

河川感潮部における懸濁物質の新輸送モデルとそのシミュレーション

九州大学工学部 学生員 ○石橋仁嗣

同 上 学生員 野正博之

同 上 正員 楠田哲也

同 上 正員 栗谷陽一

1. まえがき

河川感潮部における底泥は、潮汐現象に伴って、巻き上げ・沈降現象を繰り返しながら、輸送されている。SSは、それ自体あるいは、汚染物質の輸送媒体として水質環境に種々の影響を及ぼしており、その挙動を予測することが必要である。筆者らは、六角川の過去5度に渡る現地調査の結果に基づいて、この河川のSSの挙動のシミュレーションを行なった¹⁾²⁾。本報は、巻き上げ、沈降速度を現地の底泥を用いた室内実験より定め、河川感潮部におけるSSの輸送現象について検討を加えたものである。

2. 巻き上げ、沈降速度に関する実験方法及び実験結果

巻き上げ実験には、円形回転水路³⁾を用いた。実験は現地より採取した底泥を水中スランプ試験を用いて所定の含水比に調整した試料を用いて、所定の塩分濃度に調整した水を実水深15cmまで注入して、一定の剪断力下で行なった。実験中には、経時的に採水を行いSSの経時変化より巻き上げ速度 α を求めた。図-1に α と塩分濃度の関係を示す。この結果より、 $\alpha = (-0.375\text{Cl}^- + 2.609) \times 10^{-4} (\text{Cl}^- \leq 4.36\text{g/l})$ 、 $\alpha = (-4.3806 \times 10^{-3}\text{Cl}^- + 0.98995) \times 10^{-4} (\text{Cl}^- > 4.36\text{g/l})$ を得た。また沈降実験には、3mのアクリル製の沈降筒⁴⁾を用いた。実験は、所定のSS濃度の懸濁水を筒を水平にして注入し、所定の攪拌強度で攪拌後、直ちに筒を鉛直にして天秤と沈降皿を連結して行った。以後、経時的に沈降重量を読みとり、さらに側壁に設けた採水口より採水して、沈降速度 w を求めた。実験の結果、沈降速度 w は、塩分濃度に関してはあまり変化が見られなかったで、SSの関数として $w = (7.467 \log_{10} \text{SS} + 7.100) \times 10^{-2}$ ($\text{SS} \geq 0.125\text{g/l}$)、 $w = 0.35 \times 10^{-2} (\text{SS} < 0.125)$ とした。

3. 基本式

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Av}{\partial t} + \frac{\partial Av^2}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} = 0 \quad \text{----- (流れの運動方程式)}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \text{----- (流れの連続式)}$$

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (AvC) = \frac{\partial}{\partial x} \left(A D_L \frac{\partial C}{\partial x} \right) + A \sum S_i(C_i) + E \frac{A}{R} + GB + q' \quad \text{----- (物質の収支式)}$$

$$U_*^2 = \frac{g n^2 v^2}{R^{1/3}} \quad \text{----- (摩擦速度の式)}$$

$$U_* \geq U_{*c} \text{の時}; E = \alpha (U_*^2 / U_{*c}^2 - 1)^m, G = 0 \quad \text{----- (巻き上げフラックスの式)}$$

$$U_* \leq U_{*c} \text{の時}; G = -wC, E = 0 \quad \text{----- (沈降フラックスの式)}$$

但し H; 水位(T.p.m), A; 流水断面(m²), R; 径深(m), B; 河幅(m), Q; 流量(m³/s)
 v; 流速(m/s), n; 粗度係数(s/m^{1/3}), C; SS濃度(g/l), C'; 塩分濃度(g/l)
 E; 巻き上げフラックス(kg/m²s), G; 沈降フラックス(kg/m²s), w; 沈降速度(m/s)
 D_L; 縦方向分散係数(m²/s), U_{*}; 摩擦速度(m/s), U_{*c}; 巻き上げ限界摩擦速度(m/s)
 U_{*d}; 全沈降限界摩擦速度(m/s), α 巻き上げ速度(kg/m²s), m; 指数, t; 時間(sec)
 q; 単位長当りの横流入量(m³/ms), q'; 単位長さ当りの流入フラックス(kg/ms)
 S_i(C_i); j 物質からSSへの内部変換速度(kg/m²s), g; 重力加速度(m/s²), x; 距離(m)

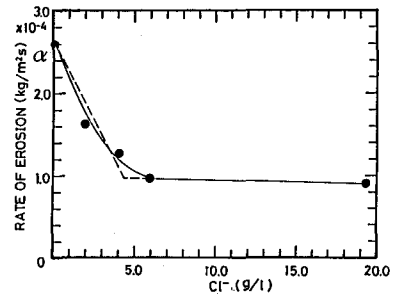


図-1 巻き上げ速度と塩分濃度の関係

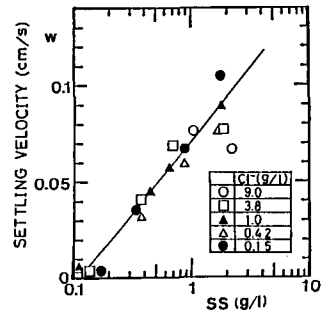


図-2 沈降速度とSSの関係

4. 計算方法及び諸条件

数値計算を行うに当って、水理量の計算には、Leap-Frog法を用いた。流れの初期条件としては、満潮位を全川レベルで与え各断面の流量を零とした。SSの初期条件は、現地観測資料をもとにして与えた。境界条件は、上流端29.6kmで流量 $Q=2(t/s)$ 及びSS濃度を与え、下流端5.0kmで実測値の断面平均濃度及び水位を与えた。またSSについては各計算断面ごとに初期堆積量（巻き上げ時に上層水中へ輸送される限界量）を与え、その値は予め試行錯誤により求めた。粗度係数及び巻き上げ、沈降フラックスを規定するパラメータ(m, U_{*e}, U_{*d})については計算値と実測値との比較を行いつつ定めた。巻き上げ、沈降速度は実験値を用いた。なお粗度係数については、実測断面5.0km、11.0km、17.0km、20.6km、24.2kmを境に5区間に分けて、上げ潮、下げ潮時で分けて定めた。また計算に際して、 D_L 、 q 、 q' 、 S_j は零と置いて計算を行った。計算は昭和59年3月17日(大潮)について行った。

5. 結果及び考察

従来の方法では、下げ潮時に河川上流部の水位が、実測とややずれていたために、粗度係数を上げ潮、下げ潮時で変化させた。

その結果を、表-1、図-3に示す。図-4からわかるように、六角川は大きく湾曲しており、また上げ潮・下げ潮時の混合形態が異なることから考えて、妥当な結果といえる。

図-5に六角橋(11.0km地点)における濃度の時間変化について、実測値との比較例を示す。CASE1は従来の方法で沈降速度 w は Cl^- の関数として、 $w=0.0018m/s(Cl^-\geq 5.0g/l)$ 、 $w=0.0003m/s(Cl^-\leq 0.1g/l)$ 、 $w=0.0003+0.0015/4.9(Cl^--0.1)m/s(0.1<Cl^-<5.0g/l)$ 、巻き上げ速度 α は一定値 $\alpha=0.003kg/m^2s$ と与えて計算した。CASE2は実験で求めた巻き上げ速度を用いて計算を行った。CASE3は沈降速度・巻き上げ速度とも、実験値を用いて計算を行った。図からわかるようにCASE1は、沈降時のSSは実測値とよく一致しているが、巻き上げ時はやや小さいようである。CASE2は、CASE1と同様に、沈降時はよく一致しているが、巻き上げ時はやや小さいようである。CASE3では、沈降時はあまり一致していないが、巻き上げ時は前者よりかなり一致している。以上のことより、沈降過程は従来の方法で、十分表現しうるが、巻き上げ過程については、実験値を用いた本モデルのほうがよく一致しているといえる。

このことから沈降速度は、本モデルでは前述したようにSS濃度によって変化するとしたが、実際の河川では塩分による影響が大きいのではないと思われる。一方、巻き上げ速度については塩分濃度を考慮すべきであると思われる。今後は、沈降速度・巻き上げ速度についてさらに検討を進めていくつもりである。

表-1 粗度係数

距離(km)	5.0~11.0	11.0~17.0	17.0~20.6	20.6~24.2	24.2~29.6
下げ潮	0.020	0.032	0.030	0.028	0.028
上げ潮	0.017	0.024	0.028	0.030	0.030

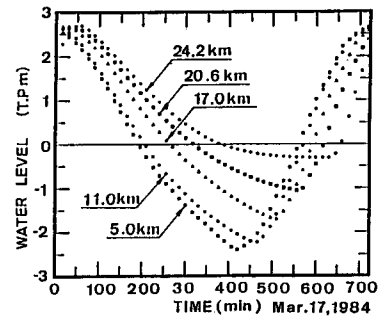


図-3 水位変化

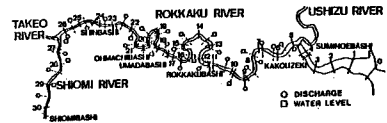


図-4 六角川流域

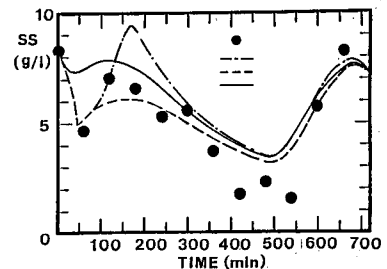


図-5 SS経時変化

参考文献

- 1) 野正 他：感潮河川における懸濁物質の輸送シミュレーション、昭和58年度土木学会西部支部研究発表会、PP116~117。
- 2) 野正 他：感潮河川における懸濁物質の輸送シミュレーション(Ⅱ)、昭和59年度土木学会西部支部研究発表会、PP150~151。
- 3) 松永 他：底泥の巻き上げ機構に関する実験的研究、昭和57年度土木学会西部支部研究発表会、PP234~235。
- 4) 川崎 他：静水中における微粒子の凝集沈降に関する実験的研究、昭和58年度土木学会西部支部研究発表会、PP126~127。