

II-347 漂砂量に及ぼす波形の非対称性の影響

愛媛大学工学部 正 員 伊福 誠
 愛媛大学大学院 学生員 後藤博光
 愛媛大学工学部 正 員 柿沼忠男

1. まえがき

従来、波浪下における浮遊砂の濃度分布に関する理論的な解析においては底面での濃度あるいは乱流拡散係数をいかに評価するかが大きな問題となることから定量的な評価に至っては至っていない。こうした理由から漂砂に関する研究は規則波による水槽実験によるものがほとんどで理論的研究はなされていないのが現状である。本研究では場所的・時間的に変化する渦動粘性係数や乱流拡散係数を用いて乱流境界層方程式、乱流拡散方程式を解くことにより非対称な波形を有する有限振幅波のもとでの浮遊砂濃度分布や漂砂量について解析しようとするものである。

2. 数値解析

解析方法は伊福(1986)に従う。

境界層内の流速を求める際、摩擦応力は次の二通りで評価する。

$$\tau_0 = \rho_f N_z \frac{\partial u}{\partial z} \quad (1-1)$$

$$\tau_0 = \rho_f l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \frac{\partial u}{\partial z} \quad (1-2)$$

ここに、 τ_0 は摩擦応力、 N_z は渦動粘性係数、 ρ_f は流体の密度、 u は水平方向水粒子速度、 l は混合距離($=\kappa z$ 、 κ :カルマン定数)である。以下、式(1-1)および式(1-2)で摩擦応力を評価して境界層内の流速を解析した場合をそれぞれType 1およびType 2とする。

乱流拡散方程式を解く際、乱流拡散係数は次式を用いて評価する。

$$K_z = \gamma (l_r u^2 + l_l w^2) / q' \quad (2)$$

ここに、 γ は比例定数、 $l_l = a l_r$ 、 a は比例定数、 $q' = \sqrt{u^2 + w^2}$ 、 w は鉛直方向水粒子速度、 l_r は底面からの距離とする。

漂砂量

時刻 t における粗度長の高さ z_0 から掃流層外縁 δ_0 までの掃流漂砂量 $q_b(t)$ 、掃流層外縁から境界層外縁 δ_0 までの浮遊漂砂量 $q_s(t)$ 、粗度長の高さから水面 h までの全漂砂量 $q(t)$ を

$$\begin{aligned} q_b(t) &= \int_{z_0}^{\delta_0} C u dz \\ q_s(t) &= \int_{\delta_0}^{\delta_0} C u dz \\ q(t) &= \int_{z_0}^h C u dz \end{aligned} \quad (3)$$

で算出する。

3. 解析結果

(1) 漂砂量の時間変動

q_b 、 q_s 、 q の時間変動を図1に示す。(a)がType 1、(b)がType 2であり図中の実線は q 、破線は q_s 、点線は q_b である。波形は非対称でありType 1およびType 2ともよく似た変動をしている。ただ、Type 2の岸向き漂砂量はType 1のそれらより10%程度大きいようである。漂砂の移動方向が岸向きおよび沖向きの最大値を比較すると、 q_b と q_s は q の11%と74%および13%と69%である(2)無次元浮遊漂砂量 $\bar{q}_s/w_0 d_{s0}$ と無次元全漂砂量 $\bar{q}/w_0 d_{s0}$

Type 1の一周期平均した無次元浮遊漂砂量と無次元全漂砂量との関係を図2に示す。一周期平均漂砂量は0ではなくその移動方向は岸向きである無次元全漂砂量は無次元浮遊漂砂量とほぼ等しい以上のことから、漂砂量は底面近傍に形成される境界層内でそのほとんどが決定され、流速波形の非対称性が漂砂量およびその移動方向にかなり影響することがわかる。

(3) 掃流漂砂量とシールズ数との関係

無次元岸向き掃流漂砂量 $q_B^+/w_0 d_{50}$ (w_0 : 沈降速度、 d_{50} : 底質の中央粒径) および無次元沖向き掃流漂砂量 $q_B^-/w_0 d_{50}$ はシールズ数 ψ が増大するにつれて増大する。両対数紙上で表される勾配はそれぞれ0.82および0.21である。これらの勾配を波の半周期で平均した掃流漂砂量とシールズ数との関係を表す Madsen・Grant の経験式と比較するとそれぞれ1/4および1/15程度でありかなり小さい。一周期平均した無次元掃流漂砂量 $\bar{q}_B/w_0 d_{50}$ とシールズ数 ψ との関係を図3に示す。図中の実線は最小二乗法で求めた回帰式である。シールズ数が増大するにつれて無次元掃流漂

砂量も増大する。しかしながら両対数紙上で表される勾配は無次元岸向き掃流漂砂量や無次元沖向き掃流漂砂量の勾配よりも大きい。

著者らと Nielsen の観測結果および Deigaard ほかの実験結果に基づいた計算結果の $\bar{q}/u_{bm} d_{50}$

と $\phi' = [u_{bm}^2/(\rho_s/\rho_f - 1)g d_{50}]^{2.76} \cdot (u_{bm} d_{50}/\nu)^{0.38}$, u_{bm} : 境界層外縁の最大水粒子速度、 ρ_s : 底質の密度、 g : 重力の加速度、 ν : 流体の動粘性係数) との関係を示す。

Inman・Bowenと野田・松原の実験結果とともに図4に示す。図中の楕円はInman・Bowen、正三角形は野田・松原の実験結果、正方形と円は著者らとNielsenの観測結果および逆三角形はDeigaardほかの実験結果に基づく計算結果である。観測結果および実験結果に基づく計算結果は漂砂の移動方向が岸向きおよび沖向きである。計算結果は ϕ' が増大するにつれて $\bar{q}/u_{bm} d_{50}$ も増大し、Inman・Bowenや野田・松原の実験結果と似た傾向を示す。詳細にみると、増大の割合は実験結果が大きいようであるが漂砂の移動方向が岸向きの計算結果および実験結果をみると両者はよく似た傾向を示す。

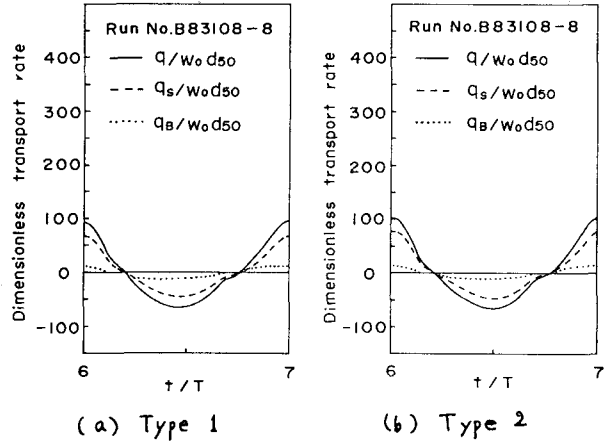


図1 無次元漂砂量 q の時間変動

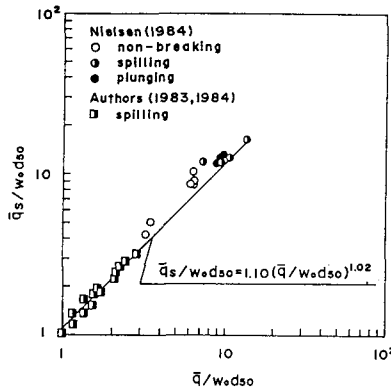


図2 $\bar{q}_s/w_0 d_{50}$ と $\bar{q}/w_0 d_{50}$ の関係

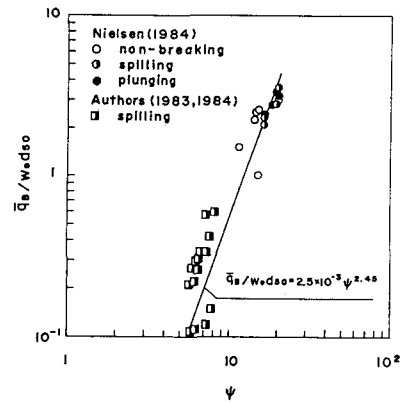


図3 $\bar{q}_B/w_0 d_{50}$ と ψ の関係

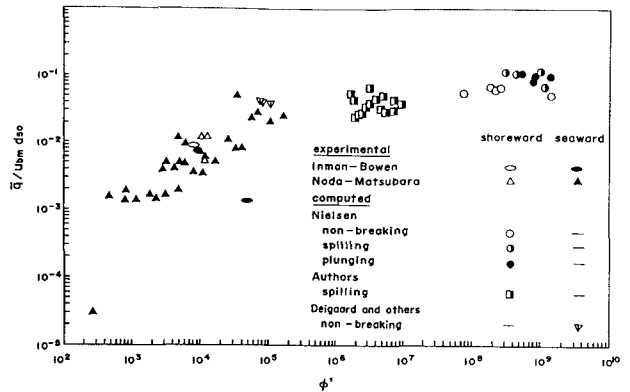


図4 $\bar{q}/u_{bm} d_{50}$ と ϕ' の関係