

研殺帯における汚濁砂の濃度分布
 - Nielsen の観測結果(1984) と混合距離論に基づく数値解析 -

愛媛大学大学院 学生員・後藤博光
 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1983年から和歌山湾の研殺帯において冬期
 季節風時に投・束と汚濁砂濃度の観測を実施してきた
 が、汚濁砂濃度は一点のみの観測であるため鉛直方向に
 いかなる濃度分布をするかは明らかでない。Nielsen(1984)
 は現地海岸の研殺帯において投・束と底面近傍の7点
 で汚濁砂濃度の観測を実施し、底面近傍における汚濁砂
 濃度の鉛直分布を得ている。

本研究ではNielsenの観測資料を用いて境界層内の流速
 を算出し、この流速を用いてKalkanis(1965)の手法に従
 い底面の濃度を与えて乱流拡散方程式を解くことにより
 投動場における汚濁砂濃度を解析してNielsenの現地観測
 結果を説明し、著者らの解析手法の妥当性を検証しよう
 とするものである。

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-次元境界層方程式は一般に次式のように
 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 を持つ物質の鉛直-次元拡散方程式
 は次式のようにあらわされる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + W_0 \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + W_0 \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2)$$

ここに、 C は濃度、 W_0 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

$$\left. \begin{aligned} u(z, 0) &= 0 \\ u(z_0, t) &= 0 \\ u(\delta_b, t) &= u_b(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} C(z, 0) &= 0 \\ C(\delta_b, t) &= C_0(t) \\ K_z \frac{dC}{dz} + W_0 C &= 0, z = R \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに、 z は相度長、 u_b は境界層外縁の流速、 δ_b は境
 界層厚、 $C_0(t)$ は掃沫層内の濃度、 R は水深である。

3. 数値解析

式(1) および式(2) は差分法(クランク-ニコルス
 ン法)を用いて解析する。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
 級数的に分割する。なお分割点数は101である。時間
 間隔は $T/96$ (T : 投の周期)とする。

摩擦応力は、Prandtlの混合距離論に基づくとして

$$\tau = \rho_f (K_z)^2 \left[2u / \partial z \right] \partial u / \partial z \quad (5)$$

とあらわされる。

境界層厚は野田(1969)に於いて、 $\delta_b = 2.5 \delta' (\delta' =$
 $\sqrt{\tau / T / 2\pi}, \nu$: 流体の動粘性係数)で与える。

相度長はBakker-van Doorn(1978)に於いて、 z_0
 $\eta / 33$ (η : 砂の粒径の高さ)とし、砂の粒径の高さはNielsen
 (1981)の経験式 $\eta a_m = 2/\theta^{1.85}$ (a_m : 海底における水
 粒子軌道の半分長、 $\theta = \rho_f u_{bm}^2 / (\rho_s - \rho_f) g d_{50}$, ρ_f :
 物質の密度、 g : 重力の加速度、 d_{50} は物質の中央粒
 径)を用いて算出する。

底面の濃度はKalkanis(1965)の理論を用いると

$$C_0 = 2P\rho_s dV / 3\delta_b \bar{U}_s \quad (6)$$

ここに、 ρ_s は物質の乾燥密度、 d は粒径、 V は物質の
 移動速度、 $\bar{U}_s$ は掃沫層内の断面平均流速、 P は物質
 の動き初める確率で次式のようにあらわされる。

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{B_* \psi - 1/\eta_0}^{\infty} \exp(-z^2/2) dz \quad (7)$$

ここに、 $B_* = 4/3 C_L \eta_0$ (C_L : 揚力係数、 η_0 : 経験定
 数)、 $\psi = (\rho_s - \rho_f) g d / \rho_f u_b^2$ (u_b : 物質に作用する
 流速)である。

乱流拡散係数は次のように仮定する。

$$K_z = \gamma \{ l_z W^2(z, t)/q + l_t U^2(z, t)/q \} \quad (8)$$

ここに、 $q = \{ U^2(z, t) + W^2(z, t) \}^{1/2}$, l_z , l_t は特性長であり、 $l_z = \alpha l_t$ (α : 比例定数) である。

4. 解析結果

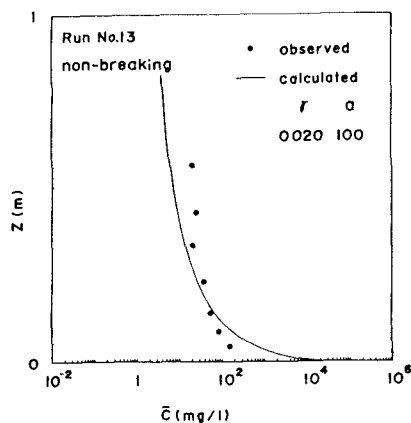
Nielsen が観測で得た有義波高 0.33 ~ 0.78 m, 有義波周期 7.1 ~ 14.4 s, 平均水深 0.94 ~ 1.8 m, 底質の中央粒径 0.12 ~ 0.22 mm を用いてパラメータ解析を行った。なお、観測で得た有義波はクノイド波理論が適用される領域にある。境界層外縁および境界層外の流速は Chappelair によるクノイド波のオズバシ解を用いて算出した。

図 1 は一周平均の濃度分布を示したものであり、図中の黒丸は Nielsen の観測結果、実線は計算結果である。

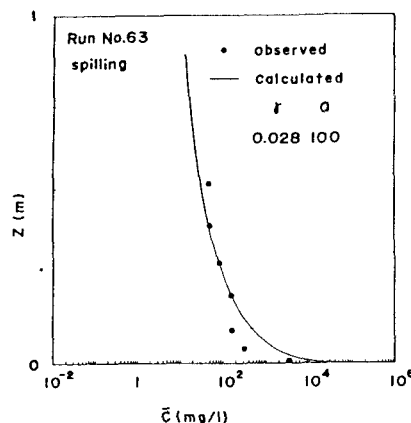
(a) は非研殺, (b) および (c) はそれぞれ spilling 型および plunging 型のものである。非研殺のものでは計算値と観測値は底面付近と底面から 50 cm 程度の高さ付近で若

干差がある。spilling 型のものでは計算値は底面付近で観測値より大きい。plunging 型のものでは計算値は非研殺, spilling 型に比べ底面付近でも観測値とよく合い、観測結果をうまく説明しているようである。

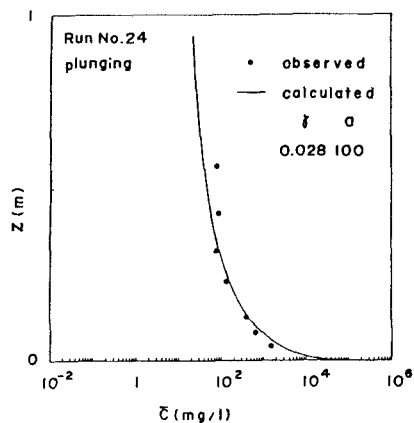
図 2 は有義波高と中央粒径の比 $H_{1/3}/d_{50}$ と γ の関係を示したもので、図中には柳井手海岸の解析結果も示してある。Nielsen の非研殺, spilling 型および plunging 型のもは $H_{1/3}/d_{50}$ が大きくなるにつれて γ の値は小さくなり両者には負の相関がある。また、同一の $H_{1/3}/d_{50}$ では研殺型式が plunging 型, spilling 型, 非研殺に存るにつれて γ の値は小さい。研殺型式が spilling 型である著者らのものは Nielsen の spilling 型のものに似た傾向を示すようである。



(a) 非研殺



(b) spilling 型



(c) plunging 型

図 1 平均流速濃度の鉛直分布

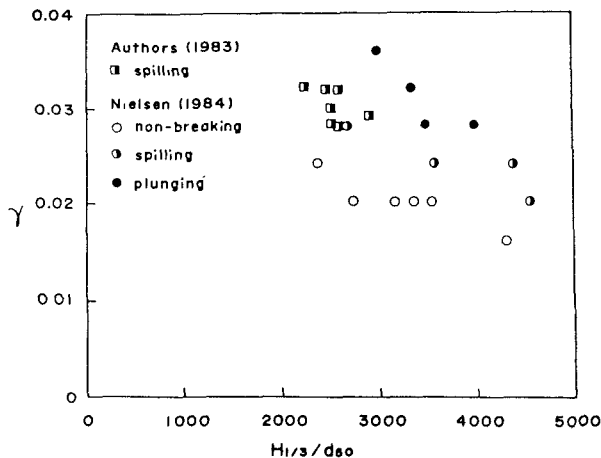


図 2 $H_{1/3}/d_{50}$ と γ の関係