

沈降性粒子を含む開水路流れにおける移流分散

(そのII)

九州工大 正 員 藤崎一裕

九州工大 学生員〇林 秀樹

九州共立大 正 員 粟谷陽一

1. まえがき

浮遊砂のある開水路流れにおける移流分散現象について検討した。流れの中に粒子が懸濁されていると、粒子濃度の鉛直方向の分布に基づいて水深方向に安定な密度勾配が生じる。この密度勾配は乱れの強度を減少させる方向に作用し、流速分布や粒子濃度分布に影響を及ぼす。このような流れの場における縦分散現象について調べた。流れは開水路2次元等流とし、渦動粘性係数のモデルとしては混合距離モデルと $k-\varepsilon$ モデルの場合について検討した。また、水路底部への粒子の沈積はない場合を対象にした。

2. 基礎式

図1の様に流下方向に x 軸、水路底部より鉛直上方に y 軸をとり、常用の記号を用いて運動方程式及び粒子の保存則が以下の(1), (2)式で表わされる。

$$0 = (1 + D\bar{C}_s) \frac{d}{dy} \left(\bar{v}_t \frac{d\bar{u}}{dy} \right), \quad D = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} \langle C_s \rangle \quad (1)$$

$$0 = \frac{d}{dy} \left(\beta \bar{v}_t \frac{d\bar{C}_s}{dy} + \bar{w}_0 \bar{C}_s \right), \quad \beta = 1, \quad \bar{C}_s = \frac{C_s}{\langle C_s \rangle} \quad (2)$$

$$\langle C_s \rangle \equiv \int_0^1 C_s(\bar{y}) d\bar{y}$$

ここに、

$$\bar{u} = u/u_*, \quad \bar{y} = y/h, \quad \bar{w}_0 = w_0/u_*, \quad \bar{v}_t = v_t/hu_*$$

w_0 : 粒子沈降速度, ρ_s : 粒子密度, ρ_0 : 流体密度である。

渦動粘性係数については以下の2つの場合について検討した。

1) 混合距離モデル

このモデルでは乱れに及ぼす密度勾配の影響として、Monin-Obukhovの理論を用いる。^{1) 2)}このとき

$$\bar{v}_t = \kappa \bar{y} (1 - \bar{y}) (1 + \alpha \bar{y}/L)^{-1} \quad (3)$$

$$L = \frac{u_*^3}{\kappa g D w_0 h} \quad (4)$$

$$\kappa = 0.4, \quad \alpha = 6.0$$

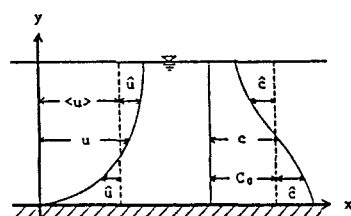


図1 座標系

$\bar{L}$ は一般流と粒子懸濁によるエネルギーの比に対応する。

2) $k-\varepsilon$ モデル

このモデルでは渦動粘性係数は次の様に与えられる。

$$\frac{d}{dy} \left(\bar{v}_t \frac{d\bar{u}}{dy} \right) + \bar{v}_t \left(\frac{d\bar{u}}{dy} \right)^2 + \frac{1}{F_{dc}^2} \frac{\bar{v}_t}{\sigma_t} \frac{d\bar{C}_s}{dy} - \bar{\varepsilon} = 0 \quad (5)$$

$$C_{1*} \frac{\bar{\varepsilon}}{k} \left[\bar{v}_t \left(\frac{d\bar{u}}{dy} \right)^2 + (1 - C_{3*}) \frac{1}{F_{dc}^2} \frac{\bar{v}_t}{\sigma_t} \frac{d\bar{C}_s}{dy} \right] + \frac{d}{dy} \left(\bar{v}_t \frac{d\bar{\varepsilon}}{dy} \right) - C_{2*} \frac{\bar{\varepsilon}^2}{k} = 0 \quad (6)$$

$$\bar{v}_t = C_{\mu} \frac{k^2}{\bar{\varepsilon}} \quad (7)$$

$$F_{dc} = \frac{u_*}{\sqrt{Dgh}}, \quad k = k/u_*^2, \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon h/u_*^3$$

モデル定数はこの種の計算³⁾によく利用されている値を主として用いた。 $(\sigma_k = \sigma_t = 1.0, \sigma_{\varepsilon} = 1.3, C_{1*} = 1.44, C_{2*} = 1.92, C_{3*} = 2.5, C_{\mu} = 0.09)$

分散係数はTaylorやElder⁴⁾による手法をそのまま用いて計算した。濃度分布を(8)式で仮定すると、分散係数 D_L は(9)式で与えられる。 $C(\bar{y}) = C_0(1 + k_1 \bar{x}_1) + \bar{C}(\bar{y})$ (8)

$$\bar{x}_1 = \bar{x} - \langle \bar{u} \rangle \bar{t}, \quad k_1: \text{const.}$$

$$D_L = D_L/hu_* = -\frac{1}{k_1} \int \hat{u} \hat{c} d\bar{y} = -\frac{1}{k_1 C_0} \int \hat{u} \int \frac{1}{\beta \bar{v}_t} \int \hat{u} d\bar{y}^3 \quad (9)$$

$$\hat{u} = \bar{u} - \langle \bar{u} \rangle$$

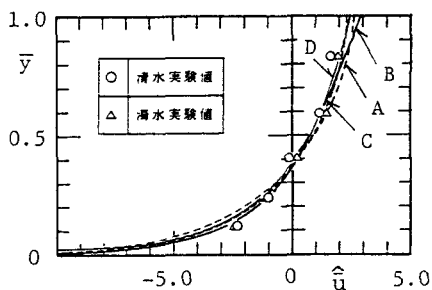


図2 $\hat{u}$ の鉛直分布

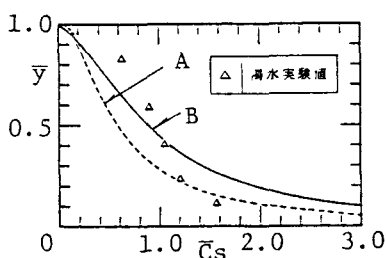


図4 粒子濃度分布

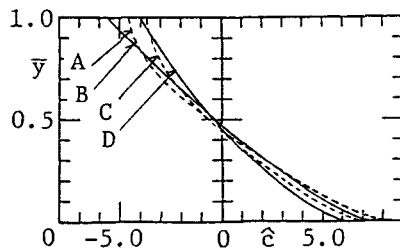


図3 $\hat{C}$ の鉛直分布

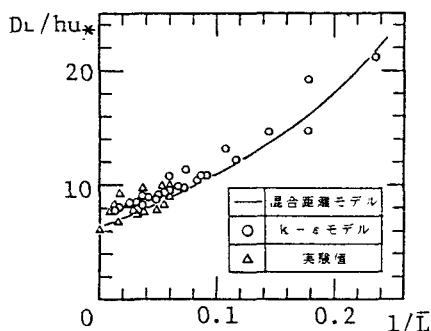


図5 $D_L / h u_*'$ と $1/\bar{L}$ との関係

3. 実験結果及び考察

図2に流速分布、図3に付加的な濃度分布、図4に粒子濃度分布の例を、図5に分散係数と $1/\bar{L}$ との関係を示した。図2～図4における計算条件を表1に示す。なお、C、Dは、それぞれ清水の場合における $k-\epsilon$ 、混合距離モデルの理論曲線である。これらの図には、粒子懸濁による安定な密度勾配の影響が現れている。また、 $k-\epsilon$ モデルと混合距離モデルの計算結果の差は小さい ($F_{dc}^2 = \bar{L} \cdot \bar{w}_0 \cdot \kappa$ の関係がある)。図5中に実験結果を Δ でプロットしている。

実験は図6に示す幅40cm、長さ10mの水路を用いて行ない、懸濁粒子としては(63~105 μ m、平均沈降速度0.46cm/secに整粒した)標準砂を用いた。また、流速の測定は6mm ϕ のプロベ流速計、粒子濁度の測定には手製の濁度計を用いた。分散実験には低濃度(0.3%)の塩水を用いた。投入点及び塩分濃度計の位置は図6に示されている。計算値は実験値をほぼ再現しているが粒子濃度分布中には、粒子群の粒径の分布に起因する誤差も含まれている。終わりに本研究に協力された本学大学院生の大木宏之君、4年生の上田 宏君、下木 哲君に感謝する。

表1 計算条件

	$F_{dc} = u_*' / \sqrt{DgH}$	$\bar{w}_0 = w_0 / u_*'$	D	$\bar{L}$	$1/\bar{L}$	$D_L / h u_*'$
A ----	1.126	0.190	1.22×10^3	16.68	0.06	9.62
B ———				16.68	0.06	8.90

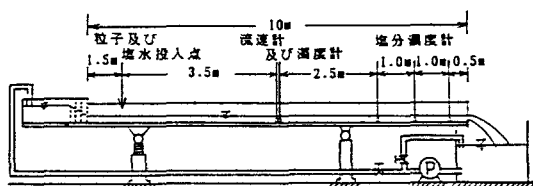


図6 実験装置の概略図

4. 参考文献

- 1) Itakura and Kishi; P. ASCE, Vol. 106, No. HY8, 1980, pp. 1325-1343
- 2) 日野; 土木学会論文集, 第92号, 1963
- 3) 福嶋; 第30回水理講演会論文集, 1986, 2, pp. 63-636
- 4) Elder, J. W.; J. Fluid Mech. 1959, 5 pp. 544-560