

流砂水文観測に基づく山地河川の流砂特性の把握

内田太郎・井内拓馬・桜井 亘・田中健貴

1. はじめに

河川砂防技術基準（調査編）では、土砂に関わる課題を総合的に解決するための視点として、流域の源頭部から海岸までの一貫した土砂の運動領域を「流砂系」という概念で捉えることが必要とされてきた。流砂系の最上流部に位置する山地河川の流砂の量や粒径は、総合土砂管理を考える上で、最も基礎的な情報の1つと言える。山地からの流砂量を抑制、平準化して災害を軽減することは、砂防施設などによりある程度は可能と考えられるが、山地河川の流砂量は斜面から河道に供給される土砂量に強く支配される¹⁾ため、不透過型砂防堰堤を透過型に改築するなどした場合であっても流砂量を増やすことには限界がある。そのため、総合土砂管理計画を考える（例えば、海岸侵食対策として流砂量を増やす、土砂を運搬するなどの検討をする）上で山地河川の流砂量は1つの制約条件となると考えられる。

山地河川における流砂量は水理量により一義的に決まらず、当該箇所および上流域の河床材料や斜面から河道への供給土砂の量・粒径により大きく変化する²⁾。そのため、各種の数値計算手法が提案されてきてはいるものの、山地河川の流砂量を把握するためには実際の観測によるところが大きい。

そこで、平成24年の改訂により河川砂防技術基準（調査編）においても山地河川における流砂水文観測は標準的な調査項目としてあげられ、全国の直轄砂防事務所において、流砂観測が進められてきた²⁾。その結果、山地河川における流砂の実態に関する情報が飛躍的に蓄積されてきた。

これを受けて、国総研砂防研究室では、全国の流砂観測の結果を取りまとめ、各種用途で活用できるように流砂量年表を作成した³⁾。そこで、本報告では、直轄砂防事務所における観測により蓄積された近年の流砂水文観測データに基づき流砂系間の流砂特性の違い、流砂特性の時間変化の把握に関する観測事例を紹介する。

2. 流砂系間の流砂特性の違い

2.1 対象流砂系と観測方法

本報告の対象流砂系の選定に当たっては、2010～2015年の流砂水文観測データのある86箇所から、観測期間が長く、水位・濁度・ハイドロフォンのデータが揃う出水数が多い観測箇所を抽出することとし、表-1の6観測箇所を選定した。本研究では、流量および流砂量データのほか、既往の観測箇所周辺の河床材料調査の粒径データを収集した。表-1の①から④の箇所は、観測箇所周辺の粒径データが入手できたものの、⑤、⑥の箇所は観測箇所周辺のデータが入手できなかったため、入手可能なデータのうち最も土砂の堆積環境に近いと考えられる箇所として、⑤は約4km上流の横江堰堤上流部、⑥は約2km下流の朴木堰堤上流河道の河床材料調査結果を用いた。掃流砂量はハイドロフォン（管の長さは2m）による計測結果であり、音響波形を合成音圧法⁴⁾により掃流砂量に換算した。計測間隔は15分である。また、本報告の対象箇所では濁度計を用いた観測も行われてきているが、ここでは、ハイドロフォンの観測に焦点を当てて報告する。

対象流砂系の粒度分布を図-1に示す。図に示したように流砂系によって河床の粒径は大きく異なり、60%粒径で見た場合、吾妻川、葉木川は0.2～

表-1 対象観測箇所の諸元

記号	水系	箇所名	流域面積 [km ²]	河床勾配
①	阿武隈川	松川第2床固	84	1/106
②	利根川	吾妻川三原	267	1/80
③	富士川	大武川第50床固	72	1/60
④	信濃川	芋川竜光沈砂地	38	1/41
⑤	常願寺川	上滝床固	354	1/64
⑥	球磨川	葉木川第3砂防堰堤	41	1/72

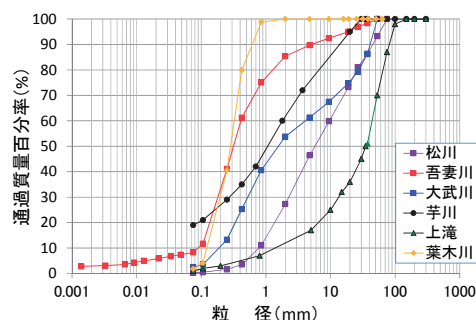


図-1 対象6流砂系の河床材料の粒度分布

0.3mmと細かく、芋川(2mm)、大武川(5mm)、松川(10mm)の順に粗くなり、最も粗かったのは上滝(50mm)であった(図-1)。また、分布の幅(粒径のばらつき)についても差が見られ、20%粒径と80%粒径の比で見ると、葉木川が最も小さく(約3倍)、吾妻川、上滝で次いで小さく(約7から10倍)、松川(約20倍)、大武川、芋川(ともに約100倍)では大きかった。観測箇所の概況を図-2に示した。

2.2 観測結果

図-3に各流砂系の流量と流砂量の関係を示した。図中には、河床の60%粒径を用いて平衡掃流砂量式(MPM式、芦田・道上式⁹⁾)から求まる掃流砂量と流量の関係および60%、90%粒径の移動限界流量を図示した。移動限界流量は既往の研究⁵⁾に従い無次元掃流力が0.05となる流量とした。

2.2.1 流量－掃流砂量関係

図-3から流砂系により流砂特性が異なることがわかる。吾妻川、葉木川では流量が大きくなると傾きが緩くなるものの、概ね流量の増大に対して流砂量が両対数グラフ上で直線的に増加した。すなわち、今回の観測結果では掃流砂量は流量のべき乗の関数で概ね表すことができると考えられた。

一方、流量－流砂量の関係の傾きは場所により異なった。例えば、流量が1オーダー増加した際に、流砂量は吾妻川では4オーダー程度、上滝では4オーダー弱、葉木川、大武川では3オーダー程度、松川では2オーダー強、芋川では1オーダー程度増

加した。

2.2.2 移動限界流量・平衡流砂量との比較

次に、河床材料から求めた移動限界流量と観測された流量－流砂量関係について検討する。既往の流砂理論では、流量が移動限界流量を上回ると流量の増加に伴い流砂量が急激に増加することが示されている。一方、ハイドロフォンの特性上、非常に流砂量が小さい場合、流水によるノイズと流砂による信号が分離できず、流砂量の観測が難しい²⁾。そこで、移動限界流量の理論値と流砂量の急激な増加が観測された流量の下限値を比較した。

吾妻川、大武川、上滝の3地点では60%粒径の移動限界流量とほぼ同じ流量に達した際に流砂量が急激に増加する傾向があった。一方、芋川では90%粒径の移動限界流量程度より流量が大きくなった時点で流砂量の急激な増加が見られた。さらに、葉木川、松川では90%粒径の移動限界流量より相当程度流量が大きい場合(松川では90%粒径の移動限界流量の約3.5倍の流量、葉木川では約5倍の流量)、流砂量の急激な増加が見られた。

また、流量－流砂量関係について実測値と流砂系の土砂動態の検討(流砂量、河床変動傾向の推定)に広く用いられてきている平衡流砂量式から算出される理論値との比較を行った。その結果、吾妻川では観測値はほぼ理論値と一致した。また、上滝、大武川の観測値も比較的理論値に近い応答を示した。葉木川では、観測値が全体的にやや理論値より小さいものの、流量の多い場合は概ね理論値に近く、流



図-2 対象観測箇所の概況

量の増加に対する流砂量の増加の傾きも理論値の関係に近かった。一方、松川、芋川では観測値は2～3オーダー程度理論値より小さかった。観測結果と理論値の乖離の原因としては、用いた河床材料の調査結果が十分な代表性を有していなかったこと、河床材料と流砂の粒径に差があったことなどが考えられるが、より詳細な検討が必要である。

2.3 河床材料と流砂特性の関係

ここでは、図-1で示した河床材料の粒度分布と2.2で示した流砂特性の関係を整理する。河床材料の粒度分布の幅が小さかった吾妻川、上滝、葉木川の3箇所では流量増加に対する流砂量増加の傾きが大きく、流量一流砂量関係は平衡流砂量式の関係に概ね近い傾向を示した。一方、河床材料の粒度分布の幅が大きかった松川、芋川では、流量増加に対する流砂量増加の傾きが小さく、移動限界流量も河床材料から求まる値に比べて大きく、流砂量は平衡流砂量に比べて小さかった。ただし、大武川は例外的に河床材料の粒度分布の幅は大きいにもかかわらず、流量増加に対する流砂量増加の傾きは大きく、流量一流砂量関係は、比較的平衡流砂量式の関係に近かった。

一方、粒径の大小と流砂特性には特に関係性は見られなかった。例えば、60%粒径の大きい上滝

であっても、小さい吾妻川であっても、流量一流砂量関係は平衡流砂量式から求まる関係に近かった。以上のことから、限られた事例ではあるが、河床材料の代表粒径の大小よりも河床材料の分布幅が山地河川の流砂特性に影響を及ぼしている可能性が考えられた。

3. 流砂特性の時間変化

図-3より、大武川以外の5箇所では、同一観測箇所で見えた場合、出水間で同じ流量のときの流砂量の差は小さく、限られた期間においては流砂系固有の流砂特性があることがわかる。一方ここでは、比較的明瞭な流砂特性の時間変化が見られた大武川の流砂特性について、詳しく見てみる。大武川では、2011年9月に台風12号により総雨量200mm、最大時間雨量24mmの降雨が発生し、この降雨により流砂特性が変化した(図-4b)。2011年台風12号による出水では、出水前半に比べて後半で、同じ流量であっても流砂量が大きい傾向が見られた。また、2011年台風12号以前の出水の流量一流砂量関係は台風12号による出水前半の流量一流砂量関係と概ね一致していた(図-4a)。一方、台風12号後は台風12号による出水後半に見られた流量の割に流砂量の多い状況が2012年10月まで継続した(図-4c)。

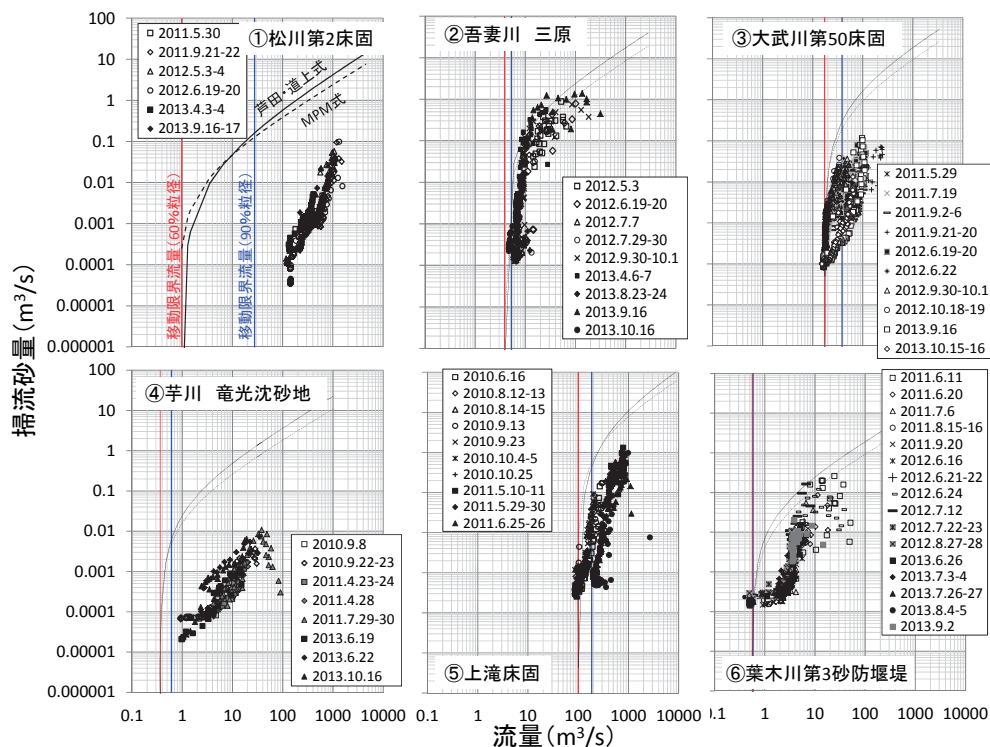


図-3 流量・流砂量関係

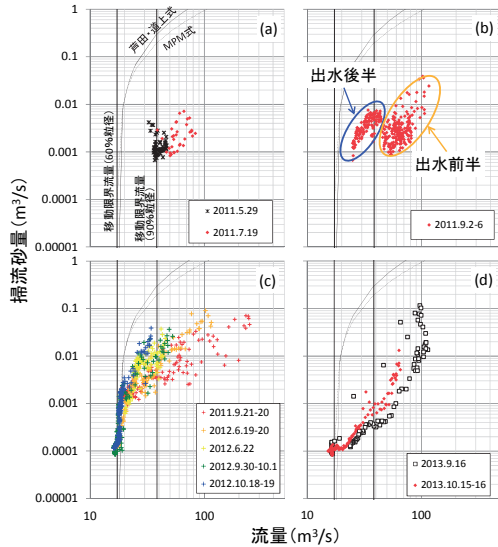


図-4 大武川における流砂特性の時間変化

一方、2013年9月以降の出水では流量が同程度の場合、掃流砂量は概ね2011年台風12号以前のレベルに戻った(図-4d)。

また、2011年台風12号後から2012年10月までの期間は、流量一流砂量関係は、観測値と2011年11月の粒径調査結果を元にした理論値と比較的良好一致が見られた(図-4c)。しかし、その他の時期の観測された流砂量は、2011年11月の河床材料の粒径調査結果を元にした理論値より流砂量は2オーダー程度小さかった(図-4a, d)。すなわち、2年半程度の短い期間であっても河床材料を一定と仮定した場合、既往の平衡流砂量式では十分に流砂量を表現できない場合があると考えられる。また、この間実施された河床材料の粒径調査では、2011年11月の河床材料(60%粒径が4mm)が2012年11月、2013年11月の調査結果(60%粒径がそれぞれ19、15mm)に比べて、細かいことが確認されている。一方で、2011年台風12号後のヘリコプターによる調査では上流域で顕著な新たな斜面崩壊の発生は確認されていない。そこで、流砂特性の変化が生じた

機構については更なる検討が必要であるが、上流域の渓岸崩落等による土砂生産の発生や河床のアーサーコート(細粒土砂が選択的に流出したため粗粒化した河床表面の層)の破壊による細粒土砂の流出等が考えられる。

4. おわりに

山地河川の流砂量は総合土砂管理を考える上で1つの制約条件となると考えられるが、近年の山地河川における流砂水文観測データの蓄積により、山地河川の流砂特性に関する流砂系ごとの特性や時間変化が把握され、流砂系の状況の変化を定量的に監視できる可能性が確認できた。

一方、河床材料の粒度分布等から平衡流砂量式により流砂量を予測するためには調査地点や時期の代表性を十分に考慮することの必要性を確認するとともに、山地河川の流砂量の把握・予測において、山地流域の流砂量を観測することの重要性、効果を改めて確認した。

末筆ながら、全国で貴重なデータの蓄積を進められている担当者の皆さんに感謝いたします。

参考文献

- 1) 例えば、Recking, A. : Influence of sediment supply on mountain streams bedload transport, *Geomorphology*, 175, 139-150, 2012
- 2) 国総研砂防研究室：近年の山地河川における流砂水文観測、国総研資料、No.887、2016
- 3) 国総研砂防研究室：山地河川における流砂水文観測データ(平成21～25年度)、国総研資料、No.886、2016
- 4) 鈴木拓郎ら：音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂量計測手法に関する基礎的研究、砂防学会誌、Vol.62、No.5、pp.18～26、2010
- 5) 土木学会：水理公式集、1999

内田 太郎



国土交通省国土技術政策
総合研究所土砂災害研究
部砂防研究室 主任研究官
Taro UCHIDA

井内 拓馬



国土交通省国土技術政策
総合研究所土砂災害研究
部砂防研究室 交流研究員
Takuma IUCHI

桜井 亘



国土交通省国土技術政策
総合研究所土砂災害研究
部砂防研究室長
Wataru SAKURAI

田中 健貴



国土交通省近畿地方整備
局大規模土砂災害対策技
術センター
Yasutaka TANAKA