

大阪大学工学部 正会員

末石 富太郎

大阪大学工学部 正会員

盛岡 通

大阪大学工学部 学生員

○ 脇本 修自

1. はじめに

環境における都市河川底泥は、物質循環のstockの層として働き、自然環境より供給されるシルト分のほかに、人間環境より供給される多量の有機物・重金属を含んでおり、その挙動は河川水質に大きな影響を与える。底泥物質の掃流現象に関しては、村岡¹⁾、住友²⁾、楠田³⁾らによって、物理的側面、すなわち壁面摩擦能力で、または乱れ量を中心とした議論が展開されているが、筆者らは、そのほかに環境水系を特性づける底質の形態に関するいくつかの要因（たとえば、底質のhistory）を考慮する必要があると考え、若干の考察をおこなった。

2. 掃流機構のモデル化

従来の研究では、掃流現象を限界掃流力で評価することが試みられてきたが、都市河川に堆積する底質の掃流現象に関しては、泥床の状態が無視できない要因となっていることが推定される。この泥床の状態を規定するものとしては、前述の底質のhistoryのほかに、有機物含有量、泥床付近の微生物活性などが考えられる。そこで本研究では、extremeな底質のresponseを得るため、上流からの底質の供給のない場合のモデル化および実験をおこなった。

fig.-1は、掃流前後の泥床模式図である。これは、被掃流可能粒子が掃流されることにより、相対的に被掃流不可能粒子がみかけ上泥床上部に移動することにより起こる一種のふるい分け作用であり、泥床下部にある粒子の動きを制限することが予想される。モデルの仮定は次のとおり。

- i) 上流からの底質の供給はない。
- ii) $t=0$ における泥床深さ方向の被掃流可能粒子割合の分布を、 $\varphi(z)$ [無次元] で表現する。
- iii) 掃流力の及ぶ厚さを δ_F [cm] とし、この範囲にある被掃流可能粒子は、すべて一様な被掃流率 ψ [1/sec] で掃流される。
- iv) 掃流されずに泥床に残った粒子により、 δ_F 中の被掃流可能粒子の割合が減少する。

さて、ある時刻 t において、掃流作用により泥床表面の位置が、 $z = \delta_t$ [cm] になったとする。このとき、掃流力の及ぶ区間は、 $\delta_t \leq z \leq \delta_t + \delta_F$ であり、この区間の被掃流可能粒子の割合を、 $\eta(t)$ [無次元] で表現すると、次式が成立する。(fig.-2 参照)

$$\eta(t + \Delta t) = \left\{ \eta(t) \delta_F + \int_{\delta_t + \delta_F}^{\delta_t + \Delta t + \delta_F} \varphi(z) dz - \Delta \delta_t \right\} / \delta_F \quad (1)$$

ここに $\Delta \delta_t = \psi \cdot \eta(t) \cdot \delta_F \cdot \Delta t$ である。 $\int_{\delta_t + \delta_F}^{\delta_t + \Delta t + \delta_F} \varphi(z) dz \approx \Delta \delta_t \cdot \varphi(\delta_t + \delta_F)$ とすれば、 $d\eta(t)/dt = \psi \cdot \eta(t) \{ \varphi(\delta_t + \delta_F) - 1 \}$ (2)

次に、(2)式において、 $\varphi(z) = R$ ($= \text{const.}, 0 \leq R < 1$) (3)

とおくと、(2)式を解いて次式を得る。

$$\eta(t) = R \cdot e^{-\psi \cdot R(1-R)t} \quad (4)$$

また、仮定により、掃流流量 g_B [g/cm²·sec] および単位面積当りの被

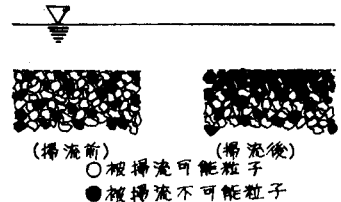
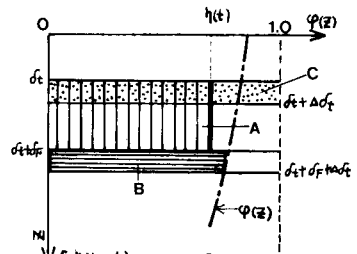
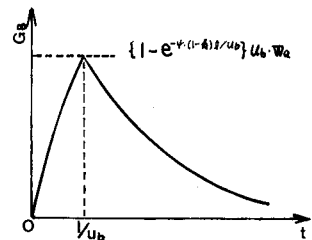


fig.-1 泥床模式図

fig.-2 $\eta(t)$ の概念fig.-3 G_B - t 応答

掃流可能粒子総量 W_a [g/cm] は、泥粒子の比重を γ_s [g/cm] とすると、

$$g_B(t) = \psi \cdot h(t) \cdot \frac{d}{dx} \gamma_s = \psi \cdot R \cdot e^{-\psi \cdot (1-R)t} \frac{d}{dx} \gamma_s \quad (5)$$

$$W_a = \int_0^\infty g_B(t) dt = R \cdot \frac{d}{dx} \gamma_s / (1-R) \quad (6)$$

次に、長さ l [cm] の泥床で掃流が起こり、上記のモデルにしたがって掃流泥量 g_B が決まり、粒子が速度 u_b [cm/sec] で移動するとすれば、 l の下流端における掃流泥量応答は、沈降・着床を無視して

$$\begin{aligned} \text{i) } t \leq l/u_b \text{ のとき } G_B &= \{1 - e^{-\psi \cdot (1-R)t}\} u_b \cdot W_a \\ \text{ii) } t \geq l/u_b \text{ のとき } G_B &= \{e^{\psi \cdot (1-R)l/u_b} - 1\} e^{-\psi \cdot (1-R)t} u_b \cdot W_a \end{aligned} \quad (7)$$

ただし、 G_B は単位巾当りの掃流泥量 [g/cm·sec] であり、掃流泥量応答として、fig-3 を得る。

3. 実験結果および考察

i) 実験に使用した汚泥は、神崎川の底泥で、強熱減量 11%、中央粒径 65μ (分散剤使用により中央粒径 23μ であり、floc の形成が認められる。) であった。

ii) W_a と u_* の関係を、fig-4 に示す。ただし、底質は実験開始後 10 分で、ほとんど掃流されなくなるので、その 10 分間に掃流された総泥量より、 W_a を算出した。) この領域では、

$$W_a = a_1 (u_* - u_{*0}) \quad (8)$$

が成立する。予備実験により求めた限界掃流力 u_{*cr} とこの u_{*0} は、ほぼ同じ値である。

iii) G_B - t の実験例を、fig-5 に示す。これは、 $\varphi(z) = R$ (=const.) がほぼ妥当であることを示しており、モデルを満足している。

iv) $\psi \cdot (1-R)$ と u_* の関係を、fig-6 に示す。グラフより、

$$\psi \cdot (1-R) = a_2 u_* + b_2 \quad (9)$$

と表現でき、平均被掃流率 ψ が壁面摩擦応力 τ_w により決定されると考えて、 $\psi \propto u_*^2$ とすれば、 R は u_* の増加とともに 1 に近づく。粒子径の効果に比べて、粘着性の効果が大きい場合、 R の値は限界掃流力を越す領域で急激に増加し、 $\psi \cdot (1-R)$ の値の変動を支配する。限界掃流力付近は、底質の挙動の解明にとって、重要な領域である。

v) 泥床表面において、沈降・堆積時間の経過とともに、粘着性被膜の形成・成長が観察された。これは、ORP と密接な関連を持ち、酸素供給下での生物反応が主因と考えられる。被膜に対する限界掃流力は、相当大きく、他の底質の限界掃流力の 2 倍以上となることもあるが、いったん剥離が生ずると連鎖的に伝播し、瞬時に多大量の底質が掃流される。

4. おわりに

本研究は、底泥物質の掃流現象に関与する要因として、①泥床の状態 (R)、②掃流力 (ψ) に注目し、モデル化をおこなったが、一応の成果は得られた。この種の研究は、いかにして実河川に対応させるかが課題であるが、今後は R の定量化をはかるため、底質の history・微生物活動・底泥構成物質の発生源・流出機構などの検討をおこない、さらには、それらと水文統計を関連づけたいと考えている。

(参考文献)

- 1) 村岡・三浦：底質汚泥の浮上と濁度に関する基礎的研究，第 27 回年報（昭. 47. 10）
- 2) 佐友・弘元・松本：底泥物質の掃流現象に関する実験研究，第 30 回年報（昭. 50. 10）
- 3) 栗谷・楠田・田中：活性汚泥の撹ぎ上げ機構に関する基礎的研究，第 30 回年報（昭. 50. 10）

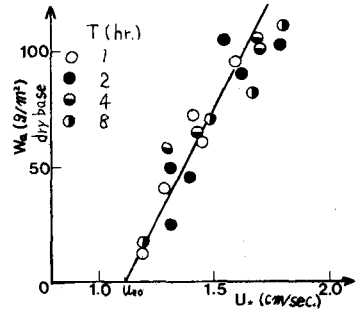


fig-4 W_a と u_* の関係

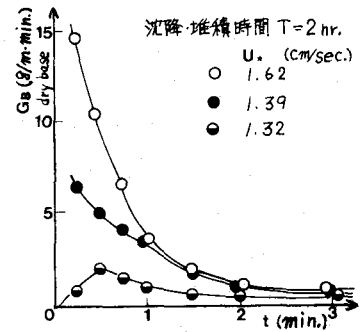


fig-5 G_B - t 実験値

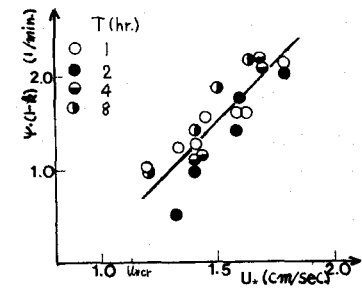


fig-6 $\psi \cdot (1-R)$ と u_* の関係