

開水路浮遊砂流について

九州工業大学(正) 藤崎 一裕

九州工業大学(学)○中尾 誠二

九州共立大学(正) 栗谷 陽一

1. まえがき

筆者らはこれまでに、沈降性粒子を懸濁した開水路流れについて実験を行い、その結果を $k-\varepsilon$ モデルを用いた解析結果と比較検討してきた。本研究ではその延長として、数値解の実験値に対する適合性を調べるとともに、粒子懸濁による安定な密度勾配が流れに及ぼす影響などについて考察する。

2. 実験

実験には幅40cm、長さ10mの亚克力製水路を用いた。水路の勾配1/500, 1/650に設定し、上流端より7.5mの水路中心部で水深方向の濃度と流速の分布を測定した。

開水路の概略図は図1、実験条件は表1に示されている。

流速は直径2mmのビーター管と圧力センサー(可変リクタ

ンスジャー DP 15)を用い、粒子の濁度は、サイフォンでサンプリングして直接測定を行った。

使用した粒子は嘉穂珪砂を粉碎したもので流速及び濃度の測定値を図2, 3にプロットして示す。

3. 理論解析と考察

図2 流速分布

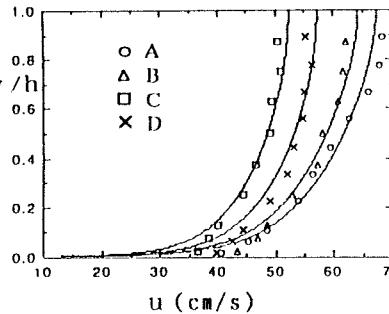


図1 開水路概略図

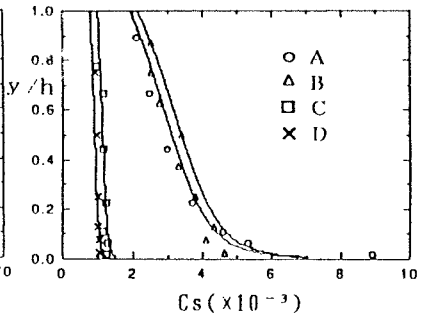
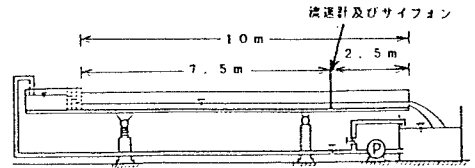


図3 濃度分布

図4のように座標軸とり、常用の記号を用いて流れ方向の運動方程式及び浮遊砂の拡散方程式が以下のように与えられる。

$$0 = (1 + D \overline{C_s}) + \left(\frac{u_*}{u_*} \right)^2 \frac{d}{dy} \left(\overline{v_i} \frac{d\overline{u}}{dy} \right) \quad (1)$$

$$0 = \frac{d}{dy} \left(\overline{v_i} \frac{d\overline{C_s}}{dy} + \overline{w} \overline{C_s} \right) \quad (2)$$

$$y = y/h, \quad \overline{u} = u/u_*, \quad \overline{w} = w_*/u_*, \quad \overline{C_s} = C_s/(C_{s*})$$

$$D = \Delta \rho / (C_s), \quad \overline{v_i} = v_i / h u_*, \quad \beta = 1$$

一方、 $k-\varepsilon$ モデルによると、渦動粘性係数 ν_t は以下のように与えられる。

$$\frac{d}{dy} \left(\overline{v_i} \frac{d\overline{k}}{dy} \right) + \overline{v_i} \left(\frac{d\overline{u}}{dy} \right)^2 + \frac{D}{F_*^2} \overline{v_i} \frac{d\overline{C_s}}{dy} - \overline{\varepsilon} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d}{dy} \left(\overline{v_i} \frac{d\overline{\varepsilon}}{dy} \right) + C_1 \frac{\overline{\varepsilon}}{k} \left[\overline{v_i} \left(\frac{d\overline{u}}{dy} \right)^2 \right] + (1 - C_2) \frac{D}{F_*^2} \overline{v_i} \frac{d\overline{C_s}}{dy} - C_3 \frac{\overline{\varepsilon}^2}{k} = 0 \quad (4)$$

$$\overline{\nu_t} = C_* \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

$$F_* = u_* / \sqrt{D g h}, \quad k = k / u_*^2, \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon / (u_*^3 / h)$$

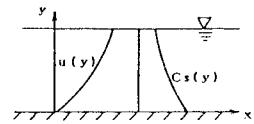


図3 座標軸

モデル定数は $\sigma_k = \sigma_\epsilon = 1.0$, $\sigma_\omega = 1.3$, $C_{1\omega} = 1.44$, $C_{2\omega} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, $C_{3\omega} = 2.5$ とした。 $C_{3\omega}$ 以外は広く用いられている。

数値計算では、粒子は底部での沈積がないものとし、水路底部で対数則を仮定し、水面では u, ϵ については対象条件を用い、 k については欄津ら¹⁾が提唱している方法によった。

数値解を実験値と比較したのが図2,3に実線で示されている。これらの図によると計算値は実験値を比較よく再現している。

本報では、 $k-\epsilon$ モデルのモデル定数 $C_{3\omega} = 2.5$ とした。この値はこれ

までの筆者らの移流分散係数に関する検討などから得られた結果²⁾にもとづいている。一般に、 $C_{3\omega}$ 値の現象に及ぼす影響は小さいといわれている。事実、本報のような場合には、 k, ϵ それぞれについて調べると $C_{3\omega}$ の変化に対するそれぞれの値の変化は小さい。

しかし、図5に示されているように(5)式で求めた ν_t の値にはその影響が比較的に明瞭にあらわれている。これは、渦動粘性係数 ν_t は式(5)をみると k の値は二乗され、また、 ϵ の逆数が掛けられているため k, ϵ のわずかな変化でも ν_t に影響してくるためと思われる。

また、流速に及ぼす $C_{3\omega}$ の一例が図5に示されている。これをみるとわずかではあるが、 $C_{3\omega}$ が増加するに従って水面付近の流速が増加し、水路底部付近の流速は現象していることがわかる。

図6,7は混合距離 l や渦動粘性係数 ν_t に及ぼす密度勾配の影響を調べたもので、横軸には局所Richardson数 Rf がとられている。図中のプロットした点は本報告で用いた種々の流れ場の計算結果からとりだしたものである。 l_0, ν_{t0} は清水の場合の値を示す。これらの図から、ここで求めた密度勾配による乱れの抑圧効果は従来得られていた結果と類似していることがわかった。

最後に、本実験に協力された九州工業大学学生、中村祐一君に感謝します。

参考文献

- 1) 欄津家久・中川博次：京大防災研究所年報，第29号B-2，pp647～673.
- 2) K.Fujisaki, N.Yositake, H.Hayasi, Y.Awaya: Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering Vol.10, No.2, November, 1992, 27-37
- 3) Munku, W.H. and Anderson, E.R.: Journal of Marine Research, Vol.7, 276-295, 1948
- 4) Odd, N.V. and Roger J.G.: Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.104, No. HY3, pp.337-351, 1978
- 5) 古本勝弘・薦田広章・一ノ瀬一雄・植東一朗：第31回水理講演会論文集，pp.461-466, 1987
- 6) West, H.r. and Shiono, K.: Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol.26, pp.51-66, 1988

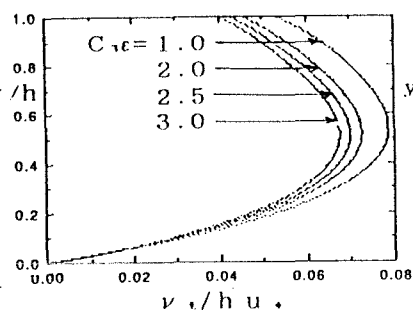


図4 渦動粘性係数の分布

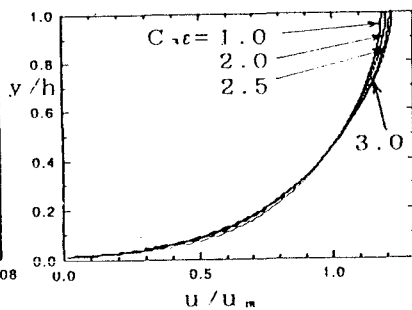


図5 流速分布

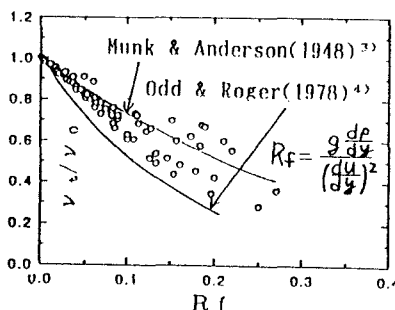


図6 渦動粘性係数の分布

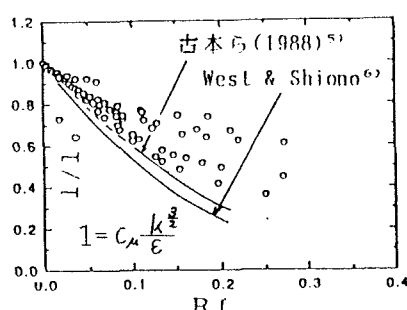


図7 混合距離の分布