

# 比較路線選定の自動化に関する研究

A Study on Automatic Processing in Alternative Route Selection

丸安 隆和\*・村井 俊治\*

大林 成行\*・金森 真\*

Takakazu MARUYASU, Shunji MURAI,

Shigeyuki OHBAYASHI and Makoto KANAMORI

道路や鉄道などの路線計画においては、数多くの比較路線について検討が行なわれることが望ましい。従来の方法によれば比較路線の評価には平面線形の設置やその調整計算、あるいは土工量計算などに多大の手作業と時間を必要とするために、数多くの比較路線を機動的に検討することが困難であった。本研究では、比較路線を迅速に評価するために、路線計画に必要な地形情報処理の手法の開発と、新しい平滑曲線による曲線設置方法の提案を行なった。

## まえがき

路線選定の予備計画段階における比較路線案は、無限に数多くあるわけではなく、河などの排水系や用地取得あるいは文化遺跡などの制約から一般には数本の路線がフリーハンドで予備的に選定される。これらのフリーハンドによる路線は、路線として満足な幾何曲線におきなされ、平面線形、縦断線形、横断構造の順に設計がすすめられる。設計の過程のなかでもっとも作業量が多いのは、第一番にフリーハンドの路線を幾何平面線形に調整する計算であり、二番目には土工量算定である。たとえば道路線形をきめる場合、線形は直線、円、クロソイド曲線の組合せから構成されるため、多量のインプットデータとそれにもとづく複雑な調整計算が要求される。

処理量の多い計算や時間のかかる手作業は、数多くの比較路線に関する数量的な評価の検討を行なうことを阻害するばかりでなく、植物生態学や景観工学の見地からの質的な要素を考慮する余裕を少なくする。多くの場合それぞれの比較路線の検討においては、比較的大きいオーダーの利害得失の差異が論ぜられる。したがって、路線として満足すべき制約条件が守られる範囲内で、計算処理量や手作業を大幅に減少させうるような近似的な手法を導入することを考える方が合理的である。

路線の平面曲線のもつべき主な条件は線形がなめらかに連続していることと、線形の任意の点における曲率半径が与えられた最小曲率半径以上であることである。本研究では上記の制約をまもるような新しい平滑曲線を用いて路線を設置する方法を紹介した。この新しい曲線はフリーハンドで描かれた線を平滑化する際に入力データをきわめて少なくすることができる利点と、調整計算がきわめて容易に行なえ、路線変更に伴う計算も少なくてすむ利点をもっている。

一方、土工量の算定はきわめて単純な計算であるにもかかわらず、地形データその他の入力データが多いため従来手作業にたよる場合が多くあった。土工量の算定においては、横断線方向の地形データが必要となる。しかし横断線上の地形データを用いる場合、横断線と横断線の間の点の地盤高を内挿したり、路線中心線が変更された場合の新しい横断線上の点を求めるためのソフトウェアの開発に難点があった。これを解決するため、本研究では横断線上の地形データを用いて帯状ディジタルテレインモデルを作成する手法の開発を行なった。帯状ディジタルテレインモデルは、土工量算定を自動化する上できわめて有効である。

比較路線の検討は単に土工量の大小で行なうべきでなく、その他数多くの面から評価すべきである。そのうちの一つに、自然の景観のなかで比較計画路線がどのような姿になるのかを視覚検討することが重要である。本研究の後半では、比較路線が地形景観のなかに占める姿を図形情報処理し、容易に検討できるような表現法を用いた応用例を示している。

## 1. 路線計画を目的とした帯状ディジタルテレインモデルの作成

### (1) 路線計画における地形情報処理システム

ディジタルテレインモデル（数値地形モデル）は既知の地形点を何点か用いて、任意の点の平面位置( $x, y$ )を与えれば、コンピュータの中で、その地形標高およびその他の幾何学的地形特性が求められるようなモデルをいう。

したがって、ディジタルテレインモデルを作成するには

- (1) 地形点の配置のパターンをどうするか
- (2) 地形点をどのくらいの密度でおくか
- (3) 地形標高を求めるための内挿方法をどうするか

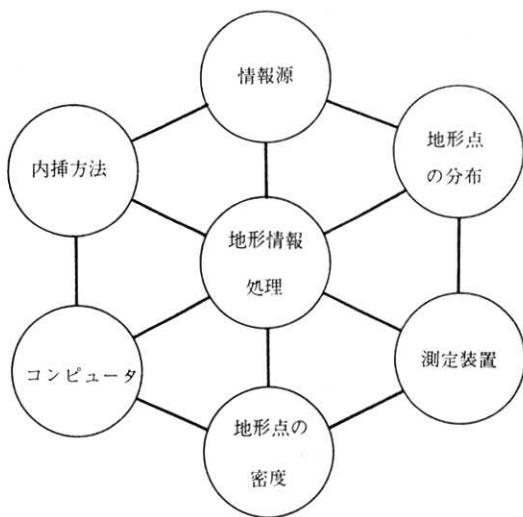


図1 地形情報処理システムの関連因子

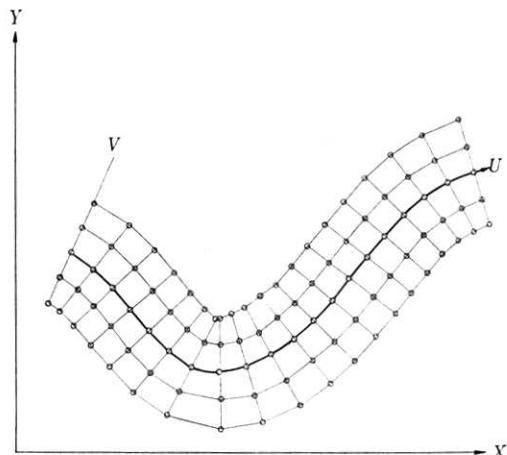


図2 地形点の分布

のソフトウェアと

- (4) 使用する地形情報源(地図、航空写真など)
- (5) 地形点を測定する装置
- (6) 使用するコンピュータの容量

のハードウェアとの関連を考慮しなければならない(図1参照)。

デジタルテレインモデルを作成する際には、地形点の測定、内挿および内挿点探索の便宜さから方形格子状に地形点を配置することが多かった。このような方法は住宅団地などのように面的にひろがりをもち、かつ全体の地域も方形に近い形をしているような箇所にきわめて有効である。しかし路線計画のように帯状に長くしかも曲がりくねっている地域のデジタルテレインモデルの作成に、方形の格子状に地形点をとることは、路線計画における計算処理上有効な方法とはいえない。

そこで、本研究では、図2に示すように、路線に沿う方向と路線に直角な方向に地形点を分布させることにし

た。

図に示すような帯状のメッシュをもつ方式は、

- (1) 路線計画に必要のない地形を考慮しないですむ
- (2) 路線直角方向の幅に多少の余裕をもたせておけば、中心線が多少変更されても新しく地形点を測定しなおさないですむ

(3) 路線直角方向に地形点を等間隔にとることにすれば中心線上にない地形点は地形標高 $z$ の測定だけでよく、中心線上の地形点のみ $(x, y, z)$ を測定すればよい。

の利点をもつ。

帯状ディジタルテレインモデルに必要な入力地形データは、次に示す段階にしたがって作業をすすめる。

(1) 路線の概略のルートを地図上あるいは航空写真上にフリー手で入れる。

(2) 次に、フリー手の線上に適当な間隔で測定点を設ける。その平面座標を座標読取装置を用いて測定する(写真1)。

(3) 後述する平滑曲線を用いて、上記の測定点群を通るようななめらかな線形を計算機を用いて求める。

(4) この平滑化された線形上に等間隔の距離で中間測点とその座標を求める。

(5) 中間測点を通り、中心線に直交する直線を求めてこの直線上に等間隔な点を両側に同数個ずつ求める。

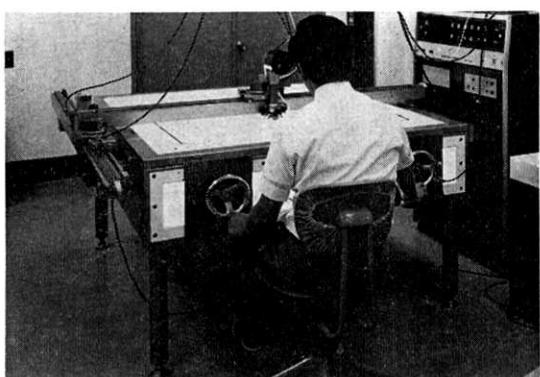


写真1

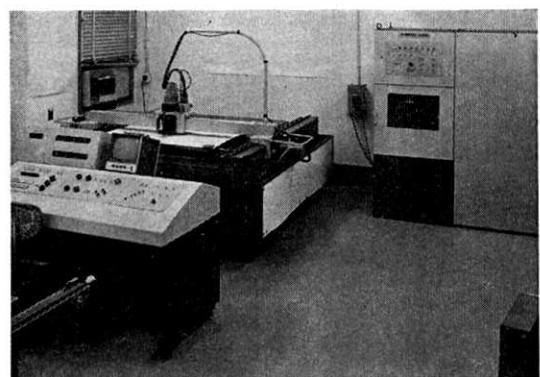


写真2

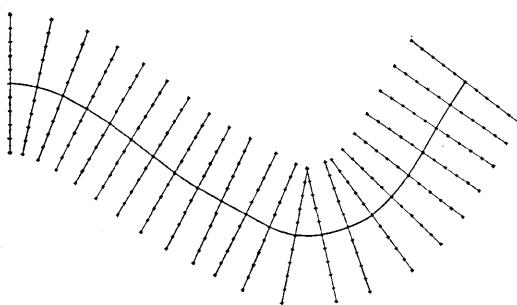


図3 横断線上の測定点

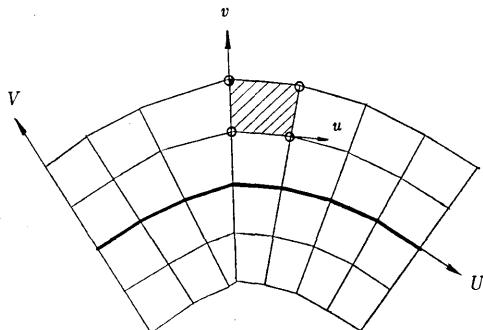


図4 帯状ディジタルテレインモデルの座標系

(6) これらの測定すべき点を自動製図機(写真2)を用いて図2に示すように自動製図する。

(7) この図をもとの地図に重ね合わせ、横断線上の測定点の標高を測定する。航空写真を利用する場合には写真測量図化機にプロフィルスコープを付属させて測定点の座標が測定され、その結果が紙テープに自動さん孔される。

## (2) 帯状ディジタルテレインモデルの作成

いま図4に示されるように、帯状のメッシュ状に設置された地形点を路線方向および横断方向に直線で結び4つの地形点にかこまれた四辺形の小さな地域を考える。

図5に示すように、この四辺形の路線方向を $u$ 、横断方向を $v$ とするような座標系を考え、この四辺形の範囲を

$$0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1$$

とする。

四辺形内部の点 $(u, v)$ に対応する平面座標 $(X, Y, Z)$ は次のように表わすものとする。

$$X(u, v) = \frac{a_3u + a_4v + a_5}{a_1u + a_2v + 1} \quad (1)$$

$$Y(u, v) = \frac{a_6u + a_7v + a_8}{a_1u + a_2v + 1} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Z(u, v) = & b_1u^3v^3 + b_2u^3v^2 + b_3u^3v + b_4u^3 \\ & + b_5u^2v^3 + b_6u^2v^2 + b_7u^2v + b_8u^2 \\ & + b_9uv^3 + b_{10}uv^2 + b_{11}uv + b_{12}u \\ & + b_{13}v^3 + b_{14}v^2 + b_{15}v + b_{16} \end{aligned} \quad (3)$$

上の式からわかるように、 $(u, v)$ 座標系と $(x, y)$ 座標

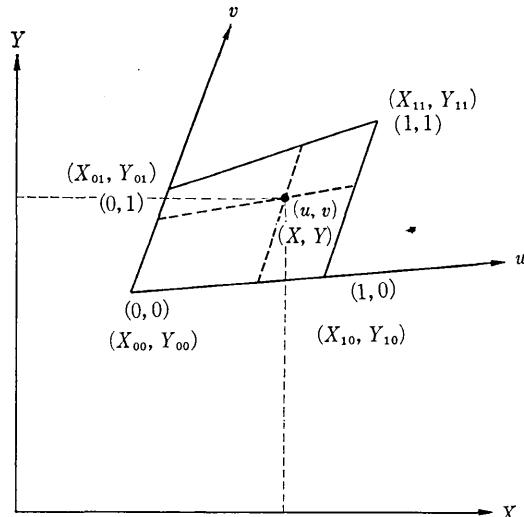


図5 帯状ディジタルテレインモデルの作成

系は射影変換の関係にある。したがって $(x, y)$ をきめる係数 $a_1$ から $a_8$ までの8個の未知数は四辺形の4つの頂点 $(x, y)$ の座標から次のように求められる。

$$\left. \begin{aligned} a_5 &= X_{00} \\ a_8 &= Y_{00} \\ a_1 &= \frac{(X_{10}-X_{00})(Y_{11}-Y_{01})-(X_{11}-X_{01})(Y_{10}-Y_{00})}{(X_{11}-X_{10})(Y_{11}-Y_{01})-(X_{11}-X_{01})(Y_{11}-Y_{10})} \\ a_2 &= \frac{(X_{11}-X_{10})(Y_{01}-Y_{00})-(X_{01}-X_{00})(Y_{11}-Y_{10})}{(X_{11}-X_{10})(Y_{11}-Y_{01})-(X_{11}-X_{01})(Y_{11}-Y_{10})} \\ a_3 &= a_1X_{10} + (X_{10}-X_{00}) \\ a_4 &= a_2X_{01} + (X_{01}-X_{00}) \\ a_6 &= a_1Y_{10} + (Y_{10}-Y_{00}) \\ a_7 &= a_2Y_{01} + (Y_{01}-Y_{00}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

逆に $(X, Y)$ が与えられれば、 $(u, v)$ は次のようにして求められる。

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{(a_7-a_2a_8)X+(a_2a_5-a_4)Y+a_4a_8-a_5a_7}{a_2a_6X-a_2a_3Y+a_3a_7-a_4a_6} \\ v &= \frac{(a_1a_8-a_6)X+(a_3-a_1a_5)Y+a_5a_6-a_3a_8}{a_2a_6X-a_2a_3Y+a_3a_7-a_4a_6} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

したがって、点 $(X, Y)$ が四辺形の中にあるか否かは(5)式の $u, v$ がともに、0と1の間にあるか否かによって確かめられる。

(3)式で表わされる $Z$ を求める式の16個の係数は、四辺形の4つの頂点において次に示す4つずつの条件式より求められる。

$$\left. \begin{aligned} Z(u, v) &= Z \\ R(u, v) &= \partial Z / \partial u \\ S(u, v) &= \partial Z / \partial v \\ T(u, v) &= \partial^2 Z / \partial u \partial v \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ただし、 $u=0$ または $1$ 、 $v=0$ または $1$

$u$  方向あるいは  $v$  方向の微係数  $\partial Z/\partial u$  または  $\partial Z/\partial v$  は、 $u$  方向または  $v$  方向の連続する 4 測点に三次曲線をあてはめ、その曲線の接線勾配として求める。曲面のねじれの関数である  $\partial^2 Z/\partial u \partial v$  は  $\partial Z/\partial u$  の  $v$  方向の変化率あるいは  $\partial Z/\partial v$  の  $u$  方向の変化率として求められる。

結局四辺形の中にある任意の点  $(X, Y)$  に対応する  $Z$  は、まず(5)式において  $(u, v)$  が求められ、その  $(u, v)$  の値を(3)式に代入することによって計算される。

### (3) 内挿点の探索方法

(2) では点  $(X, Y)$  があるメッシュの四辺形内にあるものとしてその標高  $Z$  を内挿する方法を考えた。しかし点  $(X, Y)$  が与えられたときには、一般にどのメッシュに属しているかは与えられていない。したがって、任意の点  $(X, Y)$  が与えられたときに、その点がどこのメッシュに属しているかを計算機内で能率よく探索する方法を考えておかなければならない。

路線の長さは大体 10km 程度までを考えておけばよいから、横断を切る間隔を 20m としても多くて 500 断面ぐらいから構成される帯状メッシュを考えればよい。横断方向はほぼ 10m おきに両側 5 点ずつ、すなわち、中心線をはさんで約 100m の幅を考えれば十分である。したがって任意の点  $(X, Y)$  が、多くて  $10 \times 500 = 5,000$  のメッシュのうちのどこに属するかを考えればよい。

著者らは、任意の点がどのメッシュに属するかを能率よく探索する方法として次のようなアルゴリズムを考えた(図6参照)。

- (1) 中心線上の測点を適当な間隔に数個選ぶ。
- (2) 任意の点  $(X, Y)$  と上記の測点との距離を計算し、そのなかの最小距離の測点を選ぶ。
- (3) その測点の近辺の隣り合う横断線の間に点  $(X, Y)$  が属しているかを探す。
- (4) もしある横断線と隣り合う横断線の間にあればどの横断方向のメッシュに属しているかを精査する。

このような探索法は、1つ1つのメッシュを探索していくよりきわめて迅速に内挿点の探索を行なうことを可能にする。

## 2. 新しい平滑曲線による比較路線の線形あてはめ

### (1) 点群を結ぶなめらかな曲線のあてはめ

フリーハンドで描かれた概略のルートを路線線形として十分ななめらかな曲線をあてはめる場合に、まずフリ

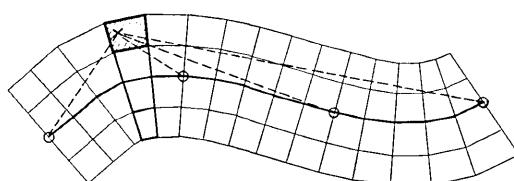


図 6 内挿点の探索

ーハンドで描かれた線上に適当な間隔で点をとりそれらの点を結ぶ線形を考える。点群を結ぶなめらかな曲線のあてはめの問題は、多くの工学の分野で議論され、フーリエ級数、高次多項式などによる曲線あてはめが試みられている。しかし、今まで用いられてきたあてはめの関数はいずれも道路路線の評価に必要な曲率や接線あるいは曲線長などの計算が複雑であるのと、入力する点群をかなり密に与えないと、曲線が蛇行するという短所がある。

そこで著者らは次に示すような曲線あてはめの新しい方法を導入した。

(1) 連続する 3 点を通る円弧を次々に作成していく。図 7 に示すように隣り合う 2 点の間には一般に 2 つの円弧が描かれる。

(2) いま隣り合う 2 点間にいる 2 つの円弧をもとにして、この 2 点間を結ぶ曲線として次に示すような関数を考える。

図 8 に示すように、2 点  $A, B$  の中点を原点とし、 $A, B$  方向を  $x$  軸とするような座標系を考える。2 つの円弧の半径をそれぞれ  $R_A, R_B$  とすると、 $R_A, R_B$  の円弧上の点の  $y$  座標  $y_A, y_B$  は次の式で表わされる。

$$\begin{aligned} y_A &= R_A \left\{ \sqrt{1 - (x/R_A)^2} - \sqrt{1 - (d/R_A)^2} \right\} \\ y_B &= R_B \left\{ \sqrt{1 - (x/R_B)^2} - \sqrt{1 - (d/R_B)^2} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

ただし、時計まわりの円のときの  $R$  符号を正、反時計まわりのときの  $R$  符号を負とする。また  $x$  は、

$$-d \leq x \leq d$$

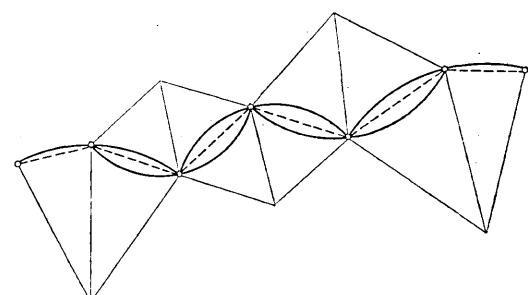


図 7 円弧近似による曲線のあてはめ

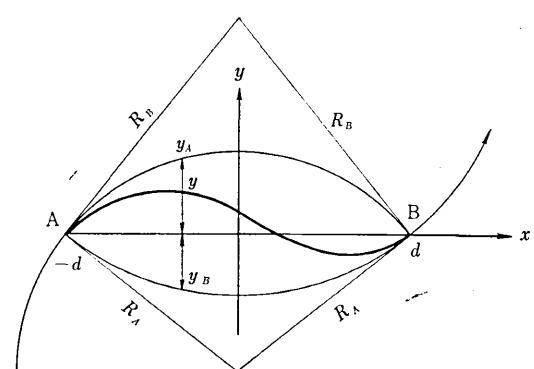


図 8 平滑曲線のつくり方

の範囲を動くものとする。

新しくあてはめられる曲線上の  $y$  の値を

$$y = k(\alpha y_A + \beta y_B) \quad (8)$$

とする。ここで  $\alpha, \beta$  は

A点で,  $\alpha=1, \beta=0$

B点で,  $\alpha=0, \beta=1$

となる変数であり、次の式で与えられる。

$$\begin{cases} \alpha = (d-x)/2d \\ \beta = (d+x)/2d \end{cases} \quad (9)$$

係数  $k$  は曲線の平滑度を調節する係数であり、たとえば  $k=1$  にすれば、A点では曲線は円  $R_A$  に無限に近づき、B点では円  $R_B$  に無限に近づく。 $k=0$  にすれば2点を結ぶ直線となる。

(3) 隣りあう2点間に次々に(8)式で表わされる曲線をあてはめてゆくと、なめらかに連続した曲線が得られる。A, B点の間に設定されたローカルな座標系で表わされた曲線上の任意の点  $P(x, y)$  は、全体の座標系では  $(X, Y)$  とあらわされるものとすると、次の関係式がなりたつ(図9参照)。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{pmatrix}$$

ただし

$$X_0 = (X_A - X_B)/2$$

$$Y_0 = (Y_A + Y_B)/2$$

$$a = -(X_A - X_B)/2d$$

$$b = (Y_A - Y_B)/2d$$

$$d = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}/2$$

図10は  $k$  の値を 0.25, 0.50, 0.75, 1.0 にしたとき得られた線形である。これらの図から  $k$  の値を 0.75 ぐらいにとっておくと見た目に十分なめらかな線形が得られる。

## (2) 中間測点の計算および曲率図の作成

路線計画をすすめる場合、路線上に等間隔に中間測点を設けて縦断や横断の設計を行なう。したがって、新しくあてはめられた曲線上に等間隔に中間測点を求める計算をしておかねばならない。

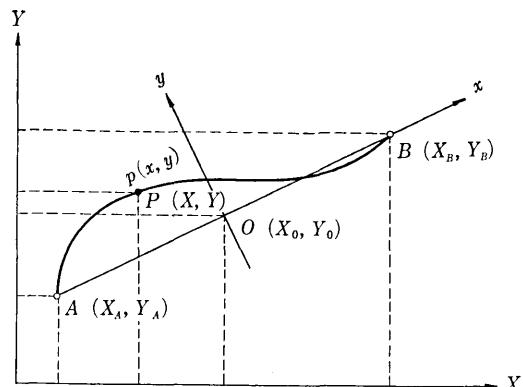


図9 全体座標系と曲線座標系の関係

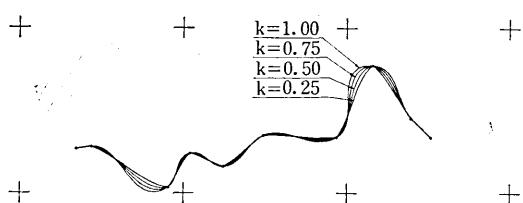


図10  $k$  の値と得られる曲線の関係

ここでは、曲線長を計算機のなかで数値積分して求め次々に中間測点を求める方法をとった。中間測点が求められると、ただちに中間測点通り、曲線に直交する横断線の計算が行なわれる。横断線は、次の式で表わされる接線のかたむきと直交する直線として得られる。

$$\frac{dy}{dx} = -k \left\{ \frac{\alpha x}{2d} + \frac{\alpha x}{R_A \sqrt{1-(x/R_A)^2}} + \frac{\beta x}{R_B \sqrt{1-(x/R_B)^2}} \right\}$$

次に中間点におけるこの曲線の曲率が次の式を用いて計算される。

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} &= \frac{d^2y/dx^2}{\{1+(dy/dx)^2\}^{3/2}} \\ \frac{d^2y}{dx^2} &= k \left\{ \frac{x}{d} \left( \frac{1}{R_A \sqrt{1-(x/R_A)^2}} - \frac{1}{R_B \sqrt{1-(x/R_B)^2}} \right) \right. \\ &\quad \left. - \frac{\alpha R_A^2}{(R_A^2 - x^2)^{3/2}} - \frac{\beta R_B^2}{(R_B^2 - x^2)^{3/2}} \right\} \end{aligned}$$

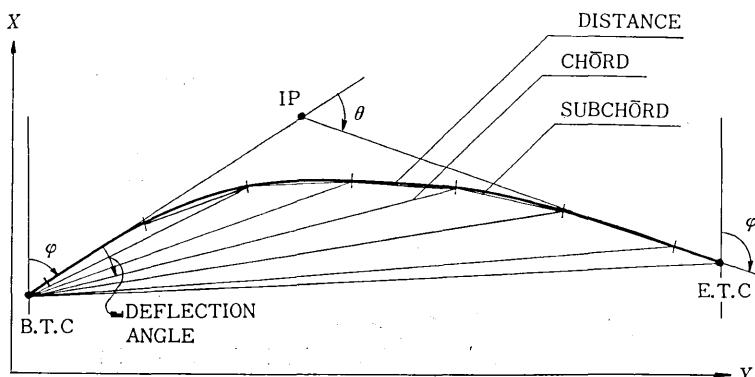


図11 測量用データ

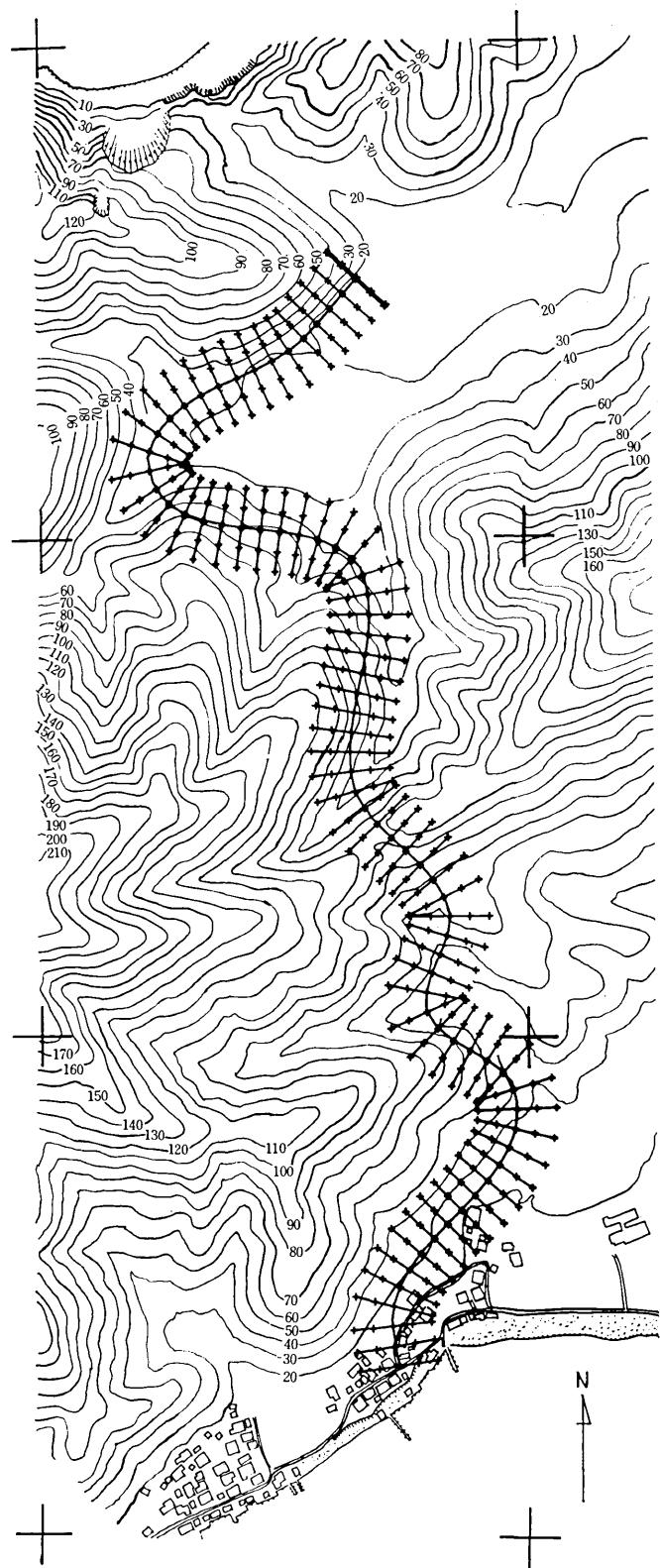


図 12 中間点、横断線および横断線上の地形情報の抽出点の自動図化

表 1

L	SS	XX	YY	RR	0.1	0.01	0.001	0.0001	0.001	0.01	0.1
1	0.00	-134.00	1328.00	10000.00	-	-	-	0	*	*	*
2	20.00	-137.40	1308.29	1089.40	*	*	*	*	*	*	*
3	40.00	-140.43	1288.52	209.46	*	*	*	*	*	*	*
4	60.00	-138.98	1268.71	88.04	*	*	*	*	*	*	*
5	80.00	-132.47	1249.84	112.59	*	*	*	*	*	*	*
6	100.00	-122.73	1232.39	159.54	*	*	*	*	*	*	*
7	120.00	-110.87	1216.30	245.84	*	*	*	*	*	*	*
8	140.00	-97.72	1201.23	433.67	*	*	*	*	*	*	*
9	160.00	-83.88	1186.79	1220.11	*	*	*	*	*	*	*
10	180.00	-69.81	1172.58	-1720.04	*	*	*	*	*	*	*
11	200.00	-55.91	1158.21	-477.98	*	*	*	*	*	*	*
12	220.00	-42.62	1143.26	-254.27	*	*	*	*	*	*	*
13	240.00	-30.58	1127.30	-157.67	*	*	*	*	*	*	*
14	260.00	-20.67	1109.95	-106.46	*	*	*	*	*	*	*
15	280.00	-14.19	1091.07	-80.82	*	*	*	*	*	*	*
16	300.00	-12.46	1071.20	-74.08	*	*	*	*	*	*	*
17	320.00	-16.02	1051.57	-82.11	*	*	*	*	*	*	*
18	340.00	-27.23	1035.40	-75.20	*	*	*	*	*	*	*
19	360.00	-43.24	1023.45	-171.28	*	*	*	*	*	*	*
20	380.00	-60.58	1013.47	2505.56	*	*	*	*	*	*	*
21	400.00	-77.83	1003.35	144.77	*	*	*	*	*	*	*
22	420.00	-93.45	990.92	66.81	*	*	*	*	*	*	*
23	440.00	-104.77	974.56	51.38	*	*	*	*	*	*	*
24	460.00	-104.74	954.73	69.99	*	*	*	*	*	*	*
25	480.00	-98.96	935.61	186.96	*	*	*	*	*	*	*
26	500.00	-91.10	917.21	-466.19	*	*	*	*	*	*	*
27	520.00	-84.06	898.50	-98.08	*	*	*	*	*	*	*
28	540.00	-80.99	878.80	-52.05	*	*	*	*	*	*	*
29	560.00	-87.45	859.96	-87.74	*	*	*	*	*	*	*
30	580.00	-98.11	843.07	-127.43	*	*	*	*	*	*	*
31	600.00	-111.29	828.04	-234.95	*	*	*	*	*	*	*
32	620.00	-125.72	814.19	-850.94	*	*	*	*	*	*	*
33	640.00	-140.48	800.69	592.95	*	*	*	*	*	*	*
34	660.00	-154.77	786.69	210.21	*	*	*	*	*	*	*
35	680.00	-167.65	771.40	121.50	*	*	*	*	*	*	*
36	700.00	-177.54	754.11	113.34	*	*	*	*	*	*	*
37	720.00	-181.26	734.45	132.12	*	*	*	*	*	*	*
38	740.00	-181.99	714.50	174.37	*	*	*	*	*	*	*
39	760.00	-180.43	694.57	259.17	*	*	*	*	*	*	*
40	780.00	-177.13	674.81	464.90	*	*	*	*	*	*	*
41	800.00	-173.37	655.20	1683.26	*	*	*	*	*	*	*
42	820.00	-169.19	635.64	-1086.09	*	*	*	*	*	*	*
43	840.00	-165.36	616.00	-396.45	*	*	*	*	*	*	*
44	860.00	-162.54	596.20	-231.79	*	*	*	*	*	*	*
45	880.00	-161.45	576.23	-159.12	*	*	*	*	*	*	*
46	900.00	-162.86	556.30	-122.90	*	*	*	*	*	*	*
47	920.00	-167.45	536.85	-108.34	*	*	*	*	*	*	*
48	940.00	-178.52	520.62	-68.15	*	*	*	*	*	*	*
49	960.00	-194.97	509.33	-94.45	*	*	*	*	*	*	*
50	980.00	-213.46	501.76	-123.14	*	*	*	*	*	*	*
51	1000.00	-232.84	496.83	-243.04	*	*	*	*	*	*	*
52	1020.00	-252.56	493.52	-488.68	*	*	*	*	*	*	*
53	1040.00	-272.41	491.04	-3069.69	*	*	*	*	*	*	*
54	1060.00	-292.28	488.69	726.78	*	*	*	*	*	*	*
55	1080.00	-312.07	485.78	293.43	*	*	*	*	*	*	*
56	1100.00	-331.60	481.51	160.41	*	*	*	*	*	*	*
57	1120.00	-350.43	474.80	96.29	*	*	*	*	*	*	*
58	1140.00	-367.41	464.34	64.43	*	*	*	*	*	*	*
59	1160.00	-380.46	449.31	56.27	*	*	*	*	*	*	*
60	1180.00	-387.62	430.73	64.49	*	*	*	*	*	*	*
61	1200.00	-387.00	411.11	75.51	*	*	*	*	*	*	*
62	1220.00	-378.11	393.25	79.94	*	*	*	*	*	*	*
63	1240.00	-365.12	378.10	102.73	*	*	*	*	*	*	*
64	1260.00	-349.43	365.72	151.67	*	*	*	*	*	*	*
65	1280.00	-332.23	355.54	251.27	*	*	*	*	*	*	*
66	1300.00	-314.26	346.74	525.72	*	*	*	*	*	*	*
67	1320.00	-295.96	338.66	9183.62	*	*	*	*	*	*	*
68	1340.00	-277.65	330.61	-594.32	*	*	*	*	*	*	*
69	1360.00	-259.62	321.95	-263.84	*	*	*	*	*	*	*
70	1380.00	-242.32	311.92	-150.21	*	*	*	*	*	*	*
71	1400.00	-226.60	299.60	-491.02	*	*	*	*	*	*	*
72	1420.00	-212.73	285.18	-740.06	*	*	*	*	*	*	*
73	1440.00	-199.24	270.41	-1669.19	*	*	*	*	*	*	*
74	1460.00	-185.91	255.50	4306.53	*	*	*	*	*	*	*
75	1480.00	-172.51	240.64	1016.43	*	*	*	*	*	*	*
76	1482.23	-171.00	239.00	10000.00	*	*	*	*	*	*	*

註) L: 測点番号, SS: 累積距離, XX: 測点X座標値, YY: 測点Y座標値, RR: 曲率半径  
曲率図は対数目盛で表現してある

この新しい曲線の線形要素として曲率がゼロとなる地點を求め、図11に示すように、IP点、接線方位および各中間測点の測量用データを計算する。

図12は上記の計算方法によって曲線をあてはめ、中間測点および横断線の計算をしたものを自動製図させたものとの地形図とを重ねた図である。

表1は、そのときの中間測点および曲率図をラインプリンタで作成したものである。

表2は、線形要素および測量用データを作表した一例である。

### 3. 曲率に制約をうける路線の調整方法

#### (1) 路線の修正

今までのべてきた方法によって、フリーハンドで描かれた線が、なめらかに連続する曲線をあてはめられた時、曲率が路線としての制約条件をこえたり、フリーハ

表2 測量用データの作成

ACCUMULATED DISTANCE FROM BIGINNING OF TRANSITION CURVE	15.182 M TO 170.308 M					
INTERSECTION POINT	X=-136.112 Y=1312.966 FAI=-100 38 22					
END OF TRANSITION CURVE	X=-147.233 Y=1250.578 THI= 55 7 4					
TANGENT LENGTH	X=-76.640 Y=1179.470 FAI=-45 31 18					
	L= 63.371 M					
ACCUMULATED DISTANCE	X	Y	DISTANCE	SUBCHORD	CHORD	DEFLECTION ANGLE
B T C	15.182	-136.112	1312.966	0.000	0.000	0 0 0
2	20.000	-137.397	1308.291	4.848	4.848	0 22 24
3	40.000	-140.428	1288.528	20.000	19.997	1 14 18
4	60.000	-138.978	1268.714	20.000	19.864	6 22 34
5	80.000	-132.474	1249.837	20.000	19.966	14 16 28
6	100.000	-122.733	1232.392	20.000	19.980	19 54 36
7	120.000	-110.869	1216.302	20.000	19.991	24 42 52
8	140.000	-92.721	1201.239	20.000	19.994	29 20 4
9	160.000	-83.885	1186.793	20.000	20.000	33 2 37
E T C	170.308	-76.640	1179.470	10.308	10.301	34 52 25



図13 路線の修正

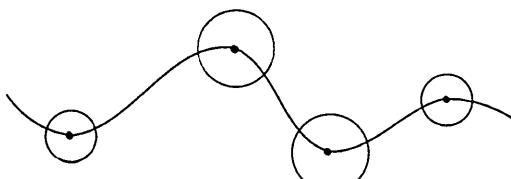


図14 路線の通過変動領域

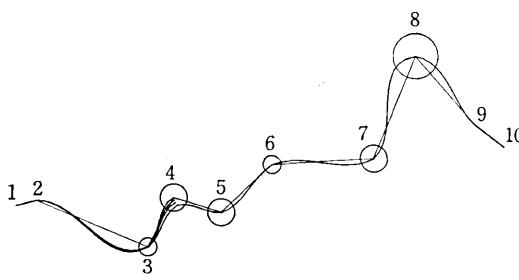


図15 路線の修正例

ンドの線より大きくなれた場合は何らかの方法で線形を修正しなければならない。

図13に示すように、いまある測点を動かすと、その測点の両側2点ずつの間の線形に影響をおよぼす。したがって、ある1点の位置の修正により前後2区間だけの線形の修正がなされることになる。このように、この曲線のあてはめ方法によれば、ローカルに線形を少しづつ修正することが可能である。

一般にフリー手で描かれた線上の測点を設けるときには、丁度その点を通らなければならないということではなく、その測点の変動領域が円で与えられることが多い。

い、すなわち路線は図14に示すように各測点に設けられる変動領域の円内のどこかを通ればよいのであって、なるべく、円の中心に近い方が望ましいというのにすぎない。変動領域を示す円の大きさは、地形や地物の制約による。たとえば、河や沢のそばでは一般に変動領域の小さい円内を通らなければならない。

もし曲率が制限をこえるような場合には、制限をこえた地点に近い測点を、曲率制限範囲に入るように動かすことを考えればよい。

図15は4の測点を変動領域の円内で動かし、許容曲率制限以内の線形にした場合の例を模式的に示している。

しかし、測点1点だけの修正で、うまく路線を修正できない場合もある。このようなときには、次に示すようにダイナミックプログラミングの手法を用いて路線を調整することを考えなければならない。

## (2) ダイナミックプログラミングによる路線の調整

路線を選定する問題を次のような形に定式化する。すなわち、何点か選択可能な測点を通る路線のうち、路線として曲率その他の制約をまもり、かつ路線曲線長が最小となる路線を選び出す。

いま始点と終点は与えられており、始点から数えて*i*番目の測点のうち*j*番の測点の座標が  $P_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$  とする。また、始点から*i*番目の測点まで到達する場合の最小距離を  $L_i$ , *i*-1番目の測点と*i*番目の測点までの曲線長を  $l_i$  とする。1点の測点は、前後2点までの路線に影響を与えるから、ダイナミックプログラミングにおける漸化式は次の式で与えられる。

$$L_i = \min_{P_{i-1}, P_i} \{ L_{i-2} + l_{i-1} + l_i \}$$

すなわち、上記の問題では2段階ずつの最適制御を求めて行く方法をとる必要がある。

上記の問題を解くには、まず  $L_0=0$  として

$$L_0 = \min_{P_1, P_2} \{ l_1 + l_2 \}$$

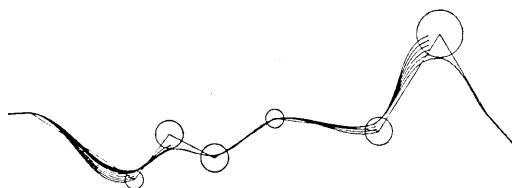


図 16 D.P.による路線選定

を求めるところから始め、終点までの最小距離  $L_n$  を与えるような最適経路

$$\{P_1^*, P_2^*, P_3^*, \dots, P_n\}$$

を求めればよい。

図 16 はダイナミックプログラミングによって路線を選定した様子を模式的にあらわしている。

#### 4. 比較路線の検討に必要な情報処理

比較路線のルートが選定されると、いろいろな角度から比較路線を評価してその優劣を比較しなければならない。路線の建設目的によって、なにを優先的に評価するかが異なる。しかし一般には、まず建設工費の比較がなされる場合が多い。次に、最近は、路線の景観上あるいは自然との対応という形の検討がなされることが重要になってきた。第3番に、土砂崩れなどの災害に対する危険性を考慮しなければならない。ここでは、主に上にのべた3つの項目に関する評価に関して、その自動処理の手法についてのべることにする。

##### (1) 比較路線の土工量算定計算の自動化

路線建設に伴う工費は、橋梁やトンネルなどの構造物のほかに、土工に要する費用に主に占められる。橋梁やトンネルなどの構造物は比較的積算しやすいのに対し、土工費用は地形に影響をうけるため設計して見ないと計算しにくい要素を含んでいる。また、土工量の算定が路線設計のなかでより多くの人手と時間を要する。したがって土工量算定計算を自動化することは、より多くの路線を比較する上できわめて重要となる。

土工量を算定するには、路線の平面線形のほかに縦断線形が決定されていることが必要であり、さらに、路線の横断面の構造が明らかにされていなければならない。

比較路線を検討する段階では縦断計画について多くの比較案の検討が必要になる。縦断計画における制約の主なものには、河や水路などの水処理に関するものと、用地、物件の制約がある。したがって、これらの制約を考慮すれば、地形縦断図の上で、大略何通りかの縦断曲線をフリー手で描くことができる。

このフリー手で描かれた縦断曲線を幾何学的な線形に修正するソフトウェアは、平面曲線の場合より容易に開発することが可能である。

土工量を算定するには、帯状ディジタルテインモデルにより、横断地形標高を求め、縦断および標準横断形

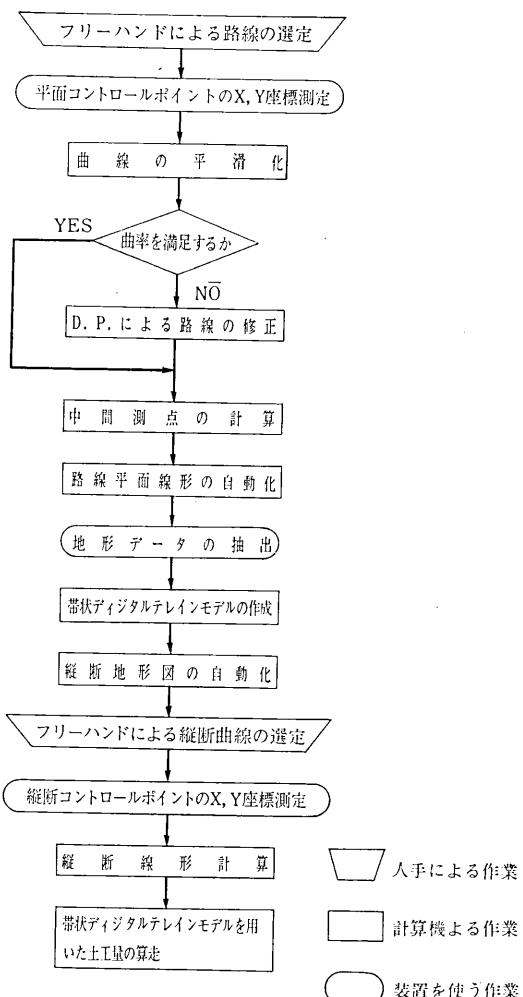


図 17 土工量算定計算までの流れ図

状によりきまる路線計画高と横断地形との囲む面積を求めればよい。

比較路線の選定から土工量算定までを一貫して行なうには、図 17 に示すような流れにしたがって計算をすすめればよい。

##### (2) 比較路線の視覚検討

比較路線が自然の景観の中でどのような位置を占めるかを視覚的に表現することが、きわめて重要になった。

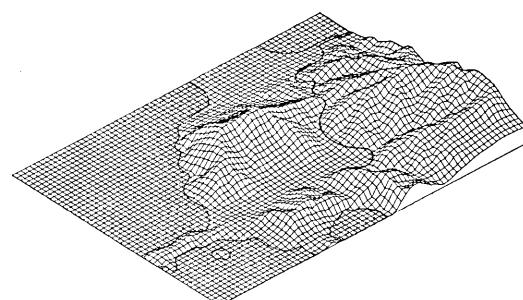


図 18 路線と地形景観

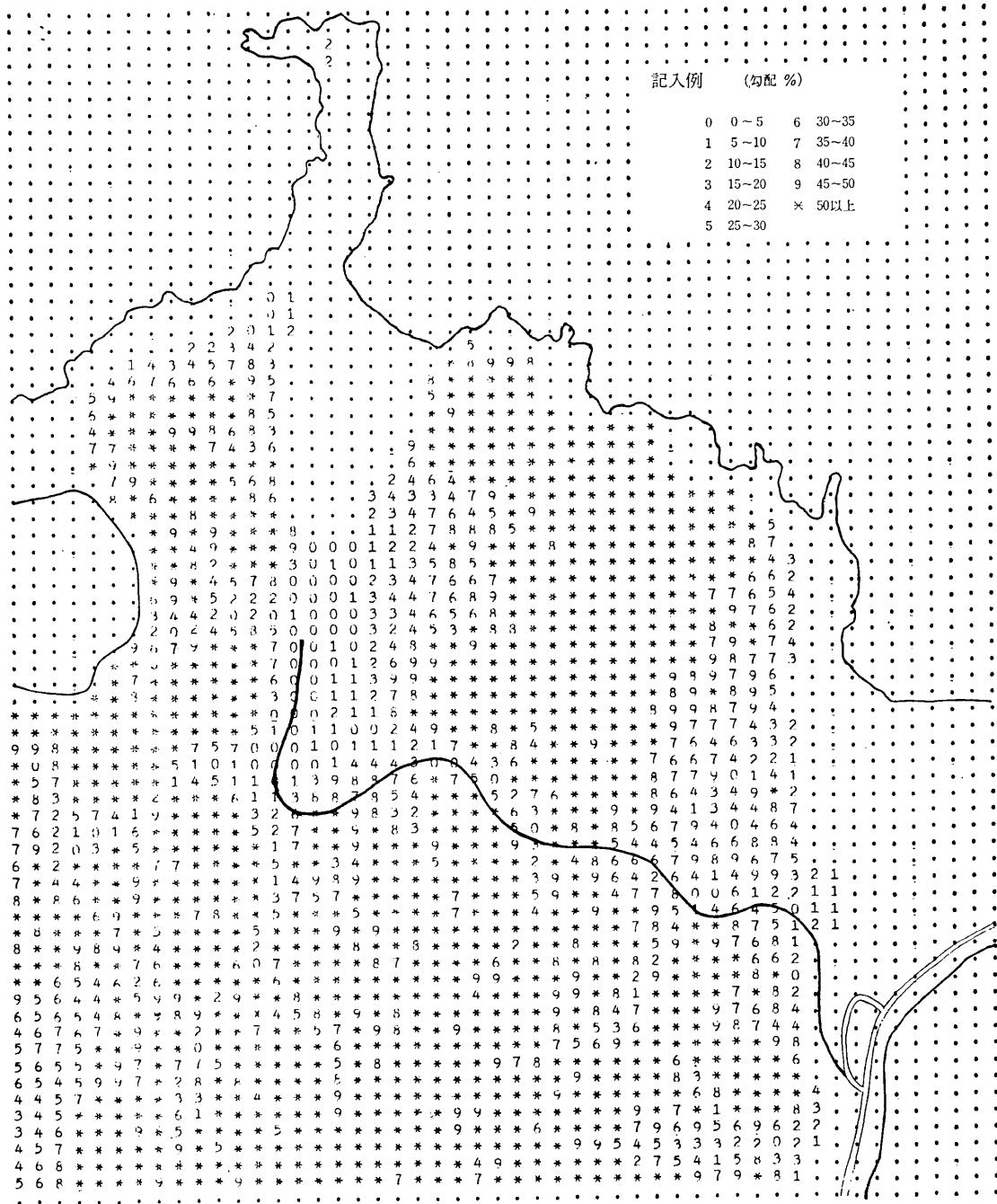


図19 地形勾配図

これは技術上の検討をするのに役立つばかりでなく、周辺の住民に計画の概要を理解してもらう上にも役立つ。

このような目的のためには、路線全体を大局的に眺められるような図的表現と、比較的局所的に路線計画を眺められるような図的表現とが必要である。

ここでは、前にあげた路線の例にもとづいて、全体の地形の中に占める路線の姿を見るために、等角投影図の表現方法を用いた例を図18に示す。

### (3) 比較路線の安全性に対する検討

路線の建設費が安く、景観がすぐれている計画であっても、災害発生の危険度が高いものであっては、路線の評価は低くなる。路線建設に伴なう災害の主なものは、路線沿いの斜面崩壊および水系の変更による水の災害である。したがって路線が計画される周辺の地形勾配や流域面積などが、一連の地形情報処理のシステムとして自動的に計算あるいは作図されるようになっていることが

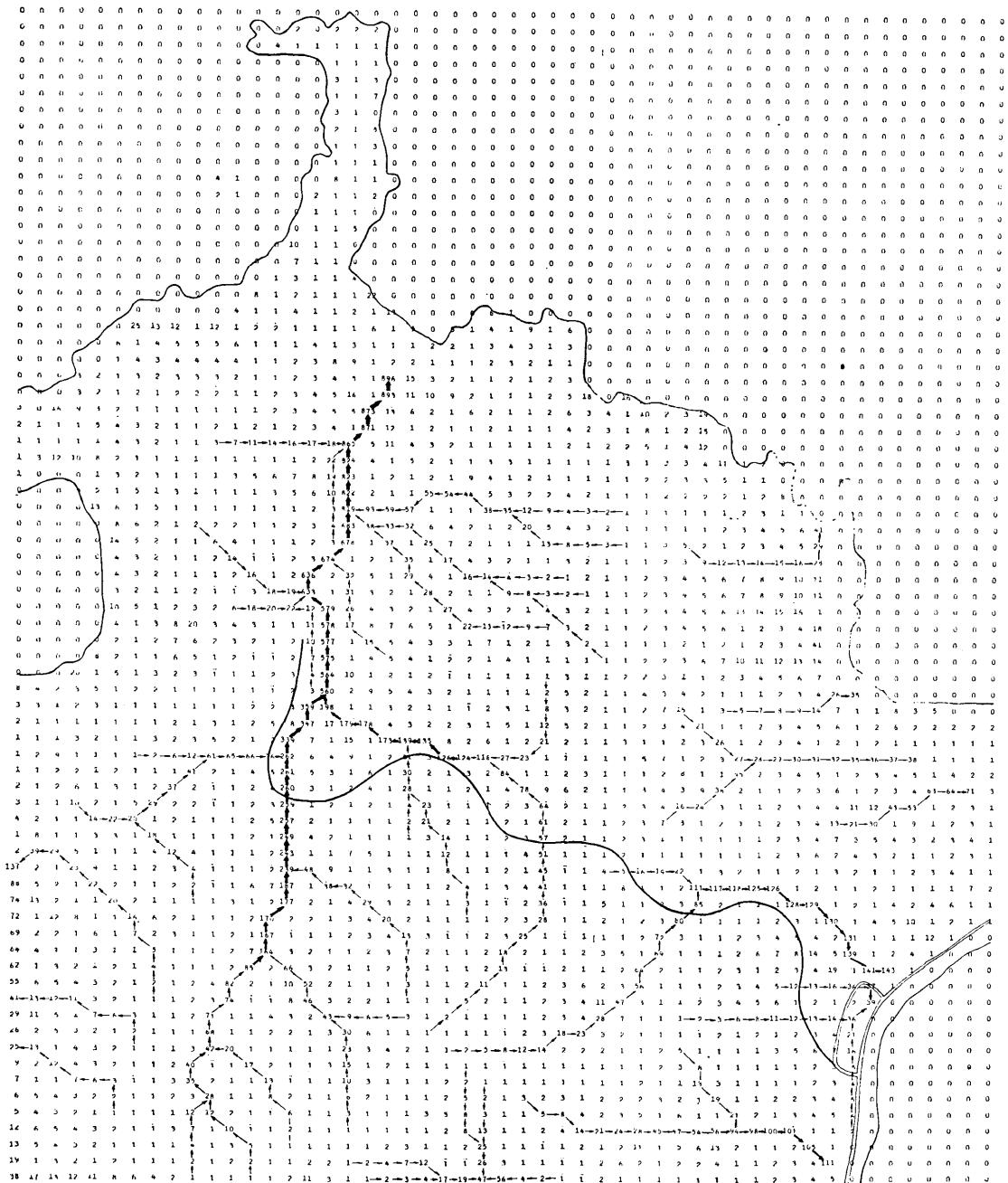


図 20 流域面積図

必要である。

図 19 および図 20 は上記の地域における地形勾配図および流域面積図をラインプリンタで作成したものである。このような図は、路線の安全性を概略検討するのにきわめて有効である。また、路線の排水計画をすすめる上にも役に立つであろう。

### あとがき

数多くの比較路線について能率的にその優劣を比較するためには、路線の幾何学的な計算と地形の数値化とを

うまく組合せたシステムの開発が必要である。

路線の比較は、単に建設費の上からだけでなく、視覚的な景観構成および安全性など幅広い見地から行なうべきである。

本研究では、地形情報処理システムと結びついた比較路線選定の自動処理の手法を開発したが、国土をより大切に保護するような路線計画の構想をたてる段階できわめて有力な手法となるにちがいない。

本研究で開発したシステムが、路線設計画のなかに活用されれば幸いである。

(1971年1月25日受理)