

マイコンによる道路線形の 連続透視図の作成

久井 守*

Drawing of the Successive Highway
Perspectives by Microcomputer

Mamoru HISAI

Abstract

This report describes a technique drawing the successive highway perspectives on the graphic display by using the microcomputer. The eye of driver is considered as the point of sight. Therefore, the perspectives drawn on the display are what can be looked from the position of driver. If the running speed and appropriate time interval are given, the perspectives are replaced in turn by the next ones at the point of sight advanced during the time interval. The coordinates of the highway are computed under the given conditions of horizontal and vertical alignment. The hidden lines are not drawn on the display. About 1.5 seconds are required to draw one perspective, that is, the displays are changed every 1.5 seconds. We can feel by watching these displays as if we are actually driving on the highway even before construction.

1. はじめに

本稿は、マイコンを用いて、運転者の位置からみた道路の透視図（運転者透視図）を連続的にディスプレイ画面上に描くことを試みたものである。車の走行速度 V と適当な時間間隔 Δt を条件として与えておけば、その時間間隔の走行距離だけ、つぎつぎに視点位置を前進させて連続透視図を描くことができる。1枚の透視図の座標計算と描画に要する時間を短くすることができれば、原理的には道路線形のアニメーションが可能となり、画面上で実際の運転を視覚的に体験することができる。道路の座標計算は、線形条件を入力しておきさえすれば、これを用いて行なうことができる。したがって建設前の道路でも線形条件が与えられれば連続透視図の作成が可能であり、画面上で運転を体験することができる。

透視図はふるくから道路設計に数多く応用されており、また道路透視図の自動描画装置や連続透視図化機

の開発とそれらによる道路透視図の作成もすでに行なわれている^{1),2)}。また最近ではコンピュータ・グラフィックスの普及ともなって高度な手法が駆使されるようになってきているが³⁾、本稿ではマイコンがあればいつでも自由に線形条件を与えて連続透視図を見ることができるようという目的でBASICプログラムを作成した。これによれば、ごく大まかではあるが道路線形を視覚的に評価することができ、また交通工学の教育用の道具としても有用である。

2. プログラムの概要

道路透視図のプログラムは、基本的には

- ① 道路の線形計算
- ② 画面座標の計算
- ③ 透視図の描画

という3つの部分から構成されているが、プログラムの大部分は線形計算のためのルーチンからなっている。プログラム全体の流れは次のとおりである。

- ① 線形データ、作図条件の入力
- ② 線形座標のファイルがあればそれを入力し、

*土木工学科

- ⑧へ。
- ③ 測地座標系の設定
 - ④ 平面線形座標の計算
 - ⑤ 縦断線形座標の計算
 - ⑥ 横断構成点の座標の計算
 - ⑦ 必要なら線形座標をファイルする。
 - ⑧ 最初の視点位置の設定
 - ⑨ 視点位置を原点とする局地座標系の設定
 - ⑩ 道路の測地座標を局地座標および画面座標に変換する。
 - ⑪ 透視図を描き画面に表示する。
 - ⑫ 視点を前進させる。
 - ⑬ 計算された線形座標が視点前方一定距離 (ここでは850m) 以上あれば⑨へ。

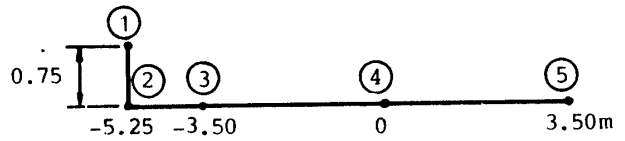


Fig. 2 Cross section data

Table 1 Horizontal Alignment

Distance (m)	Radius of Curve (m)	Clothoid Parameter(m)
0	0	0
410	0	300
500	1000	0
550	1000	300
640	500	0
690	500	300
780	1000	0
830	1000	300
920	0	0
1100	0	300
1200	1000	0
1300	1000	300
1800	0	0

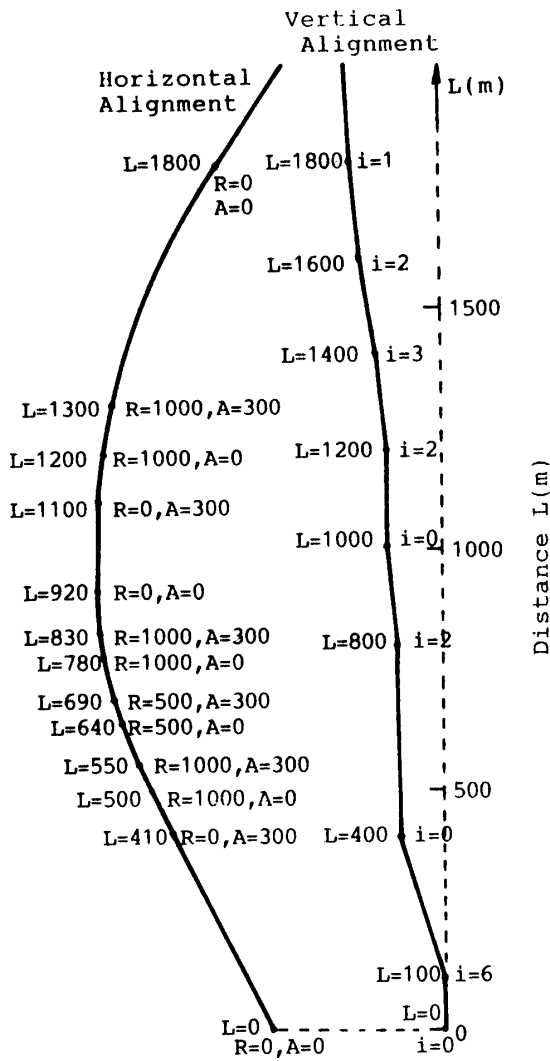


Fig. 1 Example of horizontal and vertical alignment data

Table 2 Vertical Alignment

Distance (m)	Longitudinal Grade (%)	Length of Vertical Curve (m)
0	0.0	50
100	6.0	50
400	0.0	50
800	2.0	50
1000	0.0	50
1200	2.0	50
1400	3.0	50
1600	2.0	50
1800	1.0	50

Table 3 Superelevation

Radius of Curve(m)	Superelevation (%)
2500	1.5
2100	1.5
1240	2.0
870	3.0
670	4.0
540	5.0
450	6.0
380	7.0
330	8.0
280	9.0
230	10.0

3. 入力データ

入力データとしては平面線形、縦断線形、横断こう配および横断構成などの線形条件に関するデータと、作図条件に関するデータが必要である。線形条件に関するデータ例を Fig. 1, Fig. 2, Table 1, Table 2 および Table 3 に示す。

3.1 平面線形

平面線形を構成するのは直線、円およびクロソイドの3種類とする。平面線形のデータとしては、これらの線形要素が変化する地点ごとに、その位置L(m)、その地点の曲率半径R(m)およびクロソイドパラメータA(m)を与える。ここでLは道路原点から中心線に沿って測った距離(追加距離)である。Rは、その地点から始まる線形要素が円の場合はその半径、クロソイドの場合はその地点の曲率半径、直線の場合は0とする。Aは、クロソイドの場合はそのクロソイドパラメータ、円または直線の場合は0とする。RおよびAは進行方向に向かって右回りのカーブの場合は+、左回りの場合は-とする。Table 1 にデータ例を示す。

3.2 縦断線形

縦断線形のデータとしては、縦断こう配の変化点の位置L(m)と、その点から始まる縦断こう配i(%)および縦断曲線長L_v(m)によって与える。こう配の値

は上りこう配を+とし、下りこう配を-とする。データ例を Table 2 に示す。

3.3 横断構成

道路の横断構成は Fig. 2 に示すように2車線道路に路肩と側壁が付属したもの、すなわち横断面は5つの構成点からなるものとする。この場合の入力データは次のように与える(m単位)。道路中心線は必ず(0.0, 0.0)とする。

横断方向の位置	路面からの高さ	
-5.25	0.75	
-5.25	0.00	
-3.50	0.00	
0.00	0.00	: 道路中心線
3.50	0.00	

3.4 横断こう配

道路の直線部では横断こう配をつけ、曲線部では片こう配をつける。片こう配の値は道路構造令の規定に従い、設計速度80km/hに対応する値を用いることとすると Table 3 のようになる。この表は

$R \geq 2500\text{m}$ なら	横断こう配 $\pm 1.5\%$
$2100 \leq R < 2500\text{m}$ なら	片こう配 1.5%
$1240 \leq R < 2100\text{m}$ なら	" 2.0%

などの意味に対応する。

3.5 作図条件

座標計算を行ない、また透視図を作成するための条件を次のように設定する。

測地座標の原点(最初の視点位置)	$L_s = 80\text{m}$
視点位置	$X_s = 1.0\text{m}, H_s = 1.5\text{m}$
視焦点	$Y_s = 100\text{m}$
視点から画面までの距離	$D = 0.5\text{m}$
計算断面間隔	$\Delta L = 5\text{m}$
走行速度	$V = 20\text{km/h}$
透視図作成時間間隔	$\Delta t = 1.5\text{秒}$
視軸は水平とする。	

3.6 データ作成上の注意

- ① 円と直線の間には必ずクロソイドを挿入する。
- ② 線形の変化点間隔は計算断面間隔 ΔL より大きくとる。
- ③ 2つの縦断曲線が重ならないようにする。
- ④ プログラムの都合上、平面線形の最後は直線または円とする。

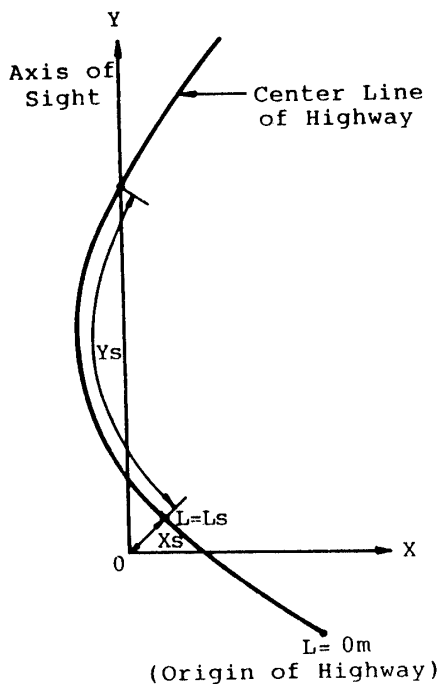


Fig.3 Geodetic coordinate axes

4. 道路の線形計算

道路の線形計算は、道路の中心線に沿ってある一定間隔 ΔL (m)ごとに道路の横断面を構成する各点のX, Y, Z座標を計算することである。線形計算は線形条件に関するデータを用いて計算する。この線形計算は道路のごく簡単な線形設計を行なうことに相当する。平面線形と縦断線形は互いに独立に計算する。

4.1 測地座標軸の設定

線形計算を行なうための測地座標軸は次のように設定する。すなわち Fig. 3 に示すように、道路の原点 $L = 0$ mから中心線に沿って測った追加距離 L_s (m)の地点で道路中心線より左側 X_s (m)の位置に視点を設け、これを測地座標系の原点とし、この点から道路中心線に沿って測った距離 Y_s (m)だけ前方の点を見る水平の直線を視軸とし、これをY軸とする。これと直角の方向をX軸、鉛直上方をZ軸とする。

4.2 平面線形の計算

平面線形の計算は視点位置から前方に向って、道路中心線に沿って ΔL (m)ごとに道路中心線のX, Y座標を計算することである。座標系は最初に設定した測地座標系であるが、計算の便宜上、線形計算が平面線

形要素の変化点にすれば、その変化点に局地座標系を一時的に設定し、その局地座標系で座標計算を行ない、得られた座標値をもとの測地座標系に変換するという方法を用いる。局地座標系のY軸はその地点から始まる線形要素の接線方向とし、それに直角方向にX軸をとる。

直線および円の座標計算は単純である。クロソイドのx, y座標はフレネル積分を級数展開した式によって計算する。本プログラムでは、いうまでもなくクロソイドを含む基本型、S型、卵型、複合型および凸型のあらゆる線形について計算できる。ただし円と直線を直接つなぐ線形については計算できない。すなわち円と直線の間にはクロソイドを挿入することを前提とする。

4.3 縦断線形の計算

縦断線形の計算は、道路中心線のZ座標の値を、視点位置から前方に向って ΔL (m)ごとに計算することである。Z座標の値は視点位置の路面高を0 mとして計算する。縦断こう配の変化点には縦断曲線を挿入する。これは2次放物線を与える。

こう配部および縦断曲線部の線形計算では、道路のこう配部縦断距離は水平距離に等しいとみなして計算する。

4.4 横断面の計算

平面線形および縦断線形の計算の結果、道路中心線のX, Y, Z座標が得られるので、道路中心線と直角方向の横断構成点について、そのX, Y, Z座標の値を計算する。この場合、道路の直線部では横断こう配をつけ、曲線部では片こう配をつける。直線と円の間には緩和曲線としてクロソイドを挿入し、この緩和曲線全長にわたって横断こう配から片こう配へのすりつけを行なう。片こう配のすりつけは道路中心線を回転軸として行なう。

曲線部の拡幅については、例えば第1種の道路では $R \leq 280$ mの場合に車線の拡幅を行なうことが道路構造令に規定されているが、ここでは曲線部の拡幅は行なわない。

4.5 線形座標のファイル作成

以上のようにして、視点位置から ΔL (m)きざみの計算断面について横断構成点の測地座標(X, Y, Z)が計算されれば、その座標値をディスクにファイルすることができる。ファイルしておけば次回からは座標

計算を省略しそのファイルから座標値を入力し、ただちに透視図の作成に入ることができる。ただし、横断構成点が5点、計算断面数Nが344(ΔL=5mの場合、計算道路延長=5×344=1720m)の場合、座標計算に約50秒を要するのみであり、一方ではファイルへの入出力にも時間を要することから、計算時間の短縮のためにデータをファイルするメリットは必ずしも大きくはない。計算断面数が多くなればファイルするメリットはあるが、逆に座標値を記憶するためのメモリーがそれだけ多く必要となる。

5. 連続透視図の画面表示

道路の線形計算は視点位置 $L_p=L_s$ を原点とする測地座標系について計算を行なっているが、次に、視点位置を順次前進させ、それぞれの視点位置を原点とする局地座標系(x, y, z)を設定し、測地座標の線形座標をこの局地座標に変換し、さらにそれを画面座標(ξ, η)に変換して画面に表示する。したがって道路の線形計算はくり返して行なう必要はない。

5.1 視点の移動

視点は運転者の目の位置とし、左側車道を速度V(km/h)で走行するものとする。時間間隔Δt(秒)ごとに視点位置 L_p が

$$L_p = L_s + V \cdot \Delta t / 3.6$$

によって移動し、それぞれの視点位置における透視図を順次画面に表示する。

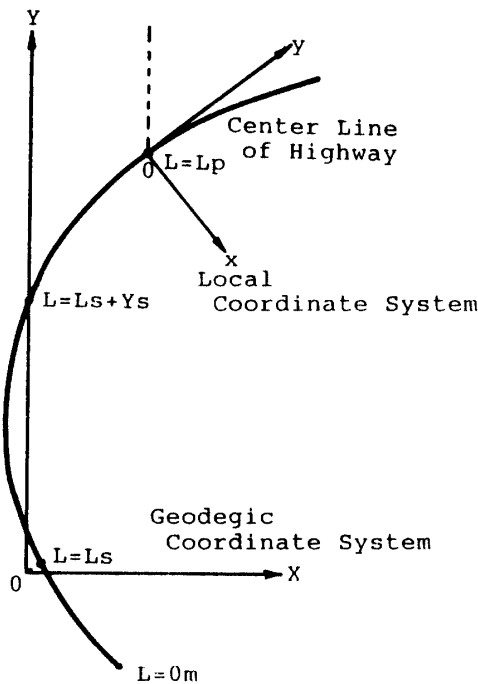


Fig.4 Geodegic and local coordinated systems

5.2 局地座標軸の設定

視点の高さと道路横断方向の位置はそれぞれ H_s (m), X_s (m) である。この視点位置を原点とする局地座標系(x, y, z)を設定する。y軸は視点における平面線形の接線に平行な水平線、x軸はこれに直角の方向、z軸は鉛直方向とする。測地座標と局地座標の関係を Fig. 4 に示す。

5.3 局地座標の計算

視点位置 L_p における道路中心線の測地座標を (X_0, Y_0, Z_0) とおくと、測地座標 (X, Y, Z) は次式によって局地座標 (x, y, z) に変換することができる。

$$\begin{aligned} x &= (X - X_0 + X_s) \cos \alpha - (Y - Y_0) \sin \alpha \\ y &= (X - X_0 + X_s) \sin \alpha + (Y - Y_0) \cos \alpha \\ z &= Z - Z_0 \end{aligned}$$

局地座標は30断面150点(30×横断構成点5個)だけ求め、それを画面座標に変換し、画面に表示する。測

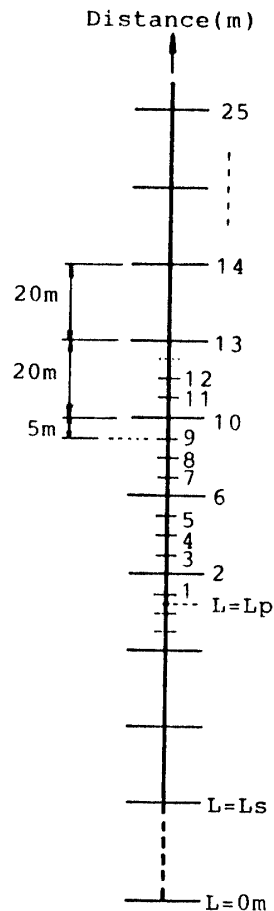


Fig.5 Highway sections to be computed and drawn on the perspectives

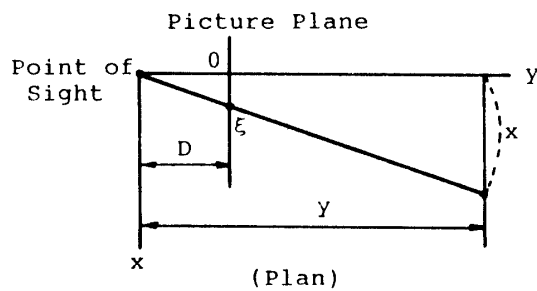
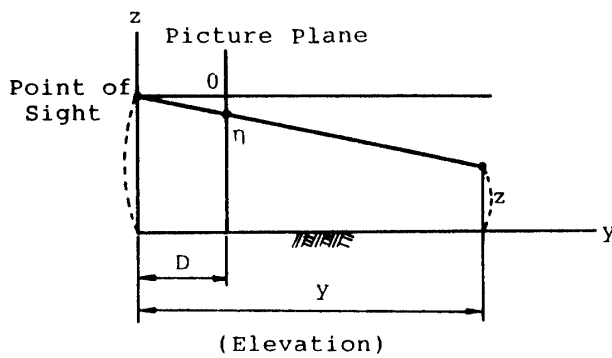


Fig. 6 Relation between coordinate (x, y, z) and (ξ , η)

地座標系での計算間隔 $\Delta L = 5$ m, 横断線間隔20mとしているが, 局地座標30断面については, Fig. 5に示すように断面1~12までは5m間隔, 断面は13~25は20m間隔とし, 道路延長方向の線はもちろん, 横断線もそれぞれ20m間隔に描く。断面26~30までは85m, 95m, 105m, 115mおよび125m間隔とし, 延長方向の線のみ描き, 横断線は描かない。30断面をこのように選んだ場合, 図化される道路延長は視点から最大845m前方までである。このような断面のとり方および描画の方法は次の点を考慮して決定した。

- ① 描画に要する時間を極力短くする。
- ② グラフィック画面の分解能 (640×400ドット) を越える精度の計算はしない。

5.4 画面座標の計算

局地座標 (x, y, z) から透視図上の画面座標 (ξ , η) への変換は次式による (Fig. 6 参照)。

$$\xi = xD/y$$

$$\eta = -(H_s - z) D/y$$

ここに D: 視点から画面までの距離(m)

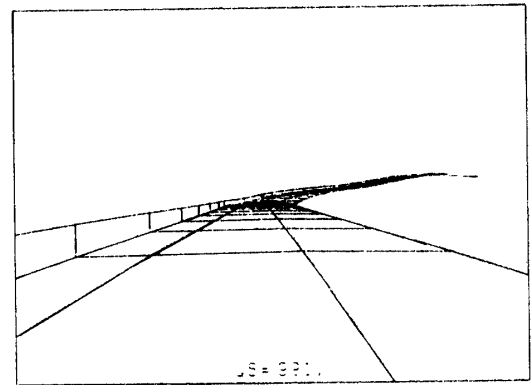


Fig. 7 Highway Perspective drawn by XY plotter and ACOS 850

5.5 隠線処理

道路透視図は, 上で求めた画面座標点を道路延長方向に結び, また20m間隔の横断線を結ぶことによって得られる。ただし道路のクレスト部分などの陰になって見えない, いわゆる隠線は描かないようにする。この隠線処理は一見単純にみえて, その実プログラミングはかなりめんどろであり, また計算時間も要する。

FORTRANでこれをプログラミングし, Acos 850で隠線処理を含めた座標計算では透視図1枚に0.6秒のCPU時間を要し, またそれをグラフィックディスプレイ上に出力するのに約28秒を要した。XYプロッターに出力すればかなりきれいな透視図が得られる。その1例を示したのが Fig. 7である。

ディスプレイ画面上では, 画面の分解能に基因する程度の描画誤差は許容することとし, また描画速度を速くするために, 隠線処理は, 手前のクレストより低い点に直結する線は描かないという単純な論理によって, 極端な平面線形や縦断線形が混在するような線形ではない, 通常の道路線形であれば, 画面上でみた透視図としてはほぼ満足できる結果が得られた。

6. 透視図の作成例

3. 入力データで示した線形条件および作図条件でPC-9801VF2によってグラフィックディスプレイ画面上に描いた連続透視図の一部を Fig. 8に示す。これは画面ハードコピーによって得た図である。透視図の画面表示は高分解能白黒モード(640×400ドット), 高速描画機能を使用した。透視図はまずアクティブ画面に描き, それをディスプレイ画面に表示するという方法によった。透視図作成に要する時間は1枚あたり約1.5秒である。すなわち1.5秒ごとに画面が切り換えられることになる。このことから透視図作成時間間隔 Δt を1.5秒とした。これは走行速度 $V = 20$ km/h とすると8.3m

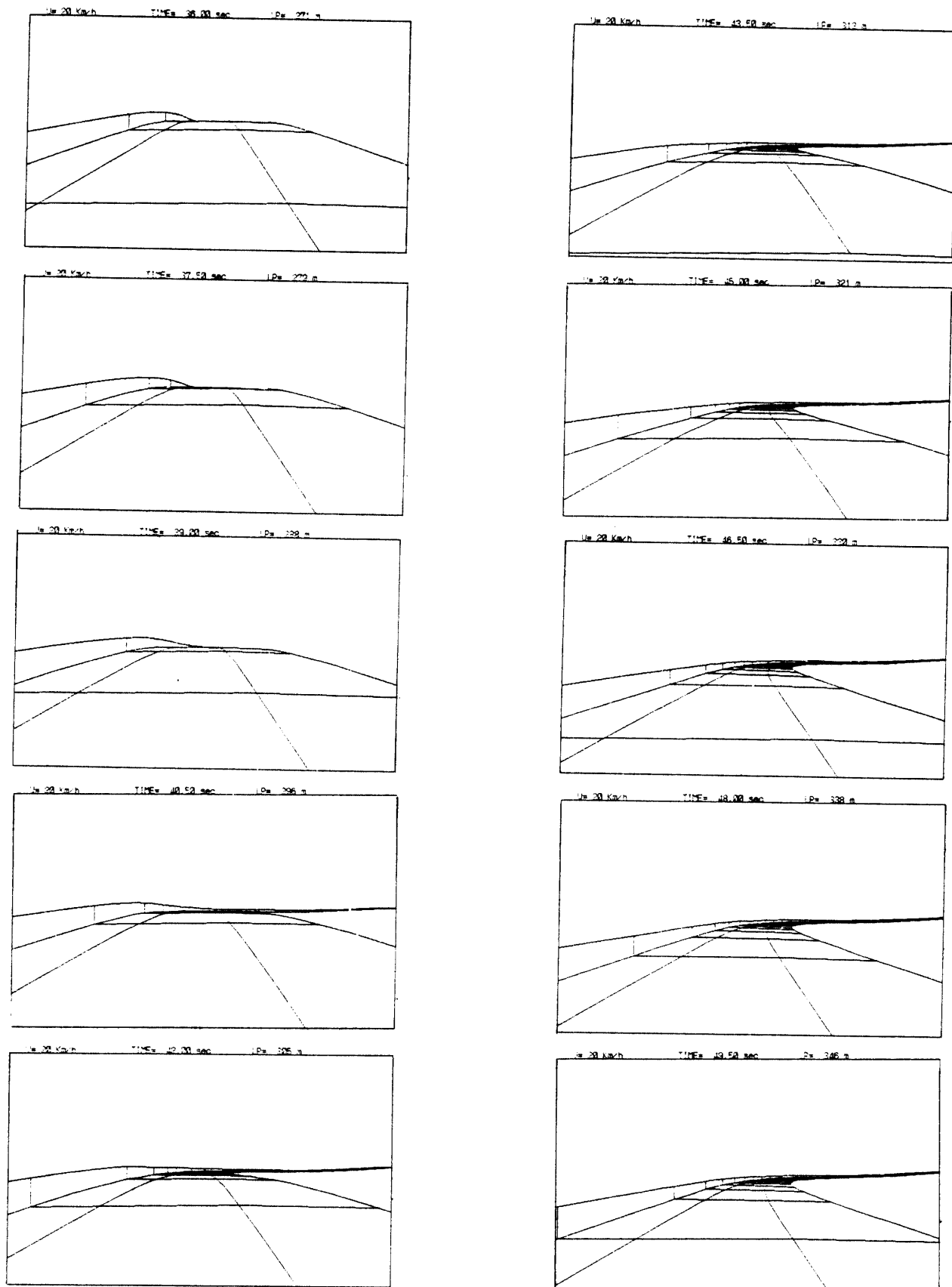


Fig.8 Successive highway perspectives drawn on the display of microcomputer

走行ごとに画面が切り換えられることになる。今後マイコンの演算速度あるいは描画速度が改善されれば Δt を小さくしたり、 V を大きくすることができ、アニメーションの品質が向上すると考えられる。しかし $\Delta t=0.5$ 秒程度であれば、道路線形の変化が視覚的にかなり実感できるものとなっており一応の成果が得られたと考えられる。

7. むすび

本研究ではマイコンを用いて運転者透視図を連続的にディスプレイ画面に表示する BASIC プログラムを作成した。その結果、道路線形の変化が視覚的にかなり実感できる連続透視図が得られた。

本研究では、透視図の画面表示のためのプログラム作成でご協力いただいた卒研生の繁本和彦君に謝意を表したい。

参考文献

- 1) 中村英夫・柴田正雄：道路透視図作成の新しい方法，土木学会論文集，No.135，pp.43～52，昭和41年11月
- 2) 吉岡昭雄・藤田大二：道路の線形設計と透視図，道路，昭和44年3月号，pp.48～55，昭和44年3月
- 3) 山田 学：景観シミュレーション，都市計画，No.138，pp.40～45，昭和60年12月

(昭和61年10月15日受理)