

掃流砂量観測と流砂理論に基づく河床材料の変化に着目した全流砂量の推定

(株)建設環境研究所 ○叶正興, 重村一馬
 京都大学 名誉教授 藤田正治
 京都大学 農学研究科 宮田秀介

1. はじめに

流砂観測の究極の目的は粒径階毎の全流砂量を把握することであるが、機器によって計測できる粒径範囲が限られるので、全流砂量を測ることは難しい。富田¹⁾は生産土砂の粒度分布や十分発達したアーマコート²⁾の粒度分布およびハイドロフォンによる掃流砂の観測値を利用して、流砂観測点における洪水時の河床材料表層の粒度分布の変化を推定する方法を提案した。この手法に掃流砂量式と浮遊砂量式を合わせると、観測地点の粒径階毎の全流砂量を推定することができる。本研究では、2023年のデータを使ってこの手法をさらに検討し、その実用性について報告する。

2. 用いた観測データ、調査データ

検討地点は京都大学穂高砂防観測所の足洗谷流域にある流砂観測流路の直上流地点である。この流域の主な土砂生産形態である凍結融解による生産土砂の粒度分布は、澤田²⁾の論文から引用して図1のP1を利用していたが¹⁾、ここでは新たに調査されたP2を用いる。検討地点付近の十分発達したアーマコートの粒度分布は図1のAのようである。この観測流路では水位と掃流砂量が常時計測されているが、本研究では、2023年7月12日～7月24日の洪水時のデータを使う。検討地点の河床勾配は国土地理院地図から読み取った0.089とした。

次にハイドロフォンによる掃流砂量の計測では、計測できない細粒成分の取扱いや衝突率を考慮する必要がある。ここでは、計測できない粒径の下限値は0.2cm³⁾、衝突率は過去の論文⁴⁾を参考に0.4とした。

3. データ解析

3.1 洪水時の河床材料表層の粒度分布

洪水時の河床材料の表層の粒度分布 $f_B(d)$ は、図1のAとP2の間にあると考えられる。富田¹⁾はP2とAの粒度分布を $f_P(d)$ と $f_A(d)$ とし、 $f_B(d) = (1 - \alpha)f_A(d) + \alpha f_P(d) \cdots (1)$ と簡単に表した。ここに、 α :河床材料に占める生産土砂(P)の寄与率である。 α は土砂流出過程と関係する係数であり、粒径によって異なることが考えられるが、ここでは粒径に依らないものと仮定する。

3.2 水理量の推定

検討地点の流量は直下流の観測水路の水深からマンニングの式を用いて算定される流量と同じとした。水路の勾配は1/20、水路幅は5mであり、マンニングの粗度係数は0.015と仮定した。つぎに、検討地点の水理量はレジーム則(係数3.5²⁾)から流路幅を求め、マンニングの粗度係数を0.06として計算された。

3.3 α の算定法

α を仮定すれば河床材料の粒度分布が式(1)から決定され、ハイドロフォンで計測可能な粒径範囲(0.2cm以上)の掃流砂量が芦田・道上の掃流砂量式で計算される。これと計測値が一致するように α が決定される。

3.4 解析結果

検討地点の洪水時の水深と α の時間変化を図2に示す。上図は洪水ピーク前後の変化を示しており、7月13日4時の洪水ピーク付近で α は0.4程度から0.1近くまで低下し、かなり

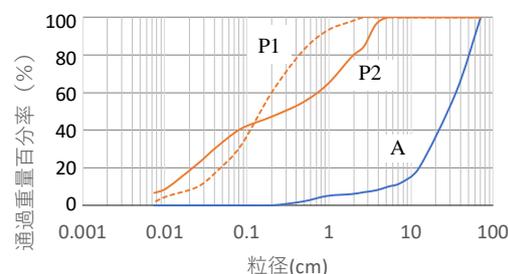


図1 足洗谷における十分発達したアーマコート(A)と凍結融解作用による生産土砂(P1, P2)の粒度分布

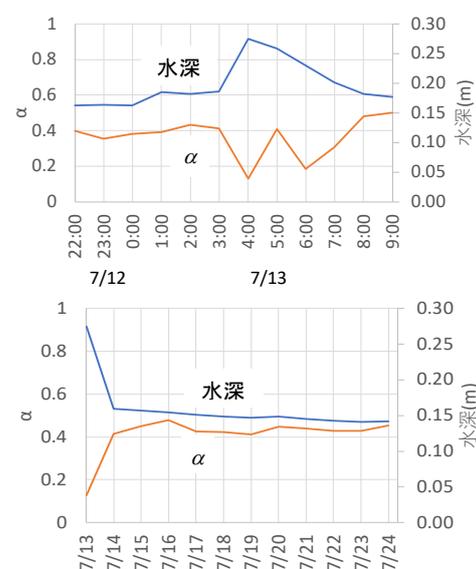


図2 洪水時の水深と α の時間変化
 (上:洪水ピーク前後の変化, 下:洪水ピーク後12日間の変化)

粗粒化 (A の寄与が 90%程度) している. 図 3 左図はこの時の検討地点の河床材料表層の推定粒度分布の時間変化を示す. 洪水ピークに向けて粒度分布が P2 側から A 側にシフトし,その後 P2 側に戻る傾向が伺える. 図 2 下図は洪水ピーク後 12 日間の α の時間変化を示したものでピーク時減少した α がすぐに 0.4 程度に戻り,その後は 0.4~0.5 でほぼ一定となっている. 図 3 右図は洪水ピーク後 12 日間の河床材料表層の粒度分布の時間変化を示す. 洪水ピーク直りで粒度分布が A に近くなり,その後 A 側から P 側にシフトし,その後ほぼ同じ粒度分布で変化しなくなっていることがわかる.

この解析結果が正しいとすれば,洪水前に河床表層に存在していた細粒成分が洪水ピーク時には一旦流送されなくなっているが,ピーク後上流からの細粒土砂が河床に再び堆積したことが読み取れる. このように洪水中の土砂動態を知ることができ,非常に有用な情報を得ることができる.

富田ら⁵⁾は,洪水中,河床材料が移動し始めるときの河床材料の平均粒径はその時の水理量から $d_m = u_{*c}^2 / (0.05 * 0.85sd)$ で推定されることを示しており,これによると平均粒径 21 cmとなる. この洪水中では 7 月 12 日 22 時ごろ流砂が発生し始めたので,この時のときの平均粒径は図 3 から 18cm 程度である. 両者の平均粒径は概ね近い値であり,本研究で推定した河床材料表層の粒度分布はほぼ妥当であると評価できる.

芦田・道上の掃流砂量式および Lane-Kalinske の浮遊砂濃度分布式と芦田・道上の基準面濃度式に,図 3 の α から推定された粒度分布を用いて粒径階毎の全流砂量を計算した. 図 4 はその結果と掃流砂量の計測結果の時間変化に示したものである. α が大きくなるとハイドロフォンと理論式の掃流砂量の乖離が大きくなる. これは, α が大きくなると粒度分布の細粒分が増加し,ハイドロフォンで観測できない粒径の掃流砂量が多くなることを意味する. また, α から推定された河床材料表層の粒度分布を活用することで浮遊砂も推定できる. つまり,すべての粒径階に対して掃流砂量と浮遊砂量を推定できることから全流砂量を推定することが可能となる.

4. おわりに

本研究では,ハイドロフォンの観測値,水理量,地形条件,P2,Aの粒度分布を利用して,洪水中の河床材料表層の粒度分布を推定する方法を示した. また,推定された粒度分布から掃流砂量式を用いることで,ハイドロフォンで観測できない細粒分も含めた掃流砂量及び計測が困難である浮遊砂量を推定できることを示した.

現時点は, α を一定と仮定して研究しているが,今後は, α の粒径依存性, A や P の一般的な決定方法などの検討が必要である. また,ハイドロフォンの計測精度(計測可能な粒径,衝突率)についても最新の研究を踏まえ更新する必要がある.

参考文献: 1)富田, 藤田ら, 掃流砂量観測と流砂理論に基づく粒度分布の推定に関する研究, 第 72 回 R5 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.577-578, 2022, 2)澤田, 山地流域の土砂流出に関する研究, 京都大学学位論文, 1986, 3)叶ら, 大武川におけるハイドロフォンを用いた流砂量観測とその評価, 第 64 回平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.A-127-128, 2015, 4)内田ら, ハイドロフォンの衝突率に関する実験, 砂防学会誌, Vol.67, No.5, P24-29, 2015, 5)富田ら, 流砂観測と流砂理論に基づく洪水中の河床材料の推定方法に関する考察, 第 70 回 R3 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.579-580, 2021

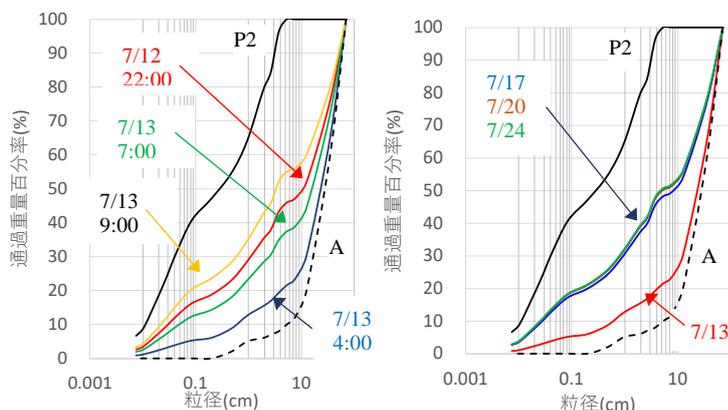


図 3 洪水中の河床材料表層の粒度分布の解析結果 (左: 洪水ピーク前後の変化, 右: 洪水ピーク後 12 日間の変化)

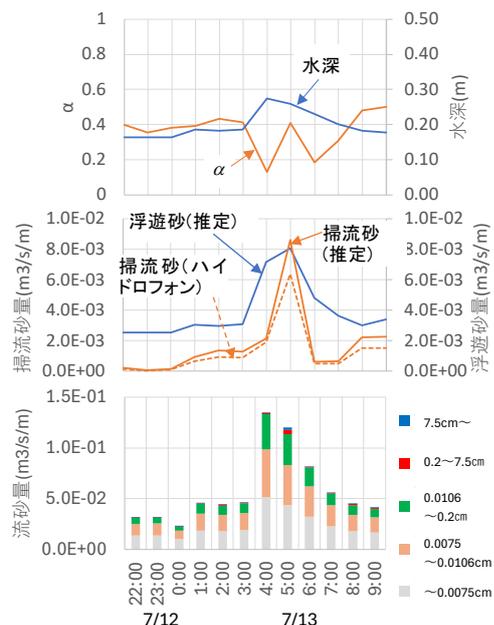


図 4 全掃流砂量等の時間変化 (上: α と水深, 中: 掃流砂・浮遊砂量, 下: 粒径階毎の全流砂量)