

九州大学工学部 学生員 ○野正 博之

同 上 正 員 二 渡 了

同 上 正 員 楠 田 哲 也

同 上 正 員 栗 谷 陽 一

佐賀大学理工学部 正 員 古 賀 憲 一

1. まえがき 河川感潮部の水質は、地域住民の生活環境や水資源としての利用等に大きな影響を及ぼしており、また沈降性SSは、航路維持に影響を及ぼしている。河川感潮部での水質の予測法は、その水質変動現象が各河川感潮部ごとに大きく異なり、しかもその現象が複雑なことから、未だ確立されていない。そこで本研究は、六角川を対象として、河川感潮部の水質変動現象を明らかにすることを目的としている。水質調査の結果によれば、六角川の水質は、SSに大きく支配されていることが明らかにされているので、本報では、このSSの挙動のシミュレーションを行ない、河道内に存在するSSの輸送現象について、若干の知見を得たので報告する。

2. 基本式 河川感潮部のSSの輸送現象は、強混合の不定流一次元モデルとして取り扱い、その基本式は、次に示す通りである。

$$\begin{aligned} \frac{1}{gA} \frac{\partial AV}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial AV^2}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n|V|V}{R^{4/3}} &= 0 \quad \text{----- (流れの運動方程式)} \\ \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} &= 0 \quad \text{----- (流れの連続式)} \\ \frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(AVC) &= \frac{\partial}{\partial x}(AD_z \frac{\partial C}{\partial x}) + A \sum_i S_{si}(C_i) + E \frac{A}{R} + GB + g' \quad \text{----- (物質の収支式)} \\ U_*^2 &= \frac{g n^2 V^2}{R^{1/3}} \quad \text{----- (摩擦速度の式)} \\ U_* &\geq U_{*c} \text{ の時; } E = \alpha(U_*^2/U_{*c}^2 - 1)^m, G = 0 \quad \text{----- (巻き上げフラックスの式)} \\ U_* &\leq U_{*d} \text{ の時; } G = -WC, E = 0 \quad \text{----- (沈降フラックスの式)} \\ C' &\geq 5.0 \text{ の時; } w = 0.0018, C' \leq 0.1 \text{ の時; } w = 0.0003 \\ 0.1 < C' < 5.0 \text{ の時; } w &= 0.0003 + 0.0015/4.9(C' - 0.1) \quad \text{----- (沈降速度の式)} \end{aligned}$$

但し H : 水位 (TPm), A : 流水断面 (m^2), R : 径深 (m), B : 川幅 (m), Q : 流量 (m^3/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/m^2s), G : 沈降フラックス (kg/m^2s),
 D_z : 縦方向分散係数 (m^2/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 : 定数 (kg/m^2s), m : 定数, W : 沈降速度 (m/s),
 g : 単位長当りの横流入量 (m^3/ms), g' : 単位長当りの流入フラックス (kg/ms),
 S_{si} : 内部変換速度 (kg/m^2s), g : 重力加速度 (m/s^2), x : 距離 (m), t : 時間 (sec)

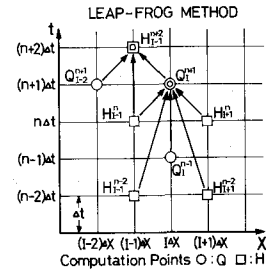


図-1 差分スキーム

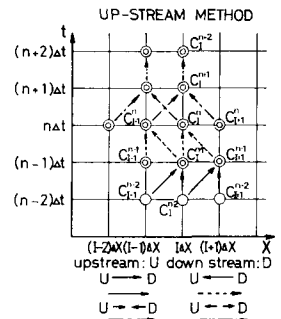


図-2 差分スキーム

3. 計算方法及び諸条件 数値計算するに当り、水理量の計算には、Leap-frog法¹⁾

を用い、潮汐流によるSSの輸送項の計算には、風上差分法を用いた。図-1、図-2にそれぞれの差分スキームを示す。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与えた。境界条件としては、上流側29.6kmで流量 $Q=3(t/s)$ 及びSS濃度 $C=0(g/l)$ を与え、下流側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、各断面ごとに初期堆積量(巻き上げ時に上層水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。本例では17.6kmより上流は零とし、17.6kmより河口に向か、直線的に増加させた。さらに高濃度のSSが存在すると思われる、17.6kmから11.0km区間については、その量を増加させた。粗度係数及び巻き上げ、沈降フラックスを規定する係数や、 U_{*c} , U_{*d} , α , W については、計算値と実測値との比較を行いつつ定めた。尚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区間に分けて定めた。また本例では、 D_z , g , g' , S_{si} を零と置いて計算した。

4. 結果及び考察 図-3に計算で求めた周期的に定常となったときの水位の時間変化を示す。この図から干潮時においては、上流で固有流量に基づく定常な流れが認められ、河口に行くに従い、潮汐流の影響がよく現れている。実測値との比較を示していないが、干満時の潮位等についても、実測値とよく一致している。また粗度係数は前述のように、実測値との比較より5.0 kmから29.0 kmに向かって、0.020, 0.028, 0.026, 0.028, 0.035とした。図-4に摩擦速度の時間変化を示す。流れの反転時における U_* の減少が認められ、反転時間のずれが、5.0 kmと24.2 kmで約3時間ある。また U_* の時間変動は、下げ潮時に比べて上げ潮時の方が大きく、 U_* の値も大きくなっている。 U_* の最大値は、0.035(m/s)~0.055(m/s)となっている。図-5、図-6に20.6 km, 11.0 km地点におけるSS濃度の時間変化について、実測値と計算値との比較例を示す。計算するに当たって用いた巻き上げ、沈降フラックスを規定するパラメータは、全区間について、 $U_{*c}=0.03(\text{m/s})$, $U_{*d}=0.005(\text{m/s})$, $d=0.003(\text{kg/m}^3)$, $m=1.7$ とした。沈降速度 W については、当初全区間 $W=0.0003(\text{m/s})$ としたが、河口付近で計算値の巻き上げ及び沈降水量が、やや不足したために、塩分濃度を考慮した沈降速度とした。これらの図より計算結果は、実測値とよく再現していると言える。このことより、河口付近の塩分濃度の高い区間における浮泥粒子は、凝集性を有しており、沈降速度が大きくなるなどの現象が生じているものと思われる。また $U_{*d}=0.005(\text{m/s})$, $U_{*c}=0.03(\text{m/s})$ より、図-4から上流部では巻き上げ、沈降現象はあまり見られず、この部分でのSSの輸送は、大半が移流による輸送であることがわかる。また下流部でも沈降現象は、流れの反転時前後のわずか5分から30分程度の間でしか現れないことがわかる。図-7にSS濃度の時間、空間的変化の計算値を示す。この図から11 kmから18 km付近に存在する高濃度のSSが、水位変動に伴って巻き上げ、沈降を繰り返しつつ、輸送されていることがよくわかる。しかし1周期終了した時点での計算値と初期値が一致していないようである。また底泥の初期堆積量は、17.6 kmから上流を零としていたが、再満潮時(708 min)には、底泥の堆積量は、11.6 kmから上流が零となっている。(図中直線を付した地点; $\bigcirc$) これは、SSの輸送現象が、大、中、小潮を通じて起こり、かつ一日2回の満潮時における潮位が、それぞれ異なるために、このような現象が生じるのではないかとと思われる。従って、SSの輸送現象をよりよく説明するためには、12時間程度の同一潮汐の繰り返し計算ではなく、約1か月程度の長時間に渡った計算が、必要となるであろう。

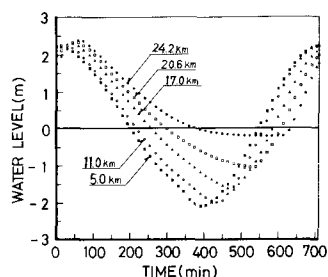


図-3 水位の時間変化

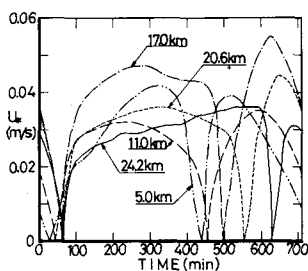


図-4 U_* の時間変化

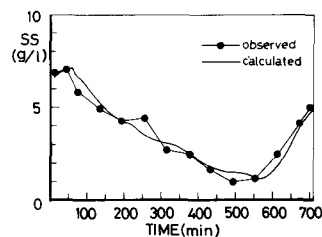


図-5 SSの時間変化(20.6 km)

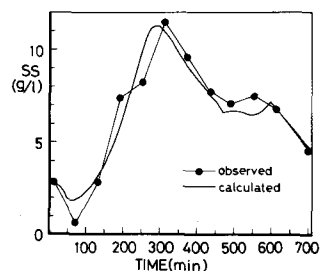


図-6 SSの時間変化(11.0 km)

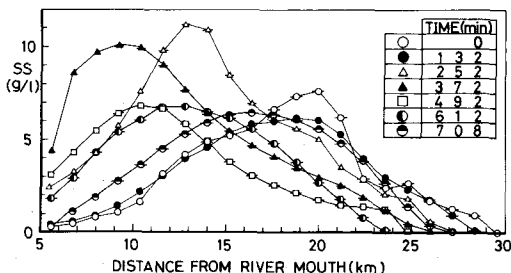


図-7 SSの時間、空間的変化

—— 参考文献 ——

- 1) 水理公式集 PP180~188
 筑後川下流部施設整備計画調査報告書：九地建
 筑後川工事事務所 昭和58年3月
 土木工学における数値解析/基礎編：土木学会
 編，サイエンス社 PP45~68