

II-246

掃流力および限界掃流力の補正による粒径別流砂量の推定

愛媛大学工学部 正 員 〇門田章宏

愛媛大学工学部 正 員 鈴木幸一

表-1 水理条件

Run. No.	砂礫径 d_L, d_M, d_S (cm)	混合体積比 i_L, i_M, i_S	河床勾配 i	単位幅流量 q (cm ² /s)	平均水深 h (cm)
Run B-1				267	3.16
Run B-2				200	2.79
Run B-2'	0.14, 0.71, 1.48	1/3, 1/3, 1/3	1/20	200	2.27
Run B-3	($d_m=0.78$)	1/3		133	2.33
Run B-4				67	1.01
Run B-5				667	9.61
Run B-6	0.14, 0.71, 1.48	1/3, 1/3, 1/3	1/60	533	5.11
Run B-7	($d_m=0.78$)	1/3		400	4.11
Run B-8				267	3.23

(注) i_L, i_M, i_S : それぞれ粒径 d_L, d_M, d_S 砂礫の河床での割合

1. はじめに 移動限界に近い混合砂礫河床においては、粒径の大きな砂礫は流れに突出し比較的動きやすくなる。また、細かい砂礫は空隙に沈み込み大きな砂礫に遮へいされ相対的に動きにくくなっている。掃流力が河床砂礫の移動限界に近づくと、各粒径毎の移動性の違いによる河床表層砂の粗粒化(Armoring)の様な混合砂礫河床特有の現象が現れる。本研究では、三粒径混合砂礫急勾配河床を対象に各粒径流砂量の時間変動特性を検討し、混合砂礫の移動機構を考慮した流砂量式について、限界掃流力および掃流力の補正を行うことによってより精度の高い流砂量の推定を行う。

2. 実験の概要 以下に示す混合砂礫河床での掃流砂量に関する考察を実験的に検証するため、平均粒径 $d_L=1.48$ cm, $d_M=0.71$ cmおよび $d_S=0.14$ cmの砂礫を1:1:1に混合させた三粒径混合砂礫の実験を行った。実験に使用した水路は幅15cm、全長10mの循環式可変勾配水路であり、上流端には手動による給砂装置、および下流端には補砂装置が設けられている。実験においては、混合砂礫を水路全長にわたり15cmの厚さで平坦に敷き詰め、表-1に示す水理条件で通水し、補砂箱によって1分間毎の流出砂量を測定した。また、実験中は水路上流端より給砂を行っているが、河床に敷き詰めた砂礫と同一の混合砂礫を用いて、上流側の基準断面での河床高が常に一定になるように給砂量を手動で調整しながら行った。

3. 実験結果 図-1は、Run B-2'の各粒径別流砂量の1分間毎の変化を示したものである。全体の流砂量は時間的に大きく変動していることが認められる。粒径別に細かく見ると、砂の掃流砂量変動が礫の変動よりやや大きいことなどが認められる。また、明確ではないが砂と礫の掃流砂量変動の位相差も認められる。観察によれば、これらの流砂量の時間的変動は河床表面における礫集合部の形成とその破壊に基づいている。図-2は、各粒径砂礫の流砂量の変動の標準偏差 σ_i を平均流砂量で基準化したものと粒径別無次元掃流力 τ_{*i} との関係を各粒径別に示したものである。標準偏差は平均流砂量の0.2から1.2倍の間にあり、平均的には0.6倍程度である。

4. 粒径別流砂量の推定 ここでは、表-2に示すように均一砂の流砂量式のMeyer-Peter&Müller式³⁾を、式(1)のように掃流力 ϵ_1 および限界掃流力 ϵ_2 に対してそれぞれ補正を行い、各砂礫の流砂量を推定する。掃流力補正係数である ϵ_1 に関しては、 $d/d_m > 1$ の砂礫に対しては、流速分布としてEgiazaroff⁴⁾と同様に相当粗度を平均粒径 d_m とする対数則を用い、各粒径砂礫の高さに比例する $\alpha \cdot d$ ($\alpha=0.63$)の点の流速が各粒径に作用すると考える。一方、 $d/d_m < 1$ の砂礫では、揚力によって平均的河床高に浮上した後流送され则认为、流送中受ける抗力は平均的な抗力となると考えたと $\epsilon_1=1$ となる。次に、限界掃流力補正係数 ϵ_2 について、 $d/d_m > 1$ の砂礫においては静止摩擦角の減少が礫の限界掃流力の変化を支配すると考え、 $d/d_m < 1$ の砂礫に関しては、その移動限界

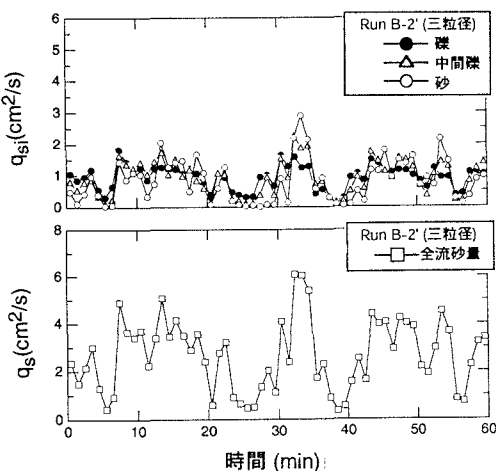


図-1 各粒径別流砂量・全流砂量の時間変化

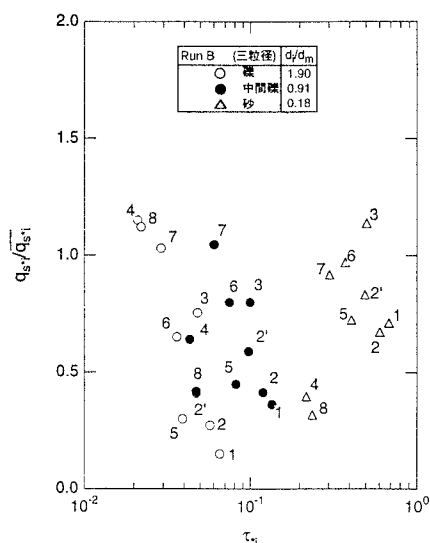


図-2 各砂礫の流砂量の時間変動に関する分散

状態において揚力と粒子の水中重量とがつり合っていると考え補正した。図-3は無次元粒径別流砂量と無次元掃流力の関係を d/d_m をパラメータとして図示したものである。図中の曲線は表-2の補正係数を用いて式(1)で示されるものである。なお、図中のデータの添付数はRun No.を示している。実測値にかなりのばらつきはあるものの計算曲線と比較的よく一致していることが分かる。すなわち、パラメータ d/d_m を基準として、各砂礫にかかる力を区別し、式(1)のように掃流力・限界掃流力を補正することによって、各粒径の掃流砂量を推定できると考えられる。従来の補正では実測値が計算値よりかなり小さくなっていた $d/d_m > 1$ の粒径に対しても実測と計算の流砂量はかなり近い値を示している。

図-4は各粒径に関して、二粒径に関するものも含めて実測値と計算値との比較を行ったものである。図-3との対応から考慮すると、砂・礫ともに、実測値がやや小さめになっているものの流量が大きく掃流砂量が大きな範囲において両者はよく一致している。ただ流量が小さくなると、流砂量そのものが極端に少ないため、相対的誤差は大きくなっている。

5. おわりに 三粒径の混合砂礫を用いて粒径別流砂量の測定実験を行い、掃流砂量の時間変動特性について検討した。また、Meyer-Peter&Müllerの均一砂掃流砂量式で、限界掃流力および掃流力の両方を補正することによって、平均的粒径別流砂量をかかなりの精度で推定できることを検証した。

参考文献 1) Gessler, J. : J. Waterways and Harbors Div., ASCE, Vol. 96, No. WW2, pp.235-249, 1970., 2) Whittaker, J. G. and Jaeggi, N. R. : Proc. ASCE, Vol.108, No. HY6, pp.758-773, 1982., 3) Meyer-Peter & Müller : Proc. 2nd IAHR Meeting, Stockholm, pp.39-64, 1948., 4) Egiazaroff, I. V. : Proc. ASCE, Vol.91, No. HY4, pp.225-247, 1965.

表-2 粒径別流砂量式と補正係数

粒径別 流砂量式	$q_{si} = K(\varepsilon_1 \mu \tau_{*1} - \varepsilon_2 \tau_{*c})^m$ (1)
掃流力 補正係数 ε_1	$\frac{d_i}{d_m} \geq 1 : \varepsilon_1 = \left[\frac{\log_{10} 19(d_i/d_m)}{\log_{10} 19} \right]^2$ $\frac{d_i}{d_m} < 1 : \varepsilon_1 = 1$
限界掃流力 補正係数 ε_2	$\frac{d_i}{d_m} \geq 1 : \varepsilon_2 = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{(d_i/d_m + 1)^2 - 1}}$ $\frac{d_i}{d_m} < 1 : \varepsilon_2 = \left[\frac{\log(30.2)}{\log(30.2d_i/d_m)} \right]^2$

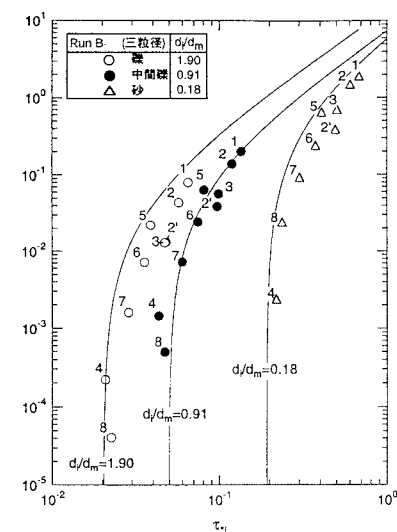


図-3 各砂礫の平均流砂量と掃流力

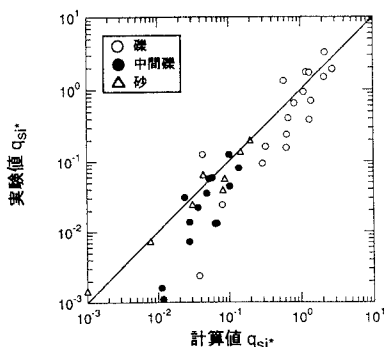


図-4 掃流砂量の実測値と計算値との比較