空中写真と電子計算機の組合せによる 最も経済的な路線選定の研究 I

笠 松 清*
中 村 貢 治
田 浦 秀 春

Application of photogrammetry and electronic computers to the best route selection

By Kiyoshi Kasamatsu
Koji Nakamura
Hideharu Taura

The purpose of this paper is to describe how photogrammetry and electronic computers are incorporated into the method now used in Japan for selecting the routes best suited for road construction. The addition of these two processes makes for rapid and economical selection.

The determination of longitudinal profiles and calculations of accumulative mass diagram using cross section data has been enhanced by the use of the electronic computers to the existing method.

The idea of using aerial photographs with the profile measuring instrument for profiling to obtain a route selection has been given at this time. It is believed that this application is very efficient.

Also examples of experimental and practical operations using this method are written herein.

まえがき 現在我が国において、国づくりの第1の重要施策として道路の建設が採り上げられ、急速に推進されている。

道路を建設するには、調査—設計—施工の順序になるのであるが、調査の段階における地形図の作製と設計とは異った機関が実施しているために無駄な時間と経費とを要しているように思われる。特に地形図作製のために使用される空中写真と、空中三角測量のデータ、及びこの計算に使用する電子計算機の利用により、最も経済的な路線選定に寄与できるという見通しのもとに研究を進めたものである。

諸外国において、特にアメリカにおいては早くから実施設計に空中写真が採り入れられているが、我が国の現状に即し道路の路線選定を主とし併せて実施設計に及ぼそうとするものである。

1. 普通行われている路線選定の順序、 方法について

(1) 普通一般に、国土地理院発行の 1/50,000 或は 1/25,000 等の既存の地形図を基礎としその道路の建設目的(国道、観光道路、市街道路等)によって、

構造基準、車線数、交通所要時間等を定め、2~3 の予備路線を選定し、比較検討する。

これには経済的判定と技術的判定とを総合的に検討する。経済的にはその道路の建設に要する経費と利用することによる経済効果とが比較される。

技術的には、主要トンネル、橋梁等の比較、曲線勾配、土質等の検討比較、その他災害(積雪、地すべり等)維持の難易等が比較される。

以上の大要は、既存の地形図でもある程度は判明するが、細部に亘って検討するには不十分であるので 1/5,000 或は 1/2,500 程度のものがつくられる。

(2) 1/5,000 地形図の作成は、予備路線に沿って幅員 500 米~3 軒のものが作られるが、そのために概ね路線に沿い 1/20,000~1/25,000 で撮影し、空中三角測量を行ない実体写真測量図化機械により 5~10 米の等高線で地形図を作る。この図面は概略の縦横断面測量にも使用されるので、予定路線に沿い水準測量を行ない地形図上に標示すると共にその内の何点かには爾後の実施測量のために埋石を行なうことがある。

(3) 1/5,000 地形図により予備路線を定め、構造物集計表を作成し、一応の数量的データが揃うことになる。これまでが実施設計以前の作業である。この集

* 国際航業株式会社

計表には、図上で計画図示された橋梁、跨道橋、高架橋、暗渠、隧道、擁壁等の総量並に土量計算集計表が作成される。

これがため、1/5,000 図上で路線を概定し、先づ主要構造物の位置を定め路線上地形図により 100 米毎に標高を讀定し縦断面をつくり、累加土量を計算し、土積図をつくる。その一例は第 1 図の通りである。

第 1 図について説明すると、A 点から 1 点までは概

第 1 図

定した路床面とするためには盛土ばかりで、その盛土の総量は $1''1'$ であらはせる。又 2 点においては、1 から 2 までの切土となりその前の盛土を上廻り $2'2''$ だけ切土量となる。かくして最終の B 点では、盛土切土の代数和の計は切土が少し盛土に上廻ることになる。土積図の ab 線を上下し $a'b'$ 線とすれば切土、盛土が変化するからこれにより希望する路床面を決定する。この盛土切土の曲線を Mass Curve という。

かくして計画縦断面が決定したならば、100 米毎の縦断面点において路線に直交する直線を引き、この線上で横断面をつくる。横断の高さは地形図上で読定する。この横断面と地形図とにより、橋梁、隧道、擁壁等を定め数量を計算し計画図と構造物集計表が完成するのである。

(4) 以上の資料と土質調査の資料、其他経済効果の資料等を基礎として路線が確定され実施計画に入る。

2. 電子計算機の利用

先づ第 1 に記述した方式に従った場合、電子計算機を導入するならば極めて能率的であり合理的である。

(1) 縦断面の決定

第 1 図の土積図を作る代りに縦断面の 100m 毎の高さを讀定し、1 軒とか 2 軒とかの区間に区切ってその区間に応ずる 3 次曲線をつくる。

即ちその区間の断面において切土と盛土の量が 0 になるような曲線をつくるのである。定めた原点からの距離を x 、各距離における高さを Z とすれば曲線は、

$$A + BX + CX^2 + DX^3 = X$$

$$A + BX_1 + CX_1^2 + DX_1^3 = Z_1$$

$$A + BX_2 + CX_2^2 + DX_2^3 = Z_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$A + BX_n + CX_n^2 + DX_n^3 = Z_n$$

より

$$nA + B[X] + C[X^2] + D[X^3] = [Z]$$

$$A[X] + B[X^2] + C[X^3] + D[X^4]$$

$$= [XZ]$$

$$A[X^2] + B[X^3] + C[X^4] + D[X^5]$$

$$= [X^2Z]$$

$$A[X^3] + B[X^4] + C[X^5] + D[X^6]$$

$$= [X^3Z]$$

の正規方程式を得る。

これから係数 A, B, C, D を求め第 2 図の例に示したようなものが得られる。

第 2 図

第 3 図

第 2 図の X は原点からの距離で、10800 米 Z は、その点の縦断高、F.H. は 3 次曲線の高さ、R は、Z-F.H. の値である。右側に図示されたものは、電子計算機の穿孔タイプライターによって左側の数字が打出されると引続いて自動的に点の位置がタイプされる。

第 2 図の成果は Z の値を打込んだ後数分間の間に出来る。

若し、道路の勾配の規格がこの曲線の範囲であったと仮定するならば、この曲線の通りに縦断を決定することにより盛土、切土は全く相等しいことになりその盛切の量も最小となる。この曲線により勾配が設計基準に対して至るところ大きいのでもっと緩斜面にしたいとする。この場合は、1 杆ではなく 2 杆とか 3 杆間に 3 次曲線を適合するように変更すると、第 3 図のようになる。勾配は緩になり切、盛の和は 0 になるがそ

の土量は増大する。

更に設計上の制約により最終的に決定した縦断面の切土、盛土の量も計算される。

即ち、今度は 3 次曲線を参考とし路線の最大勾配、切土盛土の限界、断面の直線部の限界および曲率半径を与えれば、自動的にこれらの制限内の縦断

第 4 図

第 6 図

これから次式により面積が求められる。

$$S = \frac{1}{2} [(x_1 - x_2)(y_1 + y_2) + (x_2 - x_3)(y_2 + y_3) + \dots + (x_{n-1} - x_n)(y_{n-1} + y_n) + (x_n - x_1)(y_n + y_1)]$$

他の場合もこれに準じて求められる。

これらのプログラミングを行なって一般に行なわれている累加土量の計算を行なうことができるのである。

第 8 図はその一例である。

上記の計算の速度は、1 断面 10 秒位であるから、計算の結果計画高を変更しこれをタイプする時間を余分に見れば、変更をしても計算の復行時間は僅かなものであって問題にならない。設計の推敲に十分な時間を掛けられることになる。

(3) 擁壁を設ける場合の横断

横断に一定の計画断面を与えるばかりでは具合の悪い場合がある。第 9 図のように、計画断面と横断線とが併行して切土又は盛土の量が老大なものになり、実情に適しない。この場合には計画上も当然擁壁を設けることは最初から分っている。従って、ノリの長さが何米になったら傾斜何度の擁壁の勾配にな

第 7 図

$$\left. \begin{aligned} Y &= (y_0 - c) + \alpha(X - x_0 - b) \\ \frac{Y - y_{n-1}}{X - x_{n-1}} &= \frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} \end{aligned} \right\} \text{から}$$

$$X = \frac{x_n - x_{n-1}}{\alpha x_n - \alpha x_{n-1} - y_n + y_{n-1}} \times \left\{ \alpha(x_0 - b) + y_{n-1} - y_0 + c - \frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} x_{n-1} \right\}$$

って横断面積が測定されるように電子計算機のプログラムを組む。或は又、横断図をつくり各断面につき擁壁を最初から計画し、データを計算機に送り込むこともできる。この擁壁の数種類について型を定め附図第 8 の C.V., E.V. の数字の次に符号をつけておけばこれを図示することもできる。

ST.	C.A.	C.M.A.	C.V.	E.A.	E.M.A.	E.V.	B.E.V.	T.V.	M.V.
縦断面	横断面	横断面平均	切土量	盛土量	盛土平均	盛土量	土率た量をも乗る化じ	差引土量	累加土量
距離	土積	土積	土積	土積	土積	土積	土積	土積	土積
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

第 8 図

第 9 図

3. 断面測定機

地形図上に路線を選定したならば、前述のように地形図の等高線から縦横断の高さを求める方法は、全くの概測であると共に、手数を要し電子計算機で爾後の計算が精確で速くてもこれに時間を要する。

そこで、距離と高さをもっと速く且つ、間違なくそのデータをとる必要がある。これが断面測定機である。この種の装置はアメリカ、ドイツ、スイスで数年前に前後してつくられ各々特色を持っている。筆者等の所属する会社では、昭和 37 年建設省より補助金の交付を受け現在我が国の道路選定に最も適した断面測定機の試作に取組み、漸く完成を見たのである。

第 10 図

(1) 構造の概要

本機は次の 4 箇の装置から成り立っている (第 10、

第 11 図

第 11 図)

(a) 断面観測機 (2, 3)

光学的投影方式の写真測量図化機の描画台 (1) 上に投影された画像、又は地形図上で使用するもので、図化用の描画機 (2) とこれを横断線上に移動させるキャリジバー (3) があって、両者が連結されている。

描画機の高さの移動 (Z) と描画機のキャリジバー上の水平移動 (X) とは、各々その動きを電氣的に数値化するために、最小単位 0.1 耗で 4 桁のアナログ→デジタル変換機 (A-D 変換機) (4) が取付けられていて、 Z 及び X の符号を監視電気装置に送る。

(b) 監視電気装置 (5)

A-D 変換機からの Z および X の符号の入力は、10 進法によって表示盤 (6) に符号変換されて表示されると共に、穿孔タイプライターのための信号を送る。

タイプのプログラムは、簡単な変更も行なわれる。

(c) 穿孔タイプライター (7, 8)

Z, X の値は、自動的に 6 単位コードでテープ穿孔とタイプが行なわれ、横断名その他のものは手動で穿孔 (8) 及びタイプ (7) ができる。

(d) 操作盤 (9)

描画機の水平移動のためのモーター制御と、穿孔タイプのための押ボタンを備えている。

(e) 本機の特徴

(i) 直角座標系に移動しない光学的投影方式の実体測図機ならば、どんな機械でもよく、地形図からでも横断をとることができる。

(ii) A-D 変換機に情報伝達低下の生じるおそれのない符号化円板式の読取り機構を用いている。

(iii) 穿孔タイプライターは、現用電子計算機用と同一のものを接続して用いているため、断面測定機用としてのみならず、現用電子計算機と組合せ On Line 用としても、又 Off Line 用としても用いることができる。

(2) 用法

(a) 地形図から縦横断データを読む場合

この方法は前述の通りであるが、断面測定機の測標を縦断点又は横断線上の傾斜変換点に或は等高線に合

致させて、押ボタンにより記録装置に送込むことが瞬時に行なえる。従って観測が終わったときには縦横断の成果と穿孔テープとが出来上っている訳である。これによって時間は相当短縮できるのみならず、距離の精度がよくなり読定及び記録の誤りがなくなる。

(b) 空中写真から縦横断データを読む場合

路線選定に使用する地形図は、大部分空中写真測量によって作られている。これには空中写真があり、空中三角測量の成果又は図化機械の標定諸元がある。又これらがなくときでも地形図に図化機械の投影像を合致させることにより、実体観測によって観測するならば等高線から読み取るより遙かに高精度のものが得られる。

衆知のように図化機械の測標を移動しながら画いた等高線の高さの精度よりも、一点に固定して測定した高さの精度が遙かに高精度である。

第 12 図

又等高線は必ずしも傾斜変換点を通っていないから、横断図を作るには欠点がある。第 12 図で見るように、破線で示した地形も限られた等高線で地形を表現するならば、たとえ誤差が皆無であっても実線で示した断面しか得られない。断面測定機を用いるならば破線のような断面が得られる訳である。

然し、空中写真を用い図化機械の絶対標定を行なう行程が入ることは止むを得ないところである。

断面測定機によってデータを観測した後は前述の通りであるので省略する。(つづく)