

トランシットによる波浪の記録観測法

正 員 北海道開発局土木試験所 宇 田 居 吾 一

1. 緒 言

港湾における波浪の諸元、中でもその波高は、河川における流量にも比すべき重要さを持つものであつて、港湾工事を計画・設計・施工更には管理する上に、その大きさが正しく解ることが如何に必要であるかは云うまでもない事で、古来その直接観測は、波浪の理論研究の必要上、更には直接港湾工事への必要上、多くの学者、技術者によつて、諸多の方法が考案され試みられて来た。然るに、波浪理論の面には相当の進歩をみた今日、波浪の直接観測法には未だに、河川におけるブライス流速計による流量観測法のような、簡便で、普遍的で、且つ基準的な観測法が見られず、当事者各々が任意の方法及び任意の要領でその観測を行つてゐることは、まことに不便且つ不利益なことであつて、港湾工学の進歩のためにも、是非、簡便で普遍性のある観測方法及びその要領が望まれるところである。

筆者がここに紹介する方法は、従来のトランシットによる観測法に改良を加え、手動操作で記録観測が出来るように考案され、比較的手軽に且つかなりの精度で観測記録が取り得るものであつて、本年9月釧路港、11月杵形港の調査に使用し、略満足出来る成果を得たので、未だ種々、検討、改良を加えなければならない点も多いが、とりあえず報告し参考に供する次第である。

2. 波高の直接観測法の概要

波高の直接観測には数多くの支障がともなうが、その最も大きなものは、測点が観測点たる陸岸から隔絶した海上にあり、しかもその最も必要とするのは荒天時のものであるため、是非とも何等かの遠隔観測手段によつて行わなければならないことである。この点に基づいて今日迄に発表せられた多くの波高観測法を分類すれば次の如くである。

A. 陸上より光学器械を用いて観測する方式

1. トランシットを用いる方法

イ. 垂直分度により視角を測定し算出する方法

ロ. スタジヤ測量法を応用する方法

2. 地上標定機を用いる方法

3. レベルを用いる方法

4. 写真機を用いる方法

イ. 夜間、写真機を連続露出又は間歇露出しつつ、静かに水平回転せしめ、沖合浮標上端につけた燈火の振幅を撮影し算出する法

ロ. 普通の地上写真測量による法

5. 撮影機を用いる方法

6. 実体写真機を用いる方法

尚、1・2・3・4・5 の場合、測定を判然とするためと。波の谷が手前にある波嶺の陰になつて見えなくなるのを防ぐため、浮標、掛燈浮標が補助手段として用いられることが多い。

B. 測桿、浮測桿によつて観測する方式

この場合、望遠鏡 (イ) 撮影機 (ロ) 等が補助手段として使用されることが多い。

C. 遠隔操作の記録計、又は示指計を用い海上の作動部の変化を陸上で観測する型式の特殊波高計による方式
これを作動部の作動の方式によつて分類すると次の如くである。

1. 海上に直立したポール又は浮ポールに沿つて上下に動く浮子の運動によるもの。

2. 海上に直立した浮ポールの浮力の増減によるもの。

3. 海面上に直立したポールの側面に一定間隔の電極を取付け、その海水による短絡を利用するもの。

4. 海面上に直立した有蓋底開鉄管内の空気圧の変動によるもの。

5. 海底の水圧変動によるもの。

6. 浅海用音響測深機を用いる方法

遠隔操作の方法には、まれにゴム管内の空気圧等を用いるもの (4) もあるが、多くは、電橋・熱電流・電流等の電気的方法によつてゐる。又この型式のものの中には記録装置に始動時限装置を有し、一定時間おきに十数分の記録を自動的に行うように出来ている優秀品もある。

D. 海上の測点で自記録を取る型式のいわゆる自記波高計による方式

これを作動部の作動の型式によつて分類すると次の如くである。

1. 海面上に直立したポール又は浮ポールに沿つて上下に動く浮子の運動を自記するもの。

2. 海底の水圧変動を自記するもの。

1のものには、記録装置をポールの上端に取付けたもの、浮子の内部に収めたもの、等がある。

又この種のものには、その記録用紙の巻取りを、ゼンマイ時計によつて行うもの(イ)と、始動時限装置によつて操作される小型モーターにより行うもの(ロ)とがあるが、前者はその用紙の送り速度が極めて緩慢なため、記録は最大振幅の帯となつてのみ現われ、各波の波型又は周期の判定の出来ないものが多い。

記録持続能力は、ゼンマイ時計及び時限装置の動く時間に左右されるため、両者とも約1週間程度のものが多い。

これらの方法にはそれぞれ大きな特徴があつて、波高観測を企図する者は、調査目的、所望精度、調査の経費、陸岸の地形、測点の位置、海況等を考慮し最も適応した観測法を選定することが先ず必要で、これを誤るときは、測得資料の価値及び信頼度が少ないばかりでなく、観測を失敗に終らせたり、更には、機械、器具を流失破損する事も多いものである。

3. 波高観測法の諸条件と各種観測方法の得失

普通に行われる波浪調査を基準とした時、波高観測法としての必要条件は次の如くである。

a. 陸岸と測点との距離に左右されないこと。

港湾を対照とする海岸波浪の調査であつても、最小陸岸から2,000 m くらい迄の範囲の観測を必要とする場合が普通である。この範囲において任意に測点を選定出来ることが必要である。

b. 測点の状態に左右されないこと。

海岸波浪の調査であつても、水深30 m くらい迄の範囲の観測を必要とする場合が多く、この範囲にあつて、沖波・碎波帯・港内等の波浪の激否によらず、任意に測点を選定し得ることが必要である。

測点に相当の施設を要する観測法にあつては、このような深所に、激浪に耐える構造物をつくることが、技術的に困難なばかりか多くの費用を要するものである。

c. 陸岸の地形に左右されないこと。

光学的に波高を観測する際、観測点の位置が相当高くないと、大浪時、波の谷が手前の波の蔭になつて観察されないことがあるため、観測が出来なかつたり、不便な位置に観測点を設けなければならないことが多い。

d. 随時観測し得ること。

天候・海象・昼夜を問わず随時、任意の期間観測出来ることが望まれる。記録部をも沖合測点に置く自記波高計による観測には、用紙の交換時期に荒天が続いたりして、必要時、観測の中断する懼れも多い。

e. 各波の波高、出来得ればその波形も、逐一連続観測し得ること。

近年波浪に関する理論的研究に急激な進歩を見たが、これに基づく間接観測法では、波浪の緒元に有意義波(連続する波浪の波高上位、 $\frac{1}{3}$ 迄のものの平均)を以て示す趨勢にあるのでこれと直接観測値とを比較検討出来るためには、10分間程度に亘る逐一連続観測の出来ることが必要である。このために観測は是非記録し得るものであることが望まれる。

f. 精度の比較的高いこと

観測法として精度の高かるべきは勿論であるが、水深、波の高さ、陸岸と測点との距離等によつて精度に不同の伴なう場合であつても、せめて10%以内の観測精度であることが望まれる。

g. 観測の個人誤差が少ないこと。

h. 信頼度の高いこと。

測得値より波高を算定する道程において、波形、水圧等の波浪の理論を含まない。波高自体の観測でありたく又観測器具計器等の検定が正しく行い得ることが必要である。

i. 計器類の構造が複雑でなく、その取扱いに熟練や特殊技術を必要としないこと。

j. 設置その他の準備作業が簡単であること。

k. 観測には出来るだけ手数を要さないこと。

l. 故障が少なく、又その修理も容易なこと。

m. 測得資料の整理に複雑な手数を要しないこと。

n. 計器・器材が安価なこと。

o. 1台の計器で、広範囲又は数点の観測が出来ること。

p. 潮汐による影響が少ないこと。

潮汐の大きな地方では、このため計器の大きさ、記録紙の幅等を大きくしなければならないことがある。又この影響を除くために計器の構造が複雑になることがある。

以上の諸条件に照して、各種観測法の得失を比較検討すれば次表の如くである。

4. トランシットによる波浪の記録観測法

イ. 原理

本方法は、沖合の測点に設置した浮標の上下動を、浮標上の一点(浮標に取付けた測量旗の中央が便利)が絶えずトランシット望遠鏡の水平又線上にある様に、トランシット望遠鏡の垂直微動螺子をその支架に取りつけた特

表-1

	A 方式						B 方式 イ ロ	C 方式						D 方式		ト ラ ン シ ッ トによる 観測 記法	凡 例
	1 2 イ ロ	3	4 5 イ ロ	6	1	2		3	4	5	6	1 2 イ ロ	イ ロ				
a	○ ○ ○ × △ △ ○ △	○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ◎ ○ ◎	△ △	× △ × × ◎ ◎	× × ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○	◎ × 大きな短所			
b	○ ○ ○ ○ ○ ◎ ○ ◎	△ △	△ △ △ △ △ × △ ×	× ×	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
c	△ △ △ △ △ × △ ×	× ×	△ △ △ △ △ × △ ×	× ×	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	△ △ △ △ △ △ △ △	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	△				
d	△ △ △ △ △ × △ ×	× ×	× × × × △ × ◎ ×	× ◎	◎ ◎ ◎ ◎ ○ ○ ◎ ◎	△ △ △ △ △ △ △ △	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	△				
e	× × × × △ × ◎ ×	× ◎	△ △ △ △ △ ○ △ ◎	○ ○	○ △ ○ △ △ △ ◎	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
f	△ △ △ △ △ ○ △ ◎	○ ○	△ △ △ ○ ◎ ◎ ◎ ○	○ ◎	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	◎ ◎ ◎ ◎ △ △ ◎	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
g	△ △ △ ○ ◎ ◎ ◎ ○	○ ◎	◎ ◎ ◎ × ◎ ◎ ◎ ◎	◎ ◎	◎ △ ◎ △ △ △ ◎	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	△				
h	◎ ◎ ◎ × ◎ ◎ ◎ ◎	◎ ◎	◎ ◎ ◎ ◎ ○ ○ × ×	◎ ×	△ △ △ △ △ △ ×	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
i	◎ ◎ ◎ ◎ ○ ○ × ×	◎ ×	○ ○ ○ ○ ○ ◎ ○ ◎	○ ○	△ △ × × △ △ △	△ △ ○ ○ ○ ○ △	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
j	○ ○ ○ ○ ○ ◎ ○ ◎	○ ○	△ △ △ △ ◎ △ × △	△ ×	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	△				
k	△ △ △ △ ◎ △ × △	△ ×	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	○ ○	× × ○ ○ × △ △	× × △ △ △ △ △	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
l	◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎ ◎	○ ○	○ ○ ○ ○ △ × × ×	◎ ×	○ ○ ○ × × ○ ○	◎ ◎ △ △ △ △ △	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
m	○ ○ ○ ○ △ × × ×	◎ ×	◎ ◎ ○ ◎ △ △ × ×	◎ ×	× × × × × × ×	○ ○ △ △ △ △ △	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
n	◎ ◎ ○ ◎ △ △ × ×	◎ ×	○ ○ ○ × ◎ ○ ◎	○ ○	× × × × × × ×	× × × × × × ×	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
o	○ ○ ○ × ◎ ○ ◎	○ ○	◎ ◎ ◎ △ ◎ ◎ ◎ ◎	× ×	× × × × ◎ ○ ○	× × ◎ ◎ ◎ ◎	○	○	○	○	○	◎ ◎ ◎ ◎	○				
p	◎ ◎ ◎ △ ◎ ◎ ◎ ◎	× ×															

殊装置によつて間接的に操作することにより追跡し、その際に生ずる微動螺子の移動量を、トランシットから浮標迄の距離に応じて適宜拡大し、トランシットの側に置く記録計用の紙上に同一縮尺(3段階)で記録し観測する方法である。

上の如く操作した場合、浮標の上下動、即ち波高と、トランシットの垂直微動螺子の前後移動量との関係は図-1の如く。

$$H = L\{\tan(\theta_1 + \delta_1) - \tan \theta_1\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$m = f\{\tan(\theta_2 + \delta_2) - \tan \theta_2\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$\delta_1 = \delta_2$ である故 $\theta_1 \doteq \theta_2$ であるときは

$$\triangle OAB \doteq \triangle Oab$$

故に、 $H \doteq mL/f$ $\dots\dots\dots (3)$

又、トランシットの垂直微動螺子、特殊拡大操作装置、記録計の記録との関係は図-2に示す如くであつて

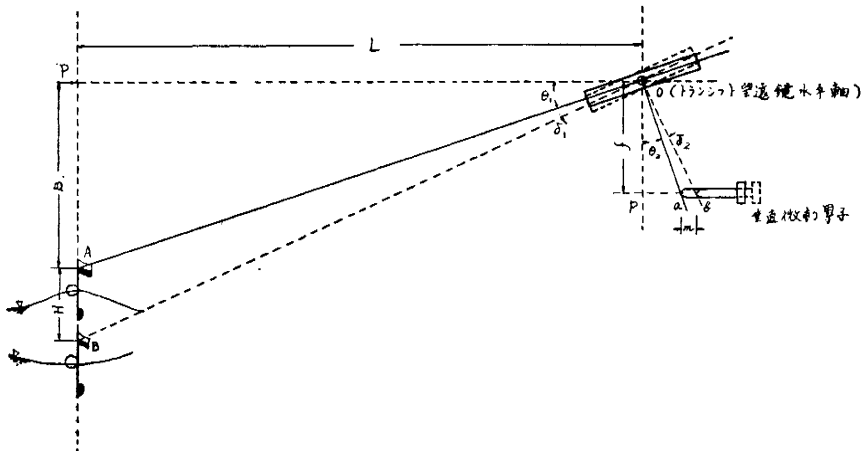
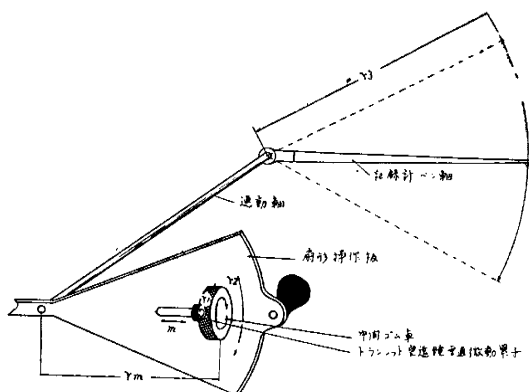


図-1



圖—2

- m : 垂直微動螺子の前後移動量
 r_1 : 垂直微動螺子頭部の半径
 s_1 : 垂直微動螺子の回転角
 r_2 : 中間ゴム車の半径
 s_2 : 中間ゴム車の回転角
 r_m : 扇形操作板の回旋半径
 s_m : 扇形操作板及び記録計ペン軸の回転角
 r_3 : 記録計ペン軸の回転半径
 R : 記録された円弧の長さ

とすると、次の関係が成立する。

$$R = r_3 \cdot s_m = r_3 \cdot s_2 \cdot \frac{r_2}{r_m} = r_3 \cdot \frac{r_2}{r_m} \cdot s_1 \cdot \frac{r_1}{r_2}$$

$$= r_3 \cdot r_1 \cdot \frac{s_1}{r_m}$$

又、 $m = k \cdot s_1$ k : Constant

故に

$$m = k \cdot \frac{1}{r_1} \cdot \frac{1}{r_3} \cdot R \cdot r_m \dots\dots\dots (4)$$

(4) を (3) に代入して

$$H = k \cdot \frac{1}{r_1} \cdot \frac{1}{r_3} \cdot \frac{1}{f} \cdot R \cdot r_m L$$

$$k \cdot \frac{1}{r_1} \cdot \frac{1}{r_3} \cdot \frac{1}{f} = K \quad K = \text{Constant}$$

故に

$$H = K \cdot R \cdot r_m \cdot L \dots\dots\dots (5)$$

となり、 R , r_m , L を測定すれば、伏角 θ , 視角 δ , は測定せずとも、波高 H は求められる。

又若し、 r_m を L に応じて調節し、常に、 $r_m \cdot L = C$ C : Constant となる如くして観測するときは

$$H = K \cdot C \cdot R \dots\dots\dots (6)$$

なる故、測点距離 L の異なる測点の波高が、同一縮尺 $1/K \cdot C$ となつて記録され、観測されることとなる。

実際には、波高の定値 (3・6・9 m) が丁度巻取記録用

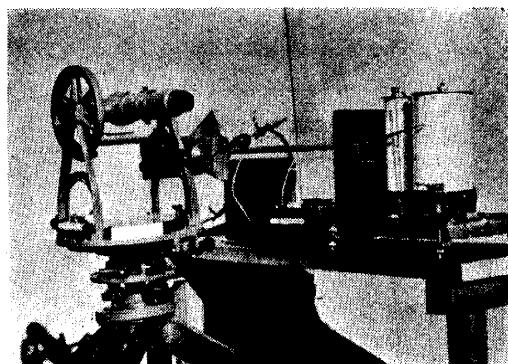
紙の方眼外枠幅一杯に記録される様な、各距離に対応する r_m の値を実験的に求め、これによつて、あらかじめ各距離に応ずる扇形操作板の位置を目盛で標示して置き観測に当つては、波高と測点迄の距離に応じて、扇形操作板の位置をその目盛に合わせて使用し、記録は、定値 (3・6・9 m) と記録用紙の方眼外枠幅との比によつて読み取る。

尚、計器の構造上、 r_m の変化範囲が限られているため、同一の縮尺で観測出来る測点距離は限定される。現在使用のもの (写真) のそれは概ね次の如くである。

用紙方眼外枠幅一杯の定値	縮尺	近限界	遠限界
3 m スケール	1/23.81	200 ~	600 m
6 m スケール	1/47.62	400 ~	1,200 m
9 m スケール	1/71.43	600 ~	1,800 m

ロ. 計器の構造 写真—1 参照

本計は、トランシットの支架側面に取付け、その垂直微動螺子を間接的に操作して、その前後移動量を拡大する部分 (拡大操作部) と、その拡大された操作量を記録する部分 (記録部)、及び前二者を結んで回転角を伝える連結軸とよりなる。更に記録部には、その用紙巻取り用の小型モーターとタイムマーク用の電磁石との電源となる小型蓄電池、及びタイムマーク用の電接時計が附属される。



写真—1

拡大操作部 写真—2, 3 参照

蟻溝匡, 扇形操作板, 中間ゴム車とよりなる。

蟻溝匡は、真鍮製で、その内の扇形操作板の軸座を螺子により移動させることによつて扇形操作板の回旋半径を変える装置で、上面には距離調節目盛が刻まれている。

扇形操作板は、ジュラルミン製で、この板を軸の周りに上下に操作することにより、間接的にトランシットの垂直微動螺子を動かし、トランシットの視線を上下させる装置である。この中間ゴム車に接する内面には、空滑

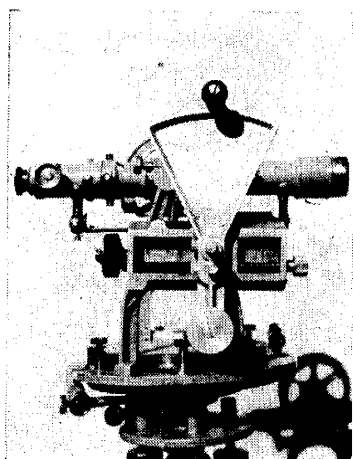
を大きくするように厚ゴム輪を箆めてある。

現在使用のもの
のトランシット

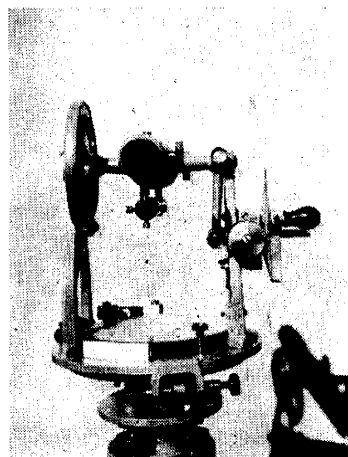
への取付け方法は、蟻溝裏面の埋込みボルトにてトランシットの支架に捻り止めする方法を採っているが、この場合トランシットの支架に鑿孔しなければならぬので、目下、トランシットには何等加工

表面には摩擦

トには何等加工



寫真—2



寫真-3

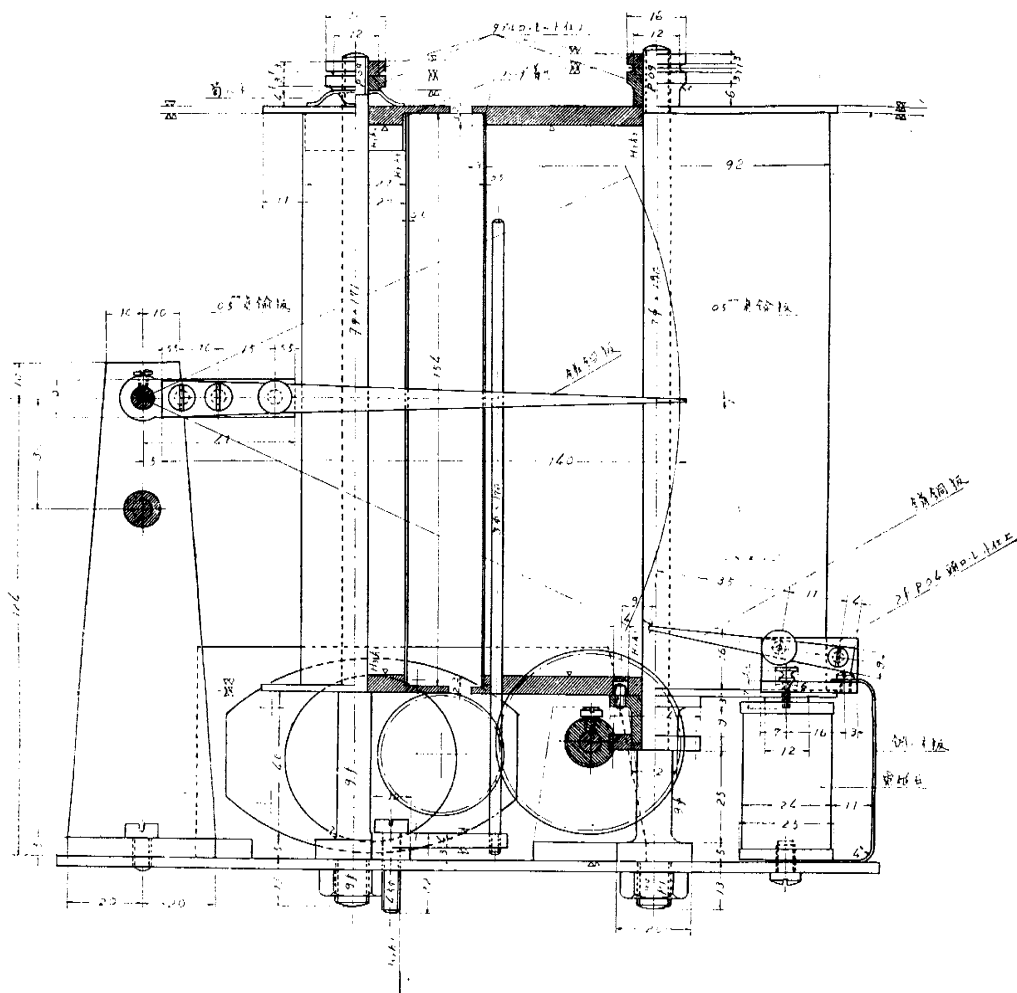


Figure 3A is a line graph with 'Number of trials' on the x-axis (0 to 10) and 'Number of correct responses' on the y-axis (0 to 10). The data points are (0, 0), (1, 1), (2, 2), (3, 3), (4, 4), (5, 5), (6, 6), (7, 7), (8, 8), (9, 9), and (10, 10). A solid line connects the points, and a dashed line is also shown.

を要しない他の方法を考慮中である。

記録部 写真-4、図-3参照

記録ペン軸部、用紙箆込み円筒、用紙巻取、円筒用紙巻取円筒の駆動用小型モーター、減速歯車、タイムマーク用電磁石、及び容器とよくなっている。

材質は、容器を鉄製とする外、全て真鍮製である。

用紙箆込み円筒、及び用紙巻取円筒は取りはずし出来る構造である。

用紙巻取円筒駆動用には、自動車の窓拭用の6V小型モーターを用い、減速歯車でその回転速度を減速し、用紙巻取りの速度は毎秒約33mmにしてある。

容器は、蓋を着脱出来る構造とし、その足に

は計器の高低を調節するための螺子が付けてある。又その裏面には電源と電接時計のためのターミナルとスイッチが付いている。

電源用の蓄電池には、現在モータースクーター用の小型蓄電池(6V)を使用しているが、これの1個1回の充電で延約50分間の使用に間に合う。

電接時計には、山下式電接時計のB型(1秒、 $\frac{1}{2}$ 秒、 $\frac{1}{6}$ 秒、切替え)を使用しているが少し高価に過ぎる故、若し入手出来れば、 $\frac{1}{2}$ 秒、1段程度の安価なものを使用するのが適当と考える。

巻取記録用紙は、計器に合った方眼のものを特別注文しても良いが、大量でないと相当高価なものにつくので、現在は横河電気記録紙(KDS-100)を用いている。この用紙の印刷方眼は計器に合っていないため、記録の読み取りには、計器の記録ペン軸の長さに合わせて方眼を刻んだ、セルロイド板製の読取りスケールを用いる。

連結軸

長さ30cm程度の真鍮パイプで、両端5cm程度を三つに割っており、ここに扇形操作板の軸端、及び記録計の記録ペンの回転軸の端を差し込み、締付け金具によって締めて両者を連結するものである。

ハ、距離調節目盛の刻み方

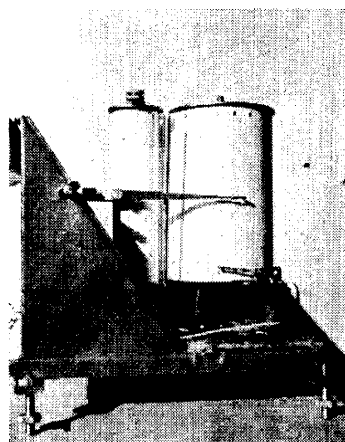


写真-4

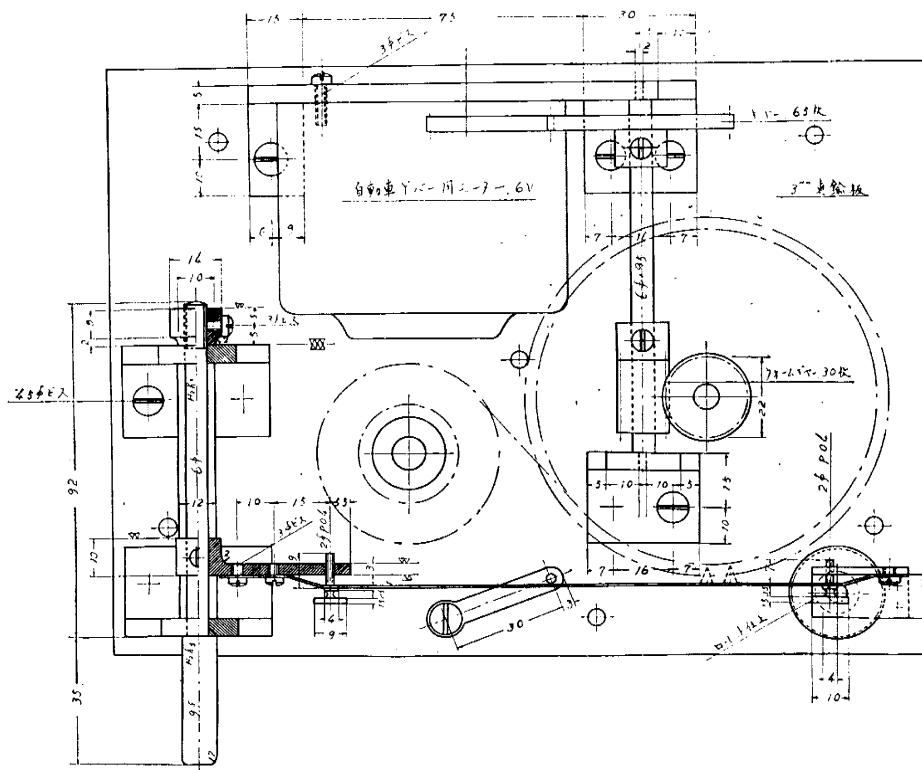


図-3 B

広瀬地を選び、後述(二)の要領に基づきトランシット及び計器を正しく据えつけ、トランシットから正確に測距された地点(200・250・300・400・500mの点、この際測点の位置はトランシット位置より稍低い方がよい)に、上下間隔3mに2個の標識をつけたポールを立て、後述(二)の要領に基づきトランシットの視線をポールの上部標識に合わせ、又記録計のペン先を上部方眼外枠に合わせる。その位置から扇形操作板を下方に操作して視線を下部標識に合わせる。この時のペン先位置が正しく下部方眼外枠に来るような扇形操作板軸の位置を、操作板軸座微動螺子によって、扇形操作板の回転半径を少しずつ変えながら、同様の操作を幾度も繰り返すことによつて見出し、この時の r_m (扇形操作板軸中心～中間ゴム車中央の長さ)を測定する。

若し、計器の製作が完全で、その操作も正確であれば、一つの測点(L_n)のみの測定値($r_{m \cdot 3 \cdot n}$)から、3mスケールの場合の反比例常数 C_3 の実験値が次式によつて求まり、他の測点距離の場合の $r_{m \cdot 3}$ も容量に算出される。

$$L_n \cdot r_{m \cdot 3 \cdot n} = C_3$$

しかし、通常 C の値は一定せず、各測点により変つて来て、それぞれの測点距離に応じて C_{200} 、 C_{250} ………が得られる。この時、中間距離の r_m の値は次式の例に準じて算出すべきである。

$$r_{m \cdot 3 \cdot 210} = \left\{ C_{200} \pm (C_{200} - C_{250}) \times \frac{210 - 200}{250 - 200} \right\} \times \frac{1}{210}$$

このようにして得られた r_m により、扇形操作板の軸座の位置を蠟溝匡の上面に目盛する。尚、使用するトラ

ンシットが決つていない時は、張り付けた紙に目盛を印せばよい。

次で、6mスケール、9mスケール、の調節目盛は、(6)式に明らかな如く、それぞれ、2倍3倍の距離が対応するから簡単に印付けられる。

ニ. 観測要領

浮 標

調査目的に応じて選定された数箇所の測点に浮標を錨碇設置する。尚既設の航路浮標、繫船浮標等で適当なものがあれば、それをそのまま利用しても良い。

本法に使用する、波高観測用浮標には 図-4、写真-5、6の如きものが適当であるがその構造は激浪に耐え得る如く充分堅固にすべきは勿論である。

標旗は、丈夫な布製又は鉄板製のものをを用い、その取付け方も充分堅固にすべきである。尚、600m以上の遠

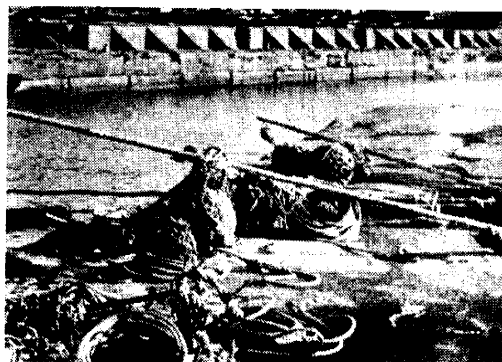


写真-5

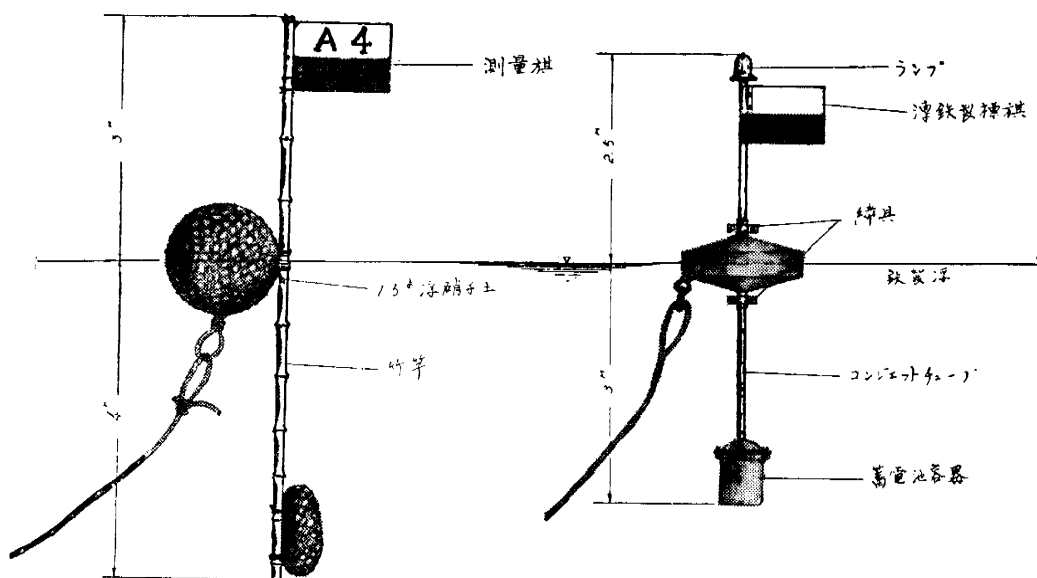
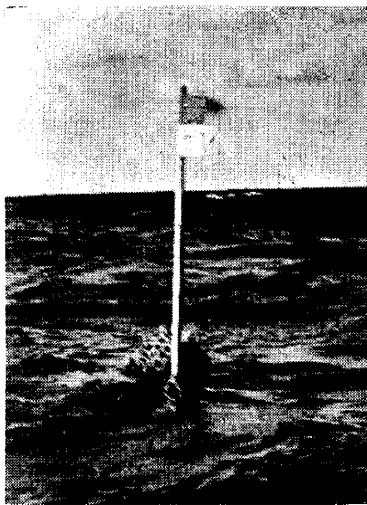


図-4



写真—6

る。

錨網は、6~7分程度のマニラロープを使用し、その長さは、長ければ観測の精度が悪くなり、短か過ぎる時は錨掛りが悪いものであるが、水深の2倍程度が適当である。

又、夜間観測をする時は、図—4の如き挂灯浮標(市販品を改造)を用いればよい。

観測点

観測点の位置は、成可く一点で全ての測点を観測出来るような、高所に選定すべきは勿論である。観測点標高が測点距離に比し低い時は、大浪時に波底の浮標が手前の波嶺に隠れ観測出来なくなることがある。この様なことのないために観測点の所要標高は次式によつて概算すればよい。

$$B = L \times \frac{H-l}{10 \cdot H} \dots\dots\dots (7)$$

B : 観測点の海面上の高さ

H : 予想最大波高

L : 観測点より測点までの距離

l : 浮標測量旗の海面上の高さ

又、全ての測点に至る距離が、計器の観測可能範囲以内(200~1,500)にあるべきは勿論である。

観測点は地均しの上、葎・天幕・コンクリートの形枠等を用いて、小屋掛けし、風雨による計器の動揺を防ぐ。又観測が長期に亘る時は、簡単な観測小屋を設ける。観測所の広さは、1測点のみの観測の場合は1×1間程度、広く分散した多数の測点を観測する場合は、計器の移動のため、1.5×1.5間程度が必要である。

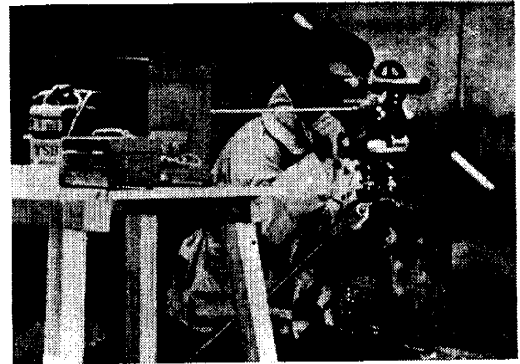
測点及び観測点位置の測量

測点に浮標が設置され、観測点位置が決定されたなら、三角測量法を応用して観測点と測点の相対位置(距離、

方位)を測量する。但し浮標は相当移動するものであるから、あまり精密な測量をすることは無意味である。

操作 写真—7 参照

トランシットは、三脚に取り付けて使用しても良いが、観測操作に際し動揺の恐れが多いから、頑丈な机の上に緊定し、記録計も一緒に乗せて使用するがよい。



写真—7

操作の順序は次の如し

(1) トランシットに拡大操作部を取り付け、トランシットを水平に据える。

(2) 測点の、波高、距離に応じ距離調節目盛を合わせる。

(3) トランシットの視線を浮標に合わせ、扇形操作板軸と記録計を連結軸で結ぶ。この際両者の高低は記録計脚部の螺子によつて調節して、計器と無理な力の加わらぬように注意することが必要である。

(4) トランシットの望遠鏡と、垂直微動用の腕とを略々直角な位置で緊結する。

(5) 扇形操作板をゴム車からはずし、中間ゴム車を手で廻し、浮標上下の中間附近に視線を合わせる。

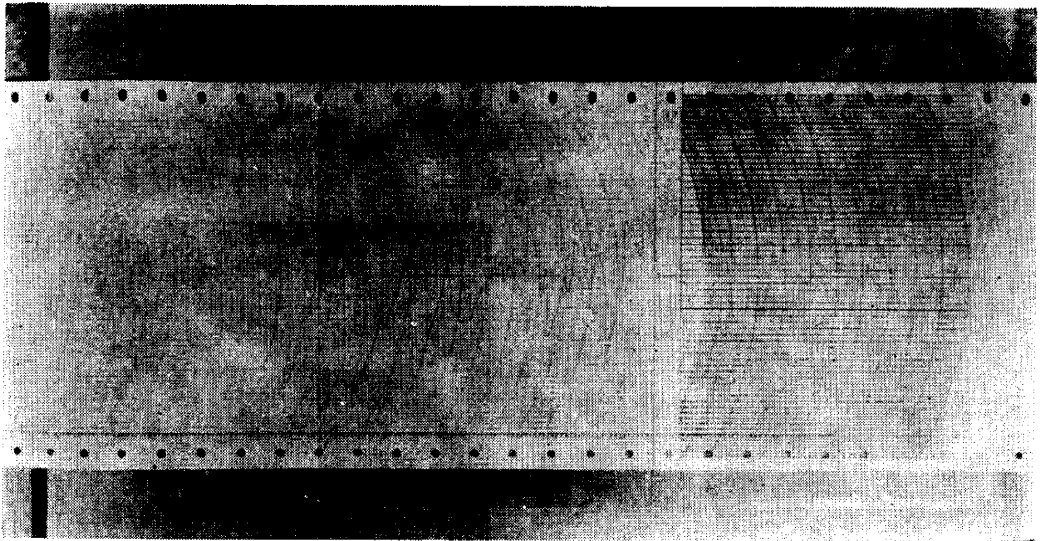
(6) 扇形操作板を、中間ゴム車が略々その中央になるような位置に止める。この操作は中間ゴム車の廻転を制御して行う。次いで記録計のペン先を用紙の中央に合わせる。

(7) 記録計の電源及びタイムマークのスイッチを入れて計器を駆動させながら、上下する浮標の標旗の中心にトランシットの視線を合わせるように、所定時間扇形操作板を上下に操作する。

(8) 尚記録観測開始に先立ち、用紙の記録の始めに、月日・時刻・測点番号・測点距離・使用スケール・タイムマークの区分・観測者等の所要事項を記入して置けば、後の整理に便利である。

観測資料の整理

測得された資料は、弧長自体波高を示しているから、経緯の半径がその使用記録計の記録ペン軸長に等しく、



写真—8

用紙の方眼外枠幅一杯が3m(6・9m)となるようなセルロイド板製のスケールを当てて、その一波一波を読み取ればよい。

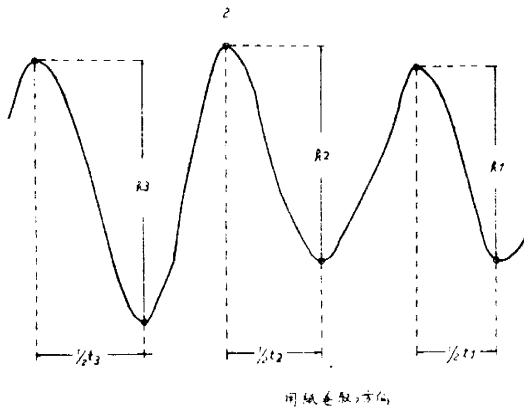
記録の一例及び読み取りスケールは写真—8の如し。

波浪の自記録の読み取り方は、一般に次の様に行うことが普通である。図—5参照。

波高： 寄せて来る手前側の波の谷と、その波の項との高低差、

周期： 手前の波の谷が通過してから、その波の項が通過する迄の時間の2倍。

このようにして読み取られた、多数の波を整理し、有意義波・平均波・最大波高波・最大周期波等の波高周期を計算する。



図—5

5. 本観測法の誤差及び精度

本観測法の誤差の原因に次のようなものが考えられる。

- (イ) 浮標が波浪に追従しないための誤差。
- (ロ) 浮標にそえた竹竿が傾斜するために生ずる誤差。
- (ハ) 測距の誤差に伴う誤差。
- (ニ) 浮標が観測中移動するための誤差。
- (ホ) トランシットの視線を正しく浮標の標旗の一点に合せ得ないための誤差。
- (ヘ) トランシットの視線と垂直微動螺子の腕を正しく直角になし得ないための誤差。
- (ト) 距離調節目盛の標定が正確に行われないための誤差。
- (チ) 観測に当り距離調節目盛を正確に合わせ得ないための誤差。
- (リ) 記録の読み取りが正確に行われないための誤差。
- (ス) 器械の動揺による誤差。
- (ル) 中間ゴム車と、扇形操作板、垂直微動螺子頭部が空滑りして、回転角を正しく伝導しないための誤差。
- (ヲ) ペン先が用紙面に引掛かつて正しく記録出来ないための誤差。

今(イ)・(ロ)・(ト)・(ス)・(ル)・(ヲ)の誤差は微小で無視し得るか、又は他の誤差と一緒に含めて考えてもよいものとし

$\Delta H''$: 浮標の誤差	(ロ)+(イ)
ΔL : 距離の誤差	(ニ)+(ハ)
$\Delta \delta$: 視角の誤差	(ホ)+(ス)
$\Delta \theta$: 伏角の誤差	(ヘ)

Δr_m : 距離調節目盛の誤差 (イ)+(ト)

$\Delta R'$: 記録の誤差 (ロ)+(リ)+(ヲ)

とし、他の符号は前述(4)のイ(に)に従うものとする

$$\left| \frac{\Delta H}{H} \right|_{\text{Max}} = \frac{\Delta H''}{H} + \left| \frac{\Delta H'}{H'} \right|_{\text{Max}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

但し $\Delta H'/H'$: 観測波高の精度

(5)式により $H' = K R r_m L$

故に

$$\left| \frac{\Delta H'}{H'} \right|_{\text{Max}} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta r_m}{r_m} + \frac{\Delta L}{L} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに $\Delta R = \Delta R' + \Delta R'' \quad \dots\dots\dots (10)$

$\Delta R''$: 観測が正確に行われないうことによる記録上の誤差

$$R = \frac{H'}{K r_m L} = \frac{L \{ \tan(\theta + \delta) - \theta \}}{K r_m L}$$

K, r_m, L : Constant と置き

$$\begin{aligned} \Delta R'' &= \frac{1}{K r_m} \left[\Delta \theta \{ \sec^2(\theta + \delta) - \sec^2 \theta \} \right. \\ &\quad \left. + \Delta \delta \{ \sec^2(\theta + \delta) \} \right] \\ &= \frac{1}{K r_m} \left[\Delta \theta \{ \tan^2(\theta + \delta) - \tan^2 \theta \} \right. \\ &\quad \left. + \Delta \delta \{ 1 + \tan^2(\theta + \delta) \} \right] \end{aligned}$$

$\tan^2(\theta + \delta) \div 0$ なる故この項を無視し、 $H' = L \{ \tan(\theta + \delta) - \tan \theta \}$ を入れ整理すると

$$\begin{aligned} \Delta R'' &= \frac{H'}{K r_m L} \cdot \Delta \theta \{ \tan(\theta + \delta) + \tan \theta \} \\ &\quad + \frac{\Delta \delta}{K r_m} \quad \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

(10), (11) 式を (9) 式に入れ

$$\begin{aligned} r_m L = C, \quad R &= \frac{H'}{K C}, \quad \tan(\theta + \delta) \div \frac{B + H'}{L}, \\ \tan \theta &\div \frac{B}{L} \end{aligned}$$

とし、又 B は H に比し極めて大きい値を取るものとする、(但し B : 観測点の海面高)

$$\begin{aligned} \left| \frac{\Delta H'}{H'} \right|_{\text{Max}} &\div \Delta R' \frac{K C}{H'} + \Delta r_m \frac{L}{C} + \Delta \theta \frac{2B}{L} \\ &\quad + \Delta \delta \frac{L}{H'} + \Delta L \frac{1}{L} \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

故に

$$\begin{aligned} \left| \frac{\Delta H}{H} \right|_{\text{Max}} &\div \frac{\Delta H''}{H} + \Delta R' \frac{K C}{H} + \Delta r_m \frac{L}{C} \\ &\quad + \Delta \theta \frac{2B}{L} + \Delta \delta \frac{L}{H} + \frac{\Delta L}{L} \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left| \Delta H \right|_{\text{Max}} &\div \Delta H'' + \Delta R' \cdot K \cdot C + \Delta r_m \frac{L}{C} H \\ &\quad + \Delta \theta \frac{2B}{L} H + \Delta \delta L + \Delta L \frac{H}{L} \quad \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

1項は浮標による誤差。2, 3項は計器による誤差。4, 5, 6項は観測による誤差である。

次に(13)式の各項について数値的に検討を加える。

$\Delta H''$: この値は、浮標の状態(ブイの大きさ、竹竿の長さ、竹竿下端の錘の重量)、風、波浪の様相等によって異なるものではあるが、波高の小さい間は小さく、波高の増大とともに増大するから、一応両者は正比例関係にあるものとするれば、 $\Delta H''/H = K$ である。

又この値は、浮標に出来るだけ大きなものを使用し、竹竿下端の錘を重くすれば或る程度小さく出来るものであり、又反復する不定誤差に属するものであるので、多数波の平均値を求める本観測法の場合、 $\Delta H'' = 0.02 H$ 程度と考えて支障ないであろう。

ΔL : $\Delta L_1 + \Delta L_2$

ΔL_1 : 浮標の移動による距離の誤差。

ΔL_2 : 測距誤差。

ΔL_1 の値は、水深・錨綱の長さ・風・波浪・潮流の状態によつて一定しないものであるが一応、水深は距離に比例するものと仮定し、又錨綱を水深の2倍に取つたとし、浮標の移動が錨を中心とした $1/16$ 方位の円弧状に起つたと仮定し、 $\Delta L_1 = 0.02 L$ 程度と仮定する。

又 $\Delta L_2 = 0.005 L$ 程度と仮定し、 $\Delta L = 0.025 L$

$\Delta \delta$: 実験によると、100m離れた標識に本計を操作して瞬間的に視線を合わせた時の誤差は、平均2mm程度であつた(4吋トランシット)。又この誤差には機械の動揺による誤差も入ること。反復不定誤差の性質をもつものではあるが、観測者の固癖誤差の性質を持つものである点を考慮すると、 $\Delta \delta = 2 \times 0.00002 + 0.00002 = 0.00006$ 程度と仮定する。

$\Delta \theta$: 実験によると、目測で直角を取る時と誤差は 1° 程度であるが、トランシットの構造からこれを 2° 程度と仮定し、 $\Delta \theta = \tan 2^\circ \div 0.036$ と仮定する。

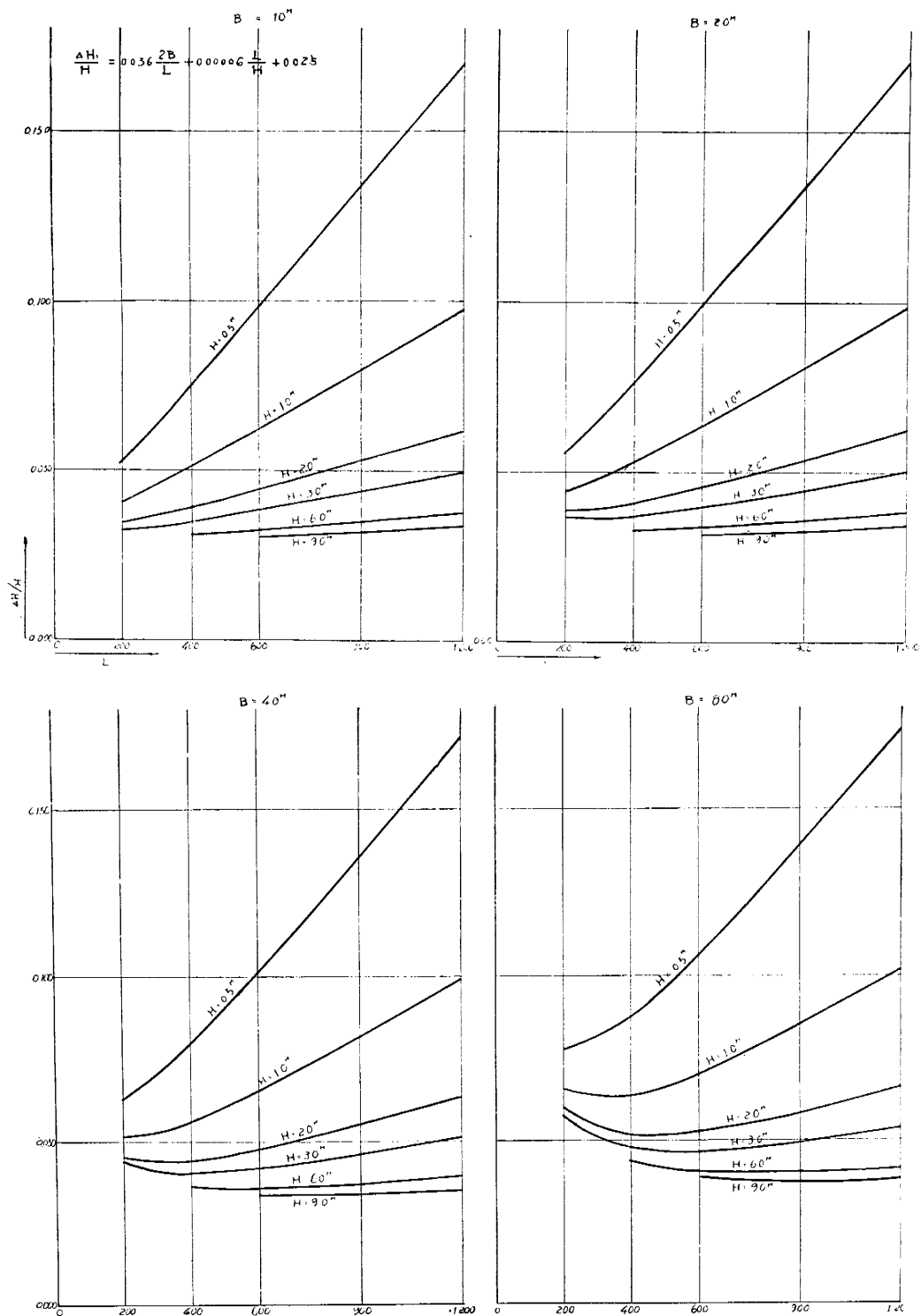
Δr : 目測で目盛を合わせる誤差は0.2mm程度であるが、目盛自体の誤差、及び機械的誤差をも含めるものとし、 $\Delta r_m = 0.0005 m$ と仮定する。

ΔR : 目測で記録を読み取る誤差は0.15mm程度であるが、記録の上下の読み取り、ペン先のずれを見込み、 $\Delta R = 0.0005 m$ と仮定する。

以上の仮定値を入れると(13)式は

$$\begin{aligned} \left| \frac{\Delta H}{H} \right|_{\text{Max}} &\div 0.02 + 0.0005 \frac{K C}{H} + 0.0005 \frac{L}{C} \\ &\quad + 0.036 \frac{2B}{L} + 0.00006 \frac{L}{H} + 0.025 \end{aligned}$$

$B = 10, 20, 40, 80 m$ とした時の最大の観測による誤差 $\Delta H_1/H$: (4項+5項+6項) と、 L, H の関係を図示すると図-6の如くである。



圖—6

又、現在使用の計器 ($K = 1/1.11$, $C = h \times 8.8$ 但し h : 使用 Scale) を使用の場合計器による誤差の最大値 ($\Delta H_2/H$: 2項+3項) と、 L , H の関係を図示すると図-7 の如くである。

又、 $B = 20 \text{ m}$ とした時の $|\Delta H/H|_{\text{Max}}$ は、図-8 の如くである。

$|\Delta H/H|_{\text{Max}}$ は最大誤差であつて、統計的平均誤差、平均精度は図示の値より相当小さくなることは当然で、 0.5 m 以上の波の場合距離 $1,200 \text{ m}$ 程度迄、 0.25 m 程度の波の場合距離 600 m 程度の範囲迄、相当の信頼度をもつて観測し得るものと確信する。

6. 本観測法の長所・短所

本観測法は、表-1 に見る如く、記録計を用いるため、計器に要する経費、取扱の難易、故障の起る可能性等の点で、トランシットのみによる方法に比較して、稍劣る。しかしその程度は他の自記波高計類による観測法に比較する時は、むしろ長所に属する程度である。以下本観測法の長所・短所・性能を列述する。

長 所

1. 観測可能な測点位置の範囲は距離 $200 \sim 1,500 \text{ m}$ で、普通の海岸波浪の調査に使用するに充分であること。

本計には記録スケールによつて観測点から測点迄の距離にある範囲があるが(前述)、測点迄の距離が観測波高に比する近限界より小さい場合には、観測点を、測点がその範囲内に来る様、後方又は側方に選び、又測点距離が観測波高に比する遠限界より大きい場合には、稍精度が低下するが、一段上位の波高縮尺に器械を調節して観測することにより、汀線から $1,500 \text{ m}$ 迄の範囲の地点の波高を、約 9 m 迄、3段階の単一スケールに記録観測出来る訳である。

2. 海中に設置するものは浮標のみであるから、測点の水深の大小に関らず観測出来る。

又、水深によつて精度の変ることは少ない。

3. 浮標は、測桿、浮ポール等と異なり、構造上相当堅牢にすることが出来るから、波浪の激否に関らず観測出来る。又事故の生ずることも少ない。

4. 一波一波を逐一連続記録して観測することが出来る。

波浪による海面の上下動の速さは、波底、波頂に於て比較的緩かで、その途中に於て急速であるため、波の周期の短い場合、上昇、下降の途中に於て、浮標上の定点からトランシットの視線を常に離さない様に追隨して計器を操作することは稍困難であるが、波底、波頂附近では、比較的その操作は容易である。従つて本観測法によつては、波形をも正しく記録することは困難ではあるが、

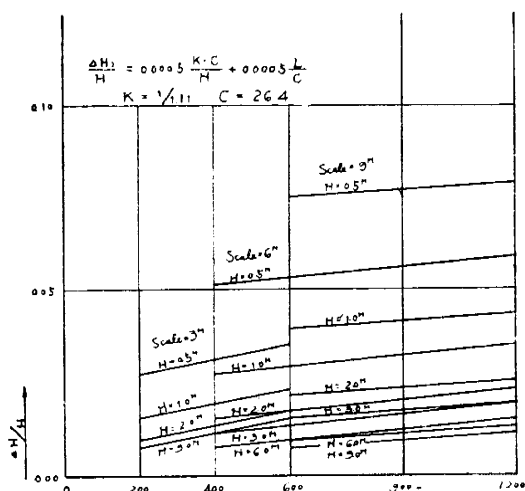


図-7

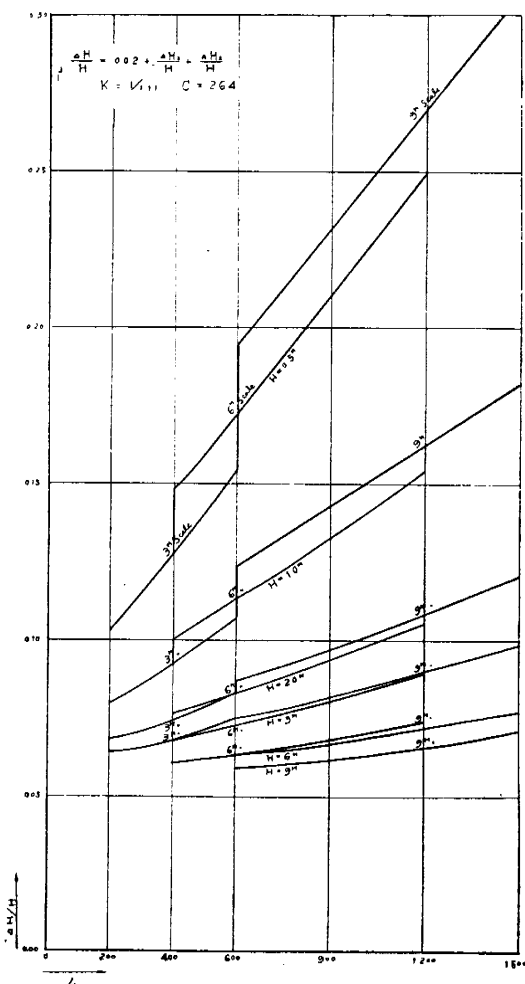


図-8

波高としては相当の精度で記録出来るものである。

しかし現在のところ、波浪の諸元として問題にするのは、主にその波高・周期・波長・波向であつて、碎波の場合等を除き、その波形迄問題にすることは少なく、波高・周期の比較的高精度な本観測法で、充分工学的観測目的を達し得る場合が多いものとする。

5. 普通のトランシットによる観測法より、精度が向上されていて、測点の距離、波高、観測点の標高等により精度を異にするが、中小距離測点の中波高以上の場合には、相当高い精度で観測出来ること。

a. 普通、トランシットによる観測法では、波高は、 $H = L \tan \theta$ の近似式で測定され、伏角 θ による理論誤差がともなう。又若し、高所よりの観測等でこの影響を考慮しようとすれば θ の測定も同時に行うか、標高、潮差も同時に測定しなければならない。しかるに本観測法においては、この θ の測定の必要は計器の操作の中で自動的に消去せられ、いかなる場合でも、その必要測定量は、2 個 (L 及び R) である。但し、操作を正確に行えないことによつて、観測誤差としての θ の間接的影響はまぬがれない。

b. 本法の読み取り量は、その最悪の 9 m スケールに計器を調節した場合でも、その値は、半径 14.5 cm、内角約 50° の円弧 12.6 cm となつて記録される。一方トランシットのみの観測法では、同じ 9 m が 600 m にあつた場合、直径 18.5 cm (4 吋トランシット) の垂直分度円上に約 1/120 cm の円弧 (内角約 5') となつて読み取られ、これをバーニヤーによつて 30 倍に拡大したとしても約 1/4 cm であつて、前者は後者の約 50 倍に相当する。

6. 波高自体の観測であつて、測得値の信頼度が高く、観測計器の検定も比較的正確に行い得る。

7. 記録計を用いるため、トランシットのみの観測法より、その取扱いは稍面倒にはなるが、他の自記波高計類にくらべれば、計器の構造その取扱ひともにはるかに簡単である。

8. 海上作業を要するのは、浮標の設置時だけですみ、準備作業が簡単である。

9. 海上に置くものは浮標だけであるので、計器に故障が起つたりして観測の中断する懼れない。

10. 測定資料から波高を算出するには、記録をスケールに当てて読み取ればそれが直ちに波高を示していて、他の観測法の様に、距離による計算、水深による補正計算、周期による補正計算等一切の手数を必要としない。

11. トランシットのみ又はレベルのみの観測法より若干多くの器材費を要するが、その所要資材、計器の値段は概ね下の様で、他の自記波高計類による観測法に比較すれば、はるかに安価にすむ。

トランシット

1 台

記録観測計 (拡大操作部・記録計・連結軸共)

	1 式	40,000 円
電接時計	1 個	15,000 円
小型蓄電池 (6 V)	1 個	5,000 円
セレン整流器 (同上充電用)	1 台	3,000 円
自記用紙 (横河電気記録紙 KDS-100)	1 本	200 円

自記ペン・自記インク等雑消耗品

ドライバー・ペンチ・プライヤー等雑工具類

浮標	若干	
1 個につき 漁網用浮硝子玉 (1.5 尺径)		
	1 個	400 円
青竹 (21 尺)	1 本	250 円
測量旗 (大型)	1 枚	150 円
錨 (8 貫)	1 個	2,500 円
シャツクル、シンクル	2 組	100 円
マニラロープ (6 分)	1 m につき	60 円
マニラトソイン (2 分)	1 m につき	2,500 円

12. 1 台の計器で多数点の記録観測で出来る。

13. 前述のように本観測法では、操作の内に伏角による波高への影響は消去されるから、潮汐による影響は勿論入らない。

短所

1. 海岸に適当な高所がなければ、波高の大きい時の観測が困難になること。

この不便を補うためには浮標の標旗の高さを大きくすればよい訳ではあるが、竹竿の長さには自ら制限があり、又、標旗の高さに比例して精度が悪くなるものである。

2. 夜間の観測には、前述のような挂灯浮標を使用すれば可能ではあるとは云え、点灯持続時間が短かく (約 1 週間) 電池交換に手を要し、観測精度も低下する。

又、濃霧、降雪等によつて観測が出来ないことがある。

3. 観測点から測点迄の距離、波高によつて観測精度が不同であり、又波浪の小さい際速距離の点の観測精度が低い。

4. 浮標上の標旗にトランシットの視線を合わせる際、若干の個癖誤差が入る。

5. 観測に人手を要する。

熟練すれば 1 人でも操作し得るが、普通、トランシットを覗き扇形操作板を操作する者と記録部を取り扱い、記録の状態を監視し、インクの補充記録計の駆動の断続等を行う者との 2 人が必要である。

7. 實 施 例

釧路港

昭和29年9月、同港の漂砂に関する現地調査を実施中、偶々15号颱風(26~27日)による時化に遭遇したので、港内の波高の分布を調べるため、本観測法による波高観測を行った。

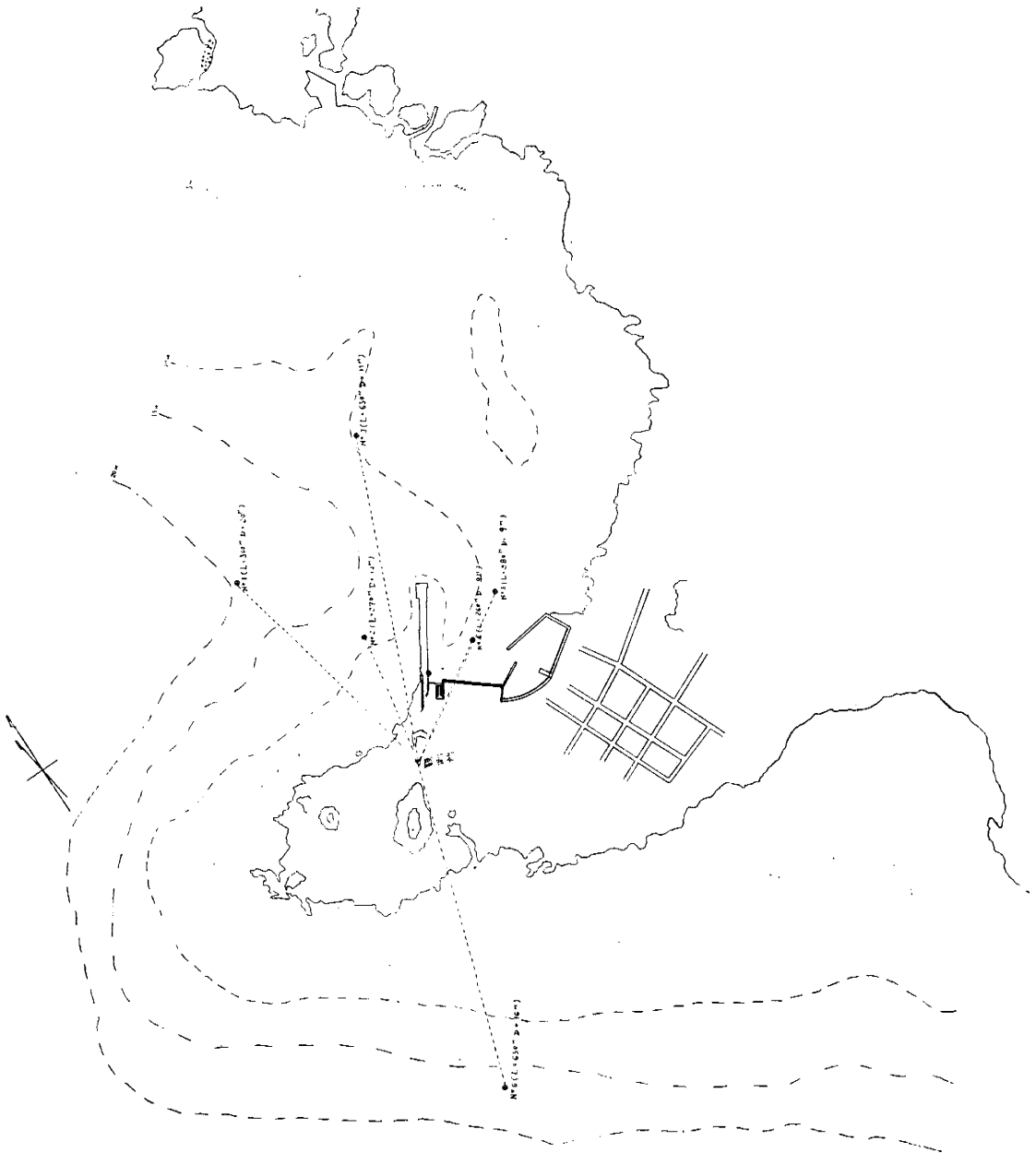
港内、港外の所要点には、あらかじめ、観測用の浮標を設置して置いたが、その構造が脆弱であつたため、前

夜の時化によりその大半を流失し、やむなくその多くを港内の、航路浮標、繫船浮標に代えて観測した。資料は現在整理中である。

沓形港

本港の遮蔽に関する模型実験を行うに先立ち、現地波の様相を調査するとともに、模型実験の相似性を検討する目的で、昭和29年11月、本観測法によつて同港の現地波浪調査を行った。

その際における、観測点及び測点の位置は図—9に示



図—9

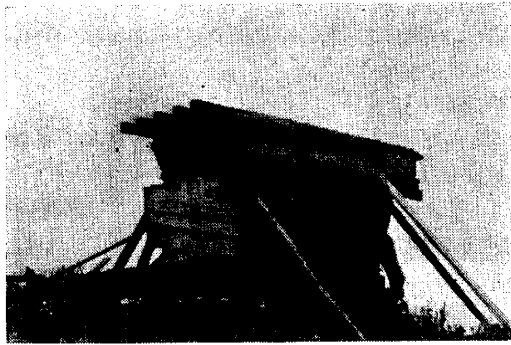


写真-9 沓形港の波浪調査状況
コンクリートの型枠で作った観測所



写真-10 沓形港の波浪調査状況
携帯用風速計による風の測定

す如くであつて、一週間に亘り、毎日、9・12・15時の3回、各測点につき10分間の観測を行つた。延時間1,260分間。

尚、波高観測と同時に、同じトランシットを用いて沖波(約2,000 m 附近)波向の観測を行つた。この方法は、トランシットで沖合海面を観察し、観測者の主感で、最も正面から波の寄せて来る感じのする方向を、その磁針で読み取る方法を採用した。この際観測距離を一定にするため、常に視野内の上部スタジャヘヤーを水平線に合わせる状態で観測した。又個癖による観測誤差を少なくするため、1点につき、3人が2回ずつ観測し、その平均値を求めることとした。この際に於ける、各人の観測値の開きは最大15°程度であつた。

尚、調査期間中、毎日、3時間置きの風向・風速の観測を、携帯用風速計によつて行つた。

調査資料は現在整理中であるが、測得波高の最大は約4 m 程度である。

8. 結 語

本観測法は、計器試作以来未だ日も浅く、その試験的使用も前述の2回に止まり、浮標の構造、計器のトランシットへの取付け方、等未だ、多くの検討を加えなければならない点の残っているものではあるが、今後これらの点を改造し、精度を向上し得たならば、緒言に述べたような、簡便で、普遍性のある。波高観測法とすることが出来るものと思つた。

技 術 資 料 第 九 号

自動巻取式水中寫眞装置について

准 員 北海道開発局土木試験所 村 木 義 男

1. 緒 言

最近海洋学方面においては、海底の状況や水中における生物の生態を調べるのに水中写真が利用されている。又ごく最近では水中テレビの実験さえ行われている。水中における種々の状態を調べるのには自らもぐつて観察する事が理想的であるが、吾々の場合出来ないことであつて、結局水中写真によることが可能な唯一の方法である。筆者は土木方面においてもその利用価値は大であると考え、以前から関心をもつていたが、この程モーターによる自動巻取式の水中原写真装置の試作を終え、現

場試験の結果、作動機構として良好な結果を得たのでここにその概要を紹介し、関心をもたれる方々への参考と致したい。水中における撮影には地上とちがつた種々の問題が伴い、まだあまり良好な撮影記録は得ていないが、照明方法等基礎的研究をも続けており、今後多くの資料を得たいと考えている。

2 作 動 機 構

本装置に使用したカメラはオリンパス 35である。このカメラの概要を記すと、レンズはズイコー f: 40 mm F: 3.5, シャッターはレンズシャッター、距離計なし、