

## 波浪観測について

富永康照\*

### 1. まえがき

海の波は一般に周期 0.1 sec 以下の毛管波, 1~30 sec 程度の風によって引き起こされる普通重力波, 5~90 min 程度の長周期波, 12 hr, 24 hr, またはそれ以上の長い周期をもった潮波などに分類される。ここで波浪観測の対象として取り上げる波は, 主として普通重力波であるが, 長周期波の観測についても若干ふれる予定である。

波の研究は, 第2次大戦中の波の予報に関する研究を契機にして戦後急速な発展をとげ, 今日では風による波の発生・発達, 海岸付近における変形, 構造物におよぼす影響等の分野において, かなり豊富な知識をもつことができるようになった。このような研究の進展をもたらした一つの有力な原因は, 観測計器の進歩発達により, 多くの正確な波浪資料が得られるようになったことにあると考えられる。

この 20 年間に多くの観測計器が開発され, 実用化されてきたが, 現段階ではまだ標準化されたものはなく, 目的に応じて適当なものが選択される。

海面状態は非常に複雑なので, 得られる記録も不規則なものである。一般にこれらの記録から, 有義波, エネルギースペクトルなどが計算されるが, この計算には相当の手数がかかるので, これを機械的に行なう方法が開発された。

以下に観測計器, 資料解析などについてのべるが, 不備の点も多いと思われるので, 末尾に掲げた参考文献により補っていただければ幸いである。

### 2. 波高観測

波高観測法の種類は非常に多いが, 大別するとつぎのとおりである。

- (1) 陸上または空中より観測する方法
- (2) 海面において直接観測する方法

### (3) 水中において観測する方法

#### (1) 陸上または空中より観測する方法

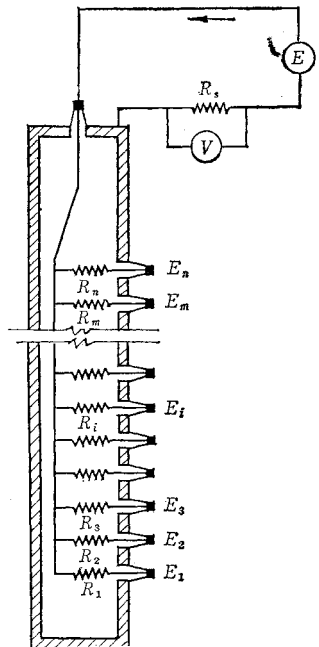
この方法は陸上の高所または飛行機より海面の実体写真を取る方法で<sup>1), 2), 3)</sup>, 海面の平面的な状況を正確にとらえる点ではもっともすぐれた方法である。しかし, 悪天候における撮影は困難であり, 解析にも非常に手数がかかり, また費用も高くつくので, 長期の連続観測には適当ではない。

#### (2) 海面において直接観測する方法

もっとも簡単な方法は海中に標柱を立てて, この点における海面変動を陸上の高所から観測する方法である。観測方法としては, 目視による方法, トランシットによる方法<sup>4)</sup>, シネカメラにより連続撮影する方法等が用いられる。これらの方法は, 観測者が熟練すれば, また時間をかけて解読すれば, 相当正確な記録を得ることができるが, 天候に左右されること, また資料整理の面で不便であることなどの欠点があるため, 短期間の観測にはよいが, 長期連続観測には適当ではない。

表面の直接観測法としてもっとも一般的に用いられる方法は, 階段抵抗式と呼ばれるものである。これは鉛直に海中に立てた鉄管に, 一定間隔で電極をならべ, 水面が上下して各電極を浸すごとに一定の抵抗が増減するようになっており, 水面の変化は階段状の不連続な変化として記録される。電極に挿入される固定抵抗の配置の仕方により, 直列型と並列型とがあり, 海水には一般に並列型<sup>5), 6)</sup>が使用される。図-1は, 階段抵抗式波高計の原理を示したものである。

図-1 階段抵抗式波高計の原理



この方式では, 原理的には calibration は不要であるが, 実際の記録は滑らかな曲線となるので, あらかじめ calibration curve をつくる必要がある。この場合並列した抵抗値を適当に選んで, calibration curve が直線となるようにす。

\* 正会員 建設省土木研究所河川部河岸研究室長

階段抵抗式の問題点は電極が汚れたり、鉄管の水きれが悪くなってくると、直線性が不良となったり、また感度も変化してくることである。この点を改良するため、マグネットリレーを取付けて、回路の on-off を鋭敏にさせる方式<sup>7)</sup>をとったものがある。この方式では階段状の記録が得られ、また並列した抵抗値に対する制限も緩和される。

さらにリレーが機械的な弱点となることを考慮して、抵抗の代りにコンデンサーを使用して、測定誤差を小さくした形式<sup>8)</sup>も用いられている。

先にも述べたように、階段抵抗式は直接海面の波を測るもっとも実用的な方法と考えられており、アメリカでは海岸浸食局の標準計器として使用され、日本でも広く採用されている。しかし外海の波の荒いところでは、設置、維持などに費用がかかるので、内海のような波の周期も波高も小さい比較的浅いところで測定する場合に適している。

海中につるしたケーブルに細い導線を取付け、水面の昇降による導線の抵抗変化を測って波形を求める方式が、アメリカの Woods Hole 海洋研究所において試みられている<sup>9)</sup>。ここでは海中にたてたピヤーに、6本の波高計を一直線に並べて取付け、波高のみでなく、波の slope を測定している。

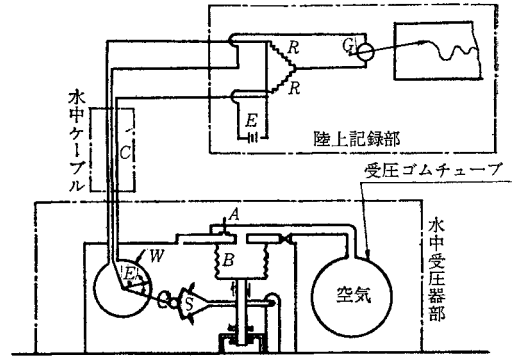
海面に浮かしたブイに加速度計を取付けて観測する方式<sup>10), 11)</sup> もしばしば試みられているが、特殊な目的で行なわれていることが多く、一般的ではない。

変わった形式のものにオランダでつくられた積分型<sup>12)</sup>のものがある。これはある一定時間内の水面の垂直移動距離の総和を記録するもので、海面の波高分布に関する特性を用いると、この測定量から簡単に有義波などの諸量が計算される。海面の変動は管の中に置かれたフロートにより記録される。このような場合、フロートは一般に動作特性が悪く、波の測定には不相当と考えられているが、管にスリットを切ることにより、追従性がいちじるしく改善されたと著者はのべている。

### (3) 水中において観測する方法

この観測法でもっとも一般的に利用されているのは、水中の圧力を測定し、これから表面波高を計算する方式である。この水圧式は外海のような波の荒いところでも設置が容易であり、しかも一度設置すれば通常半年くらいはそのまま観測が続けられるなどの利点がある。この方式の大きな欠点は、水中では深さにより、波の作用が急激に小さくなるので、周期の短かい波は記録されにくくなることである。しかし表面波のスペクトルを精密に研究するなどの特別な場合を除いて、工学的には一般に周期の長い波を対象とするので、適当な深さに設置され

図-2 水圧式波高計の原理



れば、実用的には差し支えない。

水圧式は種々のものが工夫されているが、日本で一般的に用いられているのは、摺動抵抗を利用したものである<sup>13)</sup>。その原理を 図-2 に示す。受圧ゴムチューブにより水圧変動を受け、それを中に詰めた空気を介してペローズ<sup>13)</sup>に伝える。ペローズの動きはレバーなどにより拡大され、摺動抵抗 (W) 上の針 (E) を動かす。摺動抵抗はブリッジ回路に連結される。記録部は一般に受圧部と離して陸上に置くことが多く、この間は鎧装ケーブルにより連結される。

この方式の利点はつねに観測器の検査ができることである。しかし鎧装ケーブルは高価なので、岸から遠く離れた地点で波高を測定する場合は、ケーブルに要する費用が高くなり、またある場合はケーブルを用いることが機械的に不能なこともある。このような場合に、ケーブルを用いることを避けるため、受圧部と記録部とを一体にしたものもつくられているが、常時点検ができないこと、内部調節が困難なことなどのため、十分な成果をあげることはむずかしいようである。

観測塔を海中に立て、そこに記録部を置く場合もある。さらに進んだ方式<sup>14)</sup>では、塔上の記録が無線で陸上に送られる。

水圧変動には潮汐のような長周期のものも含まれているので、一般に長周期変動は除き、通常のみを記録するように工夫されている。図-2 の小孔 A はこのために設けられたもので、これにより空気が徐々にもれるので長周期変動についてはペローズの内外の圧力はバランスして、圧力変動として現われない。

受圧方法、機械的なひずみを電流量に変換する方法などの諸点で形式の異なった種々の波高計がある。

適当な粘度を持った液体をみたしたペローズで水圧を受け、電気的変換には上記の摺動抵抗を用いた方式<sup>15)</sup>もあり、また差動変圧器により電流量への変換を行なった形式<sup>16)</sup>も用いられている。

ペローズ中の空気圧変動による温度変化を、熱電対で

測定する形式のものも工夫された<sup>17)</sup>。この形式は測定器が小型で、かつ安価で取扱いも軽便であるが、感度が変わりやすく不安定であるためあまり用いられていない。

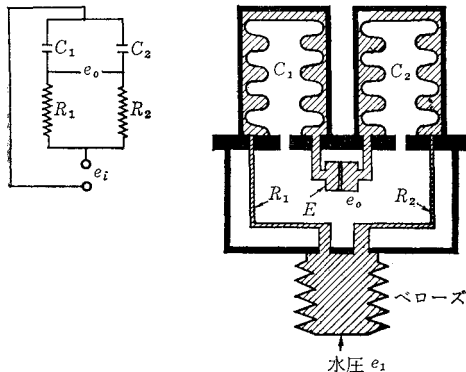
外圧を直接受圧板で受け、変換には、ストレインゲージ<sup>18)</sup>、<sup>19)</sup> またはパイプロトン<sup>20)</sup> 等を用いる波高計もつくられている。パイプロトン式のもの、水圧変化が周波数変化として記録される。一般にケーブルを使用する場合、周波数変化として取り出す方が、電圧または電流変化として取り出す場合より、記録の精度がケーブルの状態（たとえば絶縁の若干の低下など）に依存することが少ないので有利であると考えられている。

今まで述べてきたものは、沿岸における波浪観測に用いられるものであるが、船に取付けて洋上の波を測定するための波高計<sup>21)</sup>がある。これは水圧式波高計と加速度計とからなる。両者を一組にして船腹に取付け、前者により表面波高を測定し、後者により垂直加速度を測定する。両者を組み合わせれば、船の運動の影響を取り除いた表面波高を求め得る。

水中方式のもう一つのもは、超音波を利用した波高計である。水底に発振器と受感部とおき、超音波が水中を往復する時間の大小により表面波高を測定するものであり、測定器を水中に置き、しかも表面波高を直接見出させる利点があるが、一方波形勾配が大きいときに必ずしも波の波頂をとらえ得ないこと、また海が荒れているときには、表面に気泡が多く含まれ、音が散乱して反射を生じない場合があるなどの技術的に困難な点があるようである。

以上述べてきた測定器は、普通重力波を観測するものであったが、長周期波の測定も一般に水中方式が用いられる。この場合には、短周期波と潮汐波とを取り除いた5~90 min 程度の周期を対象とするので、ろ波器を付ける必要がある。ろ波は電気的に行なうことも可能であるが、その構成が複雑となるので、一般には簡単な流体ろ波器が使用される。図-3 は長周期波用波高計の原理<sup>22)</sup>を示したものである。図中の斜線部は粘性の大きい油で

図-3 長周期波用波高計の原理



みだされておき、その他の部分は大気圧に維持された空気が入れている。ゴムベローズに水圧が作用するとき、短周期の変動は capillary tube  $R_1$ ,  $R_2$  の存在のため無視し得る大きさとなる。また非常に長い周期のものに対しては、 $R_1$ ,  $R_2$  が等しい抵抗作用をなすので、差圧測定器 ( $E$ ) には圧力差は現われない。結局いわゆる長周期波による圧力変動が作用した場合にのみ、 $R_1$ ,  $R_2$  の抵抗差がきいて、差圧測定器の両側に圧力差が出てくる。このようなる波器の設計は、電気的な等価回路を用いて行なわれる。図-3 には上記ろ波器の電気的等価回路も示してある。日本においても上にのべたものとはほぼ同じ方法で長周期波高計<sup>23)</sup>、<sup>24)</sup>がつけられて、津波などの観測に用いられている。

### 3. 波 向 観 測

波向の観測は波高のように比較的簡単な自記観測装置が開発されていないので、十分な観測は一般には行なわれていない。日本で普通に用いられている簡便な方法はトランシットによる目視観測であるが、これでは波向観測として不十分なので、早急に適切な観測法の開発が望まれる。

以下にこれまでに試みられてきたいくつかの観測法について述べるが、まだ一般的なものではなく、特別な目的で実施されたものが多い。

観測法としてはつぎのようなものがある。

- (1) 航空写真による方法
- (2) いくつかの点で波高を観測する方法
- (3) 波形勾配あるいは波による流速等を測定する方法
- (4) レーダーによる方法

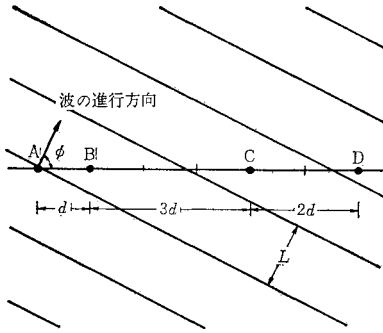
航空写真による方法、とくに実体写真による測定は、もっとも精度の高いものである。アメリカにおいては、2000 ft 離れ、高度 3000 ft で飛行している2台の飛行機から、海面の実体写真を撮影し、非常に高精度の解析を行なった。しかしこの方法を常時用いることは経済的に不可能で、一般の観測法としては適当でない。

波高計による方法は原理的にはまったく簡単である。図-4 のように、AとBの2点に波高計を置くとA点を通過した波はある時間遅れてB点に達する。この時間を  $\tau$ 、波の進行方向が AB となす角を  $\phi$  とすると、次式から  $\phi$  を計算することができる。

$$\frac{\tau}{T} = \frac{d \cos \phi}{L}$$

ここに、 $T$ : 波の周期、 $L$ : 波長、 $d$ : AB 間の距離で波長の 1/2 程度にとられる。この場合注意すべきことは、この方法では AB のどちら側から波がきたかを区別

図-4 波高計による波高観測の一例



できないことである。しかし、一般に AB は海岸線に平行に設けられるので、実用的には差し支えない。

実際には、時間の遅れ  $\tau$  はつぎつぎと来襲する波の周期が異なるので一様ではない。おおよその値を求めるためには、平均値を考えればよいが、正確にはクロススペクトルを求めて、位相差を計算する必要がある。

さらに進んで方向スペクトルまで求めようとする場合には、波高計の数をさらに増す必要がある。一例として図-4 のように 4 個の波高計を配置すると、 $d \sim 6d$  までのすべての間隔を含むので、それぞれ必要なスペクトル解析を行えば、方向スペクトルについても十分な知識を得ることができる。

このような解析は 3 個の波高計を正三角型に配置しても可能である。この場合には  $+\phi$  と  $-\phi$  を区別することもできる。このほかにも種々の配列法が考えられている<sup>25)</sup>。

一点で、いくつかの波の特性を測定して方向を求めることも考えられる。イギリスにおいては、ブイの垂直運動と互いに直角をなす方向におけるその傾きとを測定して波向を求める方法を開発した<sup>26)</sup>。

水中における波による水平流速の 2 成分を測定して、波向を求める方法である<sup>27)</sup>。この方法で平均的な方向を求める場合には、2 成分の流速を XY レコーダーに入れて直接読みとればよい。より詳細な波向分布を求めるには、流速の 2 成分のそれぞれ 2 乗および積の時間的平均値から、波高分布に関する統計理論を用いて計算される。

最後のレーダー法は、レーダーによる海面の映像を連続的に撮影するもので、オランダ<sup>28)</sup>、日本<sup>29)</sup>などで実施された。この場合には使用波長の選択が重要で、海面からの反射を強くするため、ミリ波帯に属する波長の短いものが用いられる。日本における観測例では、波長 8.6 mm のものが使用された。波向の測定は測点を定め、連続写真からその点における波向を順次求めれば、波向分布、平均波向を得ることができる。この方法は天候、夜間にかかわらず観測可能であり、かつ整理手続きも簡単であるが、非常に高価なので、一般に広く用いる

のは困難であろう。

#### 4. 資料解析

観測により得られる波高資料は不規則のものであるから、どのようにこの不規則な海面状態を表わすかということは非常に重要である。工学的な目的のためには、一般に一つの代表波によって表現し、それを設計に使用することが多いが、研究的な目的のためにはエネルギースペクトル解析が行なわれる。

代表波としては、一般に有義波が用いられる。これはある時間内の連続した波形記録から読みとられる波高を大きさの順に並べ、その大きい方から全体の 1/3 個の波を取り出し、その波高および周期を平均したものである。この場合観測時間が問題となるが、波数が 100 波程度となる時間がとられる。

設計に用いられる代表波としては、有義波のほかに、1/10 最高波、最高波などが考えられるが、そのうちどれを採用するかは、対象となる構造物の特性により決定される。

観測記録の数が多くなると、代表波の計算にも非常に労力を要するので、これを機械的に計算する方法がとられる。

海の波は見かけ上不規則なものであるが、その波高分布について詳細に調べてみると、有義波、1/10 最高波などの間にはある一定の関係のあることが見出される。Longuet-Higgins<sup>30)</sup>の計算によると、その関係はつぎのとおりである。

最頻度波高	$H_f = 1.414 a$
平均波高	$\bar{H} = 1.722 a$
有義波高	$H_{1/3} = 2.833 a$
1/10 最高波高	$H_{1/10} = 3.600 a$

ここに、 $a^2$  はある時間内に観測された波の振幅の 2 乗平均値である。またその時間内の最大波は波の数により変化し、波数が増加すると最大波高も増大する。

上述の関係は多くの観測によって確かめられているので、観測値から機械的に  $a$  を計算し、上の諸式から有義波などの代表波を計算する計算器がつくられた<sup>31)</sup>。周期については一般に平均周期が計算されるが、この値と有義波周期との差は小さいので、実用的には差し支えない。

Longuet-Higgins の計算においても、仮定されているが、海の波は多くの成分波から成立していると考えられる。したがって観測記録を Fourier 分析すると、種々の周波数に対する波のエネルギー分布を求めることができる。これを波のエネルギースペクトルと呼び、不規則な海面状態を表わすものとして一般に広く用いられる。

波のスペクトルは、つぎのような考えのもとに導かれ

る。波形  $x(t)$  を Fourier 級数に展開すると

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega_n t + b_n \sin \omega_n t)$$

ここで、

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos \omega_n t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin \omega_n t dt$$

$$\omega_n = 2n\pi/T, \quad T: \text{周期}, \quad n=1, 2, \dots$$

また波のエネルギー  $E$  は位置のエネルギーと運動のエネルギーとの和であり、この両者を等しいと考えるとつぎようになる。

$$\frac{E}{\rho g} = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt = \frac{a_0^2}{4} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} (a_n^2 + b_n^2)$$

ここで  $(a_n^2 + b_n^2)/2$  は第  $n$  調和波のエネルギー成分であり、1 サイクル当りのエネルギーを考えると

$$w(f_n) = T \cdot \left\{ \frac{1}{2} (a_n^2 + b_n^2) \right\}, \quad f_n = \frac{n}{T}$$

となる。ここで  $T \rightarrow \infty$  とすると  $f_n$  は連続変数  $f$  となり、

$$\frac{E}{\rho g} = \int_0^{\infty} w(f) df = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t) dt$$

という関係になる。 $w(f)$  は波のエネルギー スペクトルと呼ばれるものである。なお  $E$  と先にてきた  $a^2$  との関係はつぎのとおりである。

$$\frac{2E}{\rho g} = a^2$$

実際のスペクトル計算では、精度よく行なうため、相関関数より求める方法がとられる<sup>32)</sup>。相関関数  $\chi(\tau)$  とスペクトルの間には、つぎのウィナー キンチンの関係式が成立する。

$$\chi(\tau) = \int_0^{\infty} w(f) \cos \omega \tau df$$

$$w(f) = 4 \int_0^{\infty} \chi(\tau) \cos \omega \tau d\tau$$

また、

$$\chi(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cdot x(t+\tau) dt$$

波のエネルギー スペクトルは、通常デジタル型の電子計算機により計算されるが<sup>33)</sup>、光学的な方式を利用したアナログ型の解析器<sup>34)</sup>も使用される。

## 5. む す び

以上波浪観測についてその概要を述べてきたが、現在日本において広く用いられている波高計は、水圧式で、階段抵抗式がこれについている。これらの波高計により、各地で波浪資料が蓄積されつつあるが、その観測の実体をみると、かなり問題を含んでいるようである。

第一は、長期間欠測なしに観測が行なわれていることが少ないという点である。このことについては観測手段そのものを改良してゆくことも必要であるが、観測者自身が計器の取扱いに慣れることがいっそう重要のようである。第二は正確な波向資料の少ないことである。この点については、これまで波の追算に頼ることが多かったのであるが、今後の方向としては、簡便な計器の開発が進めらるべきであろう。第三は測得資料の増大とともに、未整理の資料が増加する傾向にあることである。この点については資料整理の自動化を促進することが一般から強く要望されている。

上述のように、日本における波浪観測はなお種々の問題点を含んでいるが、急速に発展していることも事実である。このような発展をさらに押し進めるためには、本文に述べたようなこの 20 年間の観測手段の進歩を十分に生かしてゆくことが大切であろう。この小文がそのような意味で一般の参考となれば幸いである。

## 参 考 文 献

- 1) Caldwell, J.M. and others : An Ocean Wave Measuring Instrument, Tech. Memo. No. 6, B.E.B. Oct. 1948.
- 2) Miskin, E.A. and Kemp, P.H. : Weve Measurements by Stereo Photogrametric Methods, Dock and Harb. Author. 37, 1957.
- 3) 井島武士 : 海岸港湾測量, p. 191~209.
- 4) 宇田居吾一 : トランシットによる波浪観測法, 北海道土木試験所技術資料 No. 9, 1954.
- 5) Caldwell, J.M. : The Step-resistance Weve Gage, Coastal Engineering Instruments, 1955.
- 6) 井島武士 : 文献 3), p. 184.
- 7) 村木義男・石田直之・高島和夫 : リレーを用いたステップ式波高計と波浪観測塔, 第 11 回海岸工学講演会講演集, 昭和 39 年 11 月
- 8) Verhagen, C.M. : Improvements in the Electric Step Gage for Measuring Wave Heights, Proc. of 6th Confer. on Coastal Engineering, Dec. 1957.
- 9) Farmer, H.G. and Ketchum, D.D. : An Instrumentation System for Wave Measurements, Recording and Analysis, Proc. of 7th Conf. on Coastal Engineering, Aug. 1960.
- 10) Boiter, E.H. : Wave Height Measuring Equipment, Proc. of 7th Conf. on Coastal Engineering, Aug. 1960.
- 11) Draper, L. : Wave Recording Instruments for Civil Engineering Use, Dock and Hardour Auth. Oct. 1961.
- 12) Wemelsfelder, P.J. : Wave Measuring by means of the Integrator, Proc. of 5th Conf. on Coastal Engineering, Sept. 1954.
- 13) 井島武士 : 文献 3), p. 210.
- 14) 降旗常雄・小倉健男・寺中啓一郎 : 波浪計設置計画について, 第 8 回海岸工学講演会講演集, 昭和 36 年 9 月
- 15) Snodgrass, F.E. : Mark IX Shore Wave Recorder, Coastal Engineering Instruments, 1956.
- 16) 降旗常雄 : 沿岸観測用遠隔自記波浪計 MR-Mark III について, 第 7 回海岸工学講演会講演集, 昭和 35 年 11 月
- 17) Isaacs, I.D. and Wiegel, R.L. : Thermopile Wave

- Meter, Coastal Engineering Instruments, 1961.
- 18) Valembouis, L. : Les Appareils Realises a Chatou pour la Mesure de la Houle Naturelle, Proc. of 5th Conf. on Coastal Engineering.
  - 19) Isaacs, J.D., Kidd, L.W. and Rusk, J.H. : The Mark VIII Strain Gage Wave Meter, Coastal Engineering Instruments, 1961.
  - 20) 富永康照・松村圭二・橋本 宏 : パイプロトン式波高計について, 防災科学技術総合研究速報第1号, 昭和41年3月
  - 21) Tucker, M.J. : A Ship-Borne Wave Recorder, Coastal Engineering Instruments, 1961.
  - 22) Snodgrass, F.E. : Shore-Based Recorder of Low-Frequency Ocean Waves, Trans. A.G.U. Feb. 1958.
  - 23) 相田 勇 : 長周期波記録計の製作, 地震研究所集報 Vol. 40, 1962.
  - 24) 高橋竜太郎・相田 勇・永田 豊 : 海底設置用長波計による大船渡湾の静振観測結果について, 日本海洋学会誌, 昭和41年2月
  - 25) Barber, N.F. : Optimum Arrays for Direction Finding, New Zealand Journal of Science Vol. 1, No. 1, Mar. 1958.
  - 26) Longuet-Higgins, M.S., Cartwright, D.E. and Smith, N.D. : Observation of the Directional Spectrum of Sea Waves using the Motion of a Floating Bouy, Ocean Wave Spectra, 1961.
  - 27) 永田 豊・彦坂繁雄・松本信保 : 電磁流速計による波向観測, 第10回海岸工学講演会講演集 昭和38年10月
  - 28) Oudshoorn, H.M. : The Use of Radar in Hydrodynamic Surveying, Proc. of 7th Conf. on Coastal Engineering
  - 29) 井島武士・高橋智晴・佐々木弘 : 波向観測等におけるレーダーの応用, 第11回海岸工学講演会講演集, 昭和39年11月
  - 30) Longuet-Higgins, M.S. : On the Statistical Distribution of the Heights of Sea Waves, Jour. of Marine Research, 11-3, 1952.
  - 31) Snodgrass, F.E. and Putz, R.R. : A Wave Height and Frequency Meter, Proc. of 6th Conf. on Coastal Engineering.
  - 32) 赤池弘次 : スペクトル推定の統計理論, スペクトル推定の実際 (1964年度講習会テキスト), 統計数理研究所
  - 33) 橋本 宏 : 波のスペクトル解析について, 土木技術資料, Vol. 8, No. 3, 1966.
  - 34) Tucker, M.J. : The N.I.O. Wave Analyser, Coastal Engineering Instruments, 1956.

水に関する技術的問題の総合的な解決への鍵!

好評発売中

# 水工学便覧

監修

編集幹事

東北大学名誉教授・工学博士

中央大学教授・工博

沼知福三郎

春日屋伸昌

東京大学教授・工学博士

本間 仁

1. 理学・工学にまたがるいろいろな「水に関する技術的問題」の総合書の決定版!
2. 土木・機械・農業工学・地質学の最高権威者60数氏の協力執筆による水工百科!
3. 水工に関する理論, 設計・施工の技術を総合的かつ具体的に解明した指導書!
4. 現場技術者に最も必要な実際例, 未発表のデータ, 数値表等を収めた実用書!
5. 見てすぐ理解できるように鮮明な3000個以上の図版を挿入した明解な便覧!

B5判 総クロス装 画入豪華本  
本文1250頁 8ポイント函組・図版  
写真版3000個以上 特上質紙使用  
定価10,000円 ●内容見本呈●  
特価9,500円(7月末日限り)

【主要項目および執筆者】 1. 流体の物理的性質(工博・井田富夫) 2. 静水力学(井田富夫) 3. 流体運動の基礎方程式(工博・笠原英司) 4. 管水路の定常流れ(工博・豊倉富太郎) 5. 管水路の非定常流れ(日立・小田保光) 6. ~7. 開水路の流れ(I, II)(工博・岩崎敏夫) 8. 噴流(工博・石原智男) 9. 一般の非回転運動(笠原英司) 10. 渦運動(工博・川口光年) 11. 粘性流体の運動(川口光年) 12. 流体中を進行する物体の抵抗(工博・伊藤英覚) 13. 圧縮流体の運動(川口光年) 14. キャビテーション(工博・村井等) 15. 混相流(石原智男他) 16. 地下水(内藤利貞) 17. 流量測定(鈴木晴之) 18. 水理実験(工博・尾崎晃) 19. 水文学(丸井信雄) 20. 河川水理学(丸井信雄) 21. 海岸水理学(工博・井島武士) 22. 砂防工学(工博・谷口敏雄他) 23. 河川工学(横戸実他) 24. ダム水理工学(工博・村幸雄) 25. 発電水力(工博・林泰造他) 26. 海岸・港湾工学(工博・久宝稚史) 27. 埋立工学(乗杉尙他) 28. 上下水道(工博・岩塚良三他) 29. かんがい・排水(農博・野口正三他) 30. 水力機械(工博・草間秀俊他) 31. 工業用水(理博・蔵田延男) 32. 数値表(春日屋伸昌)

東京・神田・小川町3の10 振替東京34757 電(292)2601(代) 森北出版株式会社