

京都大学防災研究所 正員 野田 英 明

1. はしかり

波によって浮遊する底質の濃度分布を算定しようとする場合、一般に波の一周期に対する平均濃度によって表わす方法がとられてきた。本間・堀川¹⁾および岸²⁾はこうした方法によって浮遊底質の濃度分布を算定し、すでに多くの成果を発表している。これらの研究は浮遊底質の濃度分布に関する基礎方程式と波の一周期について平均し、かつ拡散係数にある仮定を行なって濃度分布を決定しようとするものであった。しかし、波動運動のもとでの乱れの機構が明らかでない現在、拡散係数に対する仮定が妥当なものであるかどうかきわめて疑問である。

そこで著者はこの研究で、波の一周期について平均した場合の浮遊底質に関する基礎式について再考し、さらに重複波による実験ならびに現地観測の結果から拡散係数の値を推定し、波による底質の浮遊機構を検討しようとしたものである。

2. 波による浮遊底質の濃度分布に関する基礎方程式

一般に、浮遊底質の濃度分布に関する基礎方程式は2次元の場合、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (\epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (\epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z}) + w_0 \frac{\partial C}{\partial z} \quad (1)$$

と表わされる。ここに、 z は水底から鉛直上向きにとった高さ、 x は水平距離、 C は浮遊底質の濃度、 w_0 は沈降速度、 ϵ_x および ϵ_z はそれぞれ、 x 、 z 方向の拡散係数、 u および w はそれぞれ、 x 、 z 方向の波による流体の速度成分である。本間・堀川・鹿島が光電管式濃度計で測定した結果によると、波をおこし、10波程度になると、図-1のように、濃度は周期的に変化することを確認した。したがって、いま、この実験結果と参照して、浮遊底質の濃度を、

$$C(x, z, t) = \bar{C}(x, z) + C'(x, z, t)$$

と仮定し、これを(1)式に代入して、一周期の平均をとると、

$$\frac{\partial}{\partial x} (\bar{\epsilon}_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z}) + w_0 \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} = \alpha \quad (2)$$

$$u \frac{\partial \bar{C}'}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (\epsilon_x \frac{\partial \bar{C}'}{\partial x}) + w \frac{\partial \bar{C}'}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} (\epsilon_z \frac{\partial \bar{C}'}{\partial z}) = \alpha \quad (3)$$

となる。ここに $\bar{\quad}$ は一周期の平均を表わし、 α は定数であるが、水面の条件を考慮すると $\alpha = 0$ となる。さらに、進行波の場合に

$\bar{C}$ は z のみの関数と考えることができるから、(2)式左辺第1項は落とすことができる。したがって、(2)式は波動運動の場合の平均濃度分布を表わす式であって、(3)式は図-1に示す周期的変化の振幅 $C'm$ の分布を表わす式と考えることができる。岸は(2)式で表わされる平均濃度に対し、 $\bar{\epsilon}_x$ を z のみの関数として取り扱っているが、本間・堀川らは平均濃度の算定にあたって、(3)式左辺第4項を

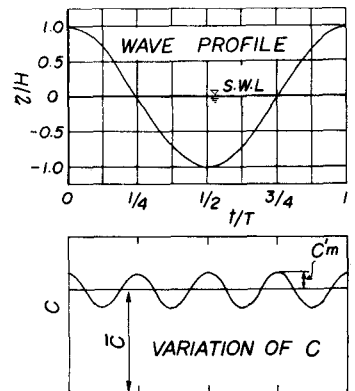


図-1 浮遊底質の濃度の周期的変化

(2)式に含めて取り扱っている。したがって、その結果はかならずしも平均濃度を表わしているとはいえないが、拡散係数の仮定のさいに用いた実験定数の中に含まれ、結果的には平均濃度に直接影響を及ぼしていない。現在(3)式の取り扱いについては十分検討していないので、ここでは平均濃度に関する(2)式について検討する。

3. 重複波による底質の浮遊に関する実験

実験は波として重複波を用い、底質として塩化ビニール粒を用いた。その特性は

中央粒径 0.13 mm , 比重 1.15 , 沈降速度 0.1 cm/s (10℃)

である。実験方法は水深 h を一定(重複波であるので、水槽の長さや節の数によって波の周期も決定される)にして、波高を順次大きくする方法によった。実験での水深は $h=10, 20$ および 30 cmの3種とし、浮遊底質の濃度は重複波の節にあたるところで鉛直分布を測定した。図-2は $h=30$ cmの場合の浮遊底質の平均濃度を示すものである。なお表-1は実験に用いた波の特性を示す。

表-1 波の特性

NO.	H(cm)	T(sec)
1	8.0	1.10
2	10.0	1.10
3	11.7	1.10
4	15.1	1.10
5	18.7	1.10

重複波の場合、(2)式において $\frac{\partial}{\partial x}(\bar{c}_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x})$ と落とすことはできないが、一応 $\bar{c}_x$ の値は小さいものとして無視し、平均濃度に関し、

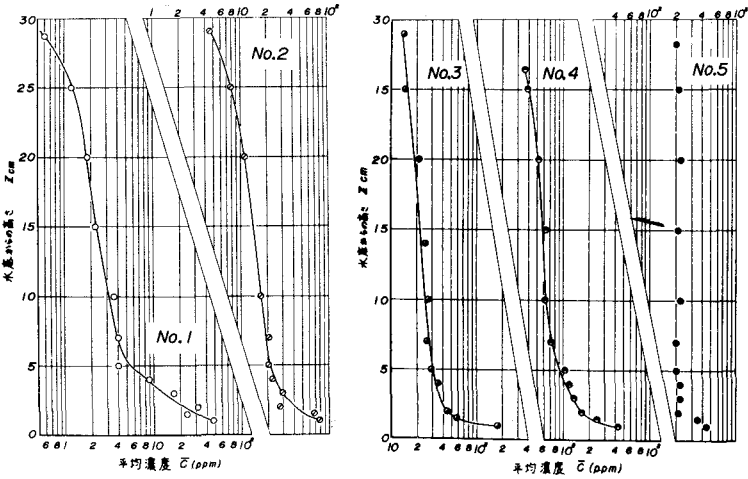


図-2 浮遊底質の平均濃度の鉛直分布

$$\frac{\partial}{\partial z}(\bar{c}_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}) + w_0 \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = 0 \tag{4}$$

が成り立つものとして取り扱おう。もし $\bar{c}_z$ が一定であれば、浮遊底質の鉛直方向の濃度分布は図-2において直線となるはずである。しかし実験から得られた分布は明らかに直線とはいいがなく、一般に底面付近の濃度がきわめて大きい。また、実験結果から明らかなように、波高が増大すると、浮遊底質の濃度も増加する傾向がみえる。とくに、No. 5 の濃度分布は、底面付近を除いて、水面まで、ほぼ一様であるのがみられる。水深 30 cm の場合、重複波の碎波限界は $H_b=23.8$ cm で与えられる。No. 5 の波の特性は表-1に示したが、この場合の波高は 18.7 cm と限界波高に近く、このような状態での乱れは他の場合と非常にことなるように思う。なお $h=10$ および 20 cm の場合も、実験結果は、 $h=30$ cm の場合とほぼ同様である。

4. 大湊海岸における浮遊砂の濃度

京都大学防災研究所大湊波浪観測所のある大湊海岸には、図-3に示すような長大栈橋がある。この

栈橋は長さ314.5mで、先端の水深は約6mであり、W-1~W-6の地点に階段抵抗式波高計が設けられている。浮遊砂の観測はこの栈橋を利用し、波高計の設置された位置の近くで行なった。浮遊砂の測定には、採水器と従来から用いられている竹竿サントラツプとを併用した。観測の目的は自然海岸における浮遊砂濃度を測定し、波の特性との関連を調べ、実験結果と比較することおよび竹竿サントラツプによる捕砂量と浮遊砂濃度との関連を調べることであった。観測は1967年1月16日から1月20日まで行なったが、この期間中、波の特性を示すと図-4のようである。図中の下端に示した数字No.1~7は竹竿サントラツプによる観測を、No.11~13は採水器による観測を示すものである。図-5および図-6はそれぞれW-6の竹竿サントラツプによる浮遊捕砂量と採水器による浮遊砂濃度の鉛直分布を示す一例であって、図中にはそれぞれの高さにおける平均粒径も示してある。竹竿トラツプによる捕砂量は最終砕波点より沖側であるが、いわゆる「く」の字型分布を示していない。しかし浮遊砂濃度の分布形とはほぼ同じ傾向がみられるのは興味深い。竹竿トラツプによる捕砂量と浮遊砂濃度との関連を明らかにするためには、同一地点で同時観測を行なわねばならない。さらに観測期間中の波の条件はほぼ一定であることも必要である。このような条件にかなった観測期間は図-4からも明らかなように、No.6と11、No.7と12、13である。このときの浮遊砂濃度と単位時間あたりの捕砂量との関係を示したのが図-7である。この図の縦軸と横軸は次元がことなるため、直接比較することはできないが、図

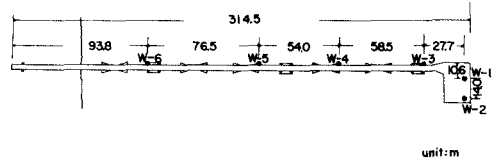


図-3 大湊波浪観測竹竿栈橋平面図

図-4 観測期間中の有義波の特性

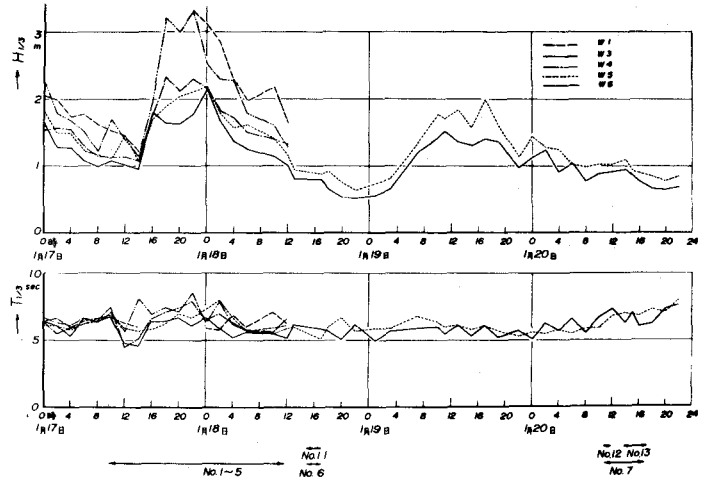


図-5 竹竿トラツプによる捕砂量分布の一例

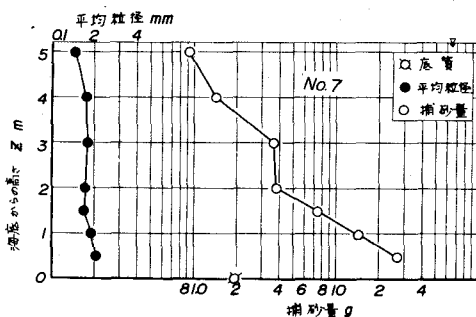


図-5 竹竿トラツプによる捕砂量分布の一例

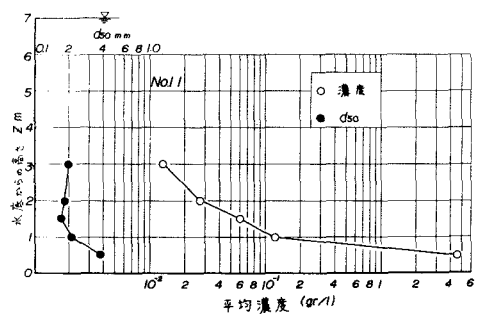


図-6 浮遊砂濃度分布の一例

から明らかのように、捕砂量と浮遊砂濃度との間にはほぼ比例関係が存在するようである。もちろん捕砂量は竹竿トラツプ投入時間中の積分値を示すものであるから、その時間中に波の条件が変われば浮遊砂濃度も変化すると考えられる。したがって、捕砂量から各時刻における浮遊砂濃度も推定することはできない。こうした問題についてはさらに今後観測を重ね、多くの資料を得ることが必要であるが、同時に福島・柏村³⁾が行なったように、竹竿トラツプの捕砂機構を考察することも必要であると思う。

5. 拡散係数 $\bar{E}_x$ について

重複波による実験結果および大湊海洋での実験結果のうち、ばらつきの比較的少ないと思われるものを用いて滑らかな分布曲線を作り、(4)式と一度積分し水面の条件を入れた式

$$\bar{E}_x (\partial \bar{C} / \partial x) + w_0 \bar{C} = 0 \quad (5)$$

から、 $\bar{E}_x$ を計算した。図-8は $h=30\text{ cm}$ の場合の実験と大湊海洋での実測(▲印)を用いて計算した $\bar{E}_x$ の値と x/h との関係を示している。なお、図中には本岡・堀

川によってえられた実験結果および福島海洋でのサン

ドトラツプによる実験結果から計算した $\bar{E}_x$ の値も示した。この図から、現地における $\bar{E}_x$ の値は底面近くを除いて、ほぼ 10^2 の order であるが、実験では1の order であることがわかる。また底面近くでは著者の実験での値が堀川のそれよりかなり小さくなっている。この理由の一つは、著者の実験では底面に砂れんがみられなかったが、堀川の実験では砂れんが重要な役割をはたしていると報告している。結局、底面の砂れんが底近くの乱れに大きな影響を与えているようであるが、現地での結果では砂れんの影響は小さいようにみえる。

図-9は、 $\bar{E}_x$ に対する水深の効果を示すもので静水面は直接 $\bar{E}_x$ に影響を与えていないようであって、むしろ

図-10に示される無次元量によって表現する方が妥当なようで、この場合には現地の結果もほぼ一致する。

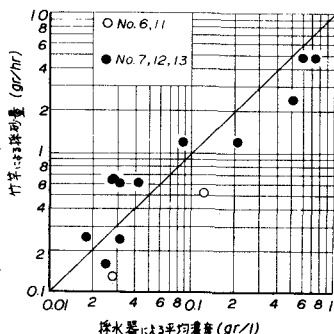


図-7. 捕砂量と浮遊砂濃度の関係

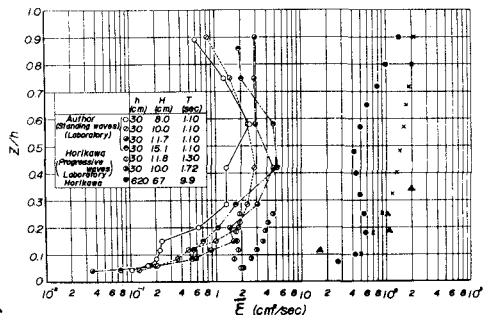


図-8 $\bar{E}_x$ の計算値

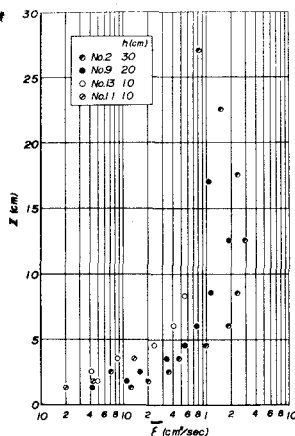


図-9 $\bar{E}_x$ に対する静水面の効果

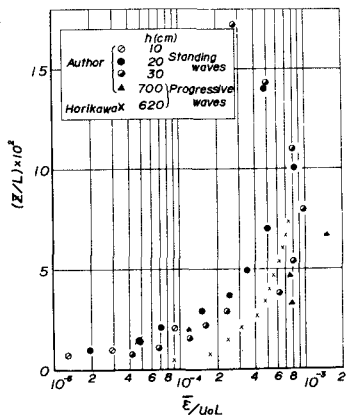


図-10 $\bar{E}_x / u_0 L$ と x/L との関係

1) 本岡・堀川清司ほか：第15, 18, 19, 21回年次学術講演会講演要録集, 2) 岸力ほか：第19, 20, 21回年次学術講演会講演要録集, 3) 福島久雄・柏村正和：第7回海岸工学講演会講演要録 pp. 41-45