

浮遊砂流における粒径の大きさと乱流構造の関係について

福島工業高等専門学校 建設環境工学科 正会員 菊地 卓郎

1. はじめに

河川で観測される浮遊砂流は河床物質輸送量の中でも水の流れの乱れに直接支配される現象であり、この問題を解決するためには固液二相流における乱流構造と浮遊砂流との相互関係を考察する必要がある。

本研究では、浮遊砂流に対して粒径分布を考慮した $k - \varepsilon$ 乱流モデルを適用し、浮遊砂流の粒径と乱流構造の関係についての考察を行った。

2. 数値解析モデル

数値解析モデルは、 $k - \varepsilon$ 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 、粒径分布を考慮した浮遊砂の乱流拡散方程式であり、乱流拡散方程式は以下のように示される。

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

ここで、 c_k 、 w_{sk} はそれぞれ、 k 番目の粒径 D_{sk} に対する砂粒子の体積濃度、沈降速度である。また、 v_t は渦動粘性係数であり、次式で表わされる。

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

3. 流速分布と濃度分布

数値解析との比較に用いた実験は、Vanoni and Nomicos(以下 VN)と Vanoni(以下 V)と Einstein and Chien(以下 Ein)の合わせて 14 ケースの実験条件である。さらに粒径の大きさの違いによる乱流構造の違いを検討するために、VN1 の粒径のみを変化させて数値解析を行った。

計算を行う領域は水面から底面基準点高さまでの範囲とし、計算の刻み幅は全領域の 100 分割とした。

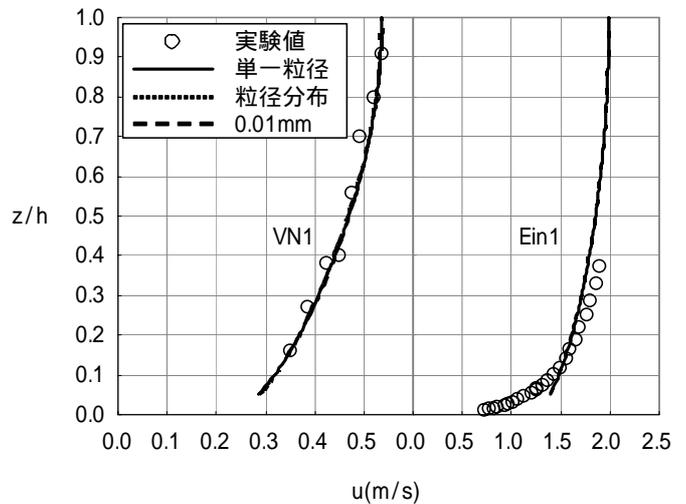


図 1. 流速分布

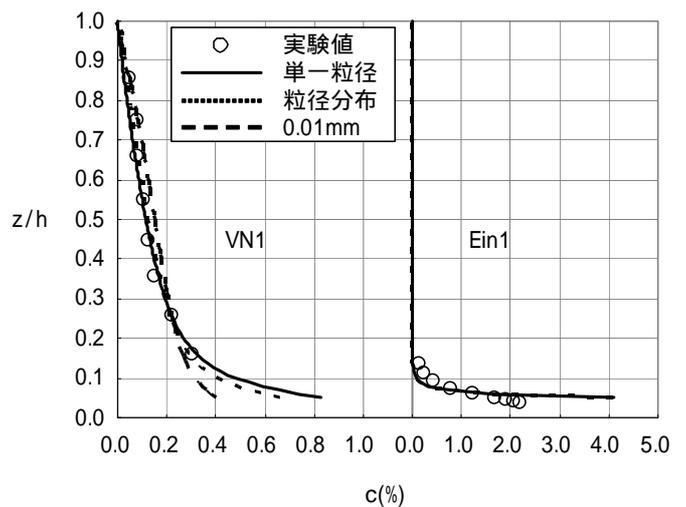


図 2. 濃度分布

ここで底面の基準点高さは水深 h の 5% とした。乱流拡散方程式を用いた場合には底面、またはごく近傍における砂の転動、跳躍を取り扱うことは困難なために、この基準点高さをどのように設定するかは重要である。今回は砂の状態を浮遊であるか跳躍であるかを区別せずに、浮き上がった砂の運動に対して底面近傍を基準点高さと考えた。そこでの境界条件として砂の連行係数を与えることによって、基準点高さより上部の砂粒子の輸送を表現した。図 1, 2 は VN1 と Ein1 の流速・濃度分布について、単一粒径の場合と粒径分布を考慮した場合の数値解析結果に VN1 の粒径のみを変化させて、数値解析を行った結

キーワード : 浮遊砂流, 砂粒子の粒径, 乱流構造
 $k - \varepsilon$ 乱流モデル, 渦動粘性係数

連絡先: 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30
福島工業高等専門学校 TEL 0246-46-0834

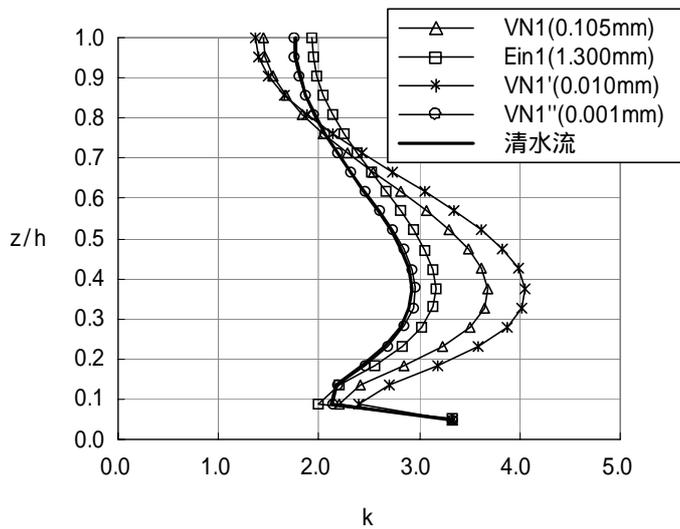


図3．無次元乱流運動エネルギー

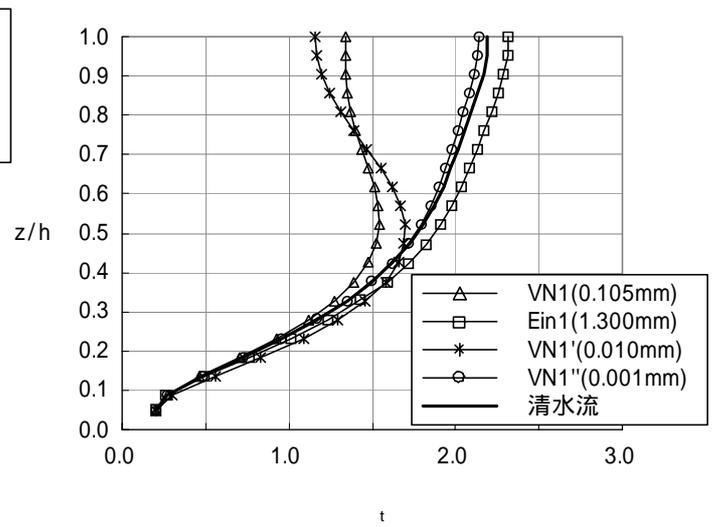


図5．無次元渦動粘性係数

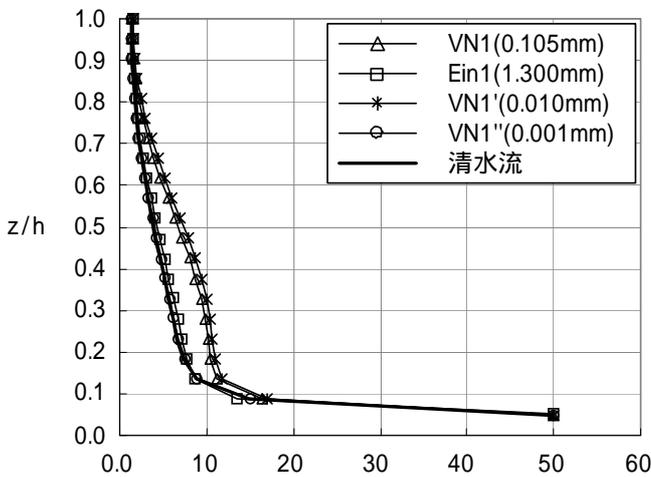


図4．無次元分子粘性逸散率

果も含めたものである。流速・濃度分布とともに、単一粒径の場合、粒径分布を考慮した場合の両方の解析において、実験値との分布形の一致は良好である。本数値モデルは、様々な幅広い水理条件の浮遊砂流に対して、流速・濃度分布とともに高い再現性を持つことが確認できた。粒径が 0.01mm 程度に小さくなると、流速分布には大きな影響を与えることなく、濃度分布において底面付近で分布形の違いが現れた。

4．乱流構造の変化

図3, 4, 5はVN1, VN1', VN1'', Ein1の数値解析結果より得られた無次元の乱れ運動エネルギー、分子粘性逸散率、渦動粘性係数を各実験条件と比較したものである。乱流運動エネルギーは $z/h = 0.2 \sim 0.6$ の範囲でVN1''を除くケースで値が大きくなって

る。また、水面付近において清水流の場合と比較して、粒径の小さいケースであるVN1, VN1'が小さな値となる一方、VN1''は清水流の場合と同じ値を示している。分子粘性逸散率はVN1, VN1'において $z/h = 0.1 \sim 0.7$ の範囲で値が大きくなり、底面付近では清水流の場合とほぼ同じ大きさの値となっている。渦動粘性係数は式(2)に示したように乱流構造の変化を評価する値であり、粒径の大きさによって水面付近で大きな違いが見られる。清水流に比べ、VN1, VN1'のように粒径が小さいと小さく、Ein1のように粒径が大きくなると清水流と同等の値となる。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ため、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。粒径がVN1''のようにさらに小さくなると、渦動粘性係数はEin1の実験条件のような粒径の大きい場合と同様に、清水流に近づき、乱流構造の変化に影響を与えないことが分かった。

5．まとめ

浮遊砂流において、渦動粘性係数の値を考察し、砂粒子の粒径と乱流構造の関係についての評価を行った。

参考文献

- 1) 菊地卓郎, 福嶋祐介: 固体粒子浮遊流の数値解析における粒子の連行係数, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, -245, pp.485-486, 2006