

有限振幅波による浮遊砂濃度分布と漂砂量

愛媛大学工学部 正 員 伊 福 誠

愛媛大学大学院 学生員 〇 後 藤 博 光

愛媛大学工学部 正 員 柿 沼 忠 男

1. まえがき

従来、流体中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までは至っていない。こうした理由から漂砂に関する研究は水槽実験によるものであり理論的研究はなされていないのが現状である。著者らはKalkanis(1965)の手法に従い底面での濃度を評価し、場所的・時間的に変化する乱流拡散係数を用いた解析においてNielsenが現地海岸の砕波帯で観測して得た浮遊砂濃度の鉛直分布をうまく説明することを得ている。本研究では、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や漂砂量について検討しようとする。

2. 基礎方程式と初期条件および境界条件

基礎方程式

境界層内の流速：流体が非圧縮性でその運動が非定常な場合の鉛直一次元の境界層方程式は次式のようにあらわされる。

$$\frac{\partial (u - u_b)}{\partial t} = \frac{1}{\rho_f} \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (1)$$

ここに、 t は時間、 u は流速、 u_b は境界層外縁の流速、 ρ_f は流体の密度、 τ は摩擦応力である。

濃度：沈降速度 w_0 持つ物質の鉛直一次元拡散方程式は次のように表せる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + w_0 \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2)$$

ここに、 C は濃度、 w は鉛直方向の水粒子速度、 K_z は乱流拡散係数である。

初期条件および境界条件

式(1)および式(2)の初期条件および境界条件はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} u(z, 0) &= 0 \\ u(z_b, t) &= 0 \\ u(\delta_b, t) &= u_b(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} C(z, 0) &= 0 \\ C(\delta_b, t) &= C_0(t) \\ K_z \frac{\partial C}{\partial z} + w_0 C &= 0, \quad z = h \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、 z_0 粗度長、 δ_b は境界層厚、 $u_b(t)$ は時刻 t における境界層外縁の水平水粒子速度、 δ_b は掃流層厚(= $2d$, d :粒径)、 C_0 は掃流層の濃度、 h は水深である。

2. 数値解析

式(1)および式(2)はクランク・ニコルスン法を用いて解析するのであるが解析方法は伊福(1986)に従う。乱流拡散係数は次式を用いて評価する。

$$K_z = \gamma (l_T u^2 + l_L w^2) / q' \quad (5)$$

ここに、 γ は比例定数、 $l_L = a l_T$, a は比例定数、 $q' = \sqrt{u^2 + w^2}$ 、 l_T は底面からの距離とする。

漂砂量

時刻 t における掃流漂砂量 $q_b(t)$ 、は掃流層外縁から乱流境界層外縁までの浮遊漂砂量 $q_s(t)$ 、粗度長の高さから水面までの全漂砂量 $q(t)$ を

$$\left. \begin{aligned} q_b(t) &= \int_{z_0}^{\delta_b} C u \, dz \\ q_s(t) &= \int_{\delta_b}^{\delta_b} C u \, dz \\ q(t) &= \int_{z_0}^h C u \, dz \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

とする。

3. 解析結果

(1) 乱流拡散係数

Nielsen(1984)が観測して得た平均濃度分布をうまく説明する乱流拡散係数の無次元量と相対高さとの関係を図1に示す。(a)、(b)、(c)は非砕波、spilling型砕波、plunging型砕波のものである。図中の実線は t/T が6, 6.25, 6.5, 6.75におけるもの、破線は一周期平均の値、黒丸はNielsenが観測して得た平均濃度の鉛直分布から次式で算出したもので

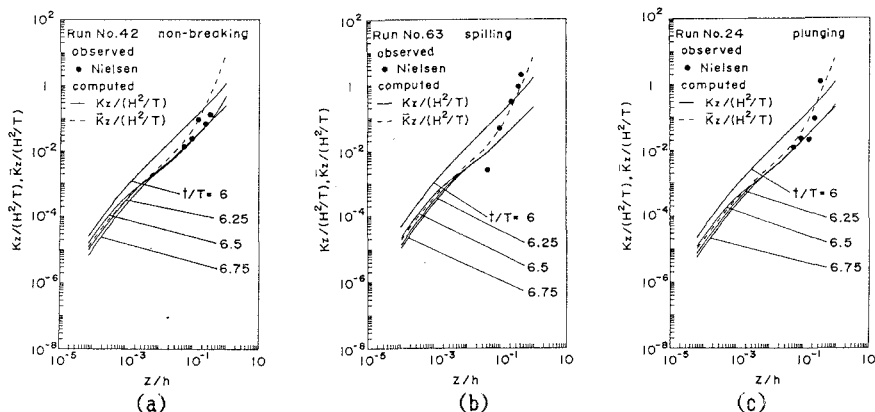


図1 無次元乱流拡散係数と相対高さ

ある。

$$\overline{K_z} = -w_b \overline{C} / (\partial \overline{C} / \partial z) \quad (7)$$

計算値の一周期平均値は相対高さがほぼ0.07付近までは相対高さのほぼ1乗に比例するがそれより水面までは2乗に比例する。Nielsenの観測結果から算出した値は計算値の一周期平均値と比較すると非砕波は等しいか僅かに小さ目、spilling型砕波は底面に近い一点を除けばほぼ同一、plunging型砕波はほぼ同一で良く似た傾向を示す。以上のことから、式(5)中の比例定数 γ や a を波浪の状況に応じて見積ることにより波浪下における浮遊砂の濃度分布をうまく説明できるものとする。

(2) 漂砂量

q_B 、 q_s 、 q の時間変動を図2に示す。図中の実線

は q 、破線は q_s 、点線は q_B を示す。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。一周期平均した境界層内の浮遊漂砂

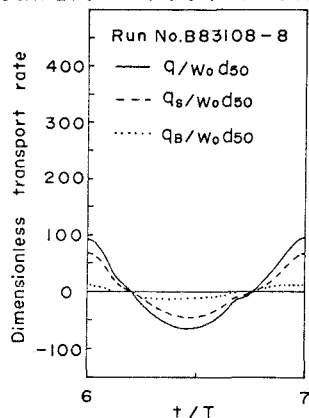


図2 無次元漂砂量の時間変化

量 $\overline{q_s}$ は一周期平均した全漂砂量 $\overline{q}$ にほぼ等しく、全漂砂量は境界層内の漂砂量で決定されることがわかる。

$\overline{q}/u_{bm} d_{50}$ と ϕ' との関係をInman・Bowen (1963)と野田・松原 (1978)の実験結果とともに図3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の観測結果に基づく解析結果であり、各記号のうち白抜きおよび黒塗りは漂砂の移動方向が岸向および沖向きのものである。解析結果の移動方向は全て岸向きであり ϕ' が増大するにつれて $\overline{q}/u_{bm} d_{50}$ 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ものをみると両者はよく似た傾向を示す。

石原・榎木(1963)が提案した漂砂量 $\overline{q}/u_{bm}^2 T$ と砂の移動限界流速 u_{bc}/u_{bm} との関係は比例定数を野田・松原が用いた 1.5×10^{-6} とするとほぼ説明できるようなのである。しかしながら、砂の移動限界流速を算出する際、底面近傍の流れを野田・松原は層流著者らは乱流として取り扱った。こうした取り扱いの違いによる移動限界流速については今後さらに検討するつもりである。

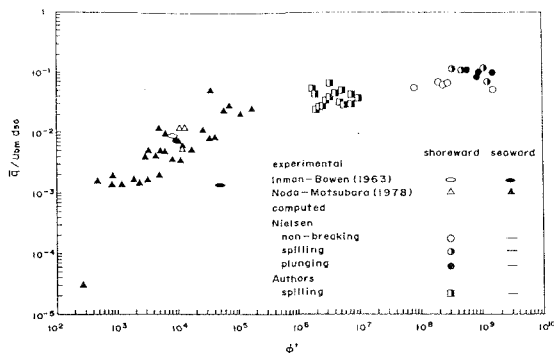


図3 $\overline{q}/u_{bm} d_{50}$ と ϕ' との関係