

道路透視図作製の新しい方法

A NEW METHOD OF MAKING HIGHWAY PERSPECTIVE VIEWS

中村英夫*・柴田正雄**

By Hideo Nakamura and Masao Shibata

1. はしがき

道路の線形は、一般には平面線形と縦断線形という二次元線形を別々に処理し、これらを三次元的に構成することによって設計されるため、両線形の調和をとり、よい立体線形を設計することは容易ではない。しかも、この両線形の調和は走行する自動車が高速になればなるほど不可欠であることはいうまでもない。そのため、最近では設計段階において、いわゆる透視図をつくり、これをもとにして、設計技術者が視覚的に線形の良否を判断することが広く行なわれるようになってきた。透視図は、建築設計の方面では、いままでさかんに用いられているが、土木設計ではあまり用いられることはなかった。しかし、建築設計では主として審美的な問題を対象としているだけであるのに対して、道路の設計では、それに加えて走行性の問題、視距の問題の解析など metric な目的にも必要となってきたため、建築設計におけるより、さらに重要性をもつようになったのである。

しかし、このような目的に用いる道路透視図は1,2枚ならともかく、ある設計区間全長にわたって、線形選定上の問題となる多くの地点において作成することは簡単ではない。それは道路が建築物のように直線的な構成でないため、いわゆる投射線法によって図解的に投影変換をすることことができず、大量の計算および図上への展開を必要とする計算法によらなければならぬためである¹⁾。しかし、現在の電子工学はこのような困難さを解決するのに有効な手段を提供してくれる。すなわち電子計算機による計算処理と数値制御による自動描画である。

従来から線形計算の多くは電子計算機によって行なわれてきている。したがって、その際に得られるデータを道路透視図をつくるためのデータに変更すれば、計算法による場合でも、これに要する計算時間や手数は非常に少なくてすみ、これに自動描画を組み合わせることによって透視図を簡単に、かつ迅速につくることができるので、よりよい線形の選定を行なうための資料として、これらを手近に用いることができるようになるのである。

ここでは上述のような方法によって透視図をつくる方

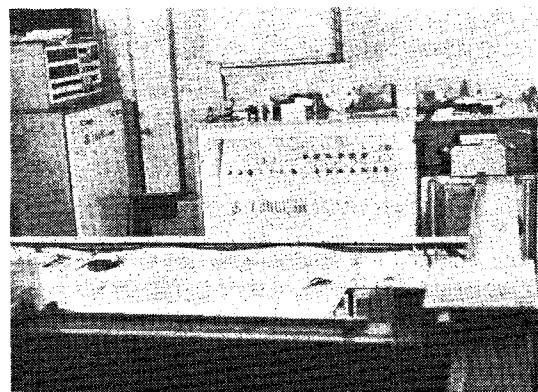
法を述べる。なお、この同じ手法が設計路線の鳥瞰図の作成や、航空写真に設計路線を描画する方法にも拡張できる。これらを含めて説明することにする。

2. 数値制御による自動描画

人間は視覚によってある問題を把握し、その印象にしたがってその問題に対するつぎの行動を決定する場合が非常に多い。このような理解と決定の仕方は、電子計算機とくらべて人間の最も得意とする方法である。したがって、設計問題に対して、昨今電子計算機がいかに大々的に利用されようと、設計の最終的判断は設計者の手により、電子計算機は設計者に、その判断の資料を提供するにとどまっている限り、電子計算機が設計者に提供する資料は、設計者が理解し判断するに最も適した形、すなわち多くの場合、図解的表現であることが一般に必要である。たとえば、単に地盤高と計画高の数値を表にして、電子計算機が印字しても、設計者に地盤線と計画線が描かれた縦断図を見るときのように全体の構成を知り、それにもとづき縦断線形の良否を判断することはむずかしい。

このような電子計算機と技術者の間の情報伝達を円滑にするため、電子計算機の出力を digital-analogue 変換し、図を描く自動描画装置が利用される。電子計算機の出力する数値を図に換える方法としては、ブラウン管を用いて光電的に図を描かせる方法や、サーボモータ、パルスモータ等を用いてペン先を移動させ図を描く方法等が用いられる。ここで用いる装置はパルスモータの駆動

写真一1 自動製図装置



* 正会員 東京大学助教授 生産技術研究所

** 正会員 東京大学生産技術研究所

によりペン書きをする自動描画装置の一種であって、Numericon と呼ばれているものである。この装置は数値制御部と描画部に分けられ、その諸元等はつぎのとおりである。

数値制御装置

入力装置 光電式テープ読取装置

読取速度 200 steps/sec

使用素子 テランジスター

パルスモータ設定精度 0.02 mm/pulse

描画装置

描画台 1.8×1.8 m

X, Y 軸精度 真直度 ± 0.02 mm

復元精度 ± 0.01 mm

送り精度 ± 0.05 mm

ペン移動速度 X, Y 軸方向 1200 mm/min

斜め方向および曲線 600 mm/min

この装置の動作は、まずテープ読取装置が電子計算機の出力データである8単位さん孔テープを入力レジスターに読み込み、その情報を記憶装置に貯え、製図1プロック7分読み終ると演算回路でパルスの分配計算を行ない、X, Y 軸のパルスモータにパルスを送る。このパルスモータの回転量はパルス数に比例し、回転速度は周波数によって制御される。Y軸レールおよびX軸上を移動するヘッド部はこのパルスモータによって駆動され、ペンの上げ下げの制御は電磁石により制御装置からの指令にしたがって実行される。

この装置で描き得る基本の曲線は、直線および円曲線であって、これら基本曲線は ± 0.02 mm の精度で階段上に近似せられる。他の任意の曲線はすべてこの基本曲線により近似されねばならない。描画に際してプログラム指令すべきものは、

ペンの上げ下げの指令

基本曲線の種類(円曲線、直線)

曲線の始終点座標とその所属象限

描画ブロック終了の指令

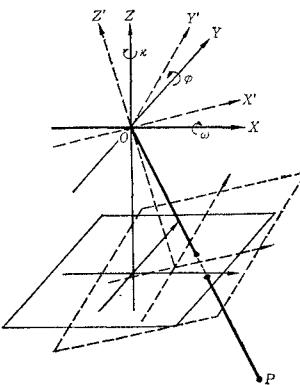
である。

この自動製図装置は縦断図、横断図、平面線形図等、道路設計の面だけでも多くの場合に有効に利用され得るが、透視図作成の場合が、曲線形が複雑であること、曲線の数が多いことなどの理由から特に効果的である。

3. 中心投影への変換

透視図とはいうまでもなく三次元像をある一定の画面に中心投影した図を指す。したがって地上写真も航空写真もこの中心投影であるという点で透視図と全く同じである。そこで、いまこれらの中心投影変換の関係を一般的に表わすため、航空写真の場合をとって考えてみるこ

図-1 立体座標の変換



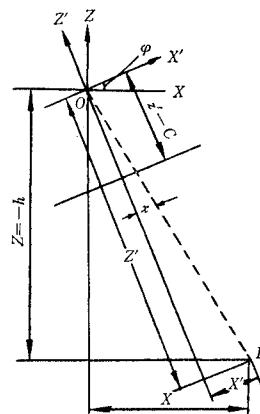
とする。

まず、図-1の X, Y, Z 座標系を X 軸のまわりに ω , Y 軸のまわりに φ , Z 軸のまわりに κ なる角だけ順次回転したとき、回転前の座標系で (X, Y, Z) と表わされた点 P' の回転後の座標 (X', Y', Z') は

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots (1)$$

で表わされる。

図-2 射影変換



傾いた画面上での P の位置 (x', y') は 図-2 より明らかなごとく

$$\left. \begin{array}{l} x' = \frac{X'}{Z'} z' \\ y' = \frac{Y'}{Z'} z' \end{array} \right\} \quad \dots \dots \dots (2)$$

であるから、式 (1) より

$$\left. \begin{aligned} x' &= -c \frac{X \cos \kappa \cos \varphi + Y (-\sin \kappa \cos \omega + \cos \kappa \sin \varphi \sin \omega) - h(\sin \kappa \sin \omega + \cos \kappa \sin \varphi \cos \omega)}{-X \sin \varphi + Y \cos \varphi \sin \omega - h \cos \varphi \cos \omega} \\ y' &= -c \frac{X \sin \kappa \cos \varphi + Y (\cos \kappa \cos \omega + \sin \kappa \sin \varphi \sin \omega) - h(-\cos \kappa \sin \omega + \sin \kappa \sin \varphi \cos \omega)}{-X \sin \varphi + Y \cos \varphi \sin \omega - h \cos \varphi \cos \omega} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

と求められる。

これが中心投影変換を示す一般式である。地上写真あるいは透視図に関しては、図の見る方向を変えれば十分であって、図-3 の記法にしたがうとき視点の座標を

$$\left. \begin{aligned} x' &= c \frac{(X-X_0)\cos \kappa - (Y-Y_0)\sin \kappa \cos \omega + (Z-Z_0)\sin \kappa \sin \omega}{(X-X_0)\sin \kappa + (Y-Y_0)\cos \kappa \cos \omega - (Z-Z_0)\cos \kappa \sin \omega} \\ z' &= c \frac{(Y-Y_0)\sin \omega + (Z-Z_0)\cos \omega}{(X-X_0)\sin \kappa + (Y-Y_0)\cos \kappa \cos \omega - (Z-Z_0)\cos \kappa \sin \omega} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。

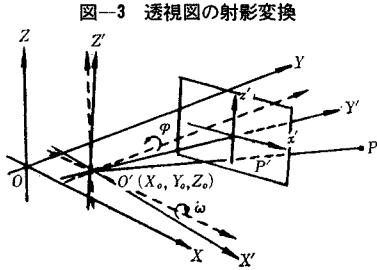


図-3 透視図の射影変換

4. 道路透視図のための計算プログラム

道路透視図作成のためにはつぎの4つの計算処理が必要である。

- 1) 描くべき点の測地座標を求める。
- 2) その座標を中心投影変換し、透視図座標で表わす。
- 3) 1本の曲線で結ばるべき点の群をつくり、それらを滑らかな曲線で連結する。
- 4) この曲線を描くため自動製図装置に入力するデータをそのformatにしたがって作成し、テープにさん孔する。

これらの計算処理は、それぞれさらに何段階かの処理過程に分けられるが、この計算プログラムはその各過程に対応するサブルーチン形式のプログラムより構成される。以下にそのプログラムの内容を概略述べてみる。

Program 1. 平面線形計算

1-1. 局地座標系と測地座標系の対応関係

主要点座標 (X, Y) クロソイドパラメータ A , 円弧半径 R を INPUT DATA として、クロソイド、円弧等各曲線に用いられる局地座標系 (x, y) と測地座標系 (X, Y) の関係を求めるプログラムである（図-4）。

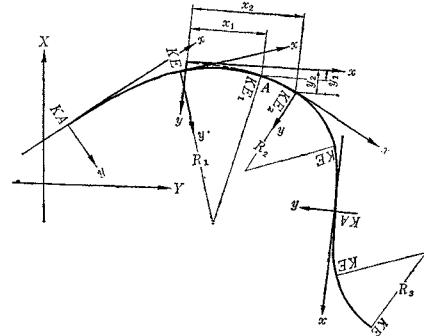
この計算法をクロソイド部分について述べるとつぎのようである。

隣り合う2つの主要点 KE_1, KE_2 において曲線半径を R_1, R_2 とする。 R_i は符号を付し、進行右回りでは $R>0$, 左回りでは $R<0$ として与える。そのとき

(X_0, Y_0, Z_0) とすれば、透視図、地上写真では一般に $\varphi=0$ であるから $P(X, Y, Z)$ の画面上での座標 (x', z') は

$$\left. \begin{aligned} x' &= c \frac{(X-X_0)\cos \kappa - (Y-Y_0)\sin \kappa \cos \omega + (Z-Z_0)\sin \kappa \sin \omega}{(X-X_0)\sin \kappa + (Y-Y_0)\cos \kappa \cos \omega - (Z-Z_0)\cos \kappa \sin \omega} \\ z' &= c \frac{(Y-Y_0)\sin \omega + (Z-Z_0)\cos \omega}{(X-X_0)\sin \kappa + (Y-Y_0)\cos \kappa \cos \omega - (Z-Z_0)\cos \kappa \sin \omega} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

図-4 測地座標系と局地座標系



$$1/R_2 - 1/R_1 > 0 \text{ なら } A^2 > 0$$

$$1/R_2 - 1/R_1 < 0 \text{ なら } A^2 < 0$$

とする。また KE_1, KE_2 における接線角 τ_1, τ_2 は

$$\tau_1 = \frac{A^2}{2R_1^2}, \quad \tau_2 = \frac{A^2}{2R_2^2}$$

このとき KE_1, KE_2 の局地（クロソイド）座標は

$$\begin{cases} x_1 = 2R_1 \sin cl \tau_1 & (x_2 = 2R_2 \sin cl \tau_2) \\ y_1 = 2R_1 \cos cl \tau_1 & (y_2 = 2R_2 \cos cl \tau_2) \end{cases} \quad \dots\dots\dots(5)$$

と得られるから

$$KE_1 \text{ について } (x_1, y_1) \rightarrow (X_1, Y_1)$$

$$KE_2 \text{ について } (x_2, y_2) \rightarrow (X_2, Y_2)$$

となるような変換

$$\left. \begin{aligned} X &= ax + by + X_0 \\ Y &= -bx + ay + Y_0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(6)$$

を行なって変換係数 a, b, X_0, Y_0 を決定する。

1-2. 任意の中間点座標の計算

1-1.と同じくクロソイド部について例示する。 KE_2 の追加距離を l_2 , 中間点 P の追加距離を l とすると、 P における曲線半径 R 接線角 τ は

$$R = A^2 / \left(\frac{A^2}{R_2} - l_2 + l \right) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\tau = \frac{A^2}{2R^2} \quad \dots\dots\dots(8)$$

であるから、 P のクロソイド（局地）座標は

$$\begin{cases} x = 2R \sin cl \tau \\ y = 2R \cos cl \tau \end{cases}$$

となる。したがって前記の変換係数を用いて P の測地座標は

またペンの下げはじめの位置には M_0 なる記号を、
上げる位置には M_1 なる記号をこの format の中に付
けて示さなければならない。

この routine では、曲線で結んで描かれるべきすべての座標を、このような座標系での値に変換し、上記の形式の format にしてテープにさん孔し、電子計算機より出力するものである。

5. 透視図作製の過程

(1) 計算過程

3.において述べた各 program を用いて、平面線形、縦断線形等の諸データにもとづいて与えられた道路形状を視点より一定方向に視準した透視図を作製する計算が行なわれる。その計算過程をつぎに示す。

STEP 1.

平面線形データにもとづき program 1-1 により各直線, 円弧, クロソイド区間において採用した局地座標系と測地座標系の対応関係をすべての局地座標系について求める。

STEP 2.

標準座標系と測地座標系の対応関係を Program 1, program 2, program 5 により決定する。

STEP 3.

縦断方向に結ばれるべき曲線を描くデータを作製する。この STEP はさらにつぎの各 STEP を踏んで行なわれ、逐次 1 本ずつの縦断方向曲線について、必要な計算処理が終了するまでくり返される。

STEP 3-1 描くべき縦断方向曲線上にある横断面上の点の番号（縦断曲線番号）およびその曲線が描くべき範囲を示す追加距離を読み込み、以下の計算がどの曲線から、どの範囲で行なうかの指令を行なう。

STEP 3-2 中心杭の座標 (X , Y , Z) を program 1, 2 により計算する。

STEP 3-3 STEP 3-1 で指定された点の中心からのなれ (l, h) を program 3, 4 により求める。

STEP 3-4 この点の座標を中心杭座標 (X, Y, Z) とはなれ (l, h) にもとづき program 1-1 により計算する。

STEP 3-5 program 6により中心投影変換し、透視図座標に直す。

STEP 3-6 これらの点の間を program 7 により円弧近似し、同時にこの円弧近似の適、不適を program 8 により検討し、点の間隔を修正して STEP 3-2 に戻って、再び STEP 3-6 までくり返し、すべての点の間を滑らかな曲線で連結する。

STEP 3-7 描画データの format を program 9により作製し、テープにさし込む。

STEP 4.

横断方向に連結されて描かれる曲線を描くデータを作製する。

STEP 4-1 追加距離 l_1 から l_2 までを間隔 a で横断線をとり、これらの横断線は番号 i の点より番号 n の点までの間を点、直線または円弧で結んで描くという指令が入力データとして与えられる。この STEP により以後の各 STEP で必要とする計算の選択がなされる。

STEP 4-2 STEP 3-1 と同じ計算が行なわれる。

STEP 4-3～4-5 STEP 3-3～3-5 同じ計算が、
1 横断線上のすべての点について終了するまで行なわれる。

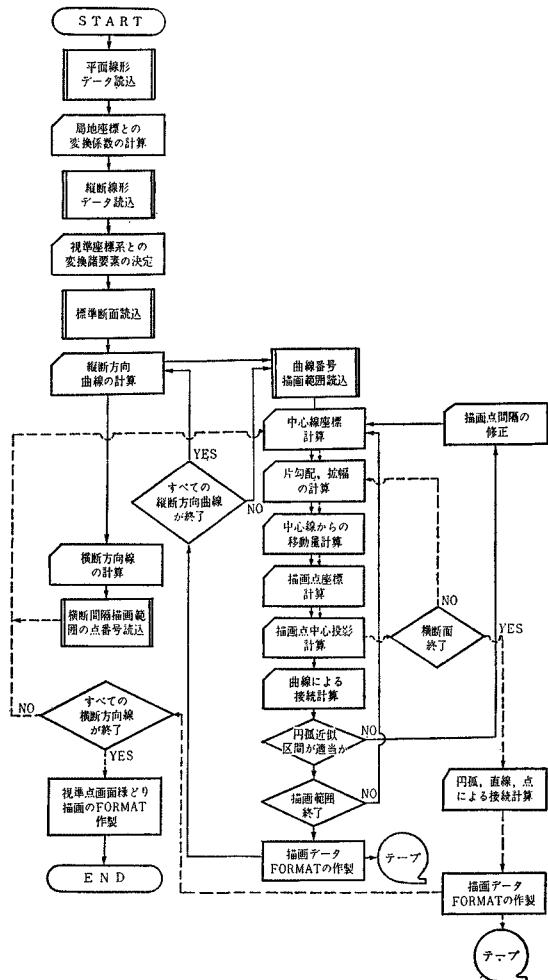
STEP 4-6 STEP 4-1 の指定にしたがい、点、直線、円弧で各点の間を連結する。

STEP 4-7 描画 format を作製し、テープにさん孔する。STEP 4-2~4-7 はすべての横断線について終了するまでくり返えされる。

STEP 5.

視準点（投影変換基準点）を透視画面上に展開する

図-1 フローダイアグラム



format および画面のふちどり描画の format を作製し、テープにさん孔する。

以上の計算過程をフローダイアグラムで示したのが、図-7 である。

図-8 スクライプした道路スケルトンの透視図

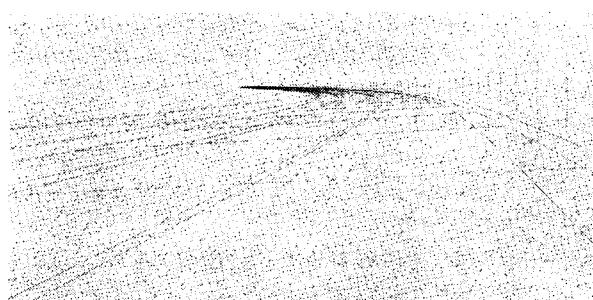


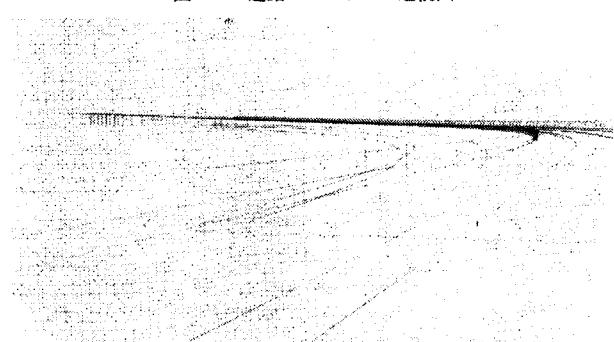
図-9 トンネル坑口付近透視図



写真-2 原写真



図-10 道路スケルトンの透視図



(2) 自動描画

上記の計算処理で得られたさん孔テープを自動製図装置に feed すれば、この装置はただちに道路スケルトンの透視図を描く。用いる図紙としては、ペン書きであればマイラーベースが望ましい。特に精確な図を得たい場合にはスクライビングシートにスクライブされる(図-8)。この装置ではペンの太さは任意に変えることができるから、線によりその太さを変えることは自由である。

自動描画に要する時間は、図-9 に示す例で約 30 分である。

(3) フォトモンタージュ

道路透視図は線形の交通工学的検討のみならず風致工学的検討に対しても適切な資料となり得るものであることが要求される。この要求に合致するためには、道路透視図には周囲の風景も描かなければならない。ここではその目的のために現地で撮影した写真を用いて道路透視図にモンタージュする。

写真撮影には、写真経緯儀 C3B が用いられる。立地点より透視図の視準軸方向を向けて撮影される。C3B の焦点距離は $f=193.3\text{ mm}$ であるので、画面距離 C で描かれた道路透視図と重ねるためには、この写真を c/f の倍率で拡大する必要がある。また、この写真の原版上に道路透視図を重ねるときは、 $c=f$ として透視図への投影変換がなされねばならない。

この過程を経て作製せられた透視図の例が写真-2、図-10、写真-3 である。

また任意の地点より見た鳥かん図も同じ手法で作製が可能である。この一例が図-11、写真-4 である。

6. 航空写真上への道路線形の描画

航空写真に計画道路を正確に書き入れることができれば、その写真を実体観察するとき、そのような航空写真是もとの航空写真のもつ以上に多彩な情報を道路設計者に提供し得る。

このような計画道路の描かれた航空写真是 4.において述べた道路透視図の場合と全く同様な手法により作製することができる。ただ地上での透視図の場合と違って航空写真では視点位置(投影中心)および視準軸方向が不明であるため、これを求める過程が必要であること、および写真の縮尺が小さいため、線形を描く精度をきわめて高くしなければならないことなど、作製の過程はいくぶん複雑になる。

以下にその方法を述べる。

写真-3 フォトモンタージュした透視図
(東名高速道路、浜名湖付近)

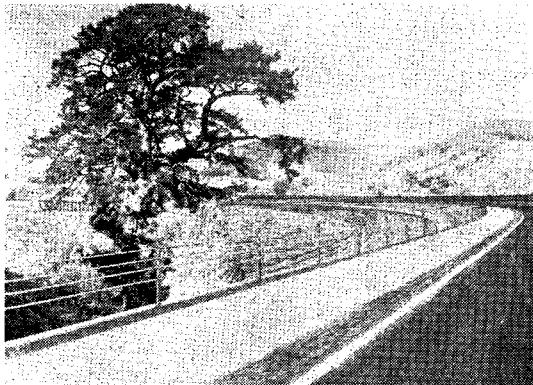


図-11 道路スケルトン

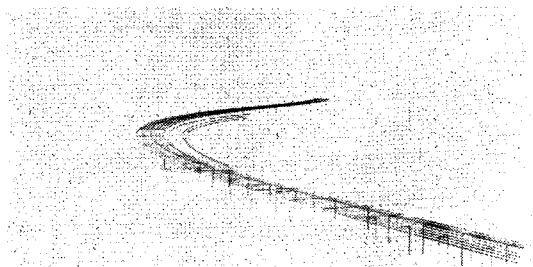
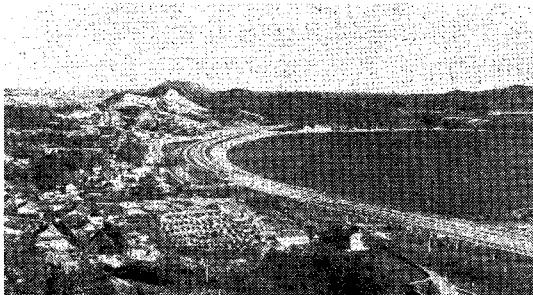


写真-4 鳥かん図（東名高速道路、浜名湖付近）



(1) 写真座標の測定

航空写真の投影中心位置 (X_0, Y_0, Z_0) よび傾き (κ, ω, φ) は写真座標 (x', y') と地上座標 (X, Y, Z) の対応関係を示す式 (13) を解くことにより求めることができる。式 (13) を解いて、これらの未知量を決定するためには、地上座標 (X, Y, Z) が既知のパスポイントの写真座標 (x', y') を、6 点以上の点についてあらかじめ測定しておく必要がある。パスポイントは通常航空三角測量の段階で写真上に点刻されている。したがって測定には、今回は Zeiss Stereo Comparator を用いたが、monocular の Comparator を用いれば十分である。もちろん、航空三角測量が解析法で行なわれている場合には、これらパスポイントの写真座標測定も終っているため、そのデータを利用すればよい。わが国の場合、航空三角測量を解析法で行なうことが多いから、多

この場合この測定はあらためて行なう必要はない。

パスポイントの写真座標測定と同時に4個の写真指標の座標が測定せられる。これはカメラにより、一定の値をとる写真指標の座標を用いて、写真主点を原点とする写真座標系にパスポイントの測定値をヘルマート変換するためである。

(2) 写真の空間位置

式(3)において、投影中心の座標を (X_0, Y_0, Z_0) とするととき、写真座標と地上座標の対応関係式は

$$x' = -c \frac{(X - X_0) \cos \kappa \cos \varphi + (Y - Y_0)(-\sin \kappa \cos \omega)}{-(X - X_0) \sin \varphi + (Y - Y_0) \cos \varphi \sin \omega} *$$

$$* \frac{+ \cos \kappa \sin \varphi \sin \omega - (Z - Z_0)(\sin \kappa \sin \omega)}{-(Z - Z_0) \cos \varphi \cos \omega} *$$

$$* \underline{\underline{+ \cos \kappa \sin \varphi \cos \omega}}$$

となる。

ここで、 c はカメラに明示された焦点距離 f_0 を乾板の伸縮を考慮して $4f$ だけ補正した値、すなわち

$$c = f_0 + 4f = f_0 + f_0 \frac{r - r_0}{r_0} \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

ただし、 r_0 = 指標間の標準距離

r =指標間のコンパレーターによる測定距離を用いる。

このようにするとき、定めるべき未知数は (X_0, Y_0, Z_0) , $(\kappa, \omega, \varphi)$ の 6 個であるから、写真座標 (x_i, y_i) (以後傾いた写真座標を示す x', y' の ' は省いて x, y と表わすこととする), 地上座標 (X_i, Y_i, Z_i) , $(i=1, 2, \dots, n)$ のわかっている 6 点以上のパスポイントを用いて、これら未知数の最確値を得ることができる。

すなわち、残差 v_x, v_y を

$$\left. \begin{aligned} v_{xi} &= M_{xi} - x_i \\ v_{yi} &= M_{yi} - y_i \end{aligned} \right\} (15)$$

ただし M_{xi} M_{yi} は測定された写真座標値

として

を最小にする (X_0, Y_0, Z_0) , $(\kappa, \omega, \varphi)$ を求める。

まず、式(16)を近似値 (X_{00}, Y_{00}, Z_{00}) および $(\kappa_0, \varphi_0, \omega_0)$ のまわりで線形化して

$$x = (x)_0 + \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi} \right)_0 d\varphi + \left(\frac{\partial x}{\partial \omega} \right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial x}{\partial \kappa} \right)_0 d\kappa \\ + \left(\frac{\partial x}{\partial X_0} \right)_0 dX_0 + \left(\frac{\partial x}{\partial Y_0} \right)_0 dY_0 + \left(\frac{\partial x}{\partial Z_0} \right)_0 dZ_0$$

$$y = (y)_0 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi} \right)_0 d\varphi + \left(\frac{\partial y}{\partial \omega} \right)_0 d\omega - \left(\frac{\partial y}{\partial \kappa} \right)_0 d\kappa \\ + \left(\frac{\partial y}{\partial X_0} \right)_0 dX_0 + \left(\frac{\partial y}{\partial Y_0} \right)_0 dY_0 + \left(\frac{\partial y}{\partial Z_0} \right)_0 dZ_0 \quad (17)$$

かくして

$$\frac{\partial s}{\partial \Delta X_0} = \frac{\partial s}{\partial \Delta Y_0} = \frac{\partial s}{\partial \Delta Z_0} = \frac{\partial s}{\partial \Delta \varphi} = \frac{\partial s}{\partial \Delta \omega} = \frac{\partial s}{\partial \Delta \kappa} = 0$$

.....(18)

より ΔX_0 , ΔY_0 , ΔZ_0 , $\Delta \varphi$, $\Delta \omega$, $\Delta \kappa$ に関するつぎの連立方程式がつくられる。

$$\begin{pmatrix} P_{\varphi\varphi} & P_{\varphi\omega} & P_{\varphi\xi} & P_{\varphi X_0} & P_{\varphi Y_0} & P_{\varphi Z_0} \\ P_{\omega\varphi} & P_{\omega\omega} & P_{\omega\xi} & P_{\omega X_0} & P_{\omega Y_0} & P_{\omega Z_0} \\ P_{\xi\varphi} & P_{\xi\omega} & P_{\xi\xi} & P_{\xi X_0} & P_{\xi Y_0} & P_{\xi Z_0} \\ P_{X_0\varphi} & P_{X_0\omega} & P_{X_0\xi} & P_{X_0 X_0} & P_{X_0 Y_0} & P_{X_0 Z_0} \\ P_{Y_0\varphi} & P_{Y_0\omega} & P_{Y_0\xi} & P_{Y_0 X_0} & P_{Y_0 Y_0} & P_{Y_0 Z_0} \\ P_{Z_0\varphi} & P_{Z_0\omega} & P_{Z_0\xi} & P_{Z_0 X_0} & P_{Z_0 Y_0} & P_{Z_0 Z_0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\varphi \\ \Delta\omega \\ \Delta\xi \\ \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_\varphi \\ q_\omega \\ q_\xi \\ q_{X_0} \\ q_{Y_0} \\ q_{Z_0} \end{pmatrix} \quad (19)$$

ここで

$$P_{mn} = P_{nm} = \Sigma \left(\frac{\partial x}{\partial m} \right)_0 \left(\frac{\partial x}{\partial n} \right)_0 + \Sigma \left(\frac{\partial y}{\partial m} \right)_0 \left(\frac{\partial y}{\partial n} \right)_0$$

$$q_m = \Sigma (M_x - (x)_0) \left(\frac{\partial x}{\partial m} \right)_0 + \Sigma (M_y - (y)_0) \left(\frac{\partial y}{\partial m} \right)_0$$

.....(20)

ただし, $m, n; \Delta\varphi, \Delta\omega, \Delta\kappa, X_0, Y_0, Z_0$

これらの式を解くにあたっての第1近似値はパスポートの写真座標 (x_i, y_i) を地上平面座標 (X_i, Y_i) に Helmert 変換したときの係数、すなわち

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^* X_i^* + \sum_{i=1}^n y_i^* Y_i^*}{\sum_{i=1}^n x_i^* x_i^* + \sum_{i=1}^n y_i^* y_i^*}$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^* X_i^* + \sum_{i=1}^n x_i^* Y_i^*}{\sum_{i=1}^n x_i^* x_i^* + \sum_{i=1}^n y_i^* x_i^*} \quad \dots(21)$$

$$\begin{aligned} C &= -A \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i + B \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \\ D &= -A \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - A \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \end{aligned}$$

ただし

$$x_i^* = x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad X_i^* = X_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$y_i^* = y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad Y_i^* = Y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

を用いて

$$X_{00}=C, \quad Y_{00}=D, \quad Z_{00}=C\sqrt{A^2+B^2}+\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n Z_i$$

$$\varphi_0=\omega_0=0, \quad r_0=\arctan \frac{B}{A}$$

ときめる。

この第1近似値をもとにして逐次第2, 第3, 近似と上記の計算をくり返し, 最確値 X_0 , Y_0 , Z_0 , φ , ω , κ を求める。

このようにして写真的空間位置が決まると、地上座標が (X, Y, Z) である任意の点は式(13)により写真上の座標 (x, y) に投影変換されることができる。

(3) 写真図作製の過程

道路線形を描いた航空写真図を作製する過程は、計算処理過程、描画過程、写真処理過程に分けて行なわれる。計算処理は 4.(1) において述べた場合の STEP 2. が上記 (1) に述べたものと代わる。換言すれば Program 5 が入れ換えられるだけで、他は透視図の場合と同様である。ただ、この場合は写真縮尺が数千分の一の大きさであるため、透視図の場合のように何本もの線を描くことは無意味であり、道路形状はある程度単純化されねばならない。

この計算過程は、鳥かん図作製の場合にもきわめて有効に用いることができる。すなわち、写真にうつる範囲

写真-5 御殿場インターチェンジ航空写真図立体対（中心線のみ）

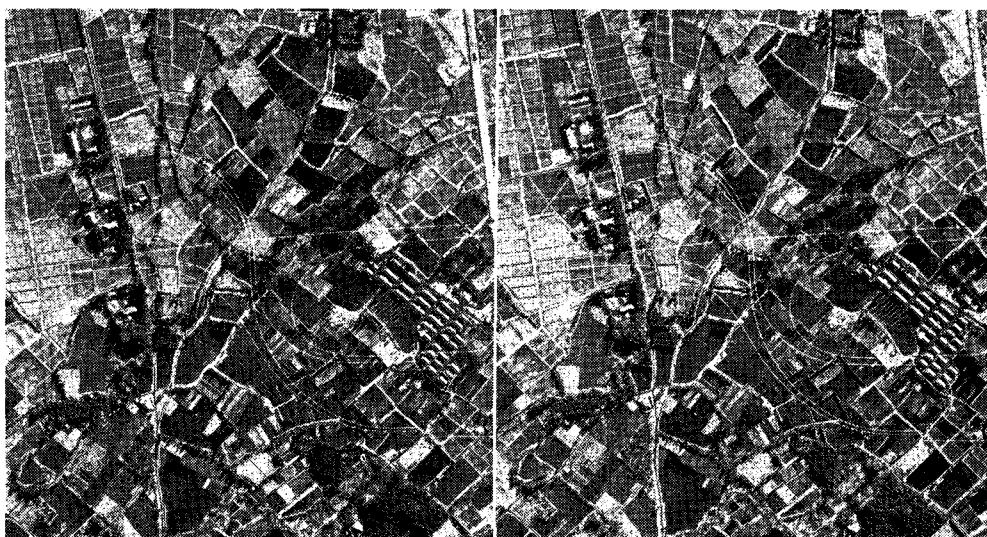


写真-6 御殿場インターチェンジ航空写真図立体対（路肩の線）

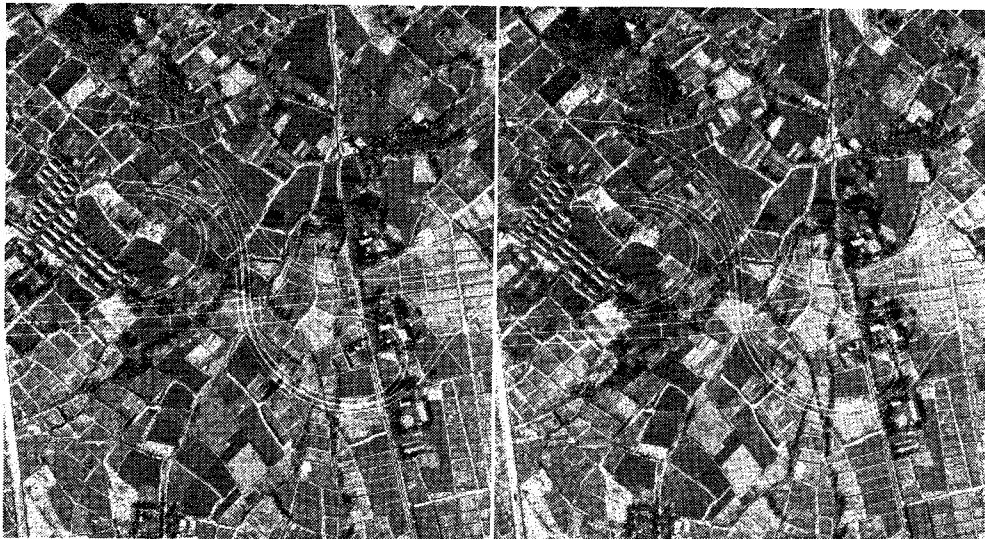
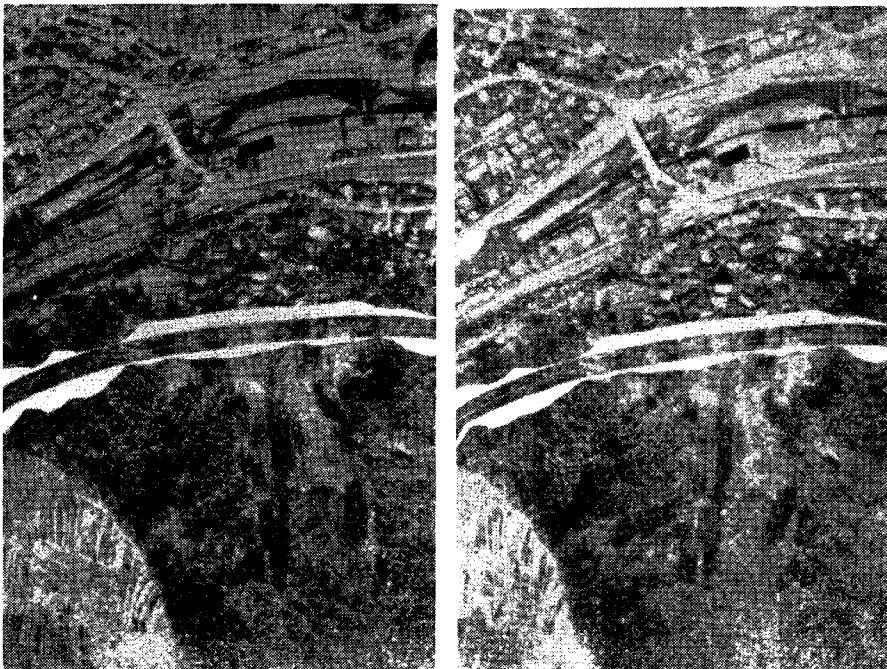


写真-7 法面を白くした航空写真図立体対



内の地上座標既知の点に何らかの標識を設置し、写真に撮し込めば、立地点の測量は不要であり、また、写真の傾きも任意にすることが可能になる。

描画過程では、精度の確保がこの場合最も重要であり、スクリーブが不可欠である。また写真指標の位置、パスポイントの位置も描画されねばならない。現在、期待できる描画精度は $\pm 50 \mu m$ 程度であるから、写真縮尺が 1/6 000 の場合、その精度は地上での距離にして $\pm 30 \text{ cm}$ 程度に相当する。

スクリーピングシートに描かれた線形図は、航空写真

ネガの指標に合わせて重ね焼きを行ない、密着ポジ、あるいはダイアポジが作られる、路面または法面などを白く塗りつぶしたいときには、スクリーブをピールコートの上に行ない、塗りつぶしたい部分をはぎ取ればよい。

(4) 成果例

上に述べてきた方法により作られた航空写真図の例を御殿場インターチェンジ付近について示したのが写真-5、写真-6 の立体写真対である。写真-5 では中心線のみを、写真-6 では路肩の縁を描いている。

また、写真-7 はピールコートに描いて法面を白く抜

いた例である。

7. むすび

これまで述べてきた透視図の自動描画方法の特徴をまとめてみるとつぎのようにいえよう。

(1) きわめて能率的に透視図の作製が可能である。ここで用いた中型電子計算機 OKITAC 5090 で計算所要時間は 図-8 に示す例で約 40 分、描画時間が約 25 分である。しかも、この計算時間のうちの大半はテープのさん孔に費されているから、高速さん孔装置の採用、あるいは磁気テープによる自動描画装置へのデータ受け渡し、などを行なえば、その時間は数分の一以下に短縮し得るものである。

(2) このように、たやすく透視図の作製ができるため、視点あるいは視準方向を自由に変えた図の作製、あるいは線形などを修正したときの透視図の作製が容易に可能になり、よりよい線形の選択が期待できる。

(3) 精度的には、必要とあらば $50 \mu m$ 程度の確保が十分に可能である。

(4) 透視図、鳥かん図、航空写真図と計画道路を視点をかえて各方向から見た図をすべて一つのシステムの中に系統化されている。

(5) 写真座標の測定により写真の位置を定めるここに述べた方法は、とくに鳥かん図の作製の場合にも写真撮影点の位置を現地で測量して決める必要もなく、写真も任意の傾きで撮影できるため、立地点の選定は自由に行なうことができ、また能率的である。

(6) 計画道路を航空写真の中に立体的に描き入れる

ことはこの方法によりはじめて可能になった。このような写真図はそれらを実体観察することにより、線形の周辺地形、地物との関係を調べたり、インター チェンジなどにおける landscaping あるいは集水域の算定、暗きよの配置計画など、いろいろな面において多くの便宜を設計者に提供し得るものである。また、地形図を作ることなく、地形を三次元座標値の集合で表わす数値地形モデル digital terrain model³⁾ を用いて設計するような場合には、選定された計画路線を明示するのに、この写真図はきわめて有効である。

以上のような点よりみて、この方法はきわめて効果的な利用が可能であると考えられる。さらにまた、道路設計の全般についての電子計算システムの中にくり入れられたとき、この方法はさらに有効に使用できると思われる。各機関で試みられ、実作業において、なお一層の改善がなされることを期待するものである。

おわりに、この試みに際してご指導いただいた丸安教授および資料の提供、その他ご協力いただいた日本道路公團に対して感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) V.J. CH. Von Ranke and H. Niebler : Perspektive im Ingenieurbau, insbesondere in Strassenbau, BAU VERLAG GMBH.
- 2) R. Kamiya, G. Kuroiwa and H. Nakamura : A Study on Electronic Computation of Clothoidal Alignment, 土木学会論文集第120号
- 3) 丸安隆和・中村英夫：航空写真と電子計算機による道路路線の設計法、土木学会論文集第106号

(1966.4.13・受付)