

大阪大学 工学部 正員○小野正順

大阪大学 工学部 正員 出口一郎

大阪産業大学 工学部 正員 榎木 亨

1. はじめに；浮遊砂濃度の解析においては、移流拡散方程式が基礎式として用いられ、その時、基準点濃度及び拡散係数を与える必要がある。浮遊砂の拡散係数は、漂砂濃度と漂砂輸送速度に関する波動成分及び乱れ成分の相関項を時間平均浮遊砂濃度の空間勾配を用いて表現する場合に定義される係数である。一方、現地における波浪は不規則波であり、規則波と比較すると多くの時間変動成分を有するため、波浪の不規則性の影響は漂砂濃度と輸送速度の相関項に關係する拡散係数に現れると考えられる。

従って本研究では、規則波と不規則波による浮遊漂砂の拡散係数について比較・検討すると共に、砂漣上における浮遊砂濃度と流体運動の同時計測を行い、それぞれの時間変動特性について実験的に検討を行った。

2. 浮遊漂砂の拡散係数の定義；浮遊砂濃度の解析の基礎方程式となる移流拡散方程式は、浮遊漂砂の連続式において、 c ；漂砂濃度、 u_s, w_s ；漂砂の輸送速度のそれぞれを定常成分(下添字0)、波動成分(下添字p)、乱れ成分(')の3成分に分けて表示し、1周期間で時間平均(式中バーで示す)を施し、定常状態を仮定すると次式のように導ける。

$$\frac{\partial}{\partial x}(c_0 u_{s0}) + \frac{\partial}{\partial z}(c_0 w_{s0}) = -\frac{\partial}{\partial x}(\overline{c_p u_{sp} + c' u_s'}) - \frac{\partial}{\partial z}(\overline{c_p w_{sp} + c' w_s'}) \quad (1)$$

上式の左辺における $c_0 w_{s0}, c_0 u_{s0}$ は、移流による局所的なnetの漂砂量を示す。右辺第1項の微分演算子中の漂砂濃度と輸送速度の相関項は、浮遊漂砂の拡散係数 kz と時間平均された漂砂濃度の空間勾配を用いて表現される。砂粒子の波動成分と乱れ成分の運動が流体流速のそれぞれの成分に追従すると考え、砂粒子の輸送速度を流体流速で置き換えると拡散係数は次式で定義される。

$$kx = -(\overline{c_p u_p + c' u'}) / \frac{\partial c_0}{\partial x} \quad (2) \quad kz = -(\overline{c_p w_p + c' w'}) / \frac{\partial c_0}{\partial z} \quad (3)$$

(2),(3)式に示されるように浮遊漂砂の拡散係数は、漂砂濃度と漂砂輸送速度の相関項に關係する。従って本研究では、規則波と不規則波によって生じる浮遊漂砂について、漂砂濃度と流速の同時計測を行い、拡散係数に關係するそれぞれの物理量の時間変動特性について実験的に検討を行った。

3. 実験の概要；実験は、2次元移動床実験を行った。移動床の長さは3.5m、厚さ15cmで平坦に敷きならした。底質砂は、中央粒径 $d_{50}=0.012\text{cm}$ の標準砂を用いた。水深は20cmと一定にし、作用させた波条件は、規則波についてCase-R1; $T=1.87\text{sec}, H=6.9\text{cm}$, Case-R2; $T=1.73\text{sec}, H=5.6\text{cm}$ の2種類であり、不規則波については、有義波諸量が規則波とほぼ同程度であるCase-I1; $T_{1/3}=1.90\text{sec}, H_{1/3}=6.5\text{cm}$, Case-I2; $T_{1/3}=1.75\text{sec}, H_{1/3}=5.8\text{cm}$ の2種類のBretschneider・光易型の不規則波を用いた。それぞれ底質粒径を粗度としたシールズ数は $s=0.22, 0.16$ 、形成された砂漣形状はほぼ等しく砂漣波高と波長はそれぞれR1;0.9cm, 6.1cm, R2;0.9cm, 5.6cm, I1;0.7cm, 4.5cm, I2;0.8cm, 5.1cmである。測定項目は、流速と漂砂濃度の測定地点での水位変動 η 、砂漣頂から1cmと2cm上方の2地点における鉛直・水平流速 u, w と浮遊砂濃度 c を同時測定した。漂砂濃度の測定は濁度計を、流速の測定には電磁流速計を用いた。サンプリングタイムは、測定器の応答性を考慮し0.1secとし、1地点につき100sec程度連続して5回測定を行った。また、サイフォンにより砂漣の谷における鉛直方向1cm間隔の7地点で同時採水することで時間平均漂砂濃度を測定し、その鉛直分布から拡散係数を算定した。

Masanobu ONO

Ichiro DEGUCHI

Toru SAWARAGI

4. 規則波と不規則波による浮遊漂砂の物理量の比較

(a)時間平均量；図-1にCase-R2とI2の規則波と不規則波の場合の時間平均された浮遊砂濃度の鉛直分布の比較を示す。時間平均された浮遊砂濃度を規定する拡散係数と基準点濃度を規則波と不規則波の場合で比較すると、不規則波の実験結果は規則波の実験結果よりも基準点濃度については少し小さめの結果を示しており、拡散係数についてはほぼ同程度の結果を示している。従って、不規則波による浮遊砂濃度を簡易的に予測する場合、不規則波の拡散係数については、その不規則波の有義波諸量と同じ波高と周期を持つ規則波によって生じる浮遊砂の拡散係数と同程度であり、基準点濃度については、不規則波の平均波諸量と同じ波高と周期を持つ規則波によって生じる基準点濃度と同程度として予測できる。

(b)周波数特性；上で示した時間平均量に対するさらに詳細な検討を行うために、各物理量の周波数特性を調べた。図-2は、Case-R2,I2の $z=1\text{cm}$ での測定結果の周波数スペクトルの比較を示す。(a)図は水位変動、(b)図は水平流速、(c)図は鉛直流速、(d)図は漂砂濃度について、規則波と不規則波の場合の実験結果を図中に併せて示している。各図の縦軸は各周波数成分の振幅を示している。(b),(c)図の水平・鉛直流速の図中に示される $f=1.5(1/\text{sec})$ 以上の周波数成分は、砂面上で生じる渦による乱れ成分である。規則波と不規則波の実験結果は共に、水位変動、水平・鉛直流速とも同じ様な周波数特性を示しているが、漂砂濃度は規則波・不規則波共に時間変動成分よりも定常成分が支配的である。これは、不規則波による漂砂濃度の予測で従来行われているような不規則波の各周波数成分に対して応答関数を考え漂砂濃度を算定するような方法では、漂砂濃度を予測できないことを示している。

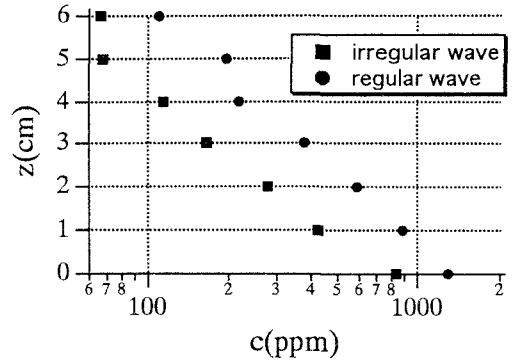
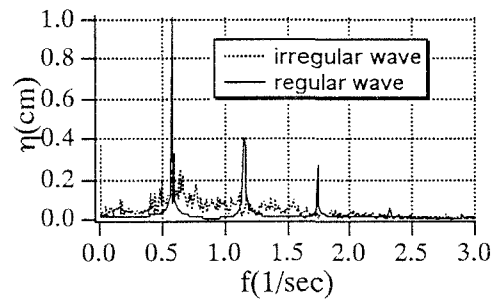
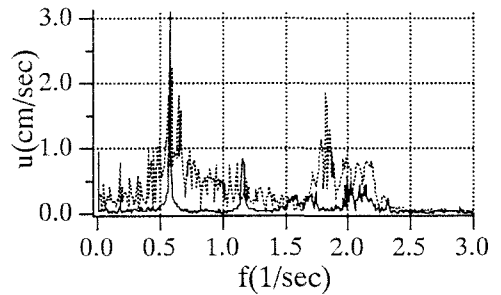


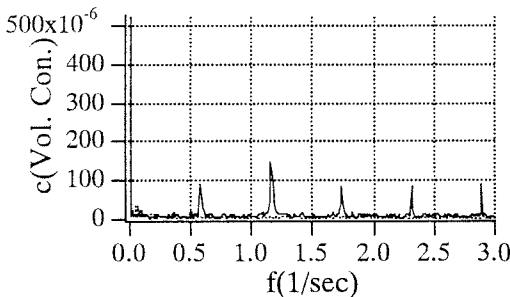
図-1浮遊砂濃度の鉛直分布の比較(Case-R2,I2)



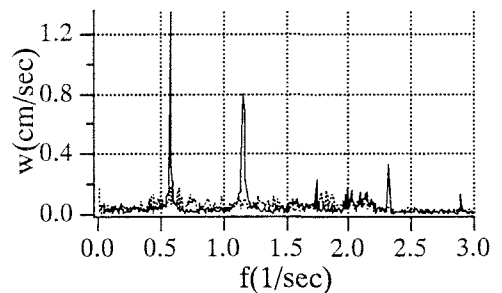
(a)水位変動



(b)水平流速



(d)漂砂濃度



(c)鉛直流速

図-2水位変動、水平・鉛直流速、漂砂濃度の周波数スペクトル(Case-R2,I2, $z=1\text{cm}$)