

河川流モデルと掃流砂量式による粒径別掃流砂量評価

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科

学生員 ○加藤 靖之
正会員 二瓶 泰雄

1. 序論

山地から河川、沿岸域にわたる水系一貫土砂管理を具現化する上では、どのような粒径集団の土砂がどの程度生産・輸送されるかを把握することは必要不可欠である。このような河川における土砂輸送量モニタリングとしては、浮遊砂やウォッシュロードに関する大規模調査が行われているものの、掃流砂に関しては、汎用的な観測方法が確立されていないがゆえに個別的な観測事例に限定されている。一方、掃流砂に関する室内実験は数多く行われており、これまでに様々な掃流砂式が提案され、それに基づく掃流砂シミュレーションが活発に行われつつある。現地河川における掃流砂式の適用性に関しては今後検討すべき重要な課題であるが、現状では、数値モデルと掃流砂式を併用した掃流砂量評価が有効であると考えられる。本研究では、簡易河川流モデルと掃流砂量式に基づいて、現地河川における粒径別掃流砂量を推定する。ここでは、干潟再生を重要課題として抱える東京湾の土砂供給源である江戸川、荒川、多摩川を計算対象とし、各河川における年間の掃流砂量を算出するとともに、浮遊砂量と比較することを試みる。

2. 掃流砂量算定法の概要

(1) 基本構成

本手法は、流速横断分布を算出するための簡易河川流モデルと、河川流場の計算結果と掃流砂量式に基づく粒径別掃流砂モデル、という2つのモデルから構成されている。ここでは、河川における横断面を計算対象として、横断面形状、水位および流量の時系列データ、底質粒径分布を入力条件とし、水深平均流速・底面せん断力・掃流砂量の横断分布を算出し、最終的に断面全体の掃流砂量を求める。

(2) 簡易河川流モデル

横断面内における水深平均流速分布を算出するために、簡略化された浅水流モデルとして、主流方向(x 方向)の水深平均流速 $\bar{u}$ に関する運動方程式を次のように与える。

$$gI + A_H \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} - \frac{C_f}{D} \bar{u}^2 = 0 \quad (1)$$

ここで、 y は横断方向、 g は重力加速度、 I は水面勾配、 C_f は底面摩擦係数、 D は水深である。また、 A_H は水深平均された水平渦動粘性係数であり、最も簡便な0方程式モデルを与える。式(1)の解法には、有限差分法を用い、式(1)左辺第二項の水平拡散項は二次精度中央差分を適用する。計算手順としては、ある水面勾配 I における流速 $\bar{u}$ を式(1)により求め、流速を断面積分して得られる流量 Q_{cal} を実測値 Q と比較し、異なる場合は水面勾配 I を変更する。前の、を繰り返し、流量推定結果が所定の誤差範囲に収まるまで収束計算を行う。

(3) 掃流砂モデル

粒径別の掃流砂量を求めるために、竹林¹⁾を参考にして、最も有名な掃流砂量式の一つである芦田・道上式²⁾を土砂粒径毎(粒径階)に分けた次式を用いる。

$$q_{bi} = 17 \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)} g d_i^3 \tau_{*e}^{\frac{3}{2}} \left(1 - \sqrt{K_c \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}}}\right) \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}}\right) f_{mi} \quad (2)$$

$$K_c = 1 + \frac{1}{\mu_c} \left\{ \left(\frac{\rho}{\sigma - \rho} + 1 \right) \cos \alpha \tan \theta_x + \sin \alpha \tan \theta_y \right\} \quad (3)$$

ここで、添え字 i は i 番目の粒径階、 d_i は粒径階 i における平均粒径、 q_b は無次元掃流砂量、 σ と ρ は土粒子と水の密度、 τ_{*e} は有効掃流力、 τ_{*c} と τ_{*} は無次元の限界掃流力及び掃流力、 f_{mi} は底質内における粒径階 i の含有率、 K_c は式(3)に示すような限界掃流力の補正関数である。また、 μ_c は静止摩擦係数、 θ_x 、 θ_y は流下および横断方向の河床勾配、 α は流下方向に対する流れの偏角である。また、混合砂礫の無次元限界掃流力としては Egiazaroff の式³⁾を用いる。ここでは、河川流モデルにより算出された底面摩擦力を式(2)に代入し、各横断位置の掃流砂量を算出する。

キーワード：掃流砂、粒径別土砂輸送量、河川流モデル、東京湾、水系土砂管理

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501 (内線 4072) FAX：04-7123-9766

3. 江戸川・荒川・多摩川における掃流砂量の推定

(1) 計算対象及び条件

本論文では、東京湾主要流入河川のうち浮遊土砂輸送量の多い江戸川（新関宿橋・野田橋・市川橋）、荒川（笹目橋・葛西橋）、多摩川（丸子橋・六郷橋）を計算対象とする。入力データとなる底質粒径分布としては、各対象地点3ヶ所（低水路の左岸側、中央、右岸側）において河床表層の底質をグラブ型採泥器で採取し、ふるいわけもしくはレーザー回折式粒度分布測定装置（SALD-3100、(株)島津製作所製）により、底質粒径分析を行った結果を用いる。得られた結果の一例を図1に示す。また、流量データとしては二瓶ら⁴⁾の方法、水位データとしては国交省・水文水質データベースをそれぞれ用いる。

(2) 計算結果と考察

図2は江戸川（野田橋）、荒川（笹目橋）、多摩川（丸子橋）における2006/8/1～2007/9/16の累積掃流砂量の計算結果及び累積流量、累積浮遊砂量の実測結果⁵⁾を示す。掃流砂量に関しては、江戸川では低水時においても掃流砂が発生しているのに対して、荒川や多摩川では年最大規模の出水時にのみ掃流砂が発生している。その結果、台風0709号の出水時において、荒川や多摩川では、掃流砂量が急激に増加しているのに対して、江戸川での増加量は相対的に小さい。このように低水時と出水時における掃流砂量の増減パターンが異なるのは、図1に示す土砂粒径分布や流量比（＝出水流量／低水流量）、横断面形状の違いのためである。また、掃流砂量と浮遊砂量を比べると、3河川共に浮遊砂量が掃流砂量の2～3倍程度になっている。

図3は各地点における年間（2006/8/1から1年間）と台風0709号時（2007/9/6～9/16）の粒径別掃流砂量を示す。ここでは、図中の右上に示される8つの粒径階に分けて表示している。これを見ると、いくつか興味深い事実を読み取ることができる。年間値では下流に行くほど掃流砂量は顕著に減少するが、台風0709号時にはそれと異なり、ほぼ横ばい（荒川・多摩川）もしくは増加（江戸川）傾向となる。粒径別掃流砂量が上・下流で大きく異なっており、土砂輸送の連続性が見られない。例えば、江戸川の年間平均値では、上流の新関宿橋・野田橋では粗砂や細礫成分が輸送されているが、下流の市川橋ではそれらの成分は存在しない。この傾向をより顕著にしたのが、台風0709号時における多摩川の結果である。掃流砂による土砂供給源としては砂干潟には江戸川が、河口内に位置する泥干潟には荒川や多摩川は重要な役割を果たしている。

参考文献：

- 1) 竹林：直線河道の砂州に関する土砂水理学的研究，立命館大学学位論文，1999。
- 2) 芦田・道上：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第206号，pp.59-69，1972。
- 3) Egiazaroff, I.V. : Calculation of non-uniform sediment concentration, *Proc. ASCE*, HY 4, 1965。
- 4) 二瓶ら：東京湾主要流入河川における流量モニタリングの現状と課題，海岸工学論文集，第54巻，pp.1221-1225，2007。
- 5) 重田ら：東京湾主要流入河川における浮遊土砂輸送特性に関する基礎的検討，水工学論文集，第52巻，pp.913-918，2008。

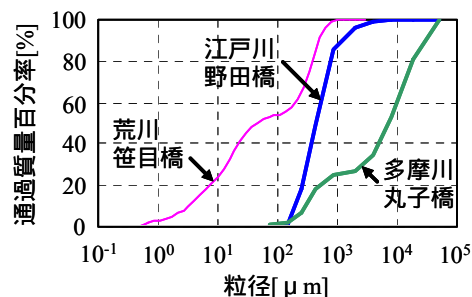


図1 各地点における粒径分析結果

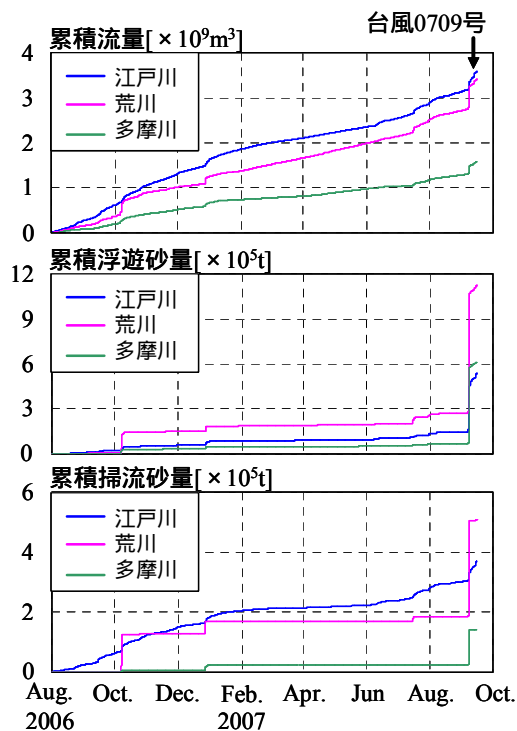


図2 各地点における各累積量の時系列変化

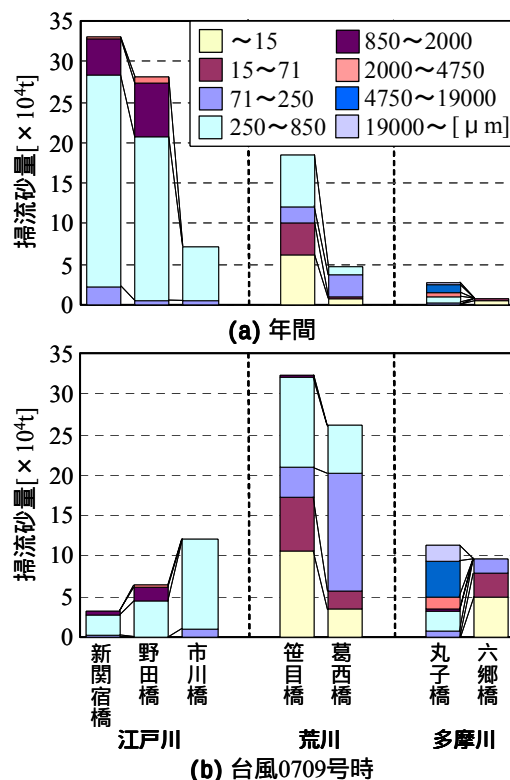


図3 年間と台風0709号時の粒径別掃流砂量