

河川感潮部における物質輸送機構に関する研究

九州大学工学部 正員 〇二渡 了
 同上 正員 楠田 哲也
 佐賀大学理工学部 正員 古賀 憲一

1. はじめに

感潮河川での物質輸送は、河川の流況特性によって異なり、とくに、潮差の大きいところでは断面積変動の影響をどのように考えるかが重要である。本研究では、潮差の大きい六角川感潮部を対象に現地調査を行い、その結果をもとに、河川感潮部での物質輸送機構について検討した。

2. 調査概要

現地調査は昭和60年 7月18日18時～19日 6時までの12時間連続して、六角川六角橋（河口より11.2km）において行った。図-1に示すように、断面を横断方向に5断面に分割し、各測線上において30分間隔で水位、水温、流速、塩分濃度、SS濃度等を測定した¹⁾。水位の経時変化を図-2に示す。2回の干潮時の水位が一致しなかったため、以後の計算では水位が等くなった18日18:30～19日 6:00を一潮時とし、解析を行った。

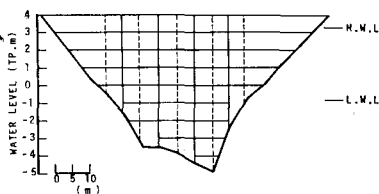


図-1 断面形状

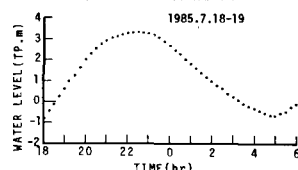


図-2 水位経時変化

3. 計算方式

Fischer²⁾に従い、流速、濃度、断面積を次のように分割する。

$$u = u_0 + u_1 + u_2 \quad (1)$$

$$C = C_0 + C_1 + C_2 \quad (2)$$

$$A = A_0 + A_1 \quad (3)$$

ただし、 $u_0 = \langle u \rangle$ 、 $u_1 = \langle u \rangle - \overline{\langle u \rangle} = \langle u \rangle - u_0$ 、 $u_2 = u - \langle u \rangle = u - u_0 - u_1$ (C 、 A についても同様)である。ここで、 $\overline{\quad}$ は一潮時の時間平均、 $\langle \quad \rangle$ は断面平均を表す。

断面を通過する物質の単位時間の輸送量 F は、

$$F_1 = \int_A u c dA \quad (4)$$

である。上式に(1)～(3)式を代入すると、

$$\begin{aligned} F_2 &= \int_A (u_0 + u_1 + u_2)(C_0 + C_1 + C_2) dA \\ &= (u_0 + u_1)(C_0 + C_1)(A_0 + A_1) dA + \int_A u_2 C_2 dA \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、断面平均である流量 $Q (= Q_0 + Q_1)$ を考えると、

$$Q = (u_0 + u_1)(A_0 + A_1) = u_0 A_0 + u_0 A_1 + u_1 A_0 + u_1 A_1 \quad (6)$$

$$Q_0 = \bar{Q} = u_0 A_0 + \overline{u_1 A_1}$$

$$Q_1 = Q - Q_0 = u_1 A_0 + u_0 A_1 + u_1 A_1 - \overline{u_1 A_1} \quad (7)$$

したがって、(5)式を整理すると、

$$F_2 = \underbrace{Q_0 C_0}_{T_1} + \underbrace{Q_0 C_1}_{T_2} + \underbrace{Q_1 C_0}_{T_3} + \underbrace{C_1 u_1 A_0}_{T_4} + \underbrace{C_1 A_1 u_0}_{T_5} + \underbrace{C_1 (u_1 A_1 - \overline{u_1 A_1})}_{T_6} + \underbrace{\int_A u_2 C_2 dA}_{T_7} \quad (8)$$

となる。さらに、 F_2 の一潮時の時間平均を求めると次のようになる。

$$\overline{F_2} = \underbrace{Q_0 C_0}_{①} + \underbrace{\overline{C_1 u_1 A_0}}_{②} + \underbrace{\overline{C_1 A_1 u_0}}_{③} + \underbrace{\overline{C_1 u_1 A_1}}_{④} + \underbrace{\overline{\int_A u_2 C_2 dA}}_{⑤} \quad (9)$$

次に、(8)式の T_7 で示される、断面内分布による寄与（鉛直シア、水平シア）について詳細にみる。シア効果の算出方法には、上嶋ら³⁾が示すように種々の手順がある。ここでは、断面変化が大きい場合として、輸送量全体を考え、次のように表す。

$$\int_A u_2 C_2 dA = \int_A \left\{ u_2 C_2 - \frac{1}{h} \int_b u_2 C_2 dh \right\} dA + \int_A \left\{ \frac{1}{h} \int_b u_2 C_2 dh \right\} dA \quad (10)$$

$$\int_A u_2 C_2 dA = \underbrace{\int_A \left\{ u_2 C_2 - \frac{1}{h} \int_b u_2 C_2 dh \right\} dA}_{⑥} + \underbrace{\int_A \left\{ \frac{1}{h} \int_b u_2 C_2 dh \right\} dA}_{⑦} \quad (11)$$

(10)、(11)式の右辺第1項を鉛直シア、第2項を水平シアと呼ぶことにする。

4. 計算結果及び考察

図-3に、各時刻の測定値の断面内総和として求めた流量、塩分、SSの輸送フラックスの時間変化を示す。塩分フラックスは満潮時の前後で大きくなっている。一潮時の平均輸送フラックスは、表-1に示す通りである。図-4は、各項目の断面平均値の時間偏差を示したものである。断面時間平均値は、 $A_0=226.2m^2$ 、 $u_0=0.094m/s$ 、 $C_0(塩分)=477.1mg/l$ 、 $C_0(SS)=399.9mg/l$ である。ここでは、 A_1 と u_1 及び u_1 と $C_1(塩分)$ との位相が 90° ずれており、塩分についてはトラッピング効果のあることが解る。一方、SS濃度は流速の絶対値が極大となったときに高くなっており、底泥の巻き上げが流速に依存していることが解る。

次に、(8)式における各項の時間変化を図-5、6に示す。図-5の塩分では、 T_3 、 T_4 、 T_6 の変化が大きい。一方、図-6のSSでは T_3 、 T_4 は大きい、 T_6 は小さい。 T_3 は、平均濃度が流量変動によって輸送される項であり、塩分とSSとで大きな違いはない。 T_6 は各断面平均値の位相差によって生じる輸送であり、SSの方が小さいことが解る。これら各項の総和は、図-3に示した輸送フラックスと一致する。図-3における塩分、SSの輸送フラックスの違いは、 T_4 、 T_6 によるところが大きい。

最後に、一潮時の平均輸送量について考察する。(9)式及び(11)式の各項について得られた値を表-1に示す。塩分では、トラップ効果による上流への輸送項(②)と断面積の変化による項(③)が大きい。一方、SSでは、断面積の変化による項(③、④)が大きく、本感潮部では断面積変化の影響を無視できないことが解る。鉛直シア及び水平シアは、本結果では水平シアによる寄与のみとなった。これについては、観測方法や算出方法をさらに検討する必要がある。

＜参考文献＞

1)二渡、他：六角川感潮部における水質変動特性(Ⅱ)、第14回環境問題シンポジウム講演論文集、pp40～45、1986.9。
2)Fischer,H.B.:Mass Transport Mechanisums in Partially Stratified Estuaries, J.Fluid Mech., vol. 53, part 4, pp671～687,1972。
3)上嶋英機、早川典生、国司秀明：感潮河川における物質輸送の機構について、第26回海岸工学講演会論文集、pp623～627、1979。

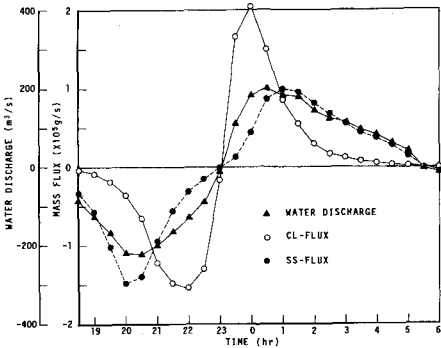


図-3 物質輸送フラックス時間変化

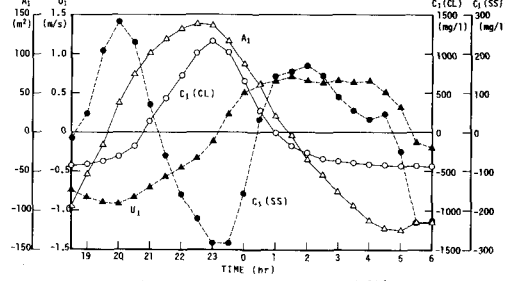


図-4 断面平均値の時間偏差

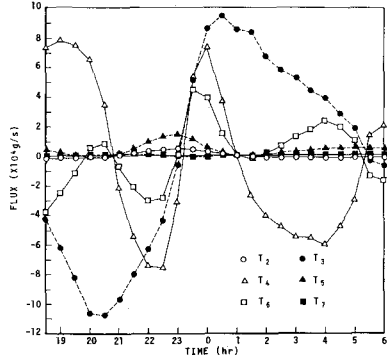


図-5 物質輸送フラックス時間変化 (塩分)

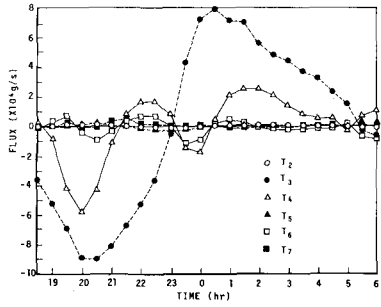


図-6 物質輸送フラックス時間変化 (SS)

表-1 一潮時平均物質輸送フラックス

	Cl (g/s)	SS (g/s)
$F_1: \int \bar{f} \bar{u} \bar{C} dA dt$	13	1705
$F_2: \textcircled{1} \sim \textcircled{5}$	14	1704
$\textcircled{1} \bar{Q}_0 \bar{C}_0$	1667	1988
$\textcircled{2} \bar{C}_1 \bar{u}_1 \bar{A}_0$	-126	-4329
$\textcircled{3} \bar{C}_1 \bar{A}_1 \bar{u}_0$	-338	4053
$\textcircled{4} \bar{C}_1 \bar{u}_1 \bar{A}_1$	-1539	44
$\textcircled{5} \int \bar{A} \bar{u}_2 \bar{C}_2 d\bar{A} = \textcircled{3} + \textcircled{4}$	350	-52
$\textcircled{6} \int \bar{A} (\bar{u}_2 \bar{C}_2 - \bar{f} \bar{u}_2 \bar{C}_2 d\bar{h}) d\bar{A}$	0	0
$\textcircled{7} \int \bar{A} (\bar{f} \bar{u}_2 \bar{C}_2 d\bar{h}) d\bar{A}$	350	-52