

パシフィックコンサルタンツ 正 員 ○角田 英基
岡山大学 工学部 正 員 河原 長美
岡山大学 工学部 学生員 西内 康裕

1. はじめに

筆者ら¹⁾²⁾は従来より旭川感潮部を対象として、底泥の組成変化に関して検討を加えてきており、感潮部の底質は、出水が一つの原因となって、季節的に大きく変化すること、ならびに春季の出水後には細粒化し、その他の時期の出水後には、粗粒化するが、もしくは変化しない傾向にあることを明らかにしてきた。

しかしながら、以上の現象は、必ずしも一般的に認められているとはいえない。そこで、現象の確認と底質変化の実態のより詳細な把握のために更に調査を継続すると共に、底質変化の要因について数値シミュレーションにより検討を加えた。

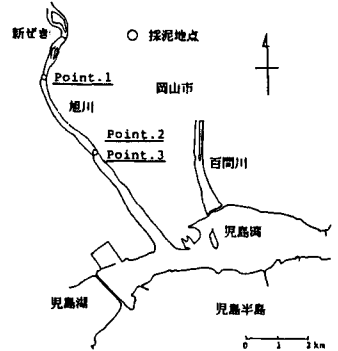


図 - 1 採泥地点

2. 底質調査

旭川感潮部は、朔望月の平均潮差が 1.34 m、上流部からの淡水流量は平水量で約 40 m³/s であり、塩分濃度の分布より、緩混合的である。感潮部には下水処理水や工場廃水の流入が認められるが、さほど汚染されていない。採泥地点は、図-1に示される旭川感潮部の3地点で、Point 2, 3は横断方向の変化を調査するために設定した。採泥は、1981年10月から1984年12月にわたり2~3週間間隔で行ない、粒度分布、強熱減量、COD、TN、TP、重金属(Cu, Zn, Pb, Mn, Fe, Ni)の分析を行った。

3. 解析方法

3-1. 基礎式

感潮部における底泥の変化を計算するために、以下の基礎式を用いた。なお、河床構成材料については、便宜上、粒径 40 μm を基準にして砂礫と泥とに区分した。

流動に関して

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots (1) \quad \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uw) + \frac{\partial}{\partial z}(wv) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad \dots (2) \quad \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \quad \dots (3)$$

塩分濃度に関して

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uS) + \frac{\partial}{\partial z}(wS) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad \dots (4)$$

SS濃度に関して

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uC_i) + \frac{\partial}{\partial z}(wC_i) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + W_{pi} \frac{\partial C_i}{\partial z} \quad \dots (5)$$

河床高(Z')に関して

$$\text{河床上昇} \quad \frac{\partial Z'}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda_0)B} \frac{\partial (q_{sb}B)}{\partial x} + \frac{F}{(1-\lambda_0)} \quad \dots (6) \quad F = \sum_i f_i / \rho_i \quad \dots (7) \quad f_i = \begin{cases} W_{pi} C_{ib} \text{ (沈降)} \\ -\gamma_i = -\alpha (\tau / \tau_{ci} - 1)^n i_b \text{ (巻上げ)} \end{cases} \quad \dots (8)$$

$$q_{sb} = \sum_i q_{si} \quad \dots (9) \quad \frac{q_{si}}{i_b U_{*cdi}} = 17 \tau_{*ci} (1 - \tau_{*ci} / \tau_{*ci}) (1 - \sqrt{\tau_{*ci} / \tau_{*ci}}) \quad \dots (10)$$

$$\text{河床低下} \quad \frac{\partial Z'}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\lambda_0)B} \frac{\partial (q_{sb}B)}{\partial x} + \frac{F}{(1-\lambda_0)} \quad \dots (11)$$

粒度変化に関して

$$\text{河床上昇} \quad \frac{\partial i_b}{\partial t} - \frac{i_b}{a(1-\lambda)} \frac{\partial (q_{sb}B)}{\partial x} + \frac{F i_b}{a(1-\lambda)} = -\frac{1}{a(1-\lambda)B} \frac{\partial (q_{sb} i_b B)}{\partial x} \quad (\text{砂礫について}) \quad \dots (12)$$

$$= \frac{f_i}{\rho_i (1-\lambda) a} \quad (\text{泥について})$$

$$\begin{aligned} \text{河床低下} \quad \frac{\partial i_p}{\partial t} - \frac{i_{b0}}{\alpha(1-\lambda)B} \frac{\partial (q_{pb}B)}{\partial x} + \frac{F_{lnc}}{\alpha(1-\lambda)} &= -\frac{1}{\alpha(1-\lambda)} \frac{\partial (q_{pb}B)}{\partial x} & (\text{砂礫について}) \\ &= -\frac{r_i}{\rho_i(1-\lambda)\alpha} & (\text{泥について}) \end{aligned} \quad \dots (13)$$

ここに、 w_{pi} : 粒径 d_i の粒子の沉降速度、 Z' : 基準面からの河床高、 q_{pb} : 粒径 d_i の砂礫の流砂量、 α : 交換層厚、 i_{b0} : 粒径 d_i の粒子が河床交換層もしくは交換層直下の原河床において占める割合、 i_B : 粒径 d_i の粒子が流砂中において占める割合、 λ, λ_0 : 交換層もしくは原河床における間隙率

3-2 計算方法および諸条件

図-1 に示される旭川感潮部(新堰から河口まで約 7.9 km)を対象領域として、鉛直 2 次元的に差分解析を行なった。なお、格子間隔は $\Delta x = 400 \text{ m}$ 、 $\Delta z = 2 \text{ m}$ とした。水理量の計算には、拡散項にオイラー法、移流項には、リープフロッグ法を、河床変化の計算には、後退差分法を用いた。

境界条件として、流況に関しては、上流端で流量を、下流端で水位 (sin カーブ) を与えた。SS 濃度に関しては、上流端では、 $SS_i = \alpha Q^p \times P_i$ (P_i : 粒径 d_i の粒子が全 SS 中に占める割合) なる式で、下流端では、流向により変化させ、順流の場合は境界より 1 つ内側の濃度を、また、逆流の場合には一定値に漸近するように与えた。

4. 調査結果

今回の調査結果も従来の結果と基本的に同じであり、図-2, 3 に結果の例を示す。図-2 は ϕ_{50} および ϕ_p の季節変化であり、 ϕ_{50}, ϕ_p ともに季節により大きく変化する。春季に粒径は細くなり、夏季に粗くなり、これが翌年の春季まで継続する。粗粒化、主に大きな出水により河床に作用する掃流力が大きくなることによると考えられるが、細粒化の原因には、上流からの供給と、下流からの供給の 2 通りが考えられる。下流からの供給については旭川河口～児島湾に堆積している微細な底泥もしくは出水により流出した微細粒子が潮汐作用により再度上流へと輸送されることなどが考えられる。下流からの供給があるとなると春の大潮が春季の細粒化に関係してくる。図-3 より、IL も季節変化があり、その変化は粒径の変化に対応している。他の項目についても同様の結果が得られている。

5. シミュレーション結果

モデルにおいて、粗粒化を想定し、上流の流量を 40~600 (m^3/s) まで連続的に変化させた時の河口から約 5 km 地点での河床粒度組成の変化を図-4 に示す。諸係数の値を変化させて感度解析も行なったが、巻き上げ率および交換層厚の評価が重要であることが認められた。

細粒化の場合については、図が省略されているが、潮汐の影響が認められた。

紙面の都合で、説明が不十分となったが、詳細については、講演時に発表する。

1) 角田他: 第 35 回中四支部講演会, 1993.

2) 西内他: 第 39 回年次講演会, 1984.

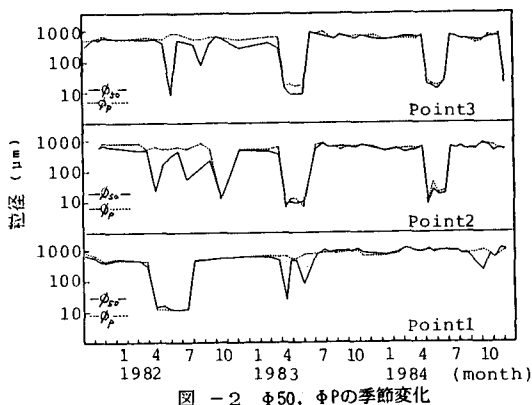


図-2 ϕ_{50}, ϕ_p の季節変化

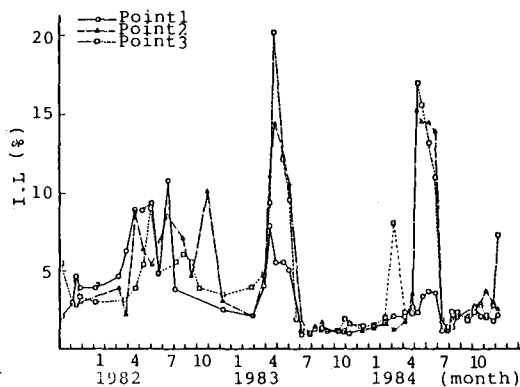


図-3 IL の季節変化

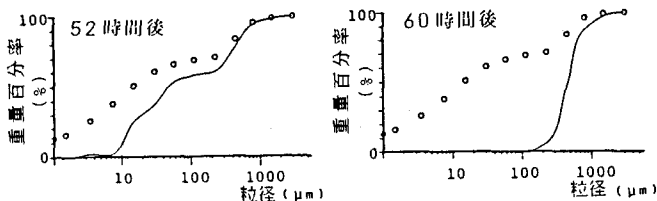


図-4 粒度分布の時間変化 ○: 初期値