

写真測量を利用した貯炭量の測定

丸安隆和・大島太市・津田昌明

膨大な貯炭量の測定に、航空写真測量を利用する方法が最も経済的で精度の高い結果が得られることが、この作業から立証された。

1. 作業の目的

火力発電所では、石炭の現有量を知るために、毎年2回その貯炭量を測定しなければならないことになっている。東京電力千葉火力発電所では、東西 270 m、南北 250 m (面積 52,800 m²) 高さ平均 7.5 m という大量の貯炭ができています (写真 1)。この貯炭量を測定するの

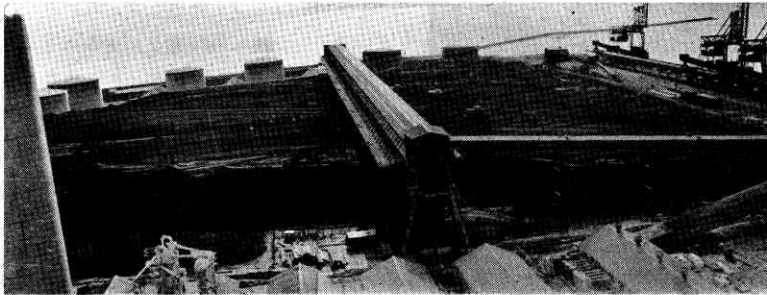


写真 1

従来はまず約延べ 900 人という人手をかけて、人力とブルドーザーで、上面を平らにならし、簡単な形の山にしてから (写真 2、写真 3)、普通の測量方法で縦横断測量を行ない、その結果から計算していた。しかしこのよう

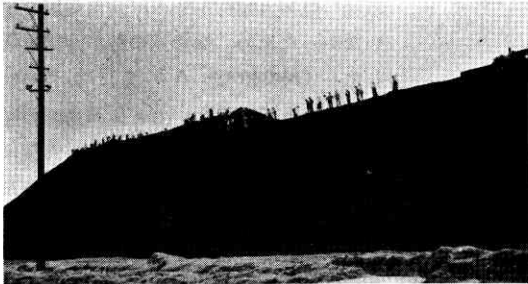


写真 2



写真 3

な方法によると、非常な人数と日数を必要とするばかりでなく、経費もかさむことになる。

このため、東京電力ではこの測定に写真測量を利用することを思い立ち、その作業をわれわれの研究室で引き受けることにした。写真測量を行なうに当たって、このような場合には、航空写真測量による方法と地上写真測量による方法とが考えられるが、いずれの方法を用いるにしても、一長一短があり、それぞれの方法に付随するつぎのような問題を解決しなければならなかった。

(a) 航空写真測量を用いる場合の問題点

貯炭量の測定結果には、全容量の 1% 以内の精度が必要であるとされている。この制限内に精度を

保つためには高さの測定で 7.5 cm 以内の正確さが必要となる。従来の経験によると最新のカメラを用いて鮮明に撮影された航空写真を用いて測定する場合、測定に 1 級図化機 (この場合には Wild 社製: Autograph A7) を用いると、高さの測定精度は撮影高度の 1/10,000 といわれているから、誤差の制限を 7.5 cm とする場合、撮影高度は 750 m 以下でなければならない。(航空写真測量では一般に水平位置の測定は高さの測定にくらべて高い精度が保証されている)。

撮影に使用する飛行機を 200~150 km/時とすると、カメラのシャッタースピードが 1/250 秒であるからこの間にカメラは 22~16.5 cm 移動することになり、写真上にボケが生ずる。このボケが当然測定精度に影響を及ぼすことになる。移動ボケを 0.04 mm におさえると、焦点距離 15 cm のカメラを用い、時速 150 km とした場合、撮影高度は 600 m でなければならないことになる。このような低空で航空写真をとったことは、これまでにその例がないのである。

さらに、撮影する対象物は石炭の山であって、その表面は一様に黒く、全くコントラストがないといってよい。このような物体を経験の教えるような精度で測定できるかということも一つの大きい問題点となる。

しかし、航空写真を用いれば、撮影を行なったその時の現状が瞬間的に記録できること、山を平らに地均しす

する必要がないこと（むしろ適当に高低のある方がコントラストをつける上で好都合である）。1級図化機によって測定するときには、各点の三次元的座標がプリンターによって記録され、読み誤りや書きちがいが起こらないことなどのいくつかの利点があげられる。

これらの問題点が果たしてどの程度に目的に適うように解決できるかが、航空写真を用いる場合の問題点である。

(b) 地上写真測量の問題点

従来、石炭山のように比較的せまい範囲を写真測量に

よって相当高い精度で測定しようとする場合には、まず、地上写真測量の利用が考えられる。とくにこの現場では、その一方に発電所の高い建物があり、他方にはガスタンク等があって、撮影作業には非常に好適である。しかし、貯炭の上面にあまり大きい凹凸があると、たとえ高い建物の上から撮影したとしても多少の蔭の部分ができ、その部分の測定が不可能になる。したがって石炭山全体をすき間なくカバーしようとする、位置をかえ、相当多数の写真撮影し処理しなければならなくなる。これに

応じて写真上に必要な標定点の数も増さなければならない。しかし、これらの手数が飛行機を飛ばすための費用とくらべてどちらが実用的になるかが問題である。精度的にはまた地上写真測量の方がよいだろうということは当然考えられる。

(c) これらの問題点が実際にどのよう解決できるかを調べ、さらに従来の測量方法と比較検討し、写真測量の新しい利用の分野を開くとともに、毎年くり返されるこの種の作業に新しい技術を導入することができたのである。

2. 地上写真測量の作業

(1) 地上写真測量の撮影

貯炭場の全体が写真でおおわれるように撮影点を選定した。撮影には Zeiss 製 CIII B Photo theodolite を用いた。図化測定には Stereoplotter A8 を使用することを考えたので、すべての写真は撮影基線に直角方向に撮影し、偏角撮影を用いなかったため、撮影点の数が非常に増した。(Autograph A7 または Stereo planigraph C8 を用いると偏角撮影の写真についても測定が可能となり、作業は非常に簡易化される)。第1図は撮影点および標定点の配置図、および各写真対によって図化した範囲を示す。(撮影した写真には図化作業に使用しなかったものが多く含まれているがこれは安全をみこして撮影したからである)。

(2) 標定点とその測量作業

写真をとるとき、カメラを水平に、かつ撮影基線に直角に据えるのであるが、これにも多少の誤差がまぬがれないので、写真を図化機にかけるときの基準にし、かつ縮尺を決定するために、1対の写真上に位置の正確にわかっている標定点が少なくとも3点必要である。写真撮影の枚数が多くなれば、これに必要な標

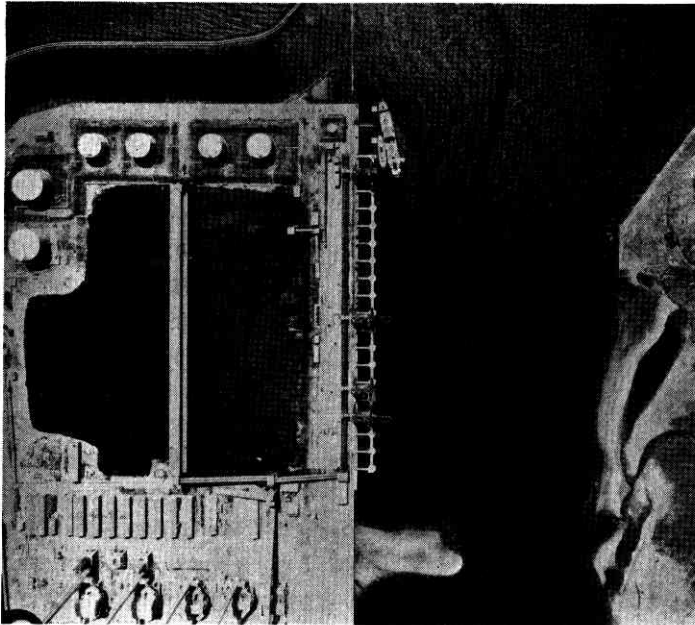
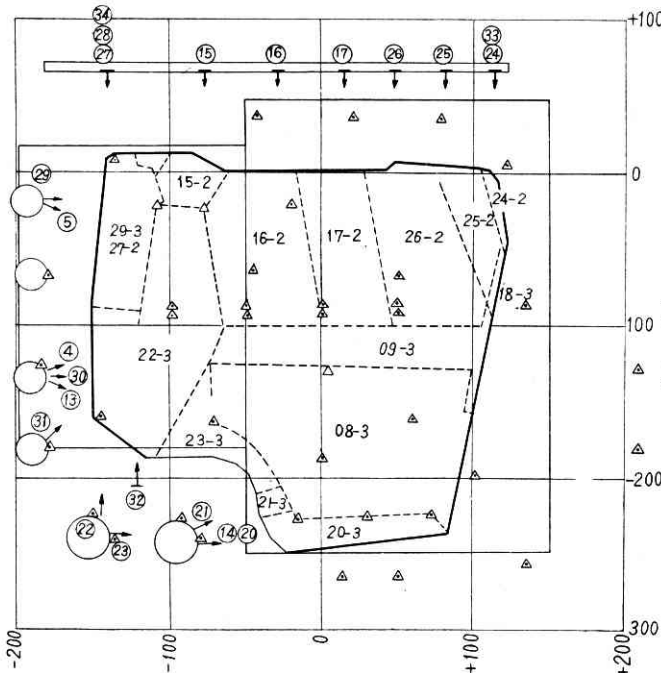


写真 4



第 1 図

定数の数が増加する。実際に図化に使った写真対は撮影したものの一部であるが、標定点はすべての写真対に間に合うように貯炭上に 25 点、周囲のタンクおよび電柱に 18 点、計 43 点設け、ここには 40 cm×20 cm の赤白に塗った標識板をとりつけた。

これらの点の位置および高さは第 2 図に示す要領により、屋上に設けた基線から、前方交会法によって相当入念に測定した。使用した器械はワイルド製、セオドライト T₂ である。3 方向交会による測定精度を座標値で示すと次のようである。(この値を写真上で測定した値と比較すると精度の見当がつく)。

X 最大 ±6 cm 平均 ±1.4 cm
Y " ±4 cm " ±2.4 cm

3. 航空写真測量の作業

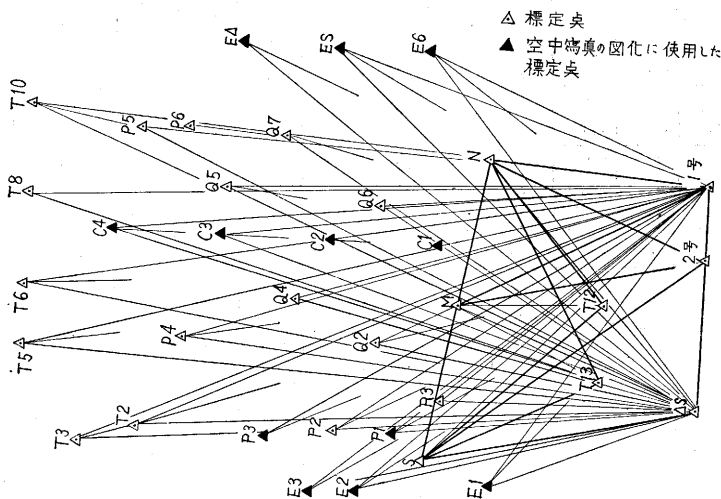
(1) 撮影

前述のように貯炭容量を 1% 以内の正確さで測定するためには、撮影高度は少なくとも、750 m 以下でなければならないという条件がある。今度の作業にはこれらの点を考えて次のような要領によって撮影を行なった。

撮影した日時 7月6日 14時20分
使用した飛行機 デハビラント・ダフ JA-5011
時 速 150 km
写真機 RC 5a 広角アビオゴン
(焦点距離 15 cm)
露光時間 1/250 秒
使用したフィルム ゲバルトアビフォトパン
航空フィルム
感 度 ASA 100
撮影高度 580 m

写真 4 は、このようにして得られた写真のプリントである。

(2) 標定点測量



第 2 図

航空写真でも写真機の傾き、飛行高度の変動などによる影響を補正するため、また縮尺を正確にきめるために、地上に正確に測定された標定点が必要である。第 2 図のうち、黒くぬりつぶした点が航空写真用で、測量作業の方法は地上写真測量の場合と同じである。航空写真の場合には一対の写真で十分であるので、標定点の数も理論的には三つでよいが、精度の点検その他のために余分に点をとってある。

4. 精密図化機による測定作業

中央に通るベルドコンペーヤに平行に 20 m ごとに断面をとり、この断面にそって高さを測定することにした。測定は Autograph A7 によった。

Autograph A7 による作業は次の順序に従って行なった。

1) 相互標定 一対の写真の相互の関係を決定する作業で、地上写真の場合には相互の状態がわかっているから行なう必要はない。

2) 対地標定 相互標定の終わった一対の写真の対地関係(撮影高度および写真機の傾き)を決定する作業で、地上に設けた基準点を用いて行なう。対地標定に用いる基準点は、位置、標高のわかっている点が 2、標高だけわかっている点 1 が必要である。

3) 座標測定 機械で再現された模像を測定、描画するために、機械付属の描画機の X、Y 軸に、機械の X、Y 軸を連結して行なう。この連結に適当な歯車を組み合わせて機械にできている模像の縮尺 (1/1,500) を図化縮尺 (1/200) になるようにする。

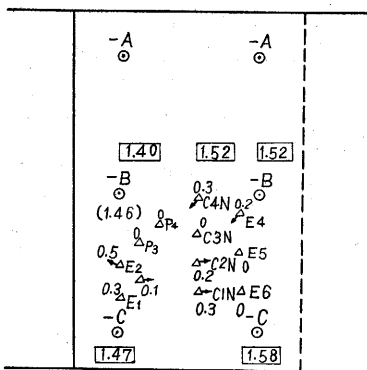
4) 図紙 アルミケント紙上に 1/200 で 20 m 間隔の方眼を引き、X 軸上の点の高さを測定し、その位置をプロットした。

5. 測定精度

標定点によって標定を行ない、そのときの残存誤差は次のようである。この値が全体の測定精

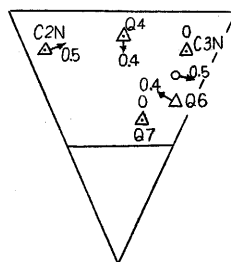
	最 大	絶対値平均
X	+10 cm	7.4 cm
Y	+21 cm	9.4 cm
H	+9 cm	6.5 cm

度を代表していると考えてよい。第 3 図は空中写真の標定時の各標定点の誤差の大きさとその方向を示している。□で示した数字は標高である。第 4 図は値の差の大きさとその度数分布を示している。この値は航空写真を用いて Autograph A7 によって測定する場合避けられない読み誤差を示すものであるが、この種の作業のためにはこれで十分な精度であるといえる。



第 3 図

	ΔX	ΔY	ΔZ
平均 (cm)	5.8	5.8	3.7



第 5 図

地上写真の標定誤差は左表のようである。

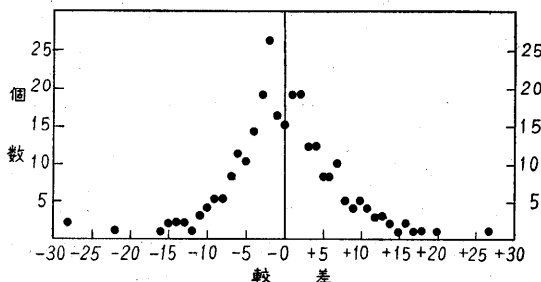
第 5 図は (16A, B) 乾板を用いたときの誤差とその方向である。

6. 航空写真を用いた場合と地上写真を用いたときの成果の比較

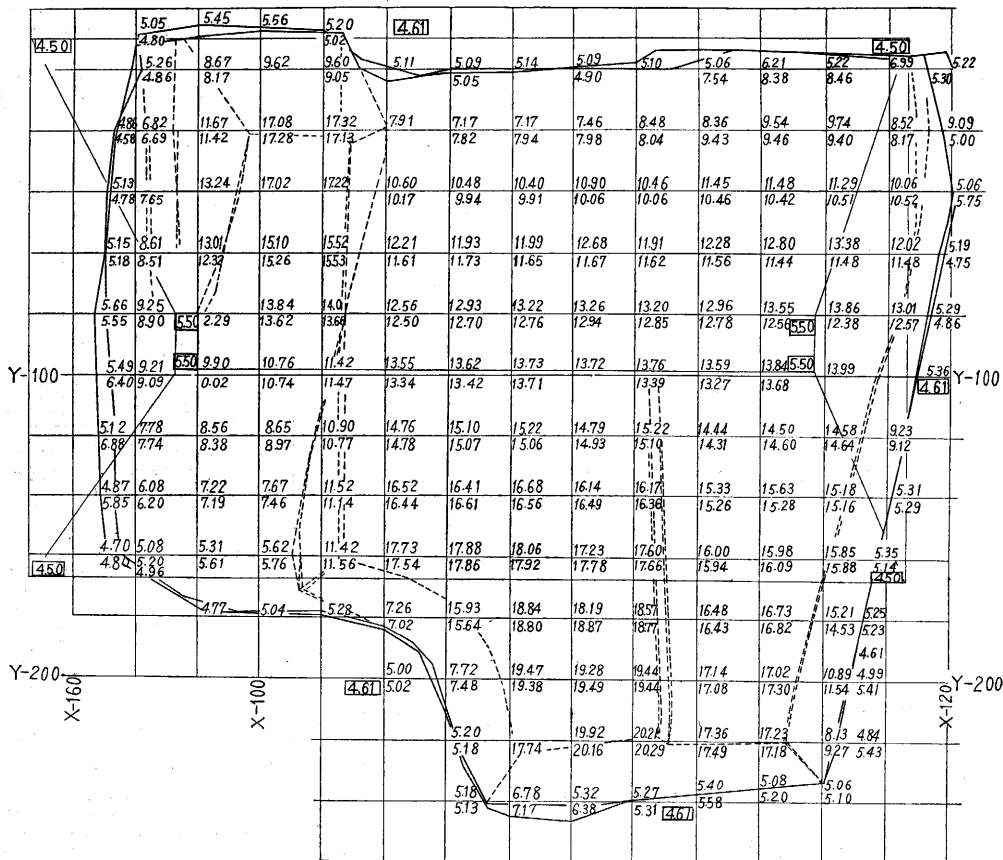
航空写真と地上写真とを用いて 20 m ほどの格子点において測定した成果を第 6 図に示した。各点に与えられた数字は標高であり、

上段は航空写真、下段は地上写真によって求めた値である。□でかこんだ値は容積を計算するとき用いた基盤の高さである。

航空写真を撮影した日時と地上写真を撮影した日時が異なっていて、その間に石炭が消費されているので、両者の精度を比較するのに、割合変化のなかった Y 座標 -100 以南の値について調べてみると、各点標高の測定差は平均 0.88 cm となり、非常によく一致していることがわかる。



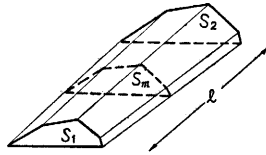
第 4 図



第 6 図

7. 貯炭量の算定

体積の計算はオートグラフ A-7 で測定した 20m 間隔の間では、表面が一樣に変化していると仮定できる部分では、平均断面法によった。すなわち (第 7 図参照)



第 7 図

$$V = S_m \times l = \frac{S_1 + S_2}{2} \times l$$

平均断面法が適用できないと思われる部分は三角錐に細分して、次の式で計算した。

$$V = \frac{S \times h}{3}$$

ただし、S=底面積、h=角錐の高さ

第 1 表

航空写真による容積計算

地上写真による容積計算

V No.	V m³
1-1	389.1605
1-2	2,151.6869
2	18,876.7440
3	34,900.6580
4	38,670.7980
5	37,889.0480
6	38,037.6340
7	36,825.9140
8	39,236.4100
9	41,380.0400
10-1	27,560.0580
11-1	29,861.7900
12	30,546.8430
10-2	13,862.6179
11-2	3,240.0761
13	15,289.1363
Σ ⁷ ₁₃ V	237,802.8853
Σ ¹ ₆	170,915.7294
計	408,718.6147

V No.	V m³
1-1	468.5
1-2	175.5
1-3	1,396.9
1-4	57.25
2-1	8,202.5
2-2	2,314.4
2-3	9,020.7
3-1	16,385.5
3-2	13,600.1
4-1	20,213.2
4-2	13,490.7
5-1	23,166.2
5-2	12,886.3
6-1	25,712.8
6-2	10,584.8
7-1	30,778.5
7-2	6,889.3
8-1	36,459.5
8-2	3,864.6
9-1	40,079.5
9-2	2,473.8
10-1	38,290.8
10-2	1,103.8
10-3	236.2
11-1	33,166.9
12-1	31,797.8
13-1	2,408.0
13-2	15,767.3
13-3	2,413.0
計	403,404.4

8. 計算結果

航空写真および地上写真による計算結果は第 1 表のようである。

9. 結 び

航空写真、地上写真による測量結果と、これに併行して行われた地上測量による測定結果を比較すると、次のようである。

作業方法	体 積	撮影または測量期間	摘要
航空写真測量	408718 m³	7月6日 14時20分	概算
地上写真測量	403404	7月7日~7月11日	
地上実測	397900	7月6日~7月11日	

測量および撮影日時が異なるため、その間に消費された数量を考慮すると、実測と航空写真による測定差は 1~2% 以内にあると考えてよい。したがって測量結果の精度という点では従来行ってきた実測に十分匹敵できることがわかった。なお、航空写真測量による方法は次のような利点があることを考え合わせると、今後の貯炭量の測定には、航空写真測量による方法が一番確実で、迅速、経済的な方法であることが結論できると思う。特に撮影が各所にある発電所が同じ日に撮影することになれば、撮影に要する費用も非常に割安にすむことになる。

最後に航空写真測量による方法の利点をあげておこす。

1. 測定時に、特に膨大な地均し作業が必要でない。
2. 瞬間的に撮影した写真から測定を行なうため、測量期間中の石炭の消費や搬入などにわずらわされることなく、その時刻の数量がわかる。
3. 外業が短期間ででき、対空標識を一度設置すれば、それをいつでも使うことができ、次回以後の作業量が少なくてすみ、経費も減少できる。
4. 実測にくらべて測定精度が均一である。

(1959. 11. 17)

(18 ページよりつづく)

定できる方式を考察し、装置を実際に構成して実験を行なった結果きわめて良好な結果を得ることができた。ここで述べた方式は平均頻度が比較的速かに変化する場合の測定に有力な武器として利用できるものと思われ、波高分析器のみならず多くの他の分野の利用が考えられる。また波高分析器は放射線計測のみならず、他の分野たとえば送電線を伝ばする雷波形の分析などにも利用できるものと思われる。これらについては機会を改めて述べることにしよう。

本研究に当たって当研究所加藤助教授からは、種々ご援助を賜わり、また久保卓蔵、寺川俊昭、三原真吾の諸

氏は熱心に実験に協力された。厚く感謝の意を表する次第である。

(1959. 11. 4)

文 献

- (1) A. V. Van Rennes: "Pulse Amplitude Analysis in Nuclear Research," I. II. III. IV. Nucleonics, July, Aug., Sept., Oct. (1952)
- (2) L. I. Schiff, R. D. Evans, "Statistical Analysis for the Counting Rate Meter." Rev. of Sci. Inst. 7 (1936) p. 456
- (3) 森脇・河村「計数率計の高速化」生産研究 10 (1958) p. 105
- (4) 森脇・河村・久保「高速度パルス波高分析装置」昭和 33 年度電気通信学会全国大会論文集, 255.