

掃流砂輸送による河道内の地形の変化

名古屋大学工学部土木工学科 村上陽子
 名古屋大学大学院 正会員 辻本哲郎
 名古屋大学大学院 正会員 高木不折

1. まえがき

今日、河道内の景観は、さまざまな人為的要因により、本来あるべき姿から大きく変化しているといわれている。特にダムの建設は、供給土砂量を減少させ、下流の河床材料の分布や河床勾配などセグメントの特性を変質させることによって、その場の地形、植生などの生態系にまで影響を与えている。本研究では、掃流砂についての平面 2 次元の数値解析によって、土砂の流入出の変化にともなう混合砂の分級現象と、それにともなう河道の地形の変化について考えるなかで、混合砂の粒径別流砂量式を検討する。

2. 混合砂の粒径別流砂量式の考え方

掃流砂の輸送では、河床の表面の薄い表層移動層の砂のみが動くと考えられている。粒径 d_i の砂の成分 i が p_i の割合で移動表層厚 θ_e 中に分布している混合砂の場合を考える。ここで θ_e は、最大粒径 d_{max} 程度とする。砂の移動限界としての限界掃流力 τ_{*c} については、Egiazaroff 式を芦田・道上が修正した式を用いた。また、対数則に基づく式を用いて、掃流力 τ_* を評価した。粒径分布 p_i は、平面 2 次元の枠組みで、移動層厚さを一定として時間変化を計算した。掃流砂量式として、芦田・道上による

$$q_{B*} = 17(1 - \tau_{*c}/\tau_*) \cdot (1 - \sqrt{\tau_{*c}/\tau_*}) \cdot \tau_*^{3/2} \quad (1)$$

が多く利用されているが、この式の 17 には、移動表層 θ_e 中の砂の個数に関わる分があり、流砂量を無次元化するに当たって、移動層厚、粒径比が入っている。粒径別の流砂量は、この式の τ_* 、 τ_{*c} を粒径別に評価した τ_{*i} 、 τ_{*ci} に置き換えた上で、それぞれの体積割合 p_i を乗じた形で表現されることが多い。これは、すべての粒径に対し、個々の粒径に比例した移動層厚を考えていることになっており、混合粒径のほとんど全てが移動中で、それぞれの粒径の比が大きい場合、大きい粒径のものにとっては θ_e を大きく、小さい粒径のものにとっては θ_e を小さくしていることになるため、小さい粒径の砂の移動を過小評価する傾向がある。実際には、小さい粒径の砂は、大きい粒径のものが移動した後に、下層にあったものが表面に露出するため、より移動しやすい。そのため、粒径ごとの移動表層厚 θ_{ei} は、粒径にかかわらず、一定の値をとったほうが、むしろ妥当であると考えられる。このとき、 θ_e 中の各粒径の砂の個数は、 $p_i \cdot \theta_e / d_i$ に比例する。これを、(1) の式の中で考慮し、無次元化するためには、平均粒径 d_m を用いて (1) の式に $p_i \cdot d_m / d_i$ をかければよい。この式によって推定される掃流砂量とその割合の変化を、式 (1) によって推

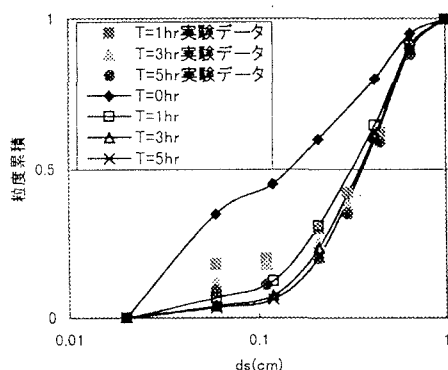


図1 d_m/d_i を乗じた場合の粒径分布の時間的変化

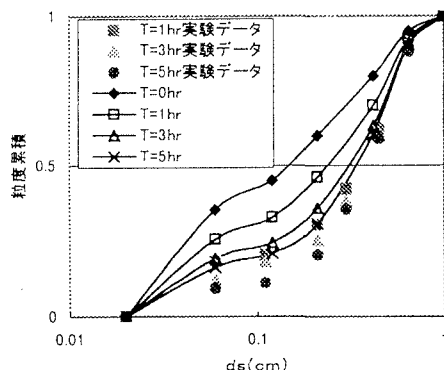


図2 d_m/d_i を乗じない場合の粒径分布の時間的変化

定されるものと比較する。

2. 浅水流モデルによる分級過程の解析

からみた粒径別流砂量の評価

ダム建設などにより上流からの流入土砂量が減少すると、そのすぐ下流から河床材料が粗粒化していく、いわゆるアーマー化がおこり、それが下流側へ伝播していくことが知られている。この、アーマー化の形成・伝播の過程を両方の式によって計算し、芦田らの実験結果と比較する。実験

は、勾配 $1/200$ 、流下方向長 2000cm の水路において、摩擦速度 $u_* = 5.13$ のほぼ等流の状態で行われ、1 時間後、3 時間後、5 時間後の粒度分布と河床の変化が測定された。上流端からの土砂供給はない。図 1、2 に上流端より 400cm の位置での粒度分布の変化を示すが、 d_m/d_i を乗じたものの方が、実験結果に比べて粗粒化の進行がはやいことがわかる。特に、小さい粒径の砂ほど動く量が多いように補正されるため、急激に割合が少なくなっている。それに対して、 d_m/d_i を乗じないものは、粗粒化の進行が実験結果に比べて遅い。また、初期の河床からの変化量をみても、 d_m/d_i を乗じたものの方が、急速に河床低下がすすんでいることがわかる。(図 3、4)

また次に、同じ条件で上流から平衡流砂量を与えたとき、 d_m/d_i を乗じないものは、粒度分布がほとんど変化しないのに対して、 d_m/d_i を乗じたものは、粒度分布が変化して細粒化している(図 5)。均一砂であれば、等流のもとで平衡流砂量をあたえたとき、河床は変化しないはずである。しかし混合砂の場合は、河床砂と移動砂の粒度組成は異なるはずであるから、 u_* によっては、河床高の変化が著しくなくとも、このように粒度変化を生じ、特に細砂がその後の河床変化をもたらして現象が進んでいく。むしろ、粒度分布の変化しない d_m/d_i を乗じないものの方が、計算の感度が鈍いとも考えられる。

4. あとがき

上の結果から、 d_m/d_i を乗じたものは、砂の動きを過大に評価しすぎるが、 d_m/d_i を乗じないものは、逆に小さく評価しすぎていることがわかる。この理由の 1 つに、後者のモデルでは移動表層 θ_e を d_i にかかわらず一定としているので、大きな粒径のものの下にある実際には動きにくい細砂が動いてしまうからである。これは、移動層厚一定で分級過程を考えるモデルとの整合性はよい。どちらのモデルも、完全であるとは言いがたく、2 つの方法の中間的なものと考えていくのがよいだろう。それには粗粒化だけでなく、河床上昇に伴う細粒化なども検討対象であると思われるが、これまで後者についての検討が少なく、知見を集積したい。

<参考文献> 中川 博次・辻本 哲郎：新体系土木工学 23 移動床流れの水理 技報堂出版 1986

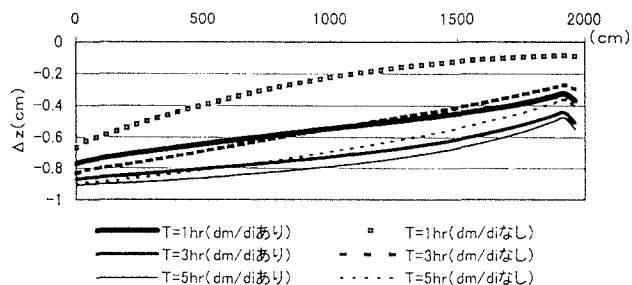


図3 水路中心における河床の変動量(Δz)の縦断面

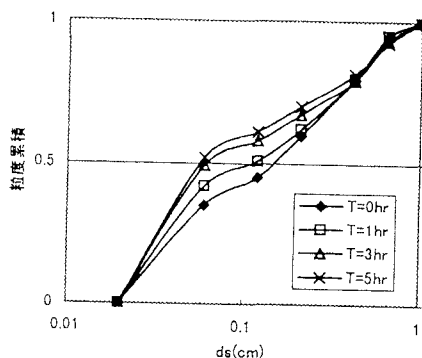


図4 平衡流砂量を給砂したときの細粒化 (d_m/d_i を乗じたとき)

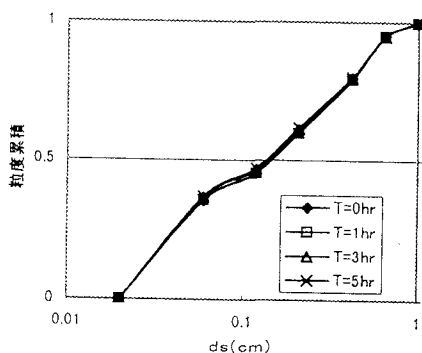


図5 平衡流砂量を給砂したときの細粒化 (d_m/d_i を乗じないとき)