

II-30

粒子特性が浮遊砂流に与える影響について

福島工業高等専門学校 建設環境工学科 学生会員○鈴木 智美

福島工業高等専門学校 建設環境工学科 正会員 菊地 卓郎

長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 福嶋 祐介

1. はじめに

浮遊砂流の流動特性を知ることは河口付近における砂州の堆積問題や堆積・輸送が植生層に与えるインパクトなど河川管理上重要である。

著者ら¹⁾は、浮遊砂流に対して $k-\varepsilon$ 乱流モデルを適用し、流動特性を説明できることを示した。しかし、比較に用いた実験データは粒径が小さく、単一粒径のみであり、粒径の大きさや分布が流動特性に与える影響についての検討までには至らなかった。本研究では粒径が混在する粒径分布を考慮した数値モデルを提案し、従来の小さな粒径からかなり大きな粒径まで幅広い粒径を持つ様々な水理条件の浮遊砂流にモデルを適用し、粒径の大きさや粒径分布が浮遊砂流の流動特性に与える影響について検討を行った。

2. 数値解析モデル

数値解析モデルは、乱流運動エネルギー k と分子粘性逸散率 ε を未知数とした $k-\varepsilon$ 乱流モデルを採用した。基礎方程式は連続式、レイノルズ方程式、乱流運動エネルギー k 、分子粘性逸散率 ε 、濃度の輸送方程式である。単一粒径の濃度の輸送方程式は次のようになる。

$$\frac{v_t}{\sigma_t} \frac{dc}{dz} = -w_s \cos \theta c \quad \dots (1)$$

ここで、 c は砂粒子の体積濃度、 w_s は砂粒子の沈降速度である。また、 v_t は動粘性係数であり、次式で表わされる。

$$v_t = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \dots (2)$$

σ_t 、 c_μ は $k-\varepsilon$ 乱流モデルのモデル定数である。これをもとに粒径分布を考慮する。粒径を n 通りに分け、 k 番目の粒径を D_{sk} 、体積濃度を c_k とすると、濃度の輸送方程式は以下になる。

$$\frac{v_t}{\sigma_t} \frac{dc_k}{dz} = -w_{sk} \cos \theta c_k \quad (k=1,2,3) \quad \dots (3)$$

ここで、 w_{sk} は k 番目の粒径 D_{sk} に対する砂粒子の沈降速度である。

3. 計算結果と考察

解析値との比較には、Vanoni&NomikosのRun1, Run7(以降、VN1, VN7と省略)、Einstein&ChienのRun1, Run9(以降、E1, E9と省略)の実験結果を用いた。単一粒径の計算諸量を表-1、粒径分布を考慮した計算諸量を表-2に示す。

表-1 単一粒径の計算諸量

Run No.	VN1	VN7	E1	E9
diameter (mm)	0.105	0.161	1.300	0.940
Cb (%)	0.83	0.56	4.09	5.71
h (cm)	8.660	7.770	13.760	6.338
θ	0.0025	0.0026	0.0184	0.0184
ks/h	0.0550	0.0007	0.0080	0.0015
σt	0.9	1.3	1.0	0.8

表-2 粒径分布を考慮した計算諸量

Run No.	VN1			VN7			
diameter (mm)	0.081	0.096	0.114	0.114	0.136	0.161	0.192
ratio	0.35	0.50	0.15	0.11	0.39	0.38	0.12
Cb (%)	0.66			0.46			
h (cm)	8.660			7.770			
θ	0.0025			0.0026			
ks/h	0.0527			0.0007			
σt	0.9			1.3			
Run No.	E1				E9		
diameter (mm)	1.087	1.261	1.348	1.522	0.78	0.93	1.022
ratio	0.20	0.20	0.40	0.20	0.30	0.40	0.30
Cb (%)	4.08				5.53		
h (cm)	13.760				6.338		
θ	0.0184				0.0184		
ks/h	0.0080				0.0015		
σt	1.0				0.8		

図-1、図-2はVN1とE1の流速分布と濃度分布の解析結果を実験結果と比較したものである。単一粒径による解析、粒径分布を考慮した解析ともに実験値との分布形の一致は良好である。また、粒径が小さい場合には粒径分布を考慮したモデルが若干ではあ

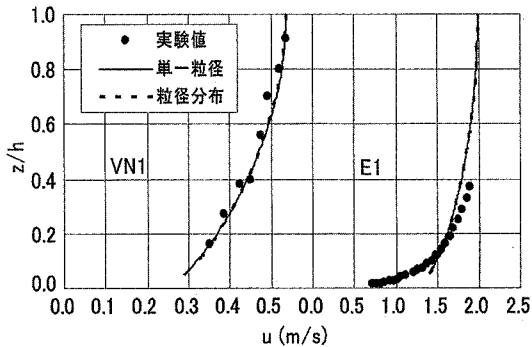


図-1 流速分布の数値解と実験値との比較

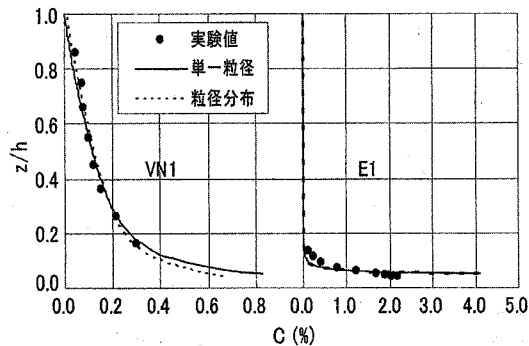


図-2 濃度分布の数値解と実験値との比較

るが、濃度分布がよりよく一致している。図には示していないが、VN7, E9 においても同様の傾向がみられた。粒径分布を考慮し、幅広い水理条件を持つ浮遊砂流に対しても今回提案したモデルは高い再現性を持つことが確認できた。

図-3 は VN1 と E1 について、各粒径ごとの濃度分布を示したものである。粒径が大きくなると沈降速度が大きくなるために、砂粒子が水面付近まで到達せずに濃度が減少していることがわかる。E1 においてはその傾向が顕著に現れ、粒径が 1mm 程度と大きいオーダーとなると粒径の違いによる濃度分布の違いはほとんどみられないことがわかった。

図-4 は全ケースの数値解析により得られた渦動粘性係数 $\tilde{\nu}_t$ を清水流に対して比較したものである。渦動粘性係数 ν_t は式(2)に示したように乱流運動エネルギー k と分子粘性逸散率 ε の関数として与えられる。すなわち、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルでは乱流運動エネルギー k と分子粘性逸散率 ε に対する方程式がモデルに組み込まれることによって、乱流構造の変化を評価することができる。粒径が大きい Einstein & Chien と粒径が小さい Vanoni & Nomicos の値を比

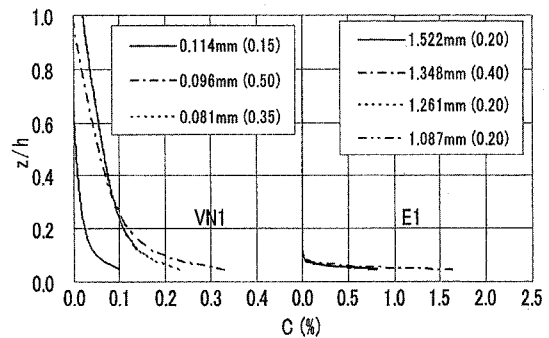


図-3 各粒径における濃度分布

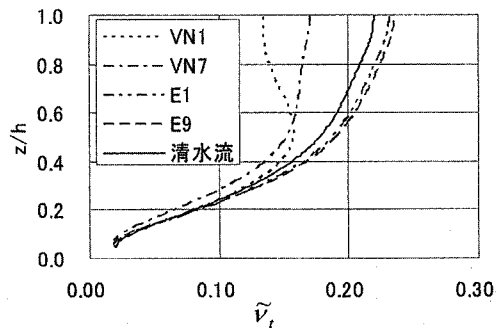


図-4 無次元渦動粘性係数

較すると水面付近で大きな違いがみられる。粒径が小さい場合には清水流に比べ小さく、粒径が大きい場合には同程度である。これは粒径が大きくなると、砂粒子の沈降速度が大きくなり、砂粒子が底面付近を流れることとなる。このことが水深全域にわたる乱流構造の変化につながらずに、清水流と同程度の渦動粘性係数の大きさとなったものと考えられる。

4. 結論

浮遊砂流の数値解析において、粒径分布を考慮できるモデルを提案した。その結果、浮遊砂流の流速分布、濃度分布ともに精度よく一致し、流動特性を説明できることを示した。粒径が大きくなると、沈降速度が大きくなり、浮遊砂が底面付近を流れるために、乱流構造の変化が小さく、水面まで伝わらないことがわかった。

5. 参考文献

- 1) 鈴木智美・菊地卓郎・福嶋祐介：平成 16 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要，pp.186-187, 2005