

種々の混合割合からなる二粒径混合砂礫の掃流砂量の算定に関する検討

鳥取大学大学院工学研究科 学生員○小林亮太

愛知県庁 非会員 神谷直希

鳥取大学大学院工学研究科 正会員 和田孝志, 三輪 浩

1. 背景と目的 ダム直下の河川では上流からの土砂供給が減少する結果、河床表面に大きな礫が露出する状態が形成される。このような状況が長期間維持されると河床の粗粒化や流路の固定化が進行する。これらの対策として河床へ砂を供給して礫の移動性を向上させる検討が行われている¹⁾。また、ダム下流では礫と砂の二峰性混合砂礫河床が形成される例も見られる。このような場で生じる流砂現象は、礫による遮蔽効果や砂の含有による礫の移動性の向上などが顕著に現れ流砂量にも影響を及ぼす。これまでの二粒径混合砂礫河床における砂礫の移動限界や流砂量に関する検討から、一般によく用いられる修正 Egiazaroff 式による結果とは異なった傾向を示すことが指摘されている^{2),3)}。そこで、本研究では二粒径混合砂礫の掃流砂量に関する実験を行い、従来の算定手法の適合性を確認するとともに、二粒径混合砂礫の移動限界推定式を用いた掃流砂量算定手法について基礎的な検討を行う。

2. 実験の概要 実験には長さ 7.67 m, 幅 0.3 m の循環式可変勾配水路を用いた。水路下流端から 1.95~4.65 m の区間に長さ 2.7 m, 幅 0.3 m の移動床部を設置し、その直下流に長さ 0.15 m, 幅 0.3 m, 深さ 0.055 m の採砂箱を設置した。また、これらの上下流には後述する礫 A を貼り付けた固定床部を設置した。実験に用いた砂礫は平均粒径 $d_g=0.71$ cm の礫 A と $d_s=0.14$ cm の砂 A である。これらを所定の割合で混合して図-1 に示す 4 種類の混合砂礫を作成した。図中の f_s は混合砂礫中の砂の割合を示す。また、水路勾配は 1/40 に設定、流量は $Q=5, 8, 11$ および 14 L/s の 4 種類を設定し、等流状態での掃流砂量を測定することとした。実験は、まず、移動床部に混合砂礫を平坦に充填し、レーザー変位計で河床面を測定した。次いで、移動床部を金網で被い通水を開始した。所定の流量を確認した後金網を取り除き、移動床部から流出した砂礫を採砂箱で約 30 秒間捕捉するとともに、超音波変位計で水面を測定した。その後、移動床部を金網で覆い通水を停止し、採砂箱の砂礫は炉乾燥させて砂と礫の重量を測定した。なお、実験は平坦河床が維持される範囲で実施するよう留意したが、河床波が形成されることもあった。

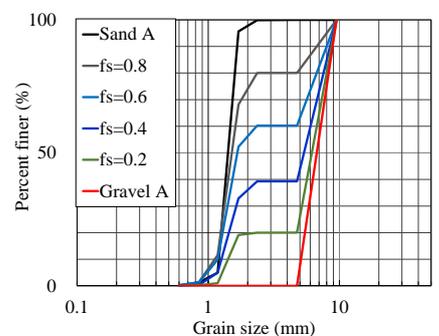


図-1 使用砂礫の粒度分布

3. 実験の結果と考察 水路実験で測定された掃流砂量に対して 2 種類の掃流砂量の算定方法の適合性を検討する。

すなわち、①Meyer-Peter & Müller 型の掃流砂量式 (以下 MPM 式) に修正 Egiazaroff 式を用いる方法、②MPM 式に以下に示す二粒径混合砂礫に対する無次元限界掃流力式^{3),4)}を用いる方法である。

$$\tau_{*cg} = \begin{cases} (0.05 - 0.1f_s)(d_g/d_m) & f_s \leq 0.4 \\ 0.01(d_g/d_m) & f_s > 0.4 \end{cases} \quad (1)$$

$$\tau_{*cs} = \begin{cases} (0.06 - 0.12f_s)(d_g/d_s) & f_s \leq 0.4 \\ (0.016 - 0.01f_s)(d_g/d_s) & f_s > 0.4 \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 τ_{*cg} , τ_{*cs} はそれぞれ礫および砂の無次元限界掃流力、 d_m は河床表層の平均粒径である。

図-2(a), (b) はそれぞれ①および②の方法による砂礫

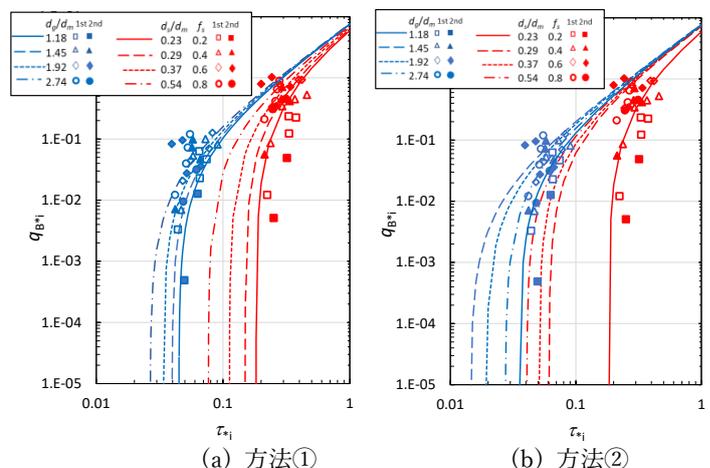


図-2 粒径別掃流砂量の評価方法の比較

キーワード 二粒径混合砂礫, 砂礫の移動限界式, 掃流砂量, 砂含有率

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 鳥取大学工学部 社会システム土木系学科 水工学研究室
TEL0857-31-5284

の無次元掃流力 τ_{*i} と無次元掃流砂量 q_{B*} の関係を
 図示したものであり、実験値の礫成分を青、砂成分
 を赤でプロットしている。さて、掃流砂量算定
 方法の適合性について、現段階では実験データが
 十分ではなく、砂礫の粒径比や砂含有率といった
 砂礫の混合条件を詳細に評価できる段階には至
 っていない。そこで、ここでは種々の混合条件で
 行われた砂と礫の流砂量の算定範囲を評価する
 こととする。図-2の①の方法では、礫に関しては
 全体に過小評価の傾向が見られ、砂については若干の過大評価となっていることが
 わかる。一方、②の方法では礫に対する限界掃流力がより小さく見積もられるため、
 実験値の範囲は比較的良好に算定されていると見なせる。しかし、砂に関しては①
 の方法よりも過大評価の傾向が強い。なお、本検討では河床表層の砂礫割合と掃
 流砂礫の砂礫割合は同一であると仮定している。また、条件によっては河床波が
 形成され部分的な分級現象が確認されることもあった。

以上のように、①および②の算定法にはそれぞれ傾向があることがわかる。本
 研究では二粒径からなる混合砂礫の掃流砂量の算定法を検討するに当たり、砂礫
 の移動に作用する掃流力の項と砂礫の移動限界を規定する限界掃流力の項の評
 価を行い、これらを反映させた掃流砂量算定方法を検討することとしている。後
 者については上記の式(1)および(2)を用い、ここでは前者の評価に関する検討を
 行う。図-3は②の方法による砂と礫の流砂量の計算値と実験値を比較したも
 のである。同図より、砂、礫とも砂含有率によってばらつきは異なるが、礫
 に比べて砂はほぼ一様に計算値は過大評価となっていることがわかる。この原因
 として、礫による遮蔽効果や河床波の形成による抵抗増加に伴う砂礫移動量の低
 下、また、連行効果の不活性などが考えられる。これらの効果については今後個々
 に検討する必要があるが、現段階ではこれらを一括して考慮し、次のようにMPM式に補正係数 α を導入する。

$$q_{B*} = \frac{q_{Bi}}{i_b \sqrt{sgd_i^3}} = 8(\alpha \tau_{*i} - \tau_{*ci})^{3/2} \quad (3)$$

ここに、 q_{Bi} は単位幅当たりの粒径 d_i の掃流砂量、 i_b は河床表層砂礫で粒径 d_i の粒子が占める割合、 s は砂礫の水中
 比重、 τ_{*ci} は粒径 d_i に対する無次元限界掃流力である。 α は式(3)による計算値と実験値の平均二乗誤差の平方根を最
 小にする値として求めた。その結果を表-1に示す。礫成分に対しては、 α は1前後で補正効果は比較的小さいが、
 砂成分に対しては0.6~0.8程度となり、補正効果は相対的に大きくなる。なお、現時点では解析対象の実験値が少
 なく f_s に対する α の系統的な応答は明確ではない。上述したように、 α には砂の移動に係るいくつかの影響因子が含
 まれており、今後これらに関する物理量の関数として α を評価する必要がある。図-4は補正係数 α を用いた掃流
 砂量式と実験結果の関係を示したものである。砂については全体的に改善されていることがわかる。

4. あとがき 本研究では、二粒径混合砂礫の掃流砂量の算定法に関して、流砂量式の掃流力の項と限界掃流力の
 項の評価に着目した。そして、前者に対して補正係数を導入して砂と礫およびこれらの混合割合に対する係数の応
 答性について基本的な検討を行った。今後、実験値を増やすとともに、遮蔽効果や連行効果、河床波の影響等を粒
 径比や摩擦角などの物理量で評価して補正係数に反映させることを予定している。

参考文献 1) 三輪ら：粗粒化河床への覆砂による礫の移動と流路変動，河川技術論文集，第24巻，pp.89-94，2018。2) 鈴木ら：二粒径混合
 砂礫による流砂量に及ぼす砂礫の混合効果の検討，水工学論文集，第38巻，pp.627-632，1994。3) Miwa, H., Parker, G.: Effects of sand content on initial
 gravel motion in gravel-bed rivers, Earth Surface Processes and Landforms, 42, pp.1355-1364, 2017。4) 小林ら：二峰性混合砂礫河床における砂の移動
 限界と粒径比の影響，令和2年度第72回土木学会中国支部研究発表会講演概要集(CD-ROM)，pp.127-128，2020。

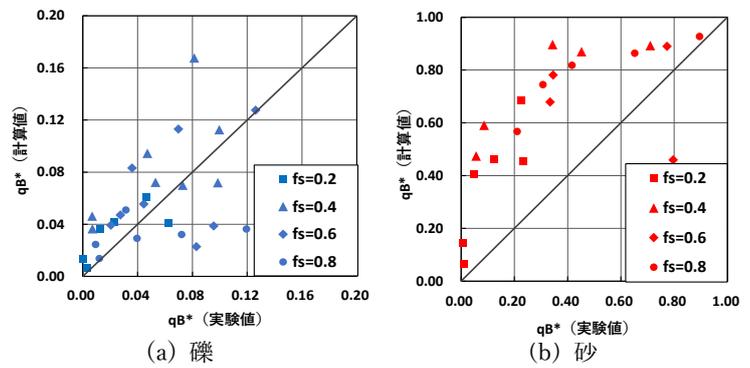


図-3 ②の方法による無次元掃流砂量の実験値と計算値の比較

表-1 補正係数 α の値

| f_s | 補正係数 α | |
|-------|---------------|------|
| | 礫 | 砂 |
| 0.2 | 0.93 | 0.82 |
| 0.4 | 0.82 | 0.60 |
| 0.6 | 0.92 | 0.79 |
| 0.8 | 1.15 | 0.75 |

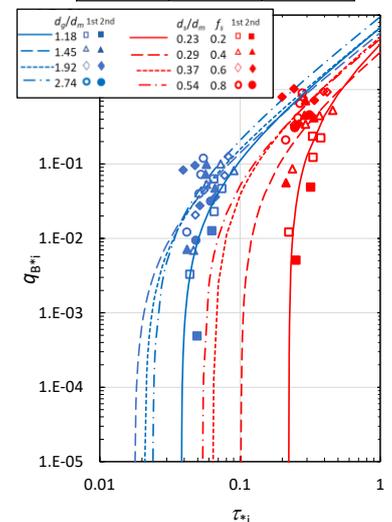


図-4 補正後の掃流砂量の評価