

II-69 浮遊砂濃度の測定法について

東京大学工学部 正員 本間 仁
 東京大学工学部 正員 堀川 清司
 東京大学工学部 ○ 間 淵 昭次

浅海底には波によつて砂れんの形成が見られ、底の砂粒子はこれら砂れんの影響で水中に捲上げられている。この捲上げられた砂粒子は乱流の爲水中に分布し、流れによつて移動するものと考えられる。この現象を明らかにする段階において、砂濃度の時間的变化を記録する必要が生じ、本計器を製作することにした。

(1) 濃度計の原理

本計器は、水中の光の透過性を応用することによつて水中の砂濃度を測定する。濃度計の製作にあたり、その計器の砂濃度に対する信頼性及び有効性を確かめねばならない為、砂濃度と光の透過度との関係を詳細に調べてみる必要がある。今、砂が一樣に分布していつかつ濃度が稀薄なる水中に光が通過する場合について考えてみる。光の透過率が水と砂との間に大きな差があれば、光量の減少は經驗上砂粒子の断面積による遮蔽に最も関係するとみなされる。このことは光量をエネルギーと考えれば、エネルギーの減少は遮蔽による効果が大いことからもうなづけよう。しかし、光の波長に比して砂粒子が小さいときは遮蔽の考えは適当でないであろう。光は平行光線とし砂粒子の形は完全な球であるものとして取扱う。実際に使用する光線は平行光線ではなく、又光量の減少は遮蔽のみでなく散乱、反射等にも左右されるが、遮蔽の影響に比較するとこれらの影響ははなはだ小さいものと考えられる。図-1に示すBは砂粒子を含んだ水柱の長さを表わし、Aは光線の断面積であり、FおよびF+δFは水柱の座標X及びX+δXにおける光の量である。種々の砂粒子の直径を $d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_n$ とし、これらの個数が、体積 $A \times B$ 内に $N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_n$ だけ又体積 $A \times 1$ には $n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_n$ だけ存在するとする δX を充分に小さい値とすると、体積 $A \times \delta X$ においては仮定により

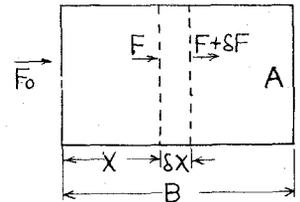


図-1

$$-\frac{\delta F}{F} = \frac{\sum n_i \delta X \pi d_i^2 / 4}{A}$$

なる関係が成立するはずである。これを解くと

$$F = F_0 \exp\left(-\frac{\sum n_i \pi d_i^2 / 4}{A} X\right) \quad \text{----- (1)}$$

$X=B, \sum N_i=N_0, \sum d_i, (N_i/N_0)=\bar{d}, \sum d_i^2 (N_i/N_0) - \bar{d}^2 = \sigma^2$ とし、 $X=0$ で $F=F_0$ とすれば、 $C=F_0$ となり、(1)式は

$$F = F_0 \exp\left\{-\frac{N_0 (\pi/4) \bar{d}^2}{A} \left(1 + \frac{\sigma^2}{\bar{d}^2}\right) X\right\} \quad \text{----- (2)}$$

となる。(2)式にB、砂の密度 ρ を導入し、水柱の砂濃度として

$$\bar{m} = \rho N_0 \frac{\pi}{6} \bar{d}^3 / A \cdot B$$

$$F = F_0 \exp \left\{ -\frac{3}{2} \cdot \frac{\bar{m}}{\rho \bar{d}} \left(1 + \frac{\sigma^2}{\bar{d}^2} \right) B \right\} \text{----- (3)}$$

となる。砂の分布模様が広範囲の場合、この \bar{m} を用いることは不適当であり、水中の砂濃度の実質的な値は $m = \rho \sum N_i (\pi/6) d_i^3$ とした方がよい。この m を(3)に代入する前に

$$\frac{m}{m_0} = \sum \frac{N_i}{N_0} \left(\frac{d_i}{\bar{d}} \right)^3 = \int_{d_1}^{d_2} p \left(\frac{d}{\bar{d}} \right)^3 d = \frac{\overline{d_i^3}}{\bar{d}^3} = \lambda$$

但し p : 確率密度関数としてこの m を(3)式に代入すると

$$F = F_0 \exp \left\{ -\frac{3}{2} \frac{m}{\rho \lambda} \left(1 + \frac{\sigma^2}{\bar{d}^2} \right) B \right\} \text{----- (4)}$$

となる。砂には透過度の大きい長石などが含まれており、砂粒子の遮断断面積が実際の断面積より小さくなるので(4)式に遮断係数を加えなければならない。前述の通り $(1/\lambda)(1 + \sigma^2/\bar{d}^2)$ は使用する砂の粒度の分布に関係し、長も砂の種類と粒度の分布に影響されるものと考えられ、これらの量はそれぞれ正確に測定できないので

$$k \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{\sigma^2}{\bar{d}^2} \right) = K \text{ とおく } (4) \text{ 式は}$$

$$\frac{F}{F_0} = \exp \left\{ -\frac{3}{2} \frac{K m}{\rho \bar{d}} B \right\} \text{----- (5)}$$

となり、 F は m が一定であっても \bar{d} の値によって変化することになる。

(2) 濃度計の機構及び成果

濃度計は図-2に示すように、光源には6Vランプを用い、その光を受け取る部分にはナショナル製フォトトランジスタ-OCPT71を用いた。光電流を2台の直流増幅器を通してペン書きオシロに接続した。濃度計の配線図を図-3に示す。重要な点は光量と光電流とが直線的なことであるが本計器については図-4に示すようにこの関係は保たれている。

実験に使用した砂の平均粒径を導出する際にはD.L. Inman⁽¹⁾が使用した方法を用いた。彼の考案によれば砂の分布関係の16%と84%のときの粒径の値を d_{16} , d_{84} とすると、

平均粒径 \bar{d} は $\bar{d} = (d_{16} d_{84})^{1/2}$ より求まる。本実験の砂については $d_{16} = 1.2 \times 10^{-2} \text{cm}$, $d_{84} = 1.8 \times 10^{-2} \text{cm}$ なので $\bar{d} = 1.5 \times 10^{-2} \text{cm}$ となった。砂の密度 $\rho = 2.56 \text{g/cm}^3$ とし、 $B = 10 \text{cm}$ とすると(5)式は

$$F/F_0 = \exp(-3.9 \times 10^2 K m) \text{----- (6)}$$

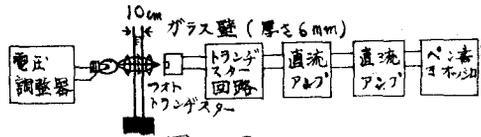


図-2

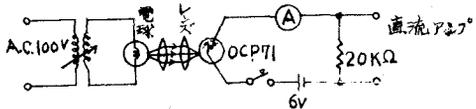


図-3

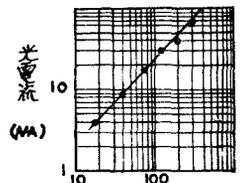


図-4

となる。図-5には濃度の検定をプロットしたものと(6)式の $K=1.0$ と $K=0.85$ との曲線をかいてある。但しIはペン書きオシロの振れの値である。

濃度の小さいほど濃度計の感度は良いので実用上には図-

6に示すような検定曲線を用いた。フォトトランジスタの温度による著しい相違は認められなかった。

実験に際しては濃度計の先行差が10cm程度なので水槽の中を10cmにして資料を得た。使用した波は水深30cmにて波高10cm周期1.3secのものである。その資料の一部を図-7に示す。(5)式からわかるようにペン書きオシロの振れは濃度と直線的でない

ので資料を直視する場合は都合が悪い。その為、検定曲線から濃度変化の資料を直線的に書き直したのが図-8である。これを見ると波の一周期中に濃度の最大値(最小値)が4回現われ、底面に近いほどこの傾向は著しい。この現象を解釈するには、測定部分の砂れんから捲上げられた砂の他に隣の砂れんからの砂が通過するものとしても一応説明することはできる。資料の一部から得られた平均濃度と底面からの高さとの関係を図-9に示す。以上述べてきた測定法について注意しなければならないことは、(5)式から理解されるように光量下は濃度のみならず、平均粒径、分布の形などの関数であり、一般の砂について

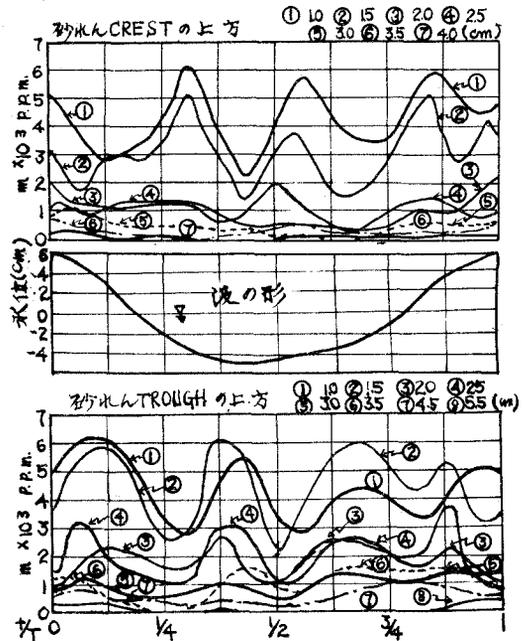
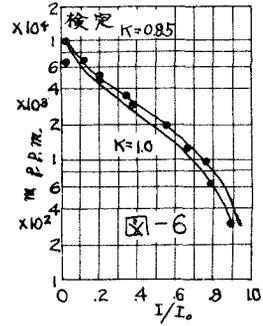
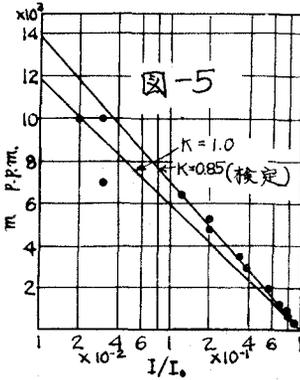


図-8

はそのいずれをも無視できない。したがって砂濃度測定に使用する砂については分布の影響をなるべく少なくする為、単一の粒径のものを選び、清浄水で洗滌して砂中の Silt 部分をなくす手間がある。これらのことを考慮に入れて本計器を用いれば瞬時にける砂濃度を水中に何んらの攪乱をせずに忠実に測定できる。

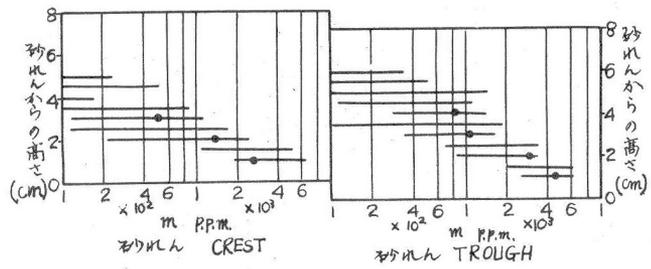
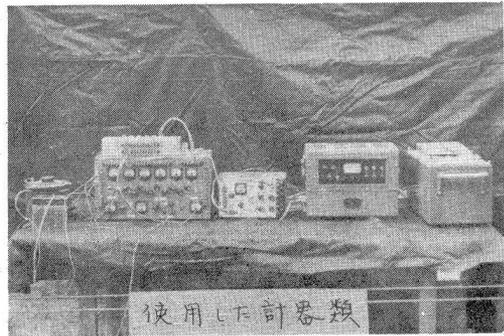
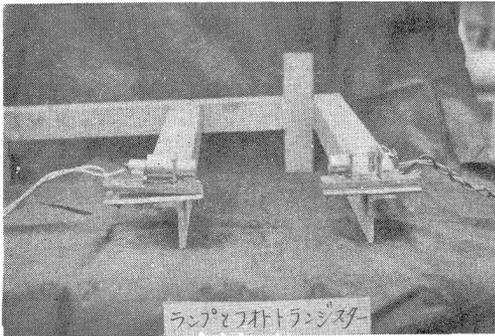


図-9



(3) 参考文献

- (1) Inman, D. L., Areal and Seasonal Variations in Beach and Nearshore Sediments at La Jolla, California, Beach Erosion Board, Technical Memorandum No.39, 1953.