

河川感潮部の底面近くの流れと濁度に関する研究

山口大学大学院 学生員 光延 清伸 フェロー 羽田野 袈裟義
中央開発(株) 正会員 坂本 淳一 山口大学大学院 正会員 種浦 圭輔
宇部フロンティア大学 正会員 松本 治彦 (株)四電工 正会員 柿内 邦仁

1. はじめに

本研究では、河川感潮部の底面近くの流れと濁度の性状を解明することを目指す。著者らは、これまでに中小河川として真締川を取り上げ、その感潮域における現地調査を行ってきた¹⁾。ここでは、一潮汐間の塩分の縦断分布の変化を報告する。そして、河川感潮部の底質の移動に大きく影響すると考えられる底面せん断応力について、塩分分布の調査結果と一次元非定常流計算の結果に基く評価方法を示し、その結果について考察を行う。そして、濁度との関係を考察する。

2. 現地調査の概要

調査は、真締川の河口から約 1.3km の感潮区間において、図-1 に示す4つの観測地点で行われている。調査は1995年から2001年まで全17回行われており、各調査地点において、1時間ごとに採水し、表-1 の測定と分析を行なっている。1996年度より、Stn.1 における流速、塩分、濁度、水温について河川の横断方向に等間隔で分割する5つの鉛直分布の測定を行っている。今回、全17回の調査の内、潮位差の異なる3回分(表-2 参照)を代表例として述べる。

3. 現地調査の結果

(1) 塩化物イオンの縦断面分布

塩化物イオンの縦断面分布より河川水と塩水の混合の程度について考察する。図-2 に塩化物イオンの縦断面分布をコンターで示す。

a) 第7回(1997. 7. 21)

満潮時(9:00):Stn. 1 付近において全層で15%前後の一定の値であり、強混合型に近い分布となっているが、上流の分布は緩混合型に近い。

下げ潮時(18:00):表層を河川水が流れながら塩水が後退する。

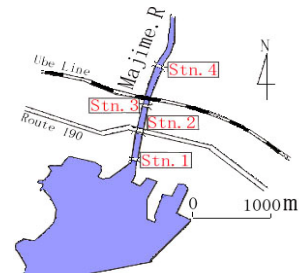


図-1 観測地点

表-1 測定項目と機器・分析方法

項目		測定機器・分析方法
縦断方向	塩化物イオン	硝酸銀適定法
	電気伝導度	電気伝導度計
	pH	ガラス電極法
	濁度	積分球式濁度計
	水温	サーミスタ水温計
横断方向	流速	電磁流向流速計(ACM210-D)
	塩分・水温	サリノメーター(E.I.L; MC5/2型)
	濁度	赤外後方散乱方式濁度計

表-2 調査実施日と潮位

	第7回		第8回		第11回	
調査日	1997.7.21		1997.8.27~28		1998.7.30~31	
調査時間	9:00~22:00		17:00~5:00		13:00~2:00	
	大潮		小潮		小潮	
	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位
満潮	9:18	380cm	17:28	306cm	13:01	305cm
干潮	15:49	18cm	23:32	204cm	19:08	140cm
満潮	22:16	412cm	5:10	286cm	1:14	324cm

上げ潮時(18:00):塩水が干潮時に Stn. 1 よりも河口口まで後退した後、再度 Stn. 1 まで浸入した状態である。緩混合型の分布を示しながら水塊が遡上している。

満潮時(22:00):9:00 とほぼ同様の分布を示す。

b) 第8回(1997. 8. 27~28)

満潮時(17:00):コンターは比較的疎であり、緩混合型の分布を示す。

下げ潮時(20:00):河川水が表層を流れ、またコンターの傾きは緩やかで塩水は後退している。

干潮時(23:00):塩水は Stn. 2~3 の位置まで後退する。

上げ潮時(2:00):緩混合型から弱混合型の分布を示す。

しながら塩水が遡上する。

c) 第 11 回 (1998. 7. 30~31)

満潮時 (13:00): コンターは比較的疎に描かれ、緩混合型の分布を示す。

下げ潮時 (17:00): 表層に 5%前後の濃度の低い水が流れ、塩水が後退している。

干潮時 (19:00): 塩水は Stn. 1 まで後退する。

上げ潮時 (23:00): 緩混合型の分布を示しながら塩水が遡上している。

4. 底面せん断力の評価

ここまで、現地調査結果から塩分の分布について述べてきたが、底質の移動には、底面せん断応力(掃流力)が大きく影響する。また塩水の入退潮が繰り返される河川感潮域では、塩分分布が底面せん断応力に密接に関係してくる。

ここで、密度変化を考慮した運動方程式に、現地調査から得られた密度分布と非定常流計算から得られた各地点の水深及び流速を用いて、底面せん断力の評価をする。

4.1 評価式

密度変化を考慮した運動方程式は次式²⁾で与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho v A) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \beta v^2 A) \\ = \rho g A \sin \theta - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \int \rho g (h - y) dA \right\} - \tau_b B \end{aligned} \quad (1)$$

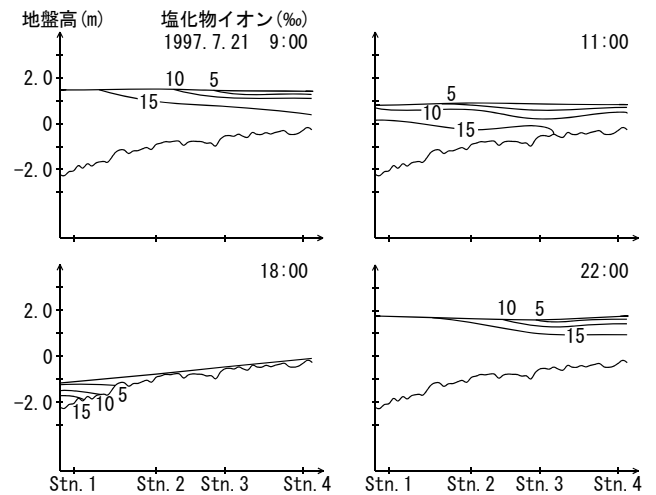
ここで、 A は流水断面積、 v は断面平均流速、 B は川幅、 h は水深、 y は底面から上方方向の長さである。 τ_b は底面せん断力であり、流れが底面を下流方向に擦るときを正とする。一定幅の広長方形水路と考え、式(1)において右辺の積分で ρ を断面平均値

$\rho = \rho_0 + \langle \Delta \rho \rangle$ 、その他の ρ を淡水の密度 ρ_0 で近似する。また運動量補正係数 $\beta \doteq 1$ を用いて変形すると、

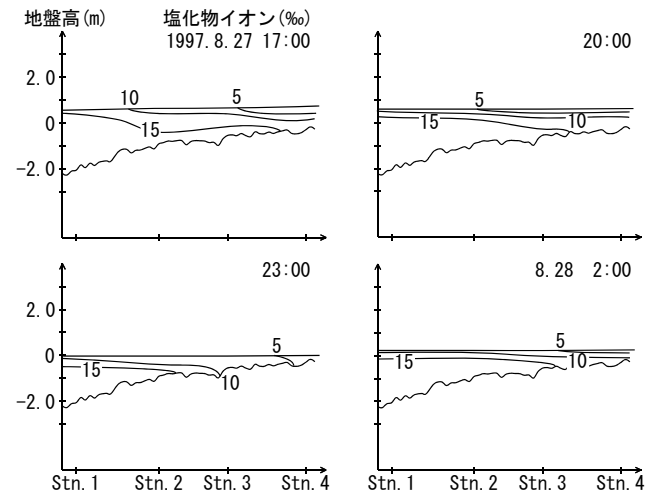
$$h \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \right) = gh I_w - \frac{\tau_b}{\rho_0} - \frac{1}{2} \frac{gh^2}{\rho_0} \frac{d\langle \rho \rangle}{dx} \quad (2)$$

が得られる。

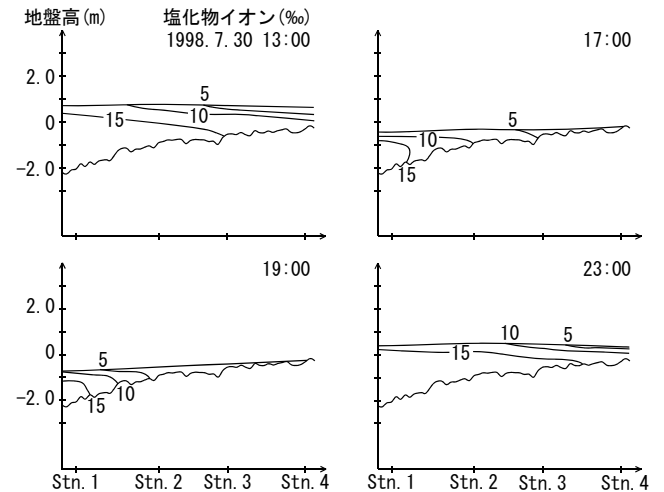
ここで、現地調査から得られた各地点の断面平均密度と非定常流計算から得られた各地点の物理量を



a) 第 7 回 (潮位 380-18-412cm)



b) 第 8 回 (潮位 306-204-286cm)



c) 第 11 回 (潮位 305-140-324cm)

図-2 塩化物イオンの縦断面分布

用いて各項の評価を行った。既往の研究では、加速度項が一貫して小さいことがわかっている。よって、式(2)において加速度項を無視して、

$$\frac{\tau_b}{\rho_0} = ghI_w - \frac{1}{2} \frac{gh^2}{\rho_0} \frac{d(\rho)}{dx} \quad (3)$$

から底面せん断力を評価した。

4.2 底面せん断応力と濁度の関係

こうして求めた底面せん断応力と濁度(底面上25cm)の関係を図-3に示す。大潮に注目すると、第7回と第10回では、底面せん断応力の最大値が大きくこれに対応して濁度が高い値を示している。一方、小潮では、第11回と第12回に大きな濁度が生じている。このときは底面せん断応力の値は $0.0002 \text{ m}^2/\text{s}^2$ を越えている。既往文献³⁾によると、底面せん断応力が $0.0002 \text{ m}^2/\text{s}^2$ を超えると巻き上げが起こるとされており、小潮時でも巻き上げが起こっている可能性があると考えられる。

別の見方として、この底面上の濁度が現時点のせん断応力だけによって決まるものではなく、それまでの時刻のせん断応力と沈降の影響を含んでいるはずである。そこで、粒子沈降の影響を度外視して、連続する2時刻の濁度の差とせん断応力の関係を調べた。

図-4は、1時間おきの上記の底面上の濁度と底面せん断応力を用い、前後する2時刻の濁度の差〔(後の時刻の値) - (前の時刻の値)〕と2つの時刻の底面せん断応力の平均値の関係を示したものである。全体的に、原点を通りわずかに右上がりの直線に分布している。即ち、底面せん断応力の絶対値が同じ場合、下げ潮時の方が上げ潮時よりも濁度大きい。右下部にあるプロットは最干潮(下げ潮→上げ潮の変化時刻)のものである。縦軸の負値は底質の巻き上げよりも沈降の方が大きい状態を示している。最干潮の時に縦軸が大きな負値を示す理由として、水深が浅いために底面上25cmの高さで測った濁度が断面全体の濁度を代表していないことが考えられる。言い換えれば、水深が深い状態では、底面上25cmでは流れ断面の下部に位置する。一方、水深が浅くなると底面上25cmの位置は、流れ断面の中で比較的高い部分になる。また、水深が低い状態では、掃流砂的な流れが底面近くで起こり、濁度物質が測点よりも低い位置に集中し、濁度の測定値が流れ断面の濁度を代表していない。

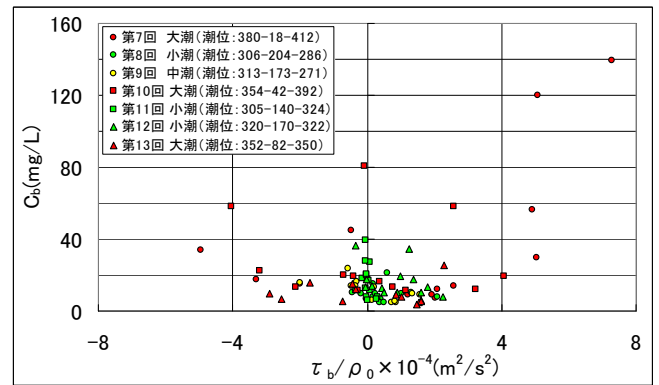


図-3 濁度 C_b と τ_b / ρ_0 の関係

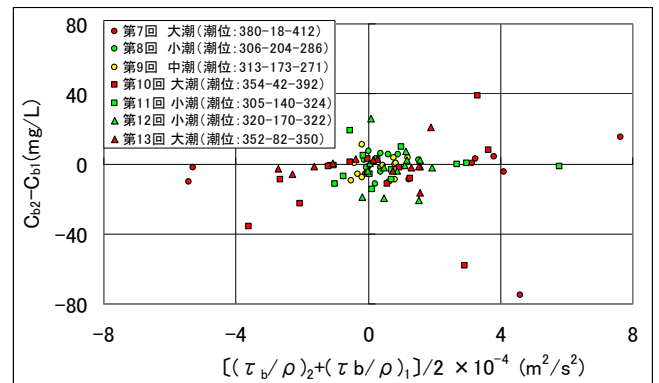


図-4 濁度 C_b と τ_b / ρ_0 の関係

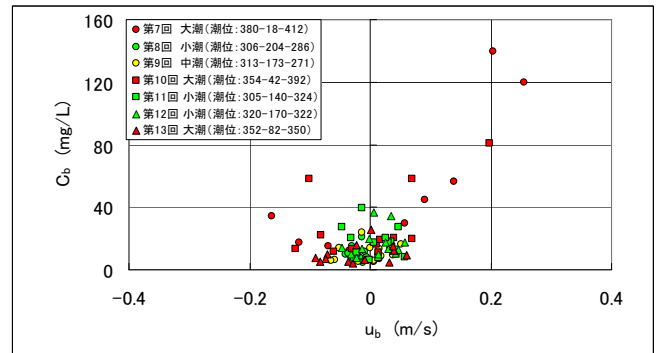


図-5 濁度 C_b と流速 u_b の関係

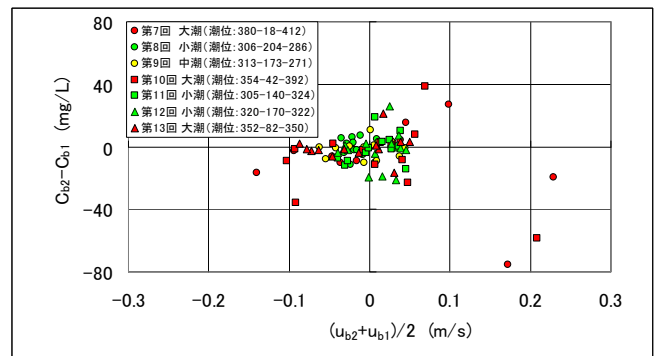


図-6 濁度 C_b と流速 u_b の関係

4.3 濁度と流速の関係

次に底面上11.5cmの流速と底面上25cmの濁度との関係を図-5に示す。図-5より、濁度と流速の関係

は、大まかに見て濁度が流速の 2 乗に比例する形の二次関数の曲線の周りにプロットが分布している。また、この測定では最大流速、最大濁度とも下流向きの流れで生じていることがわかる。

図-6 に濁度の増量分と流速の平均を示す。縦軸の値は図-4 と同じである。図-4 と同様に、プロットは右上がりになっており、下げ潮の方が上げ潮よりも濁度増分が大きい。また、図-4 と同じように右下部分のデータが他のデータとずれているが、これは最干潮のものである。図-4 とあわせて考えると、最干潮では、潮が止まり、乱流成分が小さくなり粒子の浮遊を保持できなくなり、粒子沈降が生じていることが図-4 と図-6 に反映されているとみられる。

5. 結語

本研究では、河川感潮部の底面せん断応力の評価を行い、底面上 25cm の濁度および底面上 11.5cm の流速測定結果との関係を見た。その結果、小潮時でも巻き上げが起こっている可能性があること、底面近くの濁度が流速のほぼ 2 乗に比例する結果を得た。1 時間毎の濁度の測定から、2 時刻の間の濁度の増量分を求め、濁度増量分と底面せん断応力及び流速の関係から、上げ潮時に比べて下げ潮時の方が濁度増分が大きいことがわかった。今後は、より厳密な数値的な取り扱いを行い、流れの再現を目指す。

参考文献

- 1) 松本治彦，羽田野袈裟義ら：都市河川感潮部の水質と物質輸送の現地観測，水工学論文集，Vol. 42, pp. 799-804, 1998.
- 2) 椿東一郎：水理学Ⅱ，森北出版，1974.
- 3) 河川整備基金助成事業報告書