波浪等高線図の作成

笠 松 清*

Contour Map of the Waves

by Kiyosht Kasamatsu

We have decided to draw a contour map of the waves on the other from National Disaster Prevention Scientific and Technical Center. We photographed the waves in following two ways from planes simultaneously, with the cameras equipped with synchronous shutter mechanism.

1. Successive stereophotographs are taken, so that the sea shore and oil towers in the sea can be imaged in a stereomodel and some reference points can be furnished for the facilities of the absolute orientations and the plotting works.
2. Under a basis of stereoscopic Observation, successive stereophotographs are taken so that a datum plane of 0^m can be found by the numerical method and then the wave map can be plotted.

まえがき 同時撮影法により垂直空中写真を撮影し実体写真測量を行う試みは、1955年アメリカで行われた¹⁾ ことがあるが、今回国立防災科学技術センターにおいて精密な波浪等高線図作成が企画せられ、同センターの岩田憲幸氏より下記の指示を載き国際航業株式会社において実施し、一応の成果を得たので報告する。

- a 同時撮影装置を有する飛行機2機によりカラーフィルムを用い縮尺1/7000で撮影する。
- b 撮影範囲は新潟県大潟県海岸及び同沖合1.2kmにある帝国石油株式会社給油タワーを中心とする範囲
- c 図化はステレオプラニグラフC8を用い、縮尺1/1000、主曲線20cmとする。

1. 撮 影

撮影記録の抜萃は次の通りである。

昭和40年4月12日

離陸10^h 40' 撮影開始11^h 40'

着陸12^h 40' 終了12^h 1'

撮影縮尺 第1回 1/7000

第2回 1/5000

基地飛行場 新潟

カメラ RMK ¹⁵/₂₃

フィルム 富士カラー

フィルター なし

シャッター ¹/₂₅₀ 絞り 5.6

高層雲あり

標定図は第1図の通りである。

以上の通りで概ね予定通りの撮影が行われた。カラーフィルムを用いたのは、測定に当って青い海面に対しステレオプラニグラフC8の測標は赤色光を用いることが出来るので、対照が容易で観測がやり易い効果を期待したものである。これは黑白ポジフィルムの場合と比較して観測した結果によるとこれに従事したプラニグラフのオペレーターは皆カラーの容易さを認めた。但し、測標が黒色或は白色光のみの図化機ではそれ程の効果はないかも知れない。

波の撮影は太陽の反射光の状態によって写真のディテールが得られる。又撮影高度によっても異なるので、江の島附近で撮影訓練を行ったときの結果から見ると、正午前後の太陽の反射の多い部分のみが実体観が得られた。たまたま午後3時30分頃撮影したものは殆んど波形がうつらないばかりでなく、防波堤や岩礁の内側では海面を通して海底が撮影されてしまった。

これ等のことから撮影時期は正午前後を選定することとした。

又ステレオ写真は、写真の調子が全く等しくなる様に撮影されなければならないが、陸上と異り非常にむづかしいのである。

ある時間に撮影された写真上の明、暗部はその前後の連続写真においては、どのコースも同じ関係に出て

* 国際航業株式会社

写真測量 Vol. 4 No. 4 1955年

第1図 撮影写真標定図

Fig. 1, On the map, photographic project is illustrated.

第2図A ステレオに困難な写真の例

第2図B 太陽反射光の良い例

Fig. 2B, A Desirable example on reflected sun light.

- a コースの保持は追従法が容易である。
- b 両者の撮影間隔の保持については、平行法の方が容易な場合が多い。
- c 平行法は完全なステレオ写真を得ることがむづ

かしい。即ち完全に平行して飛ばないで前後すると、ステレオ部分が少なくなってしまう。

今回は撮影区域が陸地に近く、海上に明瞭な固定目標物があつたので、平行法を採用した。撮影結果の一

くる。従って、これを実体視するには写真の中央附近に写真の明部が来るように計画する必要がある。第2図にはAにステレオに困難な写真の例を、Bに適当な例を示した。

B図のようなステレオ写真を得るためには、太陽の照射方向と撮影方向とを一致すればよく、本撮影においてもこれに留意して計画されたが、気象の影響により予定通りの時間に撮影することが出来ないことがあるので、時間による撮影計画を立てておくことが必要である。

動く波を撮影するには飛行2機による同時撮影装置が必要である。これは国際航業株式会社の開発した装置²⁾を用いたのであるが、同社研究室長中村貢治氏の助力により、同室研究員山上貢氏が完成したもので、気象測定を以て煙の同時撮影を行った装置で、その当時より安定度が増している。

この装置の性能は、概ね次のとおりである。

- a 通達距離は2軒
- b 航空力カメラと連動している
- c 音声による通信とカメラのシャッター作動とが容易に切換えられる。
- d 他の電波及び飛行機の内部の妨害により機能を低下し、或は故障を起すようなことがない様な雑音フィルター装置を持っている。
- e シャッター作動の同時性は $\frac{1}{50}$ 秒以下である。

航法としては、飛行機の進行方向に対して平行して他の一機が飛ぶ方法と、マスター一機に対し他の一機が追従していく方法とがある。便宜上前者を平行法、後者を追従法とすると、

第3図 波浪ステレオ写真 縮尺 1/5,000
Fig. 3, Stereogram of the waves on a scales of 1/5,000.

例は第3図の通りである。

2. 測 定

2-1 準備及び計画

現地の海岸において写真に明瞭に刺針の出来る地点を選定し、ここに基線を設定し海上の人工島を海上基準点とし三角測量により関係位置を求めた。これにより海岸と海上基準点とにより空中写真の絶対標定を行い得るようにした。然しこの方法によるか後述の方法によるかは撮影された写真によって決定することとした。

撮影された写真の縮尺は計画通り1/7000と1/5000の二種類が得られたが、何れも海上基準点周辺の海面は実体視が困難で、写真の縮尺を求める以外は海上基準点を使用する意味がないので、写真の絶対標定には用いないことにした。

2-2 実施

2.2.1. ステレオプラニグラフによる第一次概略絶対標定

同時撮影による写真の重複部中第4図のように、1～2, 3～4線を選定し、1, 2, 3, 4点には予め刺針

を行い標定のための点とした。1, 2, 3, 4点を標高0mと見做し第一次の写真の絶対標定を行った。この選点は、ステレオモデルの全部が実体視出来るのではなく、60%程度であるから、これらの点は実体視の出来る範囲の外周に置かれる。

第4図 標定点
Fig. 4. Model points for orientation.

2.2.2. 0mの水準面を求めるためのデータの観測
写真の縮尺は1/5000で行うこととした。これは海上基準点を使用しない限りなるべく大縮尺の方が良いからである。写真は1/5000で図化縮尺は1/1000とし、1～2, 3～4線を展開し各々の線上5mm間隔で高さZの測定を行い総数約350点のデータを得た。

2.2.3. 水準面の計算方法

真高 ΔZ_i が得られた場合、第5図のように $\sum \Delta Z = 0$ になるような直線0は水準面であるとの仮設を設けた。次に、第一次絶対標定で測定した5mm間隔の高さは、概略面からの値 $2i$ で、これに真の水準面に対する修正量子を補正してはじめて真の標高 ΔZ_i が得ら

第5図 仮の水準面
Fig. 5. A temporary datum plane.

第6図 真の水準面
Fig. The true datum plane.

れる。これを図示すると第6図の通りである。

第6図の0直線は、概略標定面に対し、次の関係がある。 $aX + c = z$

z は下明であるから Z を用い最小自乗法を用い、係数 a, c の最確値を求めれば、任意の点において $aXi + C = Zi$ によって計算された zi から $Zi - zi = \Delta Zi$ を求めれば最初の仮設のように $\sum \Delta Zi = 0$ になる。

即ちこの計算は次のように行なう。

$$\begin{cases} aX_1 + C = Z_1 \\ aX_2 + C = Z_2 \\ \dots\dots\dots \\ aX_n + C = Z_n \end{cases}$$

これから次の正規方程式が得られる。

$$\begin{cases} a [XX] + C [X] = [XZ] \\ a [X] + Cn = [Z] \end{cases}$$

n は 170 以上となるので上式の計算は電子計算機によって行った。

3～4 線においても同様の方法により a, C を求め同様に $aX + C = z$ を計算し、3, 4 点の $Z - z = \Delta Z$ (標高) を求めかくして絶対標定のための 4 点 1～4 を点の標高を確定した。

2.2.4. 写真の第2次絶対標定

1～4 定点中任意の 3 点を用い絶対標定を行ない、他の一点の標高を測定し全く較差を認められなかったこれにより 1, 2, 3, 4 点は一平面にあることが点検された。

2.2.5. 等高線の描画

20cm の等高線は相当むづかしく、実体視の容易な部分から逐次外方に至るに従い精度が低下するので、描画速度は極めて遅い。然し一般地形図と異り等高線の総数が少ないのとコンターのみであるから、一モデルの総時間はむしろ地形図の場合よりも少い。

第7図 波浪等高線図 (縮尺 1/1000 を 1/2 に縮小, 等高線間隔 20cm.)
Fig. 7, A contour map on the waves, (Map on the scale 1/1000 with contour interval 20cm. This copy is reduced to 1/2)

成果の一例は第7図の通りである。

3. 実施結果より見た所見

以上によって波浪の等高線図を空中写真から作ることが出来たが、今後この様な等高線図を作るために所見を述べると次の通りである。

3.1. 撮影法

ステレオ写真が同じコントラストで撮影されるためには追従撮影法の方が有利である。平行法の場合には、太陽光線と方向を一致するため計画撮影時間が変更されると、撮影コースも変更しなければならない不利がある。但し、撮影基線長の保持については、平行法より困難を伴うと思われるので一応の訓練が必要となる不利はある。

3.2. 水準面を求めるための他の方法

$aX + C = Z$ の式は直線式で1～2, 3～4を別々に計算したのであるが、下記の平面の式を用い一挙に計算する方が良いではないかと思う。

$$aX + by + C = Z$$

この式を用いた場合、約10cm水準面が高くなった結果が得られたが、この方が一般に良い様に思われるが、点検の資材が少ないので確固たる結論は出すことができない。

$$aX + bXy + c = Z$$

この式を適用するとXYの項があるために曲面となり、例えば1, 2, 3点で絶対標定を行い、第4点を測定すれば較差が出る。これによって精度判定の資とすることが出来るし、較差 ΔZ が微小であれば2と4に半量づつ配分し絶対標定を終了する。

3.3. 本法の適用

本方法は陸上基準点に何等関係なく実施出来ること

が最大の特色で、如何なる場合にも水準面を求めることが出来る。但し海岸の近くとか、或は特殊な場合に本文中の $\Sigma 4Z = 0$ (第5図)の面が平面にならない場合は真値を表わさない。何れの場合に適用出来ないかは今後の課題であろう。

次に、今回は海岸に近い為と、海上基準点があった為写真縮尺の決定は正確に行われたのであるが、比高の公式 $dH = \frac{H}{b+dp} dp$ を考えて見ると、求める dH は、精々数米にしか過ぎない。今回の場合を例にとると、 $H = 750m$ であるから、 $dp = 0.5mm$ として $dH = \pm 5.3m$ となり先ず最大の場合と考え、上記公式から、

$$\partial dH = \frac{dp}{b+dp} \partial H \text{ の } \partial H \text{ は } \partial dH = 20cm \text{ として}$$

計算すると $\partial H = 28m$ である。即ち、求める dH の価が少いから H の測定もそれ程精密を要しないことがわかる。従って、今後全く海岸より離れた海面において行うときは、最も近い海岸の撮影縮尺を求め、測定区域附近との高度差を修正すれば良いと思う。

若し特別海岸より離隔した場合には、スタトスコープ (高度差記録計) を装備した航空カメラを用いれば万全であると思う。

あとがき 本研究に際し、主として図化に関して田辺晴正氏、計算について田浦秀春氏、石井和夫氏、並びに測定及び撮影に協力された方々に謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) Wilber Marks, FClaude Rome; "Aerial Stereo-photography and Ocean Waves" Photogram-metric Engineering XXI—1, 1955, PP107—110
- (2) 笠松 清外 “発煙の空中同時撮影による気象観測” 写真測量VI—2, 1965, P58—64

正 誤 表

ページ	行	正	誤
9	24	n 次式	次式
〃	10	座標系を π だけ	座標系をだけ
B	2	$\triangle \varphi_1, \triangle \varphi_2$	$\triangle \varphi_1, \triangle \varphi$
〃	10	$\triangle \varphi_{i2}$	$\triangle i_2$
〃	14	$-\triangle \kappa_{11}$	$\triangle \kappa_{11}$
104	右の行 下から6行目	す。当所の撮影は	す。撮影は
105	写真4	('64.6.17)	'64.6.16)
112	右の行 下から3行目	写真測量専攻者だけでなく	写真測量専攻者でなく
113	表 備考	防災センター撮影	

ページ	行	正	誤
		〔防衛庁機撮影〕	防衛庁機撮影
		(民間機撮影)	民間機撮影
114	右 3行目	会講演概票	会講演概専
136	表題英文	Limitations	Limitation
139	左 6	数m 以下	数以下
表紙および中表紙			
地質調査→地震災害調査 (表紙)			
地質災害調査→地震災害調査 (中表紙)			
Limitation→Lemitations (英文 Contents 中)			
in uses→in Uses			