

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

(株)建設環境研究所 富田邦裕、叶正興、○重村一馬、田中克幸、多賀大輔
 京都大学防災研究所 藤田正治、宮田秀介

1. はじめに

富田、藤田ら¹⁾により、ハイドロフォンの観測値を利用して、洪水中の河床材料表層の粒度分布の推定方法が提案されている。この手法を掃流砂量式と浮遊砂量式と合わせると、観測地点の粒径別全流砂量を把握する有望な方法となる。そこで、本研究では、この手法の有効性を示すため、神通川上流足洗谷に設置された京都大学防災研究所・穂高砂防観測所の観測水路のハイドロフォンによる掃流砂のデータを利用して、観測水路直上流（以下、流砂調査点と呼ぶ）の洪水中の河床材料表層の粒度分布を推定した成果を報告する。

2. 用いた観測データ、調査データ

掃流砂量が比較的良好に観測された①2017年6月30日～7月2日、②2022年9月7日～10日の2期間のデータを水位の観測データとともに使用した。また、富田らの方法¹⁾では、流砂調査点で十分発達したアーマコートの粒度分布 A と上流域での生産土砂の粒度分布 P が必要であるが、それには澤田²⁾の論文を引用して図1に示すような粒度分布を与えた。流砂調査点の河床勾配は地理院地図から標高、距離を判読し、1/11.25とした。

次にハイドロフォンでは計測できない粒径やハイドロフォンに衝突しない流砂があり、観測値を補正する必要がある。そのため、計測できない粒径の下限値は叶³⁾の報告を参考に0.2cm、流砂がハイドロフォンに衝突する割合（衝突率）は内田ら⁴⁾の論文を参考に0.4とした。

3. データ解析

3.1 洪水中の河床材料の粒度分布

洪水中の河床材料の河床表層の粒度分布 $f_B(d)$ は、図1の A と P の間にあると考えられるので、P と A の粒度分布を $f_P(d)$ と $f_A(d)$ とすると、 $f_B(d) = (1 - \alpha)f_A(d) + \alpha f_P(d)$ と表される。ここに、 α ：河床材料に占める生産土砂（P）の寄与率である。ただし、本来 α は粒径ごとに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

流砂調査地点の流量は、直下流の観測水路の流量を水深からマンニングの式を用いて算定して、それを用いた。水路の勾配は1/20、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、流砂調査点の水深は、レジーム則（係数3.5²⁾）で流路幅を算定し、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 は衝突率とハイドロフォン検知最小粒径を考慮して、ハイドロフォンの観測値と粒度分布から芦田・道上式で算定される掃流砂量が概ね一致するように決められた。

3.4 解析結果

解析された流砂調査点の洪水中の水深と α の時間変化を図2に示す。①の期間は洪水のピーク後、洪水後半に α のピークが発生している。②の期間では α の変化は水位変化に概ね追従している。このことから、凍結融解作用による土砂生産の時期（12月から4月上旬）以降、まだ洪水経験の少ない期間①の最初は、生産土砂が流砂調査点より上流区間までしか到達しておらず、洪水ピーク後にやっと

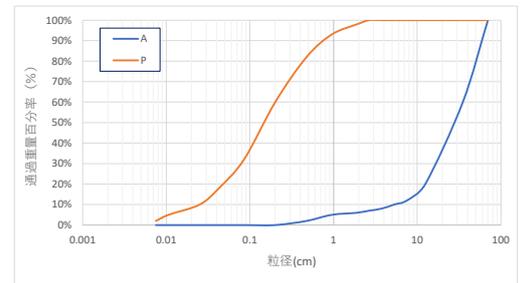


図1 足洗谷における十分発達したアーマコート (A) と凍結融解作用による生産土砂 (P) の粒度分布



図2 洪水中の水深と α の時間変化 (上：①、下：②)

流砂観測点付近まで流送されてきたため、 α のピークが水位のピーク後に現れたものと考えられる。また、期間②では、複数の洪水により河床材料の粒度分布は変化の少ない安定したものに収まったものの、比較的大きな洪水のため河床材料の比較的大きな成分が移動することで、水位上昇と連動して α が増減したものと考えられる。

次に図2の α から求められる洪水時の河床材料の粒度分布を図3に示す。なお、ここでは解析期間の最初と最後、水位、 α のピークに該当する時刻の粒度分布を示す。図3より

り、洪水時の河床表層の粒度分布は、時間的に変化している。期間①では、粒度分布がP側からA側に向けてシフトしている。前述したように、生産土砂の供給による影響が河床材料の粒度分布の変化に現れ、元の状態に戻っていないと推定される。②では、洪水ピークに向けて粒度分布がP側からA側にシフトし、ピーク後元に戻っている。洪水による大きな礫の移動により一旦河床材料が細粒化したのが洪水後半元に戻ったことを意味する。また、河床材料の粒度分布がAに近づくためには、土砂供給がない状況で最大粒径が動かない程度の大洪水を経験する必要があると考えられる。

また、図3に示す2期間の流砂量の立上り時の平均粒径は17cm程度である。富田ら⁵⁾は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決定されることを示している。同様な方法で算定すると平均粒径20~30cm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付近の粒度分布は妥当であると評価できる。

さらに、図3の α から推定された粒度分布を用いて芦田・道上式から算定された全掃流砂量(理論式)とハイドロフォンの掃流砂量の時間変化を図4に示す。 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。例えば、図4に示す左の粒度分布の0.2cm以下の割合は洪水時の最初(2017/7/1 6:00)では25%程度であるが、 α のピーク時(2017/7/1 14:00)では45%程度と、細粒分が増加することが確認された。

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、P、Aの粒度分布を利用して、洪水時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て掃流砂量を推定できることを示した。さらに、ここでは示さなかったが、浮遊砂量の算定も可能であり、粒径別の全流砂量を求めることができる。

今後の課題として、P、Aの粒度分布の設定の検討方法である。本研究では既往研究を活用したが、他の河川ではこれに関するデータがあまりないと思われる。今後、P、Aの粒度分布の調査を広く行うことが必要である。

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全流砂量の推定、第71回R4年度砂防学会研究発表会概要集、pp.657-658、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時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

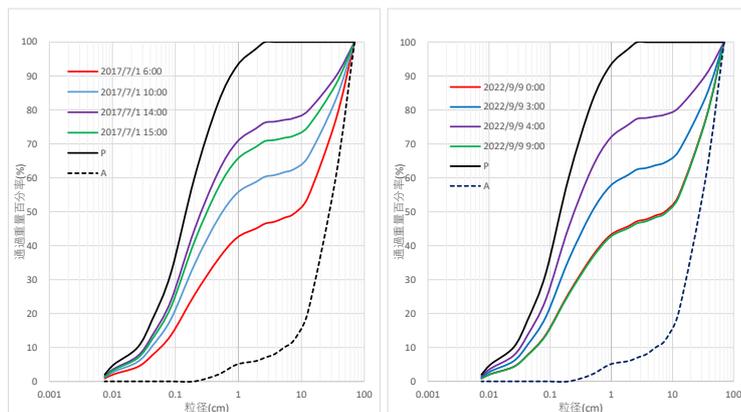


図3 洪水中の河床表層の粒度分布の解析結果 (左:①、右:②)

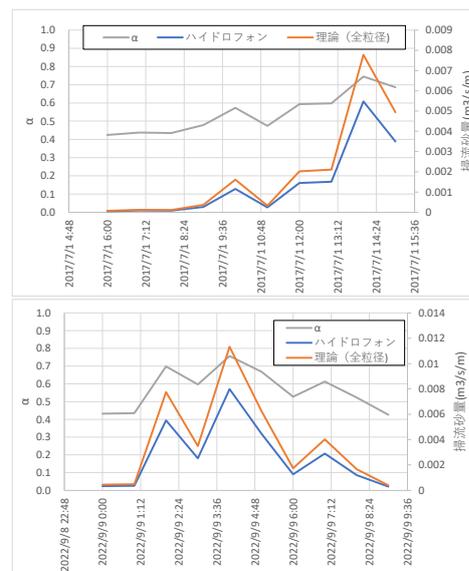


図4 全掃流砂量の時間変化 (上:①、下:②)