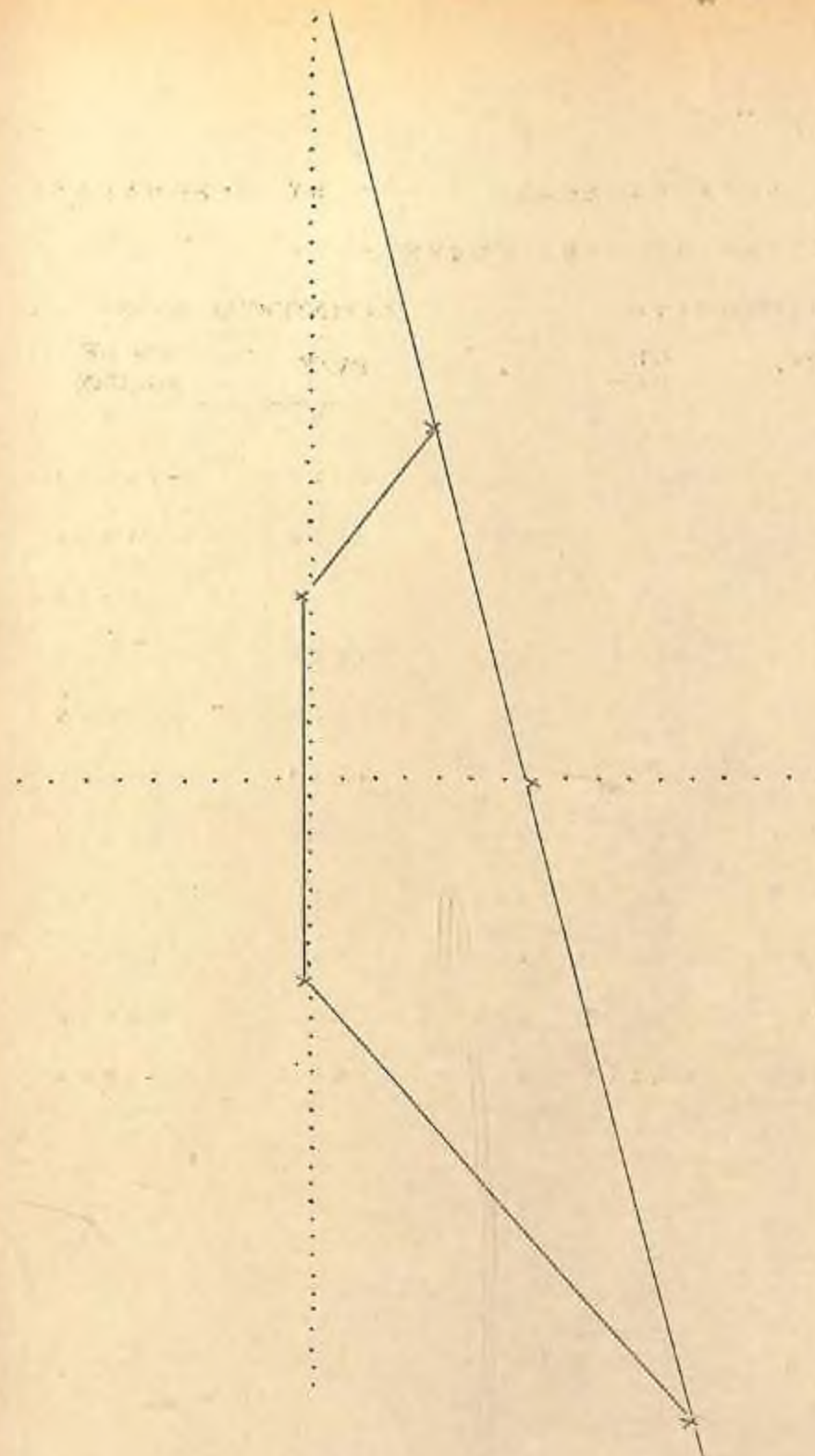
STA. 2000 M

CUTTING AREA = 0 M\*\*2

BANKING AREA = 2367 M\*\*2

CUTTING-SLOPE LENGTH = 0 M

BANKING-SLOPE LENGTH = 980 M





8) マスカープ

\*\*\*\*\* TEST NAGASAKI \*\*\*\*\* BY H. KOBAYASI

\*\*\*\*\* FIGURE OF MASS CURVE \*\*\*\*\*

RYUYORITU=

110 INTERVAL MASS=

NO.	STA.	CH+ BH-	CV.	BV/F	SUM OF VOLUME
1	0	-1.1	0	0	0
2	200	-3.1	0	2678	-26784
3	400	2.8	3950	2153	-18801
4	585	-0.3	294.1	358	7026
5	731	-5.0	172	3756	-28814
6	810	-2.0	0	2658	-55393
7	924	0.3	450	1989	-70097
8	1122	1.0	1185	119	-60036
9	1323	2.4	250.4	0.5	-35042
10	1543	0.1	214.7	4.2	-13887
11	1730	0.6	51.2	4.3	-9298
12	1928	-0.3	32.4	13.4	-6093

1000CH, BH=

020

BANK H. CUT H.  
- 0 +

MASS CURVE  
- 0 +

