

千葉工業大学 正員 滝 和夫

千葉工業大学 正員 岡 正義

1. まえがき 河川等に堆積した底泥の巻き上げが水質や水生生物体系に大きな影響を与えていることは周知のとおりである。底泥の巻き上げに関する力学的機構については、底泥が微細な粒子からなり、表面には有機物の付着あるいは、それ自身のゲル化による一種の粘性を有していることから、複雑さを増し、必ずしも十分な結果を得るまでには至っていない様に思われる。現在のところ、底泥の巻き上げに関しては掃流砂に対するような解析では不十分であり、定量的な混合も考える 必要性が明らかにされている。そこで、本報では、土質特性の異なる数種類の底質を用い、室内実験用水路を用いて底泥に粘性を有する場合の巻き上げ現象を適切に表現するような指標の推定を試み、その結果、若干の知見をえた。

2. 実験方法 実験に用いた水路は長さ2m、幅7cmのポリル製水路である。水路床には三角形のくぼみを持たせ、その中へ底泥を押し詰めることなしに敷くようにした。底泥材料にはベントナイトおよび浄水場の初沈池底泥(K-泥)を用い、その粘度を15000, 1200, 500cpの3段階に変化させることとした。この粘度測定には、回転式粘度計を用いた。

一方、実験に使用した流量は約0.28 m^3/s 、水深は2, 4, 6cmの3通りとした。測定は水路中央部で、底泥の粘度と水深の各組合せに対し、流速分布、濃度分布および浸食量について行った。ここで、流速測定にはX型熱線流速計を、濃度測定には内径1mmのワイヤ管から連続的に得られた試料を濃度計にかけようとした。また、熱線流速計からの出力データはA/D変換を介して計算機にオンラインで集録されるようにしてある。1測定点でのデータ数を11、成分各々5000個、時間間隔を0.0035secとした。

3. 実験結果および考察 実験に用いた底泥の粒度分布、平均粒径および比重は図1および表1に示す通りである。また、底泥の粘度と含水比との関係を示したのが図2である。図より、粘度と含水比との間には、底泥の種類にかかわらず、冪乗の関係にあるのが認められる。一方、断面平均流速は8~20 cm/s であり、Sundborg¹⁾が示した限界浸食流速のほぼ下限に位置している。(図3) このような底泥および水流条件のもとで生じた巻き上げ量を図示したのが図4である。ここで、本実験では、比較的小さな流速でも巻き上がりが生じており、大坪²⁾の示した流速限界と破壊限界の中間に位置するものと思われる。

以上の結果より、巻き上げに関する無次元量を次元解析より次に導くこととする。現象に関与する量として、 $S_w, \rho_s, \rho_w, \mu_w, \mu_s, U_m, h, d_s, (S_w - \rho_s), (\rho_s - S_w)$ が考えられる。ここで、suffix Wは流水に、Sは底泥に関係する量で、 h : 水深、 ρ_s : 底泥が任意の含水比の時の密度、 ρ_w : 底泥の巻き上げ量、 U_m : 断面平均流速である。これらの物理量から(1)式のような関係がえられる。(1)式の中へ、 Q_{s*}, ζ_0 はそれぞれ、 $Q_{s*} = \frac{\rho_s}{S_w} U_m$ 、 $\zeta_0 = \theta^2 \zeta_*$ 。また、右辺の10項は底泥の特性と流速係数との比を表わしており、

表1 平均粒径・比重

	平均粒径(μm)	比重
ベントナイト	0.0033	2.74
K-泥	0.0082	2.47

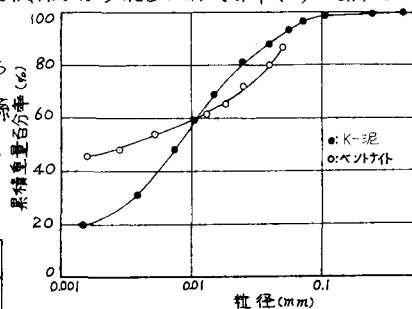


図1 底泥の粒度分布

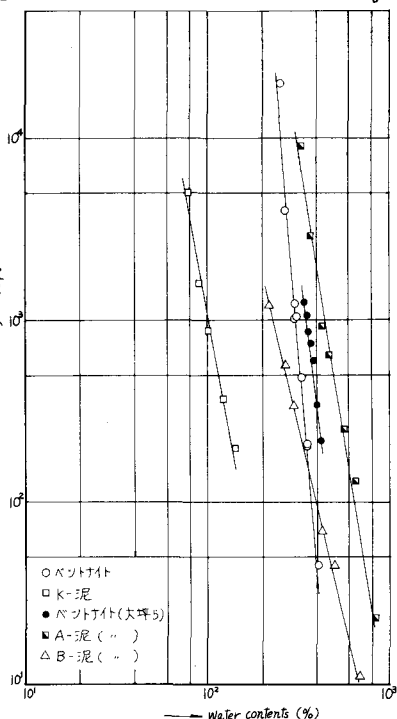


図2 底泥の粘度と含水比の関係

掃流的現象と密度流的現象との両者を結びつけるパラメータとも考えられる。

$$Q_{S*} = \varphi_1 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{\rho_s}{\sigma_s}, \frac{\mu_s}{\mu_w}, \frac{\rho_{sw}-1}{\sigma_s \rho_w - 1}, Re, R_*, C_f, F_i, \tau_*, \xi \right) \quad (1)$$

いま、底泥の含水比と粘度および底泥の密度との関係式として

$$\mu_s = \alpha m^\beta \quad (m: \text{含水比}) \quad (2) \quad \rho_s = m \sigma_s (\sigma_s + \rho_w) / (\rho_w + m \sigma_s) \quad (3)$$

ここで、(2)式の α, β は底泥の種類、性質等によって定まり、粒子の持つイオン化あるいは有機物の付着の程度によって異なるものと考えられる。(2),(3)式を用いて(1)式を書き直すと

$$Q_{S*} = \varphi_1 \left(M \frac{\rho_s}{\rho_w}, M, \frac{\alpha m^\beta}{\mu_w}, Re, R_*, C_f, F_i, \tau_*, \xi \right) \quad (1')$$

ここで、 $M = m(1 + \sigma_s \rho_w) / (1 + m \sigma_s \rho_w)$ 。また、右辺の9項は流速係数を φ とおい

$$\xi = \frac{0.101}{(\sigma_s \rho_w - 1) d_s} \left\{ \alpha m^\beta \left(\frac{1}{\rho_w} - \frac{1 + \rho_w \sigma_s}{\sigma_s + \rho_w} \right) \right\}^{2/3} / \varphi^2 \quad (4)$$

と書くことができる。いま、底泥の巻き上げ量と ξ とを両軸にとり、実験値を図示すると、図5のようになる。図より、 $Q_{S*} = \alpha \xi^{-0.8}$ と考える。ここで、係数 α は M, ρ_s 等によって作られる値であると考えられる。これより、底泥の巻き上げ量は底泥の粘度項が0.6乗、流れのせん断力による項が0.8乗の割合で作用していると考えられる。

4. 結論 河川底泥の巻き上がりは水質汚濁の変動要因として無視しえないものであることを著者らもまた、実際河川のデータをもとにして考察してきた。本報では実験水路を用いて、底泥と水流の条件の変化に伴う粘性底泥の巻き上げ現象について考察し、以下の知見をえた。

i) 底泥の粘度と含水比との間には底泥粒子のイオン化、有機物の付着、形状の程度によって異なるような要素の関係が認められた。

ii) 掃流現象と密度流的現象とを結びつける指標として、底泥の含水比と流速係数の比で表わされる無次元量 ξ を導き出した。

本研究に対し、御教授戴いた中央大学教授 林泰造先生に感謝の意を表します。なお、本研究はBB和54年度の文部省科学研究費補助(奨励研究(A))による成果の一部である。

5. 参考文献 1) Sundborg, A; Theriver klarelven, a study of fluvial process, Geografiska Annalen, 1956.
2) 大坪, 村岡, 高野; 粘性土の境界掃流力について, 利国衛生学研究会講演論文集, 1980
3) 滝, 岡; 市街地河川における水質変動, 土木学会33周年講義, 1978
4) 細井, 白谷, 佐友; 底泥の巻き上げに関する研究, 土木学会33周年講義, 1980
5) Partheniades, E; Erosion and Deposition of Cohesive Soils, Journal of the Hydraulic div., ASCE, vol 91, NO. 1, 1965

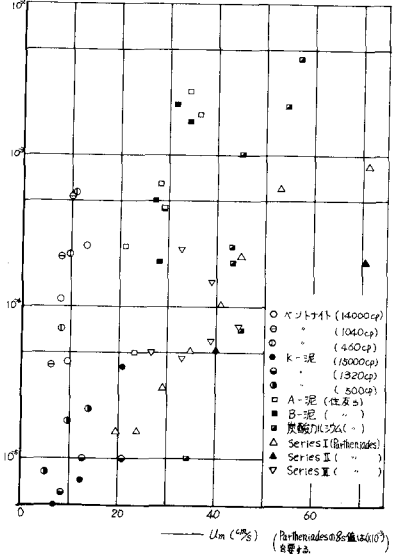


図4 底泥の巻き上げ量

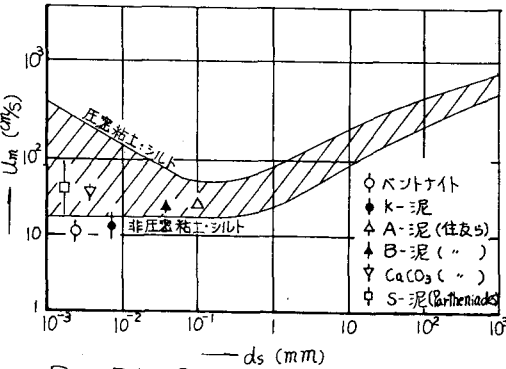


図3 浸食限界流速と粒径の関係

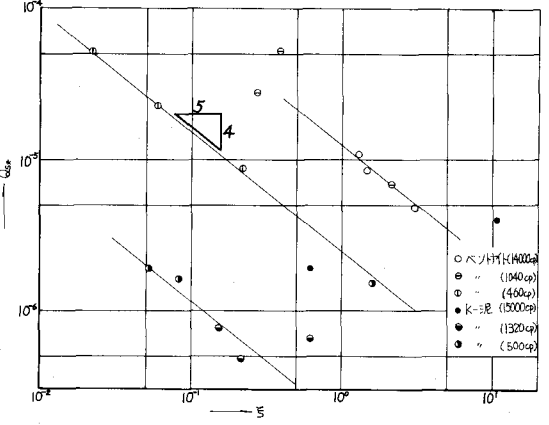


図5 無次元巻き上げ量とξの関係