

徳島大学工学部 正員 岡部 健士
徳島大学大学院 学生員 ○佐藤 昭二

1. まえがき: 混合砂礫床の掃流砂量に対しては、多くの有用な計算式が提案されている^{1),2)}。ただし、既往の諸式は、粒度分布幅がかなり広い場合や、アーマリングの進行に伴って河床表面砂礫の露出度分布に着しい片寄りが生じた場合には、いずれも適合性がかなり悪くなるようである。このような結果となる原因は、河床表面の凹凸特性を平均粒径のみで代表させている点にあることはいままでもなく、すでにその点に注目した理論的研究も進められてきている³⁾。しかし一方、上述のような混合砂礫床の流砂量特性に関しては、実験などによる資料の集積が若干不十分であることも指摘しておかねばならない。とくにアーマリング過程を対象にした流砂量実験では、河床表面の粒度分布の計測が重要であるが、既存の実験資料の中には、河床関係資料の物理的意義が明確でないものもかなり多い。

以上のような現状をかんがみて、筆者らは、まず、粗粒砂礫の露出状態が大きく変化する河床低下のモデル実験を行ない、このような条件下の流砂量特性を議論するための基礎資料を得た。ここでは、河床表面の粒度分布を的確に計測するよう、とくに配慮した。ついで、得られた資料に基づき、既往の流砂量式の適合性に定量的な検討を加えた。

2. 実験概要: 実験には、幅0.35m、長さ6m、深さ0.3m

勾配1/50の長方形断面水路を用いた。まず、この水路の上・下流部に図-1のような可動砂止めを設置し、この間に粒径範囲が0.8mm~3.0mmの混合砂礫を敷きつめ河床モデルとした。そして、これを流水により元河床とはほぼ平行に約1cmずつ、8段階に侵食低下させ、この過程(step1~step8)の中で、河床表面の粒度分布の変化と、これに応じた流砂量特性の変化を計測した。図-2は、本実験のフローである。

図-2の「粒度分布計測」では、粒径3.0mm以上の粗粒成分に対して後述するような面積格子法を適用し、それ以下の細粒成分に対しては、通常の篩分け法を適用することにより、信頼度の高い支配面積率の測定値を得た。なお、面積格子法の計測を能率的に行う目的で、モデル河床の材料には始めから粒径範囲ごとに異なる着色をほどこした。このようにしておくこと、計測時には、例えば格子線を描いた透明シートを河床に被せ、その格子点直下の砂礫を色調ごとに計数するだけでよい。

図-2の「粒度分布計測」では、粒径3.0mm以上の粗粒成分に対して後述するような面積格子法を適用し、それ以下の細粒成分に対しては、通常の篩分け法を適用することにより、信頼度の高い支配面積率の測定値を得た。なお、面積格子法の計測を能率的に行う目的で、モデル河床の材料には始めから粒径範囲ごとに異なる着色をほどこした。このようにしておくこと、計測時には、例えば格子線を描いた透明シートを河床に被せ、その格子点直下の砂礫を色調ごとに計数するだけでよい。

3. 流砂量式の検討: 本節では、既往の粒径別掃流砂量式の中から芦田・道上式をとりあげ、この式に基づく計算値と本実験の結果を $Q_{bi} (= b_{bi}/\sqrt{sgd_i}/f_s(d_i)) \sim \tau_{ci} (= U_{*i}/sgd_i)$ 関係図にて比較検討してみる。ここに、 b_{bi} :粒径別掃流砂量、 S :砂礫の水中比重、 d_i :砂礫の代表粒径、

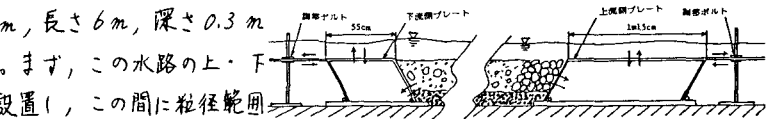


図-1 可動砂止め

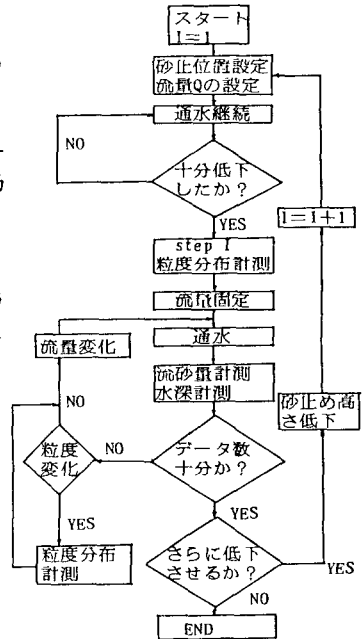


図-2 実験のフロー

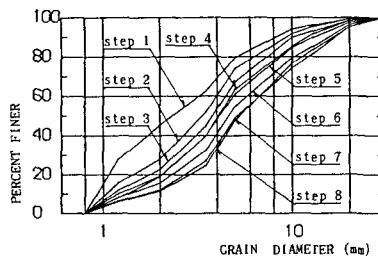


図-3 河床の粒度分布

$f_b(d_c)$: 粒径 d_c の砂礫が河床面において占める割合, τ_{bc} : 粒径 d_c の砂礫に対する無次元掃流力, U_{bc} : 摩擦速度である。ただし, step 1~8の実験結果をすべて1つの図にまとめると煩雑化するので, ここでは, かなり河床低下の進んだstep 5~8の検討結果だけを示す。

図-4は, 芦田・道上の理論曲線と実験値とを比較したものである。両者の相関はある程度良好であるが, 芦田・道上式は $d_c/d_m < 1$ の場合, 流砂量を過大に, 一方, $d_c/d_m > 1$ の場合には過小に評価するようである。この原因は, 主として限界掃流力にあるように思われる。そこで, 試みに尾崎の粒径別移動限界式²⁾を用いて同様の検討図を描くと図-5のようである。両図を詳細に比較・検討すると, 尾崎の粒径別移動限界式の導入により, 芦田・道上の粒径別掃流砂量式の適合性が, かなり改善されていることがわかる。

ところで, 図-4, 5の作図では, τ_{bc} を見かけの掃流力から求めたが, 本実験のように粗粒礫が河床面上に転石状で残留する場合には, これらの礫によって流砂面が減少したり, 見かけの掃流力と実際に流砂面に働く掃流力(有効掃流力)が相違してくる。この点を重視して, 岡部・肥本³⁾は流れの抵抗の機構と河床面の幾何的特性について詳細な理論を展開し, 有効掃流力の計算式を提案している。図-6は, 実験値を岡部らの理論に基づいて整理し直したものと, 尾崎式と芦田・道上式を組み合わせ求めた理論曲線とを比較したものである。なお, 粒径のパラメータは d_c/d_m (d_m は流砂面の砂礫の平均粒径)に変更されている。 $d_c/d_m < 3$ の描点群と理論曲線との一致は, わずかながら図-5の場合よりも良くなっている。しかし, $d_c/d_m > 3$ では, 理論式は流砂量をかなり過小に評価する結果になっている。

4. あとがき: 以上, 一部粗粒砂礫が移動しない水理条件下で, 最大粒径の3倍程度の深さまで侵食低下させる実験の結果に基づき, 既往の流砂量式の適合性の検討をした。その結果, 芦田・道上の掃流砂量式と尾崎の粒径別移動限界式を組み合わせることで, 実験結果を十分に説明し得た。また岡部・肥本の有効掃流力の計算式の妥当性も, ある程度検証できた。ただし, 本文では, 掃流力の大きさが移動限界掃流力をわずかに越える範囲での検討しかしていないので, 今後さらに掃流力の大きい実験資料を追加するつもりである。

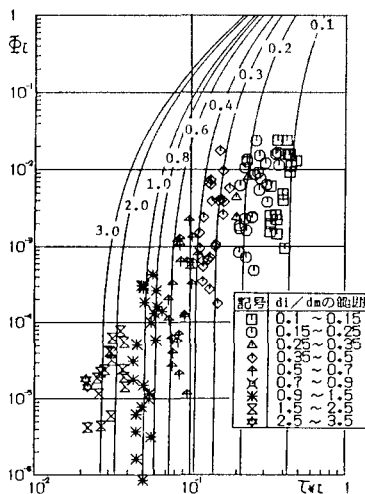


図-4 芦田・道上式の検討

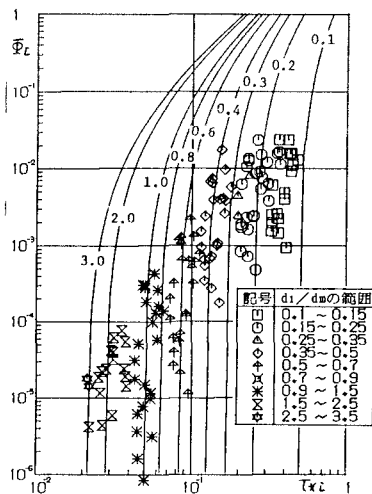


図-5 尾崎式と芦田・道上式の組み合わせの検討

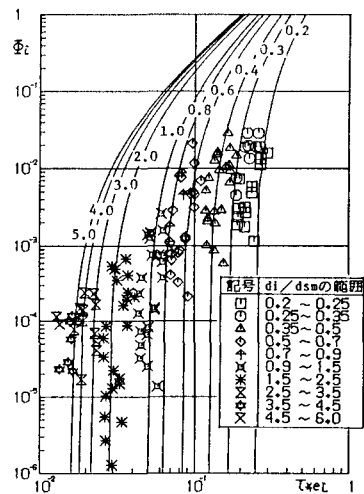


図-6 有効掃流力に基づく検討

(参考文献)

- 1) 芦田・道上: 土木学会論文集 第195号, 1971.
- 2) 尾崎: 水流による河床砂礫の移動と流路形態に関する水理学的研究, 中央大学学位論文, 1980.
- 3) 岡部・肥本: 粗度の大きい山地河川の抵抗則に関する研究, 新砂防, Vol. 39, No. 4 (147), 1986.