

## II-243

## 二粒径混合砂礫による流砂量に及ぼす混合効果の検討

愛媛大学大学院 学生員 山本 裕規

愛媛大学工学部 正 員 鈴木 幸一

鹿島建設(株) 正 員 岩月 章浩

1.はじめに 河床が混合砂礫からなる場合には、その流送過程において砂礫の様々な混合効果が現れることが報告されている<sup>1)</sup>。本研究では砂礫を大小二粒径に単純化して水路実験を行い、混合効果のメカニズムを明らかにするとともに、これらの効果を考慮した粒径別流砂量式の検討を行った。

2.実験の概要 実験は粗砂の粒径を一定にして、細砂の粒径を2通り変化させることでシリーズA, Bに分けて行った。なお、粗砂として代表粒径  $d_L=1.48\text{cm}$ 、細砂はシリーズAでは代表粒径  $d_{SA}=0.14\text{cm}$ 、シリーズBで  $d_{SB}=0.34\text{cm}$ のものをを用いている。

この粗砂と細砂を両シリーズ共に表-1に示す混合比率で混合し、全長7m、幅0.15mの矩形断面水路に下流端より水路全長にわたって厚さ5cmで平坦に敷き詰めて、無給砂の状態各Run共に6 l/secの流量で通水して行った。実験は各Run内で勾配を4通り変えて行っている。なお通水は等流状態に設定して、無給砂による河床低下の影響が下流端に及ばない時間内に通水を打ち切り、下流端において採砂を行った。

3.混合効果を考慮した流砂量式の検討 従来、均一砂の流砂量式を修正して混合砂の流砂量式を導いているが、均一砂の流砂量式として Meyer-Peter & Müller型の式を用いると混合砂の粒径別の流砂量式は、

$$q_{s*i} = K \cdot (\varepsilon_1 \tau_{*i} - \varepsilon_2 \tau_{*c})^m \quad (1)$$

となる。ここに、 $q_{s*i} = (i_b / i_s) \cdot q_s / \sqrt{sgd_i^3}$ 、 $\tau_{*i} (= u_{*i}^2 / sgd_i)$  : 粒径別無次元掃流力、 $\tau_{*c}$  : 無次元限界掃流力、 $i_b$  : 流出砂に占める粒径  $d_i$  砂の割合、 $i_s$  : 河床表層砂に占める粒径  $d_i$  砂の割合、 $q_s$  : 全流砂量、 $u_{*i}$  : 摩擦速度、 $s$  : 砂の水中比重、 $g$  : 重力加速度、 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  : 掃流力および限界掃流力の補正係数、 $K=8, m=3/2, \tau_{*c}=0.06$  である。図-1に実験結果より得られた  $\tau_{*i}$  と  $q_{s*i}$  の関係を示す。図中の実線は均一砂の場合の(1)式であり、 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$  である。砂礫が混合する場合、この図のように流砂量は均一砂と比較して大きく異なっている。そこで砂礫の混合効果を考慮して、これらの流砂量が(1)式によって表せるかどうか検討した。砂礫の混合効果には、粗砂の突出・減摩効果、細砂の遮蔽・連行効果があり、突出・遮蔽効果に関しては鈴木ら<sup>2)</sup>は各粒径砂に作用する掃流力を粒子の河床面からの突出高の違いで補正することで均一砂の流砂量として取り扱えることを示している。これに基づき、図-1の実験データの掃流力を突出・遮蔽効果に関して補正した粒径別無次元掃流力  $\varepsilon_1 \cdot \tau_{*i}$  と無次元流砂量  $q_{s*i}$  の関係を図-2に示す。補正係数  $\varepsilon_1$  は、

$$d_i/d_m \geq 0.4 \text{ のとき } \varepsilon_1 = 0.61 \cdot \{\log_{10}(19 \cdot d_i/d_m)\}^2 \quad (2)$$

$$d_i/d_m < 0.4 \text{ のとき } \varepsilon_1 = 1/0.85 \cdot (d_i/d_m)^{-1} \quad (3)$$

である。ここに、 $d_m$  : 混合砂の平均粒径 である。図中の実線は図-1と同じく均一砂の(1)式である。粗砂と細砂に関して ○と△で示したデータは均一

表-1 実験条件

| Run No.<br>(A, B) | 混合比率<br>粗砂・細砂 |
|-------------------|---------------|
| 1                 | 10:0          |
| 2                 | 8:2           |
| 3                 | 6:4           |
| 4                 | 5:5           |
| 5                 | 4:6           |
| 6                 | 2:8           |
| 7                 | 0:10          |

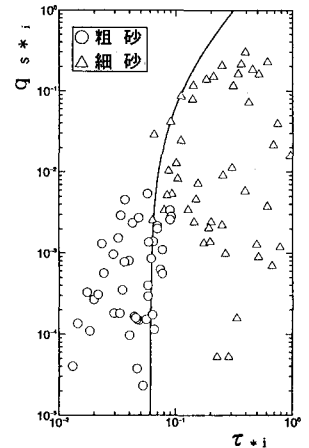
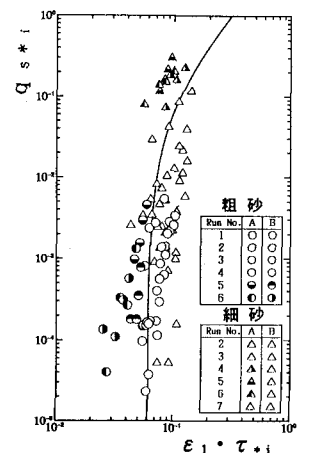


図-1 補正前の流砂量

図-2  
掃流力補正後の流砂量

砂の場合の(1)式にほぼ追随しているが、粗砂の流砂量については細砂の混合割合の多いRun 5 および Run 6において、また細砂の流砂量については細砂の粒径の小さいシリーズAの中で細砂の混合割合が大きくなっているRun 4, 5およびRun 6において追随しないデータが存在している。これについては細砂の混合割合が増すことで粗砂に関しては減摩効果が、細砂には連行効果が現れたものと考えられる。減摩効果の発生は主に混合する粗砂と細砂の間の摩擦角の相違による粗砂の移動限界の変化と、粗砂と細砂の混合割合の変化に大きく依存しているが、減摩効果の現れる限界の粗砂・細砂の混合割合については、実験データをもとに推定した結果シリーズAで粗砂:細砂=5:5, シリーズBで4:6であった。このデータをもとに限界混合割合線を推定すると図-3のようになり実験的には、

$$(f_L/f_s)_{\text{limit}} = 0.3 (d_L/d_s - 1)^{1/2} \quad (4)$$

である。ここに、 $f_L/f_s$ :粗砂と細砂の混合割合の比、 $d_L/d_s$ :粗砂と細砂の粒径の比である。この限界混合割合線を越えて粗砂の多くなる混合割合では減摩効果は起こらない。これらの条件より限界掃流力に関する減摩効果の補正係数 $\varepsilon_2$ を定めると、

$f_L/f_s \leq (f_L/f_s)_{\text{limit}}$  のとき

$$\varepsilon_2 = \left( \frac{\tan \phi_2}{\tan \phi_1} \right) \left[ 1 - \left\{ 1 - \left( \frac{\tan \phi_1}{\tan \phi_2} \right) \right\} \frac{f_L/f_s}{0.3 (d_L/d_s - 1)^{1/2}} \right] \quad (5)$$

のようになる。ここに、 $\phi_1$ :均一砂の摩擦角(一定)、 $\phi_2$ :混合二粒径砂における摩擦角であり、図-4を参考にして $\tan \phi_1 \approx 1/\sqrt{3}$ 、 $\tan \phi_2 \approx 1/\sqrt{(d_L/d_s + 1)^2 - 1}$ と表される。また、混合する細砂の粒径が小さく、その混合割合がかなり大きいときは粗砂の背後に細砂のマウントが形成される。このような場合には(5)式において $\phi_2$ の代わりに、粗砂と細砂のマウントとの間の摩擦角 $\phi_s$ を用いて補正を行う。なお減摩効果の補正では粗砂の移動限界の変化に関して論じているので、無次元限界掃流力 $\tau^*$ に対して $\varepsilon_2 \cdot \tau^*$ と補正を行い、突出効果の補正と合わせた(1)式によって減摩効果の補正を考慮した流砂量式を表すことができる。減摩効果が顕著に現れるRun A-5, A-6とRun B-6に対して減摩効果の補正後の(1)式を示すと図-5のようになり、実験データとかなり追随するようになった。ここでRun A-6では細砂のマウントが形成されるものとして補正を行っている。マウントの形成・発達に関する条件はここでは明らかではないため、 $\phi_s$ を推定するのは困難であるが、実験的にはRun A-6の場合、マウントは細砂の粒径の約2倍程度に発達している。

4. おわりに 細砂の流砂量が粗砂による連行によって増加する連行効果については、ここでは検討できなかったが、連行効果による細砂の流砂量の増加は均一砂の場合より増加した粗砂の流砂量に比例すると考えられ、この立場から今後検討を進めていく予定である。

参考文献: 1) 池田宏:筑波大学水理実験センター報告, No 8, pp. 1~15, 1984.

2) 鈴木, 羽野:水工学論文集, 第35巻, pp. 411~416, 1991.

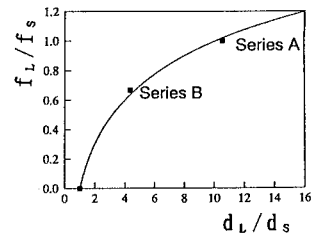


図-3 減摩効果の発生  
限界混合割合

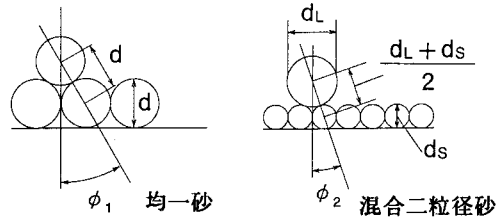


図-4 摩擦角の変化

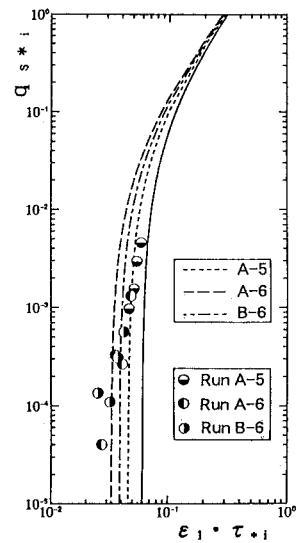


図-5  
掃流力と限界掃流力  
の補正後の流砂量