

波動場における浮遊砂濃度

愛媛大学工学部 正員 ○伊福 誠

愛媛大学工学部 正員 柿沼忠男

1. まえがき

著者らは、現地海岸の砂波帯での波・流れと浮遊砂濃度の観測から、海底近傍で断続的に高い値を示す浮遊砂濃度と岸沖方向流速との関係および波1周期内での岸沖方向流速と浮遊砂濃度との位相差についての若干の基礎的資料を得ている。

本研究は乱流境界層理論に基づき乱流境界層内の流速とともに波動場における浮遊砂濃度を解析し、現地観測で得た浮遊砂濃度および流速と浮遊砂濃度の位相差を理論的に解明しようとしたものである。

2. 基礎方程式と初期条件、境界条件

基礎方程式

境界層内の流速：流体が非圧縮性かその運動が非定常な場合の鉛直1次元境界層方程式は式(1)のようにならわせる。

$$\frac{\partial u_d}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial u_d}{\partial z} \right) \quad (1)$$

ここに、 t は時間、 u_d は欠損速度、 N_z は渦動粘性係数である。

濃度：沈降速度 w を持つ物質の鉛直1次元の拡散方程式は式(2)のようにならわせる。

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

ここに、 C は物質の濃度、 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)の初期条件および境界条件は、それぞれ式(3)および(4)とする。

$$u_d(z, 0) = -u_{bm} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} u_d(z_0, t) &= -u_b(\delta_b, t) \\ u_d(\delta_b, t) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、 u_{bm} は境界層外縁の最大流速、 z_0 は粗度長、 u_b は境界層外縁の流速、 δ_b は境界層厚である。

式(2)の初期条件および境界条件は、それぞれ、

式(5)および(6)とする。

$$C(z, 0) = 0 \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} C(0, t) &= C_0(t) \\ K_z \frac{dC}{dz} + w_0 C &= 0 \quad z=h \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここに、 $C_0(t)$ は底面における濃度、 h は水深である。

3. 数値解析

式(1)および(2)は差分法(クラーク - ニコルスン法)を用いて解析する。鉛直座標は100分割し、底面から粒径の3倍の高さまでを粒径の1/2の等間隔、それより海面までを等比級数により分割する。また、時間には波の1周期を32分割する。

渦動粘性係数は浅野ほか(1984)にならう、次式で与える。

$$N_z = \alpha K u_* z \quad (7)$$

ここに、 α は1より小さい比例定数、 K はカルマン定数、 u_* は摩擦速度($\sqrt{u_{bm}}$ 、 f :海底摩擦係数)である。海底摩擦係数は著者らの経験式を用いて求める。

粗度長はBakker - van Doorn(1978)にならう、次式で与える。

$$z_0 = \eta / 33 \quad (8)$$

ここに、 η は砂れんの高さであり、次式で示される

Nielsen(1982)の経験式を用いて算出する。

$$\eta / a_m = 21 \theta^{-1.85} \quad (9)$$

ここに、 a_m は海底における水粒子軌道の長軸の半分長、 $\theta = f_f u_b^2 / (f_s - f_f) g d_{50}$ (f_f, f_s は流体、物質の密度、 g は重力の加速度、 d_{50} は物質の中央粒径)である。

境界層厚は野田(1969)にならう、次式で与える。

$$\delta_b = 25 \delta' \quad (10)$$

ここに、 $\delta' = \sqrt{\nu T / 2\pi}$ (ν :流体の動粘性係数、 T :波の周期)である。

底面の濃度はKalkanis(1965)の理論を用いると次式のようにならわせる。

$$C_0 = \frac{2}{3} \rho \rho_s' d V / \delta_b \bar{u}_s \quad (11)$$

ここに、 ρ_s' は物質の乾燥密度、 d は粒径、 V は物質の伝播速度、 δ_b は掃流層厚、 $\bar{u}_s$ は掃流層内の断面平均流速、 ρ は物質の動き始める確率が次式のようにあらわされる。

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{B_* \psi - \frac{1}{\eta_0}}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (12)$$

ここに、 $B_* = 4/3 C_L \eta_0$ (C_L : 揚力係数、 η_0 : 経験的に求まる定数) である。

式(12)中の物質の伝播速度は掃流層内の断面平均流速に等しいと仮定する。

乱流拡散係数は次式のように鉛直方向に線型に変化すると仮定する。

$$K_z = \beta N z \quad (13)$$

ここに、 β は比例定数である。

4. 観測結果

表1は現地観測で得た有義波高、有義波周期、平均水深、海底から4 cmの高さで得た、平均浮遊砂濃度、砕波の発生頻度を示したものである。

5. 解析結果

現地観測で得た有義波高、有義波周期、平均水深をもとに波高0.45 m、周期4.5 s、水深2 mとしたパラメトリック解析を行った。上記の波はストークス波の第3次近似解が適用される領域にある。

図1は境界層内の流速を境界層外縁の流速とともに示したものであり、(a)は $z = 0.02$ cm、

(b)は0.50 cmのものである。底面に近いほど波形の前後非対称の度

合いが大きいのことがわかる。

図2は1周期平均の濃度分布と観測結果とを比較したものであり、図中の黒丸が観測結果である。観測結果とよく合っている実線は $\alpha = 0.1$ 、

$C_L = 0.2$ 、 $\beta = 2.4$ 、掃流層厚を粒径の2倍としたものである。濃度分布は

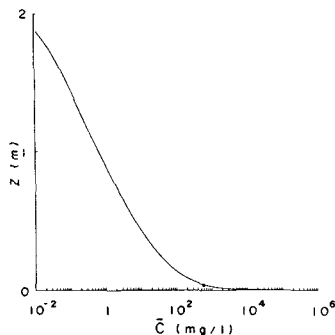


図2 1周期平均の濃度分布;
(—) $\alpha = 0.1$, $C_L = 0.2$, $\beta = 2.6$
(•) Observed

「く」の字形を示し、底面近傍で急激な変化がみられる。

図3は現地における等向き流速(海底から7 cmの高さ)の最大値に対する濃度の最高値の位相差の頻度分布を計算して得た濃度波形と比較したものである。現地における位相差の頻度分布は $\pi/2$ と $13\pi/10$ のところで高い値を示し、計算した濃度波形はそうしたところをピークが生じており、観測結果をうまく説明しているようである。

表1 観測結果

試料	平均水深 (m)	波		平均流速の 濃度 (mg/l)	砕波の発生 頻度 (%)
		波高(m)	周期(s)		
BA83108-1	1.93	0.47	4.4	524	15
BA83108-2	1.95	0.41	4.5	586	17
BA83108-3	2.01	0.46	4.6	596	13
BA83108-5	2.05	0.46	4.7	596	18
BA83108-6	2.08	0.45	4.6	711	16
BA83108-7	2.11	0.47	4.7	808	16
BA83108-8	2.15	0.53	5.5	789	14

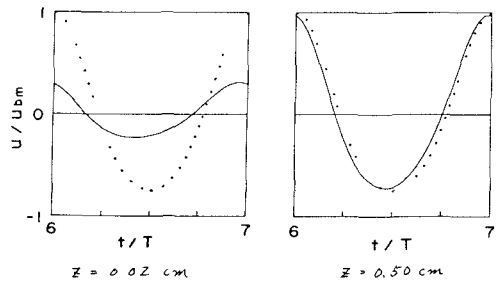


図1 境界層内の流速 (—) 境界層内の流速
(...) 境界層外縁流速

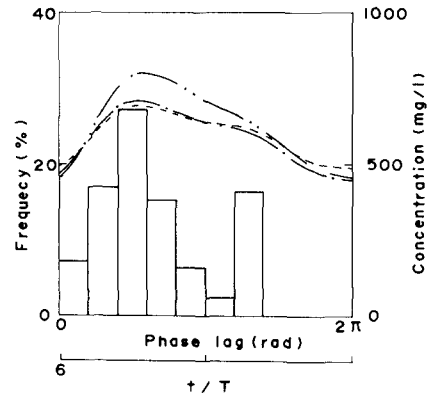


図3 現地における等向き流速-濃度位相差の頻度分布と計算して得た濃度波形;

	α	C_L	β
(---)	0.1	0.2	2.6
(-.-)	0.2	0.2	1.4
(-.-.-)	0.4	0.2	0.8