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 II

笠 松 清*
中 村 貢 治
田 浦 秀 春

Application of photogrammetry and electronic computers to the best route selection II

By Kiyoshi Kasamatsu
Koji Nakamura
Hideharu Taura

Processes are mentioned for the procurement of some hundreds wide cross section data and Grid coordinates, and the calculation of earth work quantities from grid coordinates.

A report on some experimental works for highway engineering that performed in good results.

(c) 主として空中写真により急速に路線選定を行う 場合

道路選定用の 1/5000 程度の地形図を作るには、経費は勿論であるが撮影から図化、製図までには相当の期間がかかり、完成した地形図を用い路線選定を行うためには更にある期間を要する。撮影から図化までには約 4 月を要するから路線選定の時期は冬期に入り、降雪の障害を受けることもあり、そうでなくても実施設計を年度内に終ることは困難で、実施設計の段階は少くとも第 2 年目を迎え施工は第 3 年目になる訳である。

若しも地形が比較的平坦な丘陵地帯である場合には地形図をつくる過程である空中三角測量の成果を利用し所望の縮尺に引伸すと同時に偏位修正機により厳密垂直写真をつくり地図代用とする。この場合比較的平坦な地形という条件を入れるのは、撮影カメラの傾きによる地形のひずみを修正しても像のひずみをとることはできないからである。即ち、1/25,000 撮影の場合普通用いる焦点距離 15 ㎝のカメラで撮影すると、撮影高度 H は 3750 m で起伏が、10 m の場合の比高による位置のひずみ PP' は次表の通りである。

すなわち、予備設計上差支のない許容誤差の地形であるならば偏位修正用の写真を用いて差支えないと言える。特に写真の撮影コースが予定路線に近く、写真

		像のひずみ	位置のひずみ
フィルム上写真 中心からの距離	2 cm	0.05 mm	1.3m
	5	0.13	3.4
	10	0.27	6.8

の端末を使用するようなことが無ければ、その適用範囲は可成り大きいと言える。今までの経験によれば大部分が 1/25,000 撮影の場合にはフィルム上写真コースの左右 5 cm に入っている。

尚写真で行う場合には、地図と対照のできるように地名を記入し、予定路線になると予想される地域に標高を記入しておけば便利である。これは空中三角測量のときついでに観測しておけば、大した経費を要しない。地形が平坦でない場合は上記の方法では適当でない。

そこで、地形図をつくる工程と併用しあるいは、地形図をつくることなくある幅員の断面測定を行ってそのデータを電子計算機のテープに記録しておき、路線が確定したならば直ちに計算に移行して期間短縮を図ることを目標とした一案である。

先づ、1/50,000 地形図で概定された路線に沿って撮影する。次で空中三角測量を行いその成果に基づき第 13 図のように相当な幅員（実用的に考えるとあまり横断線が長いと測定に多大の時間を費すので 400 m 位としたい）の横断測量を行う。断面測定機を用いるので

* 国際航業株式会社

第 13 図

あるから同時にその記録と穿孔テープができ上る。

この作業と前後して同じ写真を用い地形図の作製が行われる。

かくして道路のセンターが確定すれば計画高を与えて直ちに計算に移行すれば成果が速かに得られる。

今 400 m の幅員で 50 m 間隔に平行に測定した横断成果と、決定した IP 点の座標及び道路の円弧の部分の曲率半径を与え、新しい横断成果を電子計算機で求めるには次の順序方法による。

(i) 25 m 間隔の格子座標をつくる。

これがため横断観測成果から横断線上 25 m 間隔の点の標高を決定し 25 m 方眼をつくる。

第 13 図は、横断線上黒点で示したように傾斜変換点の距離と高さを測定しこの成果に基き電子計算機により 25 m 方眼の高さを求める関係図である。

(x_1, z_1) (x_2, z_2) を 25 m 間の距離と高さとするれば、 x_3 の標高 z_3 は、

$$z = z_1 + (z_2 - z_1) \frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1}$$

(ii) 平面線形を決定する (第 14 図)

IP 点の座標と計画上の曲率半径とにより IP 間を

第 14 図

1100ZA	X	Y	横断線の方角角
524921196682D		542508842072D	-515565656572D
529842393362D		542517684142D	-515565656572D
531476359002D		542526526212D	-515565656572D
531968478662D		542535368282D	-515565656572D
532460628172D		542544192812D	-516333785922D
532896726302D		542525448832D	506978807212D
533153396802D		542482542712D	505950000032D
533495568822D		542446791112D	511602561562D
533957274282D		542427898372D	512811244982D
534428358022D		542411141242D	512811244982D
534899441762D		542394384112D	512811244982D
535370525502D		542377626982D	512811244982D
535841609242D		542360869852D	512811244982D
536312692982D		542344112722D	512811244982D
536800339792D		542341446362D	-512885235312D
537168056212D		542373643882D	-506538461552D
537447762112D		542415052472D	-508781073942D
537874440672D		542438305762D	-515387012692D
538363315992D		542432889452D	513000000002D
538837657642D		542417078062D	513000000002D
539315334662D		542402403162D	514625802652D
539812108142D		542398025112D	-522694363232D
541030489462D		542405832612D	-514136363642D
541079089362D		542417582032D	-514136363642D
541127689262D		542429331452D	-514136363642D
541176289162D		542441080872D	-514136363642D
541224889062D		542452830292D	-514136363642D
541273488962D		542464579712D	-514136363642D
541322088862D		542476329132D	-514136363642D
541370688762D		542488078552D	-514136363642D
541419288662D		542499827972D	-514136363642D
440ZE			

第 15 図 中心線上、縦断点の平面座標並びにその点を通る横断線の方角角

結ぶ直線と円との接点の座標を求め、次で起点からはじめて等距離にとった測点の位置とその点を通る横断線の方角角を決定する。

(x_1, y_1) (x_2, y_2) を通る直線の方は

$$\beta = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \alpha = y_1 - \beta x_1$$

又直線 $y = \alpha + \beta x$ と $y = \alpha_2 - \beta_2 x$ に内接する半径

R の円の中心 (x_0, y_0) は、

$$x_0 = \frac{1}{\beta_2 - \beta_1} \{ (\alpha_1 - \alpha_2) \pm R \sqrt{1 + \beta_1^2 - \sqrt{1 + \beta_2^2}} \}$$

$$y_0 = \alpha_1 \pm R \sqrt{1 + \beta_1^2} + \beta_1 x_0$$

(x_0, y_0) を中心とし、半径 R の円と直線 $y = \alpha + \beta x$ との接点の座標 (x, y) を求めるには

9002A	Z	X	Z	X
52186666666ZD	535000ZD	52228333333ZD	535250ZD	
52341891891ZD	535500ZD	52533333333ZD	535750ZD	
52724774774ZD	536000ZD	52916216215ZD	536250ZD	
53109719626ZD	536500ZD	53102710280ZD	536750ZD	
52957009346ZD	537000ZD	52886915889ZD	537250ZD	
52816822431ZD	537500ZD	52791363636ZD	537750ZD	
52780000000ZD	538000ZD	52714466019ZD	538250ZD	
52648932039ZD	538500ZD	52583398059ZD	538750ZD	
52517864078ZD	539000ZD			
52400622489ZD	535000ZD	52478684738ZD	535250ZD	
52592692933ZD	535500ZD	52745642570ZD	535750ZD	
52895958812ZD	536000ZD	53104525096ZD	536250ZD	
53117891727ZD	536500ZD	53118376416ZD	536750ZD	
53118861105ZD	537000ZD	53119345794ZD	537250ZD	
53111079216ZD	537500ZD	53105044372ZD	537750ZD	
52997142855ZD	538000ZD	52916756819ZD	538250ZD	
52860716019ZD	538500ZD	52810761529ZD	538750ZD	
52760807039ZD	539000ZD	4402E		
9002A				
52614578313ZD	535000ZD	52729036144ZD	535250ZD	
52843493975ZD	535500ZD	52957951807ZD	535750ZD	
53106714285ZD	536000ZD	53117428571ZD	536250ZD	
53126063829ZD	536500ZD	53134042563ZD	536750ZD	
53142021276ZD	537000ZD	53150000000ZD	537250ZD	
53140476190ZD	537500ZD	53130952381ZD	537750ZD	
53121428571ZD	538000ZD	53111904762ZD	538250ZD	
53107250000ZD	538500ZD	53103812500ZD	538750ZD	
53100375000ZD	539000ZD			
52360860585ZD	535000ZD	52441303786ZD	535250ZD	
52521746987ZD	535500ZD	52574511617ZD	535750ZD	
52624642850ZD	536000ZD	52673749995ZD	536250ZD	
52712462000ZD	536500ZD	52747891335ZD	536750ZD	
52783856380ZD	537000ZD	52820625000ZD	537250ZD	
52769880950ZD	537500ZD	52720803570ZD	537750ZD	
52678392855ZD	538000ZD	52635892140ZD	538250ZD	
52617916652ZD	538500ZD	52605937500ZD	538750ZD	
52548541665ZD	539000ZD	4402E		
9002A				
52107142857ZD	535000ZD	52153571428ZD	535250ZD	
52200000000ZD	535500ZD	52191071428ZD	535750ZD	
52182142857ZD	536000ZD	52173214285ZD	536250ZD	
52164285714ZD	536500ZD	52155357142ZD	536750ZD	
52147500000ZD	537000ZD	52141250000ZD	537250ZD	
52135000000ZD	537500ZD	52132083333ZD	537750ZD	
52142500000ZD	538000ZD	52152916636ZD	538250ZD	
52163333333ZD	538500ZD	52173750000ZD	538750ZD	
51933333335ZD	539000ZD			
51660714285ZD	535000ZD	51880357140ZD	535250ZD	
52113333333ZD	535500ZD	52110952380ZD	535750ZD	
52108571428ZD	536000ZD	52106190475ZD	536250ZD	
5210332857ZD	536500ZD	52109491071ZD	536750ZD	
51981250000ZD	537000ZD	51965625000ZD	537250ZD	
51950000000ZD	537500ZD	51951041655ZD	537750ZD	
5210013888ZD	538000ZD	52102569444ZD	538250ZD	
5210499999ZD	538500ZD	52107430555ZD	538750ZD	
51579710146ZD	539000ZD	4402E		

第 16 図 格子座標 (25 m 間隔)

$$x = x_0 \pm \frac{\beta}{\sqrt{I + \beta^2}} R$$

$$y = \alpha + \beta x$$

(iii) 各測点の平面座標とその点を通る横断線の方法角を与えて格子座標系に基き横断線と方眼線との交点の距離並びに高さを決定する。(第 14 図)

横断データより 25 m 格子座標を求めた電子計算の成果の一例は第 16 図、中心線上の縦断点の平面座標とその点を通る横断線の方法角の計算成果の一例は第 15 図の通りである。

4. 実験方法とその結果

(1) 実験方法

実験 1 急斜面で比較的森林の多い地形における断面測定機の効果

(a) 資料

空中写真 1. 縮尺 1/25,000
撮影 昭和 34 年 7 月

カメラ RMK 15/23

2. 縮尺 1/8,000

撮影 昭和 36 年 6 月

カメラ RC 5

場所 和歌山県富田川南側国道 42 号

地形図 縮尺 1/5,000 1. の写真により図化したもの

縮尺 1/1,000 2. の写真により図化したもの

実測横断 昭和 37 年

国際航業設計部

(b) 実施の方法

(i) 1/25,000 空中三角測量は 1/5,000 地形図作製当時のものを使用した。

(ii) 横断測量の精度を求める目的のため、縦断点の成果は国際航業設計部において道路の実施設計を受託して設計を行ったときの縦断成果を使用し基準を一致させた。

(iii) 縦断点の位置は既に植杭も現地にないので、設計に用いた 1/1,000 地形図に記入された縦断点を 1/5,000 地形図に移写し、横断方向は図上で決定した。従って実際に横断測量を行ったときの杭の位置と断面測定機で測定したときの位置とは多少の誤差があったようで横断の方向も誤差があったものの如くその偏差は 1 乃至 3 m 位と推定する。そのため地形が急激に変化している場所では真の誤差以外に位置の誤差によるものが加っていると思われる。

(iv) 次に 1/8,000 空中写真を用い、縦断点をプロットしてある 1/1,000 地形図を 1/1,500 に縮少し図化機械に標定して縦断点に一致せしめ、断面測定機によって横断測量を行った。これは縦断点は正確であると思われるが、横断線の方法角は少し誤差があると推定する。第 17 図は空中写真に路線を記入したものである。

(v) 1/5,000 及び 1/1,000 地形図により横断図を作成した。

(vi) 以上三つの成果と実測横断とを第 18 図のように描画し各横断面の面積の較差及び自乗平均誤差を求めた。

実験 2 丘陵地帯で比較的蔭蔽地が少ない場合の断面測定機の効果

(a) 資料

空中写真 1. 縮尺 1/25,000

撮影 38 年 1 月

カメラ RMK 15/23

2. 縮尺 1/8,000

撮影 36 年 3 月

第 17 図

カメラ RMK 15/23

場所 国道 17 号予定路線上群馬県渋川南方

実測横断 昭和38年3月

空中写真上に定めた横断線に従って現地において実施した。

(b) 実施の方法

(i) 関東地建において前記1の空中写真を撮影し国道17号の予備路線を偏位修正してアルミ印画紙に焼付けた5倍引伸印画上に予備路線を選定された。第19図は空中写真に路線を記入したものである。これにより断面測定機を用い横断測量を実施した。

(ii) 2の写真により実施設計用の写真測量による横断測定機プロファイルスコープを図化機械ステレオプロッターA8に取付け測定を行った。

(iii) 現地において同一横断面を実測した。

(iv) 以上三つの成果を比較した。

(v) 又実測横断を基準として各横断面の面積の較差及び自乗平均誤差を求めた。

実験 3 断面測定機の (c) 項の主として空中写真により急速に路線選定を行う場合

これは (c) 項において述べたものの実験である。

(a) 資料

空中写真 縮尺 1/25,000

摄影 37年12月

カメラ RMK 15/23

場所 別府 C-2

(b) 実施の方法 (第 20 図)

(i) 設想した最初の路線を原線として(X軸) 50 m 毎に 400 m の横断をとり、タイプおよびテープに記録する。

(ii) これにより 25 m の格子の横高を電子計算機で計算する。

(iii) 新しい路線を決定し，平面線形を決定し，横断線と格子との交点の座標と標高により横断成果を求める。

第 18 図

(iv) 別に直接新しい線形上で横断を測定し、計算で求めたものと比較した。

(v) その結果、面積の較差及び自乗平均誤差を求めた。

(2) 実験の総合結果

前各項で得たものの要点を一表にすると次の通りである。

実験 1 42 号

	1/5,000 コン ター地形図の 等高線より求 めた横断	1/25,000 撮 影写真より 断面測定機に より求めた 1/5,000	1/8,000 撮 影写真より 断面測定機に より求めた 1/1,500	1/1,000 コン ター地形図の 等高線より求 めた
較差の総和 $\sum V$	362.14	202.20	61.74	-1.45
自乗平均誤 差 $\sum_0^n$	45.47	26.81	19.22	29.72
幅	20m	20m	20m	20m
$\sum V_{10m}$ 幅	181.07	101.10	30.87	-0.73
$\sum_0^n_{10m}$ 幅	22.74	13.41	9.61	14.86

第 19 図

	1/25,000 撮影より断面 測定機使用 1/5,000	1/8,000 撮影写真より A8 プロファイルス コープ 1/1,000
$\sum V$	-66.03	160.32
$\sum a^n$	19.91	15.88
幅	60m	60m
$\sum V^{10m}$ 幅	-11.01	26.72
$\sum a^{10m}$ 幅	3.32	2.65

実験 3 別府 C-2

	最初の仮路線より決定路 線の横断を求めたもの
$\sum V$	-910.98
$\sum a^n$	24.68
幅	60m
$\sum V^{10m}$ 幅	151.83
$\sum a^{10m}$ 幅	4.11

この表で見ると

実験 1 の急傾斜の場合には次のことがいえる。

- 10m幅に換算した $\sum a^n$ の値を見ると 1/25,000 の同じ写真を用いて横断を測定したとき等高線から求めたものは、断面測定機で求めたものの約 2 倍の誤差がある。
- 1/8,000 撮影の場合を比較すると 1/1,000 地形図より求めたものは断面測定機で求めたものより約 5 割大きく、1/25,000 より断面測定機で求めたものと同じである。

実験 2 の丘陵地帯の場合は、

- 1/25,000 の場合と 1/8,000 で然もステレオプロッター A 8 を用いプロファイルスコープで求めたものとの比は 3.32 : 2.65 で大差がない。この場合は第 1 の場合と異り、実測横断と写真横断の位置のズレは殆どなく、樹木も少いので実測値と A 8 の成果とは何れが良いかは断定し難いが、1/25,000 の写真より求めた較差の値も自乗平均誤差も極めて精度の高い結果を得た。等高線より求めるならこの数倍に達するものと推定される。

実験 3 の急速に路線を選定する場合については共に断面測定機で測定した値の比較であるのと、基準標高が少し異っていたので、自乗平均誤差より推定する以外にはないと思うが、この値からすれば予備路線の選定、路線の比較検討には十分使えるものと思う。

結 論

以上の実験から一般的に断面測定機は道路の縦横断

には極めて有効である。特に観測誤差以外は、その後の計算に全く間違いがなく然も高能率である。又、空中写真と電子計算機の組合せにより縦断面決定のための三次曲線或は直線方式は最良な路線決定に対する有力な一案であることを確信するものである。

本研究について、終始御指導を賜った建設省道路局高速道路課並びに企画課の各位に対し、又懇切な御助言を頂いたアメリカ、オハイオ州ハイウェイ庁 E. S. Preston 庁官に対し、深く感謝する次第である。

また本試験作業の空中写真を心良く貸与下さったアジア航空測量パシフィック航業に対し深く御礼申し上げる次第である。

[後記] 本方式は現在既に高速道路、その他の道路計画の実際事業として実用化されているとともに改善された点もあるが機会を見て発表したいと思っている。

文 献

- 1) Kasper, H.: Photogrammetry and Electronic Computing in Highway Engineering "Strasse und Verkeher" Nos. 10 u. 11, 1958.
- 2) Kasper, H.: An Auxiliary Instrument for the Determination of Topographic Profiles by Photogrammetrie, "Schw. Z. f. Vermessung. K. h. P. 1958, No. 11.
- 3) Kasper, H and W. Blaschke: Aerial Survey and Road Constrection, "Brucke und Strasse" Vols 1-3, 1960.
- 4) Linkwitz, K.: Die Photogrammetrie in Strassenbau, "Der Strassenbau", Heft 10, 52. 1961, S. 610-625.
- 5) 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計画及び設計の一方法について, "生産研究" Vol. 15, No. 1, 1963.
- 6) Preston, E. S.: Photogrammetry, Electronic and other methods measuring for payment to Contractors, Ohio Department of Highways, 1960.
- 7) Preston, E. S.: Automatic Radout from Stereoplotters, Ohio Department of Highways, 1962.
- 8) Preston, E. S.: Aerial photogrammetry as used by the Ohio Dep. of Highways, American Highways", April 1956.
- 9) Pryor, W. T.: The Role of Aerial Surveys in Highway Engineering, 1960.
- 10) Schwidewsky, K und W. Brucklacher: Banelements zur automatischen Karting, "Bildmessung und Luftbildmessung". 1960, Nr. 3, S. 156-165.
- 11) Ternryd, C.-O.: Photogrammetry and Electroning Computation in Highway Planning, Svensk Lantmateritidskrift, Special Issue on photogrammetry, 1960.
- 12) その他, Photogrammetric Engineering の文献を参照とした。