

# 港湾潮流観測に地上写真測量の利用

正員 眞 嶋 恭 雄\*

## APPLICATION OF GROUND PHOTOGRAMMETRY TO THE OBSERVATION OF LITTORAL CURRENTS

(JSCE July, 1950)

Yasuo mashima, C.E. Member.

**Synopsis** The author has applied the ground photogrammetry to the observation of littoral currents at Otaru Harbor and Higashi Shizunai Fishery Port. This method is consisted of taking the photographs of drifting floats at night which are equipped a dry-cell lamp on their top parts.

### 1. 目的

港湾に於ては沿岸潮流及び局所海流が発達し、船舶の碇泊、入出港の際に大なる影響を与えると同時に港湾修築上より漂砂の沈澱、堆積、内陸土砂の流入沈澱に重大なる関係を有する。

然るに此の調査には流速計によるか、又はフロートを流して陸上又は船上より観測するか、或は温度、塩分等より間接に計算する等の方法が用いられて居るが、此等は広潤なる海面の局部に限られるのと相当の時間と労力を要し、一目瞭然たらしむることが困難であつた。殊に暴風時の潮流、或いは複雑なる海岸の局所流の調査が困難である。それで斯る場合にも容易に実施出来る方法として地上写真測量を夜間及び晝間に採用して見た。此の方法によればフロートの流路が明瞭になり且つ局部的流速、干潮満潮時の流向、流速、風による吹走流の方向流速等が容易に測定出来る外波浪の方向更に地上水平写真を行えば波高の測定も容易に行うことが出来る。よつて小樽港及び北海道日高沿岸の東静内漁港に於て実施した方法及び結果を述べ、港湾関係者の参考に資したいと思う。

### 2. 方法

潮流のある港湾河口等にて棒フロートを流し、其の流路を地上写真測量にて測定するのであるが、特に観測に便利ならしめる為下記の如き方法を取つた。

- a) 連続露出によつて写真画面上にフロートの流路を撮影する為フロートに乾電池の燈籠を取付け夜間撮影した。
- b) 一定時間毎に露出切断を行つて流速を求めた。
- c) 流線を多数同時に求めるためフロートを数多く流す。
- d) 平面位置の誤差を小さくするため成るべく高所にて撮影する。即ち垂直写真に成るべく近いものとする。
- e) 潮位及び風向風速は別に観測した。

今回は普通の組立式写真機に水平分度盤を取付けた丈の間に合せの機械を使用した。写真経緯儀又は実体写真経緯儀を使用出来れば極めて便利である。尙此等経緯儀によつてフィルムによつて定速度連続撮影を行うことが出来るように出来れば晝間にも流路を求めることが出来る。

尙フロートの長サ形状は表流、潜流等の流路を求めんとする流れに応じて決定することは当然である。又これ等のフロートを組合わせて使用すれば夫々の流路が同一画面に求むることが出来る。

又波高測定の場合に行つた方法は次の通りである。

- (a). 棒フロートの上端に乾電池燈籠を取付け此の浮標を海中一定地点に碇置する。
- (b). 浮力を大にし且つ安定を保つ為水面附近に横材を正方形及び対角線の方向に取付けた。
- (c). 地上より、夜間連続露出の水平写真を撮影する。
- (d). 波高の変化を知るため写真機軸を露出しながらゆつくり垂直軸のまわりを回転する。

波高、波長等は地上実体写真経緯儀によれば容易に晝間撮影によつて測定することが出来るが、普通の写真機によつても簡単に図解法によつて測定することが出来る。然し精度の低下することはやむをえないものと思う。

### 3. 平面位置及び標高

#### (A). 水平写真

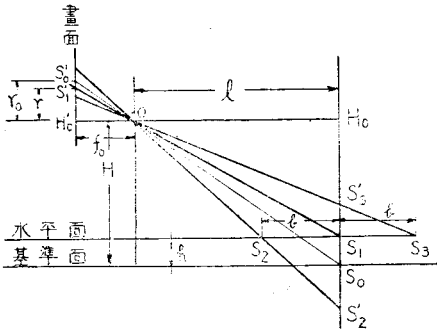
写真機軸を水平にして水平面上にある物体を撮影せる場合の写真機画面、物体の関係は図-1の如くである。

- $O$  : 写真機の対物鏡の中心       $f_0$  : 画面距離  
 $S_1$  : 水平面上の物体       $H_0'$  : 画面主点  
 $H$  : 写真機軸の基準面よりの高サ  
 $h$  : 撮影水平面の基準面よりの高サ  
 $l$  :  $S_0$  より写真機までの水平距離

写真画面で  $h-h$  は主水平線、 $v-v$  は主垂直線とする

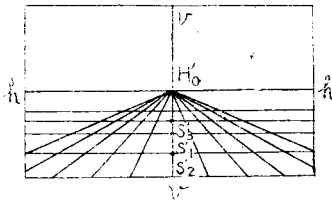
\* 北海道大学工学部助教授

図-1



と、水平写真では水平線は画面主点 \$H\_0'\$ を通る。又撮影方向に平行なる直線はすべて \$H\_0'\$ に収斂する。

図-2



更に水平面上の画面に平行な直線は画面上に於ても平行直線である。此等の事より正方形の格子を画面上に描

けば測圖にて画面上の点を平面図に移すことが出来る。此の画面の \$S\$ 点の縮尺を \$n\$ とすると

$$H_0/S_0' = r_0 \quad H_0/S_1' = r$$

$$n = \frac{f_0}{l} = \frac{r}{H-h} = \frac{r_0}{H} = \frac{r_0-r}{h} \quad \dots\dots(1)$$

即ち、\$S\_1\$ を通る垂直面上の物体の縮尺は一定であるが、\$S\_1\$ より前後にある物体の縮尺は次のやうに変わる。今 \$S\_1\$ より、前後に夫々距離 \$b\$ の点 \$S\_1, S\_3\$ を考えると、これらの点は画面上では \$S\_2', S\_3'\$ となる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{S_1S_2'}{b} &= \frac{H-h}{l-b} \quad \therefore S_1S_2' = (H-h) \frac{b}{l-b} \\ \frac{S_1S_3'}{b} &= \frac{H-h}{l+b} \quad \therefore S_1S_3' = (H-h) \frac{b}{l+b} \end{aligned} \right\} (2)$$

画面上では \$S\_1 S\_2\$ 及び \$S\_1 S\_3\$ は (2) の \$n\$ 倍の距離にある。故に縮尺 \$n\$ の図上で \$S\_1 S\_2'\$ 又は \$S\_1 S\_3'\$ を求めるか又は (2) を \$n\$ の縮尺で計算して画面上の \$S\_1\$ より \$S\_2' S\_3'\$ を取り主水平線に平行線を引けば \$b\$ の間隔の平行線が得られる。\$b\$ の代りに \$2b, 3b \dots mb\$ を使つて平行線を引くと間隔 \$b\$ の平行線の画面位置が得られる。又画面上 \$S\_1\$ を通る平行線上の縮尺は \$n\$ であるから、

$$nb = b \frac{f_0}{l}$$

の間隔に切つて各点と \$H\_0'\$ を結べば写真機軸に平行な間隔 \$b\$ の平行線が求められる。又 \$S\_2'\$ を通る主水平線に平行な直線上の縮尺は

$$\frac{f_0}{l-b} \text{ で } f_0 \frac{b}{l-b}$$

の間隔に此の直線上に取つても同様である。

若し \$S\_1\$ 点が \$v-v\$ 線上にない場合、その点までの距離 \$l'\$ を知つて画面縮尺を求むるには \$S\_1\$ 点の画面上の点と \$v-v\$ 線の距離を \$p\$ とすると、

$$n = \frac{f_0}{l} = \frac{\sqrt{f_0^2 + p^2}}{l'} \quad \dots\dots(3)$$

(1) 式に於て、\$f\_0 b r\_0 H n\$ の中 3 個を知れば他の 2 個の値はわかる。又同一垂直面上の 2 点につき \$h, r\$ の相互関係が求められる。即ち、

$$h = H - \frac{r}{n}$$

次に \$h\$ に変化がある場合の位置の誤差或は距離の変化による高さ \$h\$ の影響は次のやうな関係となる。

(1) 式に於て、

$$h = \frac{r_0 - r}{n}$$

より \$f\_0, H\$ が一定であるとする、

$$\frac{dh}{dl} = \frac{1}{n} \frac{d(r_0 - r)}{dl} = \frac{r_0 - r}{n^2} \frac{dn}{dl}$$

$$\frac{dn}{dl} = \frac{-f_0}{l^2} = -\frac{n^2}{f_0}$$

$$\therefore dh = \frac{1}{n} d(r_0 - r) + \frac{r_0 - r}{f_0} dl \quad \dots\dots(4)$$

$$\text{又は } dl = \frac{f_0}{r_0 - r} dh - \frac{l}{r_0 - r} d(r_0 - r) \quad \dots\dots(5)$$

即ち、画面測定誤差 \$d(r\_0 - r) = dr'\$ が無い場合、\$h\$ の変化 \$dh\$ による距離誤差は

$$dl = \frac{l}{h} dh = \frac{f_0}{r_0 - r} dh \quad \dots\dots(6)$$

画面測定誤差 \$d(r\_0 - r) = dr'\$ による距離の誤差は

$$dl = -\frac{l}{r_0 - r} d(r_0 - r) = -\frac{l}{nh} d(r_0 - r) \quad \dots\dots(7)$$

故に、距離

$$l = \frac{f_0}{n} = \frac{f_0}{r_0} H = \frac{f_0}{r} (H - h)$$

に対して (5) 式の誤差を生ずる。従つて連続露出の時海水面が潮汐により上下する場合、(6) 式の更正が必要で \$l\$ が小さい程即ち、写真機に近い程高さの変化による誤差は小さい。

此の水平写真によつて波高の測定を行う場合には、一定地点に於ける \$h\$ の変化を求めることになり、(4) 式によつて計算される。此の場合は距離の誤差或は変化による誤差及び画面測定誤差を生じ波高は

$$dh = \frac{1}{n} d(r_0 - r) \pm \frac{1}{n} dr' \pm \frac{h}{l} dl \quad \dots\dots(8)$$

となる。ここで \$d(r\_0 - r)\$ は \$S\_1'\$ の上下動を表わし \$dr'\$ は画面測定誤差を又、\$dl\$ は浮標の定点よりの位置の

変化又は距離測定の誤差を表わす。この場合は  $l$  の大きい程波高の誤差は小さくなる。

(B). 傾斜写真

此の場合の写真機、画面、水平面の位置は図-3の通りで格子の写真機軸方向の平行線は水平線と  $v-v$  線の交点  $V$  に集まる、格子の作図法は水平写真の場合と同様  $S_1$  を通る水平線を等間隔  $b$  に切つて  $O$  と結びこの直線が画面  $H_0V$  との交点  $b_1$  を求めて  $S'$  よりの距離を画面縮尺にて画面上に取つて水平線に平行線を引く。写真機軸に平行な直線の間隔は  $S_1'$  を通り水平線に平行な直線を画面縮尺で表わせる間隔で切り  $V$  と結んで求める。

図-3

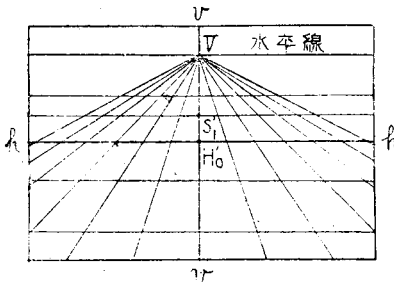
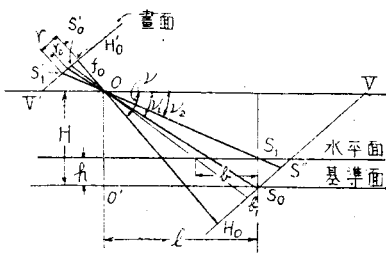


図-4



この場合の距離、高さ、傾斜角、画面距離の間には次の関係がありこれより誤差の関係がわかる。即ち、

$O$ : 写真機  $OH_0$ : 写真機軸

$H$ : 写真機の基準面上の高サ

$l$ : 写真機と水平面上の一点との距離

$h$ : 水平面上の一点  $S_1$  の基準面上の高サ

$\nu$ : 写真機軸の傾斜角

$r_0 = H_0/S_0'$ : 画面主水平線と  $S_0$  の影点の距離

$r = H_0/S_1'$ : 画面主水平線と  $S_1$  の影点との距離

上図に於て

$$\left. \begin{aligned} \tan \nu_1 &= \frac{H}{l} & \tan(\nu - \nu_1) &= \frac{r_0}{f_0} \\ \tan \nu_2 &= \frac{H-h}{l} & \tan(\nu - \nu_2) &= \frac{r}{f_0} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

$$OH_0 = l \frac{\cos(\nu - \nu_1)}{\cos \nu_1} = H \frac{\cos(\nu - \nu_1)}{\sin \nu_1} \dots\dots(2)$$

$S_0$  の画面縮尺

$$n = \frac{f_0}{OH_0} = \frac{f_0}{\cos \nu (l + H \tan \nu)} \dots\dots(3)$$

$S_1$  の画面縮尺

$$n_1 = \frac{f_0}{\cos \nu \{l + (H-h) \tan \nu\}} \dots\dots(4)$$

$$\frac{1}{n_1} = \frac{1}{n} - \frac{h}{f_0} \sin \nu \dots\dots(5)$$

$$\text{又 } \frac{r-r_0}{f_0} = \frac{S_0 S''}{OH_0} \quad S_0 S'' = \frac{r-r_0}{f_0} \frac{H \cos(\nu - \nu_1)}{\sin \nu_1}$$

$\Delta S_0 S_1 S''$  に於て

$$\frac{S_0 S''}{\sin(90 - \nu_2)} = \frac{h}{\sin(180 - \nu - 90 + \nu_2)}$$

故に  $S_0 S'' = h \frac{\cos \nu_2}{\cos(\nu - \nu_2)}$

故に  $\frac{(r-r_0)}{f_0} \frac{H \cos(\nu - \nu_1)}{\sin \nu_1} = h \frac{\cos \nu_2}{\cos(\nu - \nu_2)}$

即ち  $h = \frac{r-r_0}{n \cos \nu (1 + \frac{r}{f_0} \tan \nu)}$   $\dots\dots(6)$

(3) より

$$\left. \begin{aligned} l &= \frac{f_0}{n \cos \nu} - H \tan \nu \\ &= \frac{f_0}{n_1 \cos \nu} - (H-h) \tan \nu \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

(5) より  $f_0, H, \nu$  が一定であるとして  $\frac{dh}{dl}$  を求める  
と次式が得られる。

$$\frac{dh}{dl} = \frac{f_0}{n \cos \nu (f_0 + r \tan \nu)} \frac{d(r-r_0)}{dl} + \frac{r-r_0}{f_0 + r \tan \nu} - \frac{r-r_0 \tan \nu}{n f_0 \cos \nu (1 + \frac{r}{f_0} \tan \nu)^2}$$

故に

$$\begin{aligned} dh &= \frac{1}{n \cos \nu (1 + \frac{r}{f_0} \tan \nu)^2} \left\{ d(r-r_0) \right. \\ &+ \frac{\tan \nu}{f_0} (r_0 dr - r dr_0) \left. \right\} + \frac{r-r_0}{f_0 + r \tan \nu} dl \dots\dots(8) \\ &= \frac{1}{n \cos \nu \{1 + \tan(\nu - \nu_2) \tan \nu\}^2} \left\{ d(r-r_0) \right. \\ &+ \tan \nu \tan(\nu - \nu_1) dr - \tan \nu \tan(\nu - \nu_2) dr_0 \left. \right\} \\ &+ \frac{\tan(\nu - \nu_2) - \tan(\nu - \nu_1)}{1 + \tan \nu \tan(\nu - \nu_2)} dl \dots\dots(9) \end{aligned}$$

又は

$$\begin{aligned} dl &= \frac{f_0}{r-r_0} \left[ (1 + \frac{r}{f_0} \tan \nu) dh \right. \\ &- \left. \frac{1}{n \cos \nu} \left\{ \frac{1 + \frac{r_0}{f_0} \tan \nu}{1 + \frac{r}{f_0} \tan \nu} dr - dr_0 \right\} \right] \dots\dots(10) \end{aligned}$$

画面縮尺  $n$  を求めた点  $S_0$  よりの距離  $l$  は高さの変化又は誤差により

$$dl' = \frac{1}{r-r_0} (f_0 + r \tan \nu) dh$$

の誤差を生じ、画面測定の際の誤差により

$$dl'' = \frac{-f_0}{n(r-r_0)\cos \nu} \left( \frac{1 + \frac{r_0}{f_0} \tan \nu}{1 + \frac{r}{f_0} \tan \nu} dr - dr_0 \right)$$

の誤差を生ずる。

又、距離  $l$  は (1), (3), (4) を用いて (6) より計算する高さを求める場合は (6) より計算し、距離の変化又は誤差  $dl$  或は画面測定の際の誤差  $dr, dr_0$  による高さの誤差は (7), (8), (9) よりわかる。即ち傾斜角  $\nu$  が小さい程高さの変化は大きく出る。故に波高の測定には水平写真を、位置測定の場合は垂直写真を用いることが一定の許容誤差に対する撮影範囲が広くするために必要である。

4. 測定結果

(A) 小樽港

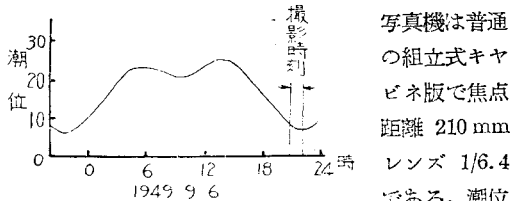
港内の表流の測定をするためフロートとして乾電池を使用せる燈籠を海面に浮べた。当日は小樽市行事として燈籠流しが行われたので、これを利用したが、燈籠の数が多すぎて遠距離では流線が明瞭でなかつた。

写真番号 時刻(1949.9.6) 風向, 風速 方法

No.1 20.42.10—21.21.00 SE 1.30m/sec 水平連続露出

No.2 21.25.30—22.10.7 " " 水平断続露出

図-5 (撮影地点にて+56m)



は干潮時で No.1 の流速約 0.266—0.346m/sec, No.2 の流速 0.32m/sec で流向と山上の風向とは著しい差があつた。尙其の流路は図-6 の如く流向及び風の影響

写真-1

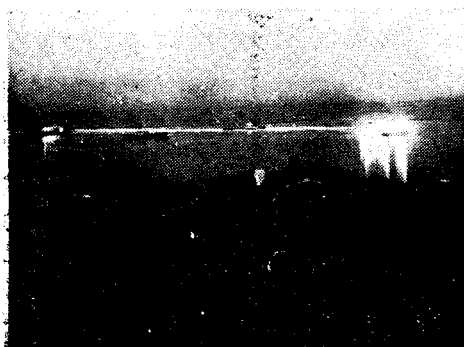
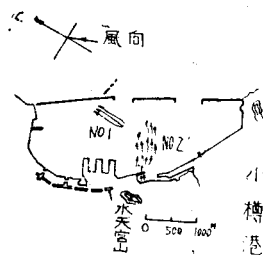


写真-2



図-6



等を知ることが出来る。

(B.) 北海道日高沿岸東静内漁港

此の漁港の漂砂の原因を調査する目的で行つた沿岸

図-7

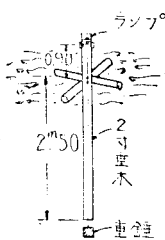
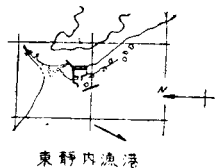


図-8



流測定にはフロートとして図-7 の如きものを使用し、上端に乾電池の燈籠を取付け港外にて放流した。当日 (1949.9.10) の風向 NE. 風速 2.0m/sec, 潮位落潮時、写真機は普通の組立式キャビン版、レンズ Dagör 6.8 画面距離 420mm, 撮影地点標高 49.7m, 時刻午後 7.30—8.00, フロートの流向 NE. 27°30', 流速 5.27 cm/sec. 此の場合の流向は沿岸流の方向を示し、これは風の影響の極めて大なる例である。

尙写真撮影には北大土木専門部堀謙治氏、工学部長岡徠三氏を煩はした。厚く感謝の意を表する。

又本法の研究には一部文部省科学研究費の補助を得て行つたものである。