

九州大学工学部 正 石田輝之 楠田哲也 栗谷陽一
久保田鉄工 正 石原達弘 九大大学院 学 表了

1. はじめに 河口部での底泥の堆積による河口閉塞や航路の浅化の予測, あるいは感潮河川部での水質の保全を計るためには, 水流の変動に伴う底泥の挙動を明らかにする必要がある不可欠である。しかしながら掃流力が場所的, 時間的に変動する場合の底泥の挙動はかなり複雑であり未知の部分が多く残されている。本研究は感潮河川における底泥の挙動を予測するための第一歩として, 周期的掃流場における底泥の巻き上げ及び沈降実験から得られた知見をもとに, モデル感潮部を設定し底泥の挙動を数式に表わしてシミュレートし, 検討したものである。

2. 周期的掃流場における底泥の巻き上げと沈降に関する実験

流速を周期2時間の正弦関数の絶対値に従って変動させ, 最大掃流力を $q_{2\omega}$ とした場合の掃流力(以下で)とSSとの関係を図-1に示す。実験は円形回転水路で行ない, 試料としては筑後川河口で採取した底泥を用いた。SSは図上左回りのループを描くように時間的に変動する。一周期内的のSSの挙動は①巻き上げ, ②比較的大きな粒子の分散した状態での沈降, ③凝集沈降の三つに支配されている。周期回数が増加すれば比較的大きな粒子は巻き上げられなくなるため②の分散沈降はさほどSSの減少に影響を及ぼさない。そこで, ここではSSの変動を図-2に示したように簡単にモデル化した。既述, τ_c が増加し巻き上げの限界掃流力 τ_{cd} を越えたと巻き上げが起り, 最大掃流力 τ_{max} までSSは直線的に増加する。その後で τ_{max} を過ぎると巻き上げ, 沈降ともに越えらるがSSは一定となる。さらに τ_c が全沈降限界掃流力 τ_d より小さくなると凝集沈降が生じSSは急激に減少する。これを周期的に繰り返す。このモデルに基づき τ_{max} が異なる数種の実験結果から沈降フラックス F_d と巻き上げフラックス F_u を各々 τ_{max} 及びSSの関数として表わしたのが図-3, 4である。これらの関係を用いて以下のシミュレーションを行った。

3. 感潮河川における底泥の挙動に関するシミュレーション

シミュレーションの対象として, 川幅が一定(750m)で矩形断面を有する長さ12kmの河川を考えた。計算手法としては将来の実水域への適用を考慮し, 空間方向には節点数125(河幅方向に5節点)の三節点三角形要素で一次多項式による有限要素法を, 時間方向には連次時間積分法を用いた。河口から上流方向にx軸をとる。基礎式は連続式, 運動方程式, 拡散方程式で各々

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uH) + \frac{\partial}{\partial y}(vH) &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial x} + gS + \frac{\tau_{bx}}{\rho H} &= 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\tau_{by}}{\rho H} &= 0 \\ H \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(H D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(H D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) - F_d &= 0 \end{aligned}$$

である。境界条件としては, 下流端では水深を周期2時間の正弦関数に従って変動するとし, $H(m) = 0.5 \left(\frac{\pi \tau_c}{12.4 \times 10^3} \right) + 2$ とした。また濃度勾配を0とした。上流端では水深は常に一定で0.5mとし, 濃度勾配は0とした。河岸では河岸に鉛直方向の流速及び濃度フラックスを0とした。初期条件として, 水深については満潮時の上下流端の水深が

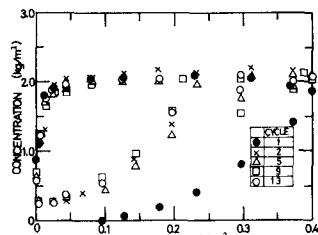


図-1. τ とSSとの関係

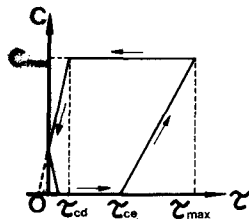


図-2. SSの変動のモデル

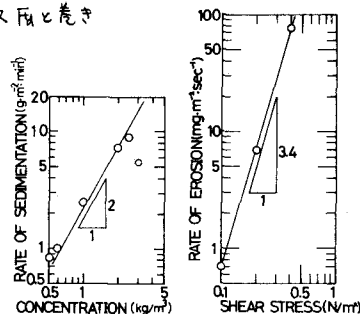


図-3. SSと F_d との関係

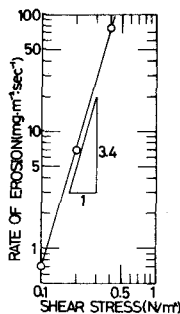


図-4. τ_{max} と F_u との関係

ここで, H : 水深, u, v : 水深方向に平均した流速
 S : 河床勾配 ($\frac{2.95}{12400}$), τ_b : 底面摩擦力
 $\tau_{bx} = \rho g \sqrt{u^2 + v^2} / C_s$, $\tau_{by} = \rho g \sqrt{u^2 + v^2} / C_s$,
 C_s : Chézyの粗度係数 (40.4 といふ)
 F_d : 巻き上げ及び沈降フラックス

ら一次内挿により全水域の水深を与えた。流速はが濃度は全水域で0とし、底泥堆積量は全域で1kg/m²とした。また、 $F_b = 173.2 \times 10^{-4} C_{\max}^{2.4}$ (kg m⁻³)

$$F_d = 1.33 \times 10^{-2} C^2/H \quad (") \text{とした。}$$

計算は時間ステップ30秒で、流速と水位についてはsplit-time法を用いた。計算途中で、底泥堆積量あるいはSSが0になれば F_b, F_d を各々0とした。 $C_{\max}, C_d$ は各々0.05, 0.025 N/m²とした。図5, 6に水位及び流速の変動を示す。図中の数字は河口からの距離を示し、河幅方向の変化はほとんどなかった。水位、流速共に下げ潮時の変動の方が上げ潮時よりなだらかなであり、上流側になる程ピークになる時刻が遅れ、潮汐の影響する期間も短くなり、最大流速も小さくなっている。また流速が0になる時刻は干潮時には水位より30~60分遅れ、満潮時には若干速くなっている。以上から河口感潮部における周期的流の場がよく表現されていることがわかる。図7, 8にSS及び底泥堆積量 W_b の変動を示す。

全体的には流速の変動に伴ない底泥は巻き上げ、沈降を繰り返して時間を一周期としてSSが変動していることが理解される。また、巻き上げ開始時刻は上げ潮時には上流部への潮汐の伝播がかなり遅れるため、最上流部は河口部より6時間程度遅れている。下げ潮時には上下流部での潮汐の時間遅れが小さいため、ほぼ同時刻で巻き上げが開始される。同様に沈降開始時刻は、下げ潮前半では下流の方が速く、上げ潮の後半では時間遅れはほとんどない。底泥堆積量については、底泥の供給量を制限し、 F_b と $C_{\max}$ の関数としたため、下流部では $C_{\max}$ が大きく巻き上げは急激に生じ、短時間で供給量がなくなり巻き上げは停止してしまうが、上流部では $C_{\max}$ が小さく緩やかな巻き上げが長時間継続する。また、9, 11 km地点に底泥が堆積する傾向が見られる。これは本計算では

下げ潮時にも上流端からのSSの供給があり、但流速時に沈降するSSが存在する点にもよるが、巻き上げ及び沈降の境界抑流力は差が存在することで、上流部は底が小さいためと考えられる。以上より、定性的には本モデルは感潮河川での底泥の挙動を良く表現していると考えられる。

4. おわりに 本研究ではモデル感潮部での底泥堆積量、SSに関するシミュレーションを行ないその挙動について定性的知見を得た。しかしながら、沈降及び巻き上げフラックスの与え方、上下流端でのSSについての境界条件、塩分濃度の変動に伴う凝集沈降特性の変化等について今後検討が必要である。さらに実水域への適用、実験データとの照合等により、モデルをさらに精緻なものとしたい。なお本研究は文部省科学研究(一般研究)の補助を受けた。ここに謝意を表する。

(参考文献) 1) 楠田, 海田, 栗原, 石原, 「底泥の巻き上げと沈降に関する基礎的研究(Ⅳ)」第18回衛生工学研究討論会, 1992.1 pp152~157

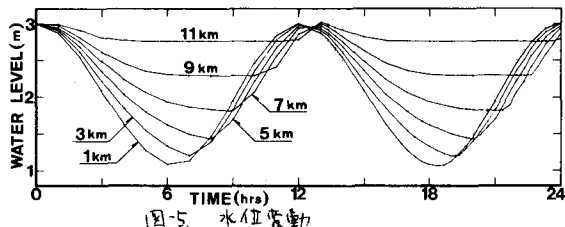


図-5 水位変動

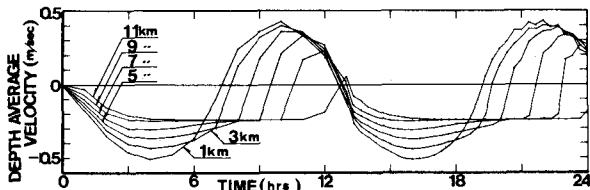


図-6 流速変動

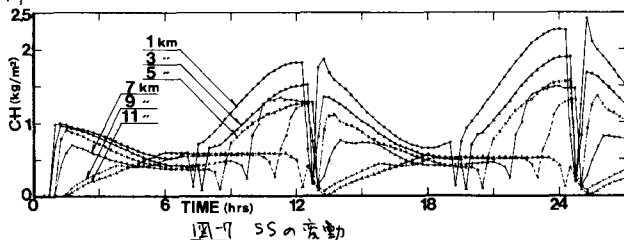


図-7 SSの変動

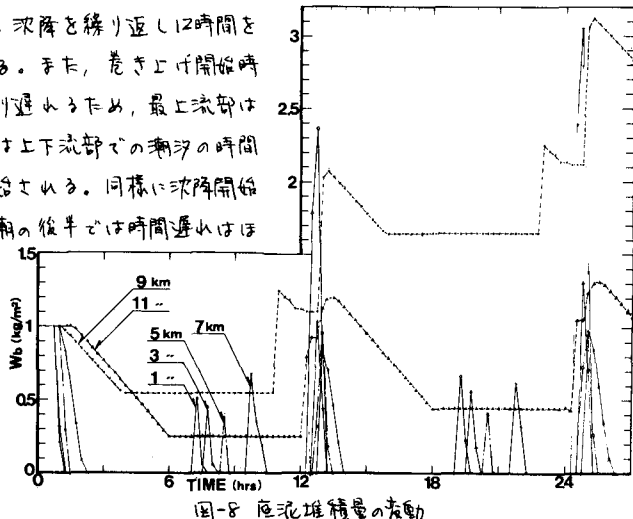


図-8 底泥堆積量の変動