

## 山地河川における流砂量観測手法による上流域の土砂移動状況の把握について

株式会社建設環境研究所 ○富田邦裕, 叶 正興

京都大学防災研究所 藤田正治

関東地方整備局富士川砂防事務所 光永健男, 守谷武史, 大浦二郎

### 1. はじめに

いくつかの河川で掃流砂観測が行われ、技術の発展とともに計測精度の向上も図られているが、観測データの利用はまだ十分に行われているとは言い難い。観測値の精度が不明確であることも原因の一つであるが、観測精度に応じた利用方法を考えることも肝要である。本研究では、流砂水路実験と同程度の現地計測が可能であるとして、観測データを流域管理に応用する考え方について検討する。

### 2. 掃流砂の理論的背景

掃流砂量は流量、川幅、河床勾配、河床材料の粒度分布、粗度係数から理論的には算定され、提案された理論の妥当性は多くの実験で検証されている。たとえば、掃流砂量式に芦田・道上式<sup>1)</sup>を用い、マンニングの抵抗則を適用すれば、一様粒径  $d$  の砂礫の掃流砂量  $Q_B$  は次式で表される。

$$Q_B = A_1 A_2 Q^{9/10} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{A_2 Q^{0.6}/d}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{A_2 Q^{0.6}/d}}\right) \quad (1)$$

ここに、 $A_1 = 17B\sqrt{g}(n/B)^{0.3}i^{0.35}$ 、 $A_2 = (n/B)^{0.6}i^{0.7}/s$ 、 $Q$ ：流量、 $B$ ：川幅、 $g$ ：重力加速度、 $n$ ：マンニングの粗度係数、 $s$ ：砂礫の水中比重、 $i$ ：河床勾配、 $\tau_{*c}$ ：無次元限界掃流力（0.05 とする）である。混合砂礫の場合は粒径別掃流砂量  $Q_{bi}$  の総和で求められる。

$$Q_B = \sum_{i=1}^m Q_{Bi} \times f_i \quad (2) \quad Q_{Bi} = A_{1i} A_{2i} Q^{9/10} \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{A_{2i} Q^{0.6}/d_i}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*ci}}{A_{2i} Q^{0.6}/d_i}}\right) \quad (3)$$

ここに、 $A_{1i} = 17B\sqrt{g}(n/B)^{0.3}i^{0.35}$ 、 $A_{2i} = (n/B)^{0.6}i^{0.7}/s$ 、 $i$ ：1 から  $m$  までの粒径階、 $f_i$ ：粒径階  $i$  の砂礫の河床材料に含まれる割合、 $\tau_{*ci}$ ：粒径  $d_i$  の無次元限界掃流力である。混合砂礫の限界掃流力は Egiazaroff の理論式<sup>2)</sup> と芦田・道上の修正式<sup>1)</sup> で算定される。

### 3. 流砂量モニタリングによる流域管理

山地河川での掃流砂量の計測値と理論値を比べると大きな差が見られる場合がある。この違いの原因はいくつか考えられるが、河床形状や河床材料の粒度分布など出水中と出水前後で変化するものがあり、出水中のデータと計算に用いる出水前後での値に差異があることが考えられる。とくに、土砂生産源に近い山地河川では河床材料の粒度分布が大きく変化するものが考えられ、また、河床材料の粒度分布は空間的にもばらつきが多く、代表的な粒度分布を調べることも難しい。したがって、河床形状が大きく変化するような出水を除けば、出水中の河床材料の粒度分布の正確さが不足しているため、観測値と理論値に差異が生じるものと考えられる。しかし、これを逆に利用して出水中の河床材料の粒度分布を理論値と観測値から推定し、その粒度から土砂流出の状況をモニタリングすることを考える。河床材料の粒度分布は、一般には生産土砂の粒度分布 (P) と発達したアーモークートの粒度分布 (A) の間にある。生産土砂の粒度分布を流域で一つに決めることはできないが、ここでは平均的な粒度分布とする。出水中の河床材料が P に近ければ土砂生産・流出量が多く荒廃した条件、一方、A に近ければ土砂生産が非常に少ない状態を表す。A と P のどちらに近いかで流域の状況を診ることができる。

#### 4. 計算例

図1は河床勾配を1/20、川幅を20m、粗度係数を0.05としたとき、均一粒径1cmと20cmの砂礫に対する流量と掃流砂量の関係と掃流砂量の関係調べたものである。生産土砂(P)の粒径が1cm、アーモークート(A)の粒径が20cmとすると、掃流砂の観測値はこの中に入るはずである。たとえば、観測値が○のようになれば、この流域は土砂生産が少なくむしろ流砂不足による生態系等にも特徴が出ると考えられ、●のようになれば土砂生産が大きく、土砂流出を調整する必要があることが考えられる。

次に、図2は典型的な生産土砂(Production)とアーモークート(Armor)の粒度分布を示したものである。平均粒径はそれぞれ1cmと20cmである。図1と同様の条件で流量と掃流砂量の間を求めると図3のようになり、図1とほとんど同様である。これは移動限界近くでは流砂量に及ぼす混合粒径の影響は大きい、流砂が活発になると粒径の効果が式(1)~(3)では小さくなるためである。このことから、土砂流出の活発さの把握は、図1のように生産土砂とアーモークートの平均粒径で検討することができると考えられる。

釜無川では掃流砂の観測が集中的に進められている。支川の大武川第50床固工にもハイドロフォンが設置されており、図4は平成25年9月の出水における観測データがプロットされる範囲を示したものである。図中には、この地点の河床材料の粒度分布から発達したアーモークートの平均粒径を20cmとしたときの単位幅掃流砂量と単位幅流量の関係、生産土砂の平均粒径は不明であるが1cmとしたときの両者の関係を示したものである。観測値はPからかなり離れており、現時点ではこの流域は土砂生産流出が比較的安定していると考えられる。大規模土砂崩壊が上流域で発生し、観測値がPに近づけば、土砂流出の抑制が必要であると判断でき、また、砂防事業後、観測値がAに近づけば事業に効果があったと評価できる。

#### 5. おわりに

流域調査では河床材料の粒度分布の調査は行われているが、以上のような考え方で流域の状態をモニタリングしようとする場合、生産土砂の粒度分布が必要であり、流砂量観測とともに生産土砂の調査を行うことで、重要な知見が得られる可能性がある。

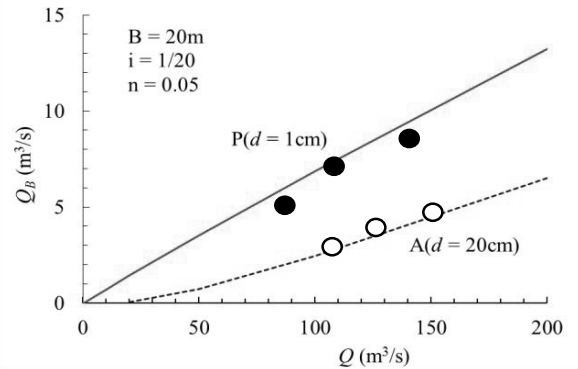


図1 一様砂の掃流砂量と流量の関係

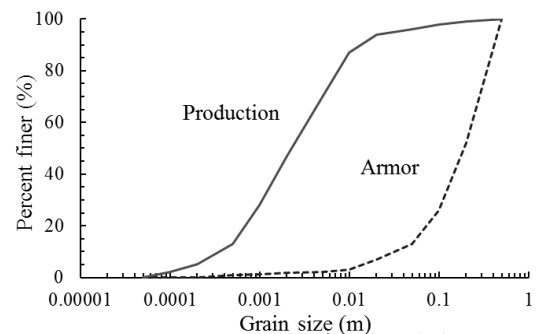


図2 アーモークートの粒度分布と生産土砂の粒度分布の例

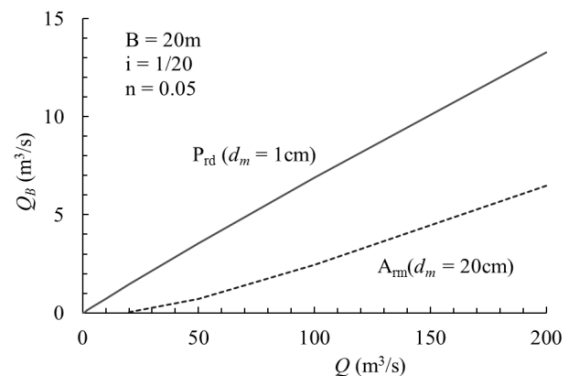


図3 混合砂の掃流砂量と流量の関係

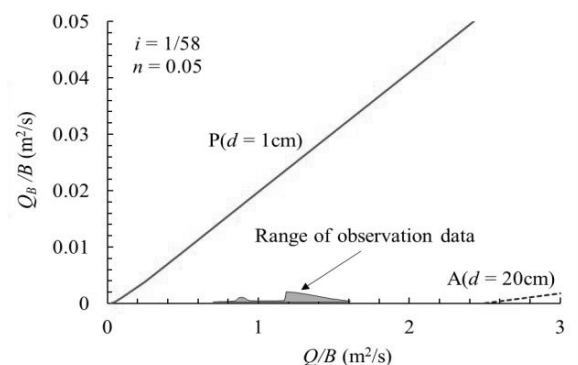


図4 掃流砂量の観測値

- 参考文献 1) 芦田ら：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文集，第206号，1972  
2) Egiazaroff: Calculation of non-uniform sediment concentration, Proc. ASCE, Hy4, 1965