

急こう配水路における流砂に関する研究

京都大学防災研究所 正員 芦田和男
 京都大学防災研究所 正員 高橋 保
 京都大学 大学院 学 水山高久
 京都大学 大学院 学 藪田英俊

1.緒言 著者らは最近山地溪流のように急こう配が河床砂礫径の大きな水路における流れや流砂現象に着目し、流水抵抗や限界掃流力についていくつかの興味ある結果を得ている⁽¹⁾。それによつて急こう配で相対粗度の大きい流れでは抵抗係数が相対粗度および U^2/gd の増加とともに急激に大きくなり、また急こう配の影響を考慮した限界掃流力の無次元量 S_{sc} が相対粗度とともに急激に増加することが明らかとなった。今回は、これらの結果を基礎として、従来ほとんど研究されていなかった、急こう配が相対粗度の大きな流れにおける一様砂礫および混合砂礫の掃流砂量について実験的に研究したのでこれを報告する。

2.実験の概要 実験材料としては、図-1に示すような粒度分布の、2種類の砂礫を用いる。比重は2.60である。実験に用いた水路は幅29.5cm長さ9.8mの正方形断面の鋼鉄製水路で、急こう配(ω)を0.100, 0.049, 0.022の3種類とした。実験は、まず水路下流端にせきを設け砂礫を厚さ7.5cm程度に敷きならべ、これに数種類の流量を与え流出砂量と平衡するように給砂量を調節し水深、流砂量、河床高を測定した。なお給砂器は数cm程度の粒径まで給砂できるように工夫されている。なお理論河床面は先の研究⁽¹⁾と同様、河床面の25%がその面より上に存在する高さとした。

3.一様砂礫の流砂量 図-1の材料Aを用いて、一様砂礫の流砂量に対す急こう配の影響を調べた結果が図-2である。これによつて流砂量($Q_s = 98 \{ (\% - 1)gd^{1/2} \}$)は急こう配が大きくなるにつれて減少する傾向があることがわかる。この傾向は先の研究⁽¹⁾で明らかとなった急こう配水路における流水抵抗の増加から予想されるものである。図-2の曲線は芦田および道上の流砂量式⁽²⁾の T_{*c} に各急こう配の S_{sc} から計算される T_{*c} を代入し、さらに $T_{*c} = T_*$ として計算したものである。これらを比較すると実験値では掃流力が限界掃流力の数倍程度においても、急こう配による差が顕著であつた。また緩急こう配で水深の十分大きな流れで求められた流砂量式を平行移動したように見える。そこで抵抗係数の値を求めてみると図-3のようになり、芦田、道上によるUpper flow regimeの抵抗係数理論値より大きな抵抗を示していることがわかる。本実験範囲では河床波の形成はなく、抵抗増加は自由表面の影響など急こう配浅水深流れ特有の現象と考えられる。そこで限界掃流力の研究結果を用いて急こう配に対する

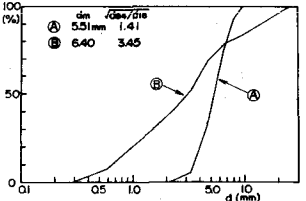


図-1 実験用砂の粒度分布

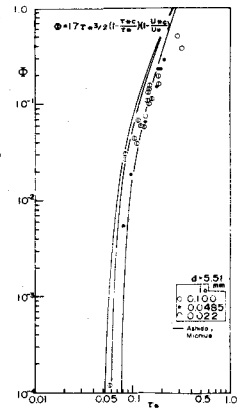


図-2 流砂量 ($T_s \sim T_*$)

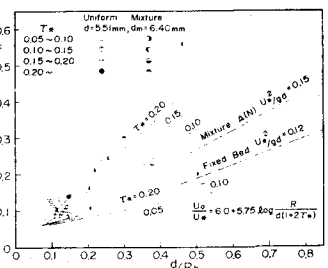


図-3 抵抗係数

有効掃流力を第一近似として次のように与えることにする。

$$\frac{\tau_{*e}}{\tau_*} = \frac{0.05}{\tau_{*c}} \quad \text{----- (1)}$$

ここで τ_* は全掃流力の無次元量($\frac{U_*^2}{g(d-1)\gamma d}$), τ_{*e} は有効掃流力, τ_{*c} は各こう配の限界掃流力である。このようにして求めた τ_{*e} に対して垂をプロットすると図-4のようになり従来の流砂量式で統一的に表わされ、このような有効掃流力の算定法が妥当であることがわかる。つぎに有効掃流力をもう少し力学的に算定することを考える。ここでは粒子レベルの流速が等しくなるような摩擦速度を求める方法をとる。急こう配流れでは、理論河床より md の高さの流速

U_{gmd} は、 $d/h < 1.25$ について、断面平均流速を U_0 として、

$$U_{gmd}/U_0 = U_0/U_* + 5.75 \log(d/h) - 1.30 d/h + 1.54 \quad \text{-----(2)}$$

となる⁽¹⁾。有効な摩擦速度を、芦田、道上の式を参考に

$$\frac{U_{gmd}}{U_{*e}} = 8.5 + 5.75 \log \frac{md}{d(1+2\tau_{*c})} \quad \text{-----(3)}$$

で表わすと、 $i_0=0.100, 0.049$ では $m=0.25, i_0=0.022$ では $m=0.5$ とすると従来の流砂量式がよく適合する(図5)

4.混合砂礫の流砂量 材料Bについて全流砂量を平均粒径で整理すると図-6のようになり、一様砂と同様こう配の増加とともに流砂量は減少する。これを粒径別に整理すると図-7のようになり各粒径についても同様の傾向が見られる。図-7の曲線群は芦田、道上の流砂量式にEjizoroff

の粒径別限界掃流力を代入した粒径別流砂量式で $i_0=0.022$ の実験値と比較的よく一致しているが、 $d/d_m > 1$ では計算値が実験値よりも小さくなっている。この様な傾向は芦田、道上や平野の実験においても見られる。(1)式を拡張して $\tau_{*e}/\tau_{*c} = 0.05/\tau_{*c}$ として粒径別に対する有効掃流力を求めると、図-8のように計算値とよく一致するようになる。また図-8では $d/d_m > 0.6$ に対して粒径別限界掃流力を実験的に補正した流砂量式が示されている。

5.結語 以上、急こう配流れにおける一様砂礫および混合砂礫の流砂量について実験的に研究し、こう配が大きくなると流砂量が減少し抵抗増加の割合で、有効掃流力を求めると従来の流砂量式で統一的に表わされることを示した。本研究の実験範囲は限界掃流力の数倍程度に限られているが、今後さらに大きな掃流力についても調べる予定である。

(参考文献)

(1) 芦田、高橋、水山「急こう配流れの抵抗と限界掃流力について」技術文献年報概要昭和48年

(2) 芦田、道上「移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究」土木学会論文報告集第206号1972年10月

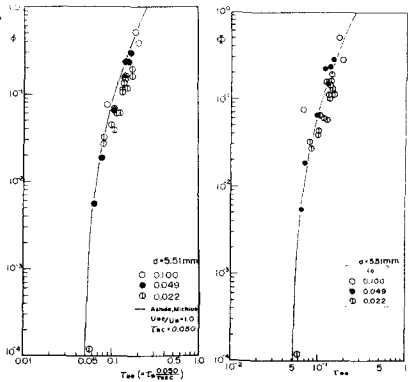


図4 τ_{*e} と垂(1)

図5 τ_{*e} と垂(2)

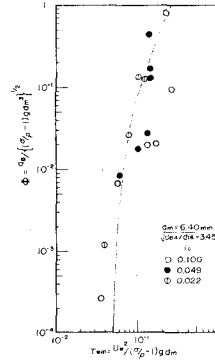


図6 混合砂礫の流砂量

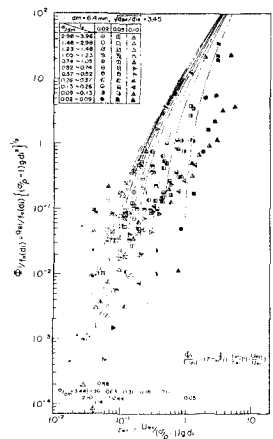


図7 粒径別流砂量

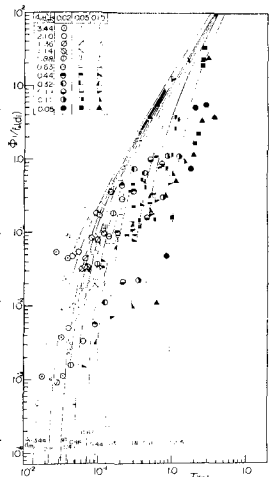


図8 τ_{*e} に対する粒径別流砂量