

京都大学 正員 細井由乃
住友 恒
井上 輝輝

1.はじめに 水底に沈殿、堆積した有機性の汚泥は再びまきあがって水質を再汚染する原因となる。これらの汚泥は粒径が非常に小さく、粘着性をもっており、砂粒の掃流とはまた異なった特性を示す。

筆者は底泥のまきあげを二層流現象の立場からとらえて、定量化することを試みてきた。^{1,2} 今回はこのような場から既に提案した底泥の限界掃流について再考察し、あわせて底泥の浮遊についても若干検討する。

2.底泥の限界掃流力について 筆者は含水率の非常に高い状態(90%程度)で沈殿堆積した泥のまきあげを、二層流の混合という立場から、その限界掃流力を、摩擦速度、密度差、みかけの粘性により次式で評価することを試みた。

$$F = \frac{U_*}{(\varepsilon g L)^{1/2}} \quad (1) \quad \text{ここで } U_* \text{ は摩擦速度、}$$

ε は泥のみかけの粘性、 ρ は相対密度差、 g は重力加速度である。

四種類の底床堆積物(琵琶湖底泥、浄水汚泥、山地粘土、沈降性炭酸カルシウム)を図-1のようなビーカーに沈殿させ、上部の水を攪拌することにより、まきあがりの限界を調べた。その結果、それぞれの物質についてFの値は0.25(琵琶湖底泥) 0.28(浄水汚泥) 0.25(山地粘土) 0.20(沈降性炭酸カルシウム)を得、これらの平均より、含水率の高い底泥のまきあげは $F \approx 0.25$ として評価できる

のではないかと考えた。² これらを淡塩水二層流の混合と比較するため、同様の実験方法で淡塩水の混合を調べた結果、混合限界のFは0.29となり泥の場合と大差ない値であった。このことから泥のまきあげと密度流の立場から扱うのが有効であると言える。しかし、このような実験方法は上層の水の運動が特殊であるため、求まったFの値を一般的な場に応用するには若干の疑問が残る。そこで、さらに開水路において同様の実験を行ない、一般場への適合性を調べてみる。

3.開水路における実験及び考察 実験は図-2Aに示すような長さ13m 50cm幅16cmの水路の中間部に泥を投入し、自然沈降させて行なった。流速はフロウ式流速計、濃度は採水して光学式濃度計を用いた。ここで用いた泥は琵琶湖南湖より採取したものである。

実験より得られた単位時間、単位面積あたりのまきあげ量 q ($\text{mg/cm}^2 \cdot \text{sec}$)をKaulskyの進行速度表示にしたがって、上層の平均流速に対してプロットしたのが図-3である。

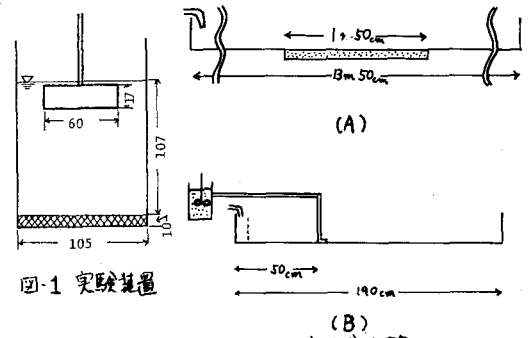


図-1 実験装置

図-2 実験水路

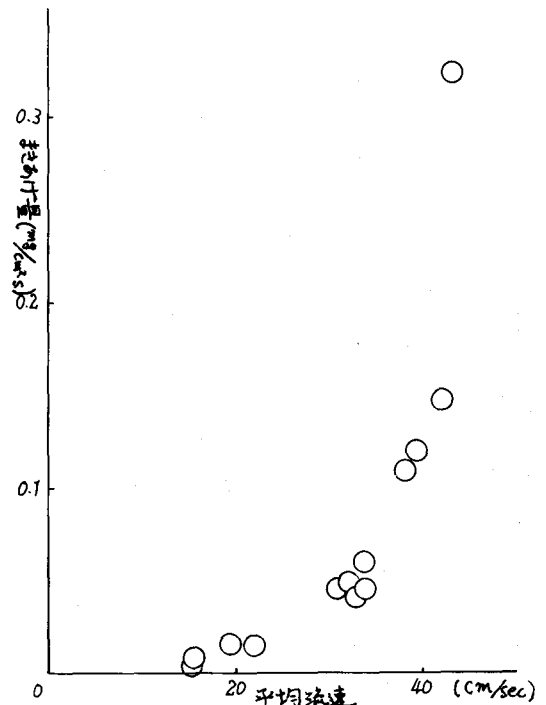


図-3 単位時間、単位面積あたりのまきあげ量と主流平均流速との関係

兩者の間には正の相関が見られ、まきあげ限界付近では傾きが小さくなっている。しかし流速がある程度をこえると、まきあげは急激に増加する。これは局所的な洗掘の影響が大きくなるためと考えられ、まきあげ量の定量化のむずかしさを示唆するものである。さて、前述したFの値はここでは限界状態に近い四つのcaseの実験についてFを計算し、Fと β の関係(図-4)より最小自乗法で、 $\beta=0$ 、すなわち限界時のFを求めた。これは底泥敷設区域がないため、各実験における堆積状態が必ずしも一樣ではなく、目視による観測では適当でないと考えたからである。こうして求めたFの値は図-4よりわかるように0.24であり、ビーカーによる実験値と差はなく、既述の結果は一般の開水路にも適用できると考えられる。

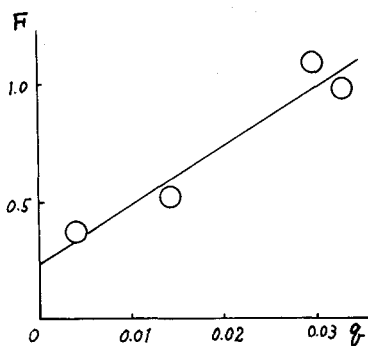


図-4 Fと β との関係

4.底泥の浮上に関する実験 堆積している汚泥は粘性を有しているが、限界掃流力をこえていったんまきあがると粘性は関係なく粒子として浮遊する。そのため底面せん断応力の増加に応じて、まきあがり→浮遊と移っていくのではなく、むしろまきあがり限界の音が浮遊限界よりも大きいと考えられる。これが底面せん断力と単位時間あたり浮上量との関係を定量化する際の困難な点である。そこで浮上量を検討する今はじめとして、図-2Bのような水路により、底面に設置した管から泥を送り出し、あらかじめ底から離れた泥の浮上の様子を調べた。平均的な泥の浮上速度は、二断面からの濃度分布形状より次式で求めた。

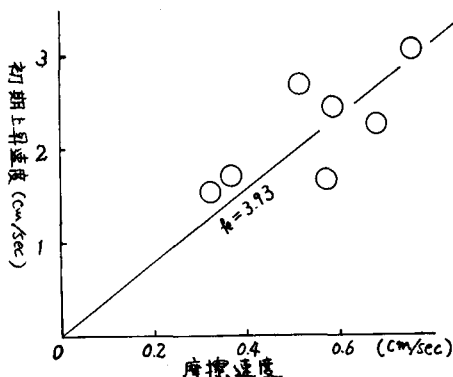


図-5 初期上昇速度と摩擦速度との関係

$$v = \left[\left(\frac{dy}{dx} \right)_{II} - \left(\frac{dy}{dx} \right)_E \right] / (d/u) \quad (2)$$

ここで d は測定断面IIの距離、 u は平均流速

5.泥の上昇速度について 粒子の鉛直方向の運動方程式において、簡単のため外力項として水中重量と流体抵抗としてStokesの式のみを考えるとつぎのような解を得る。

$v = (v_0 + v_t)e^{-\alpha t} - v_t \quad (3)$ v_0 は初期上昇速度、 v_t は終末沈降速度である。また $\alpha = \frac{18\eta}{\rho_s d^2}$ であるが泥の場合いくつかの粒子が凝集しているので、 α のままにしておく。放出口から5cm下断面の濃度分布から式(2)で計算して得られるものを v_0 として考える。 v_0 は摩擦速度と関係すると推察されるが、この関係を求めたのが図-5である。さらに式(3)より得る関係 $\frac{v_0 + v_t}{v_0 + v_t} = e^{-\alpha t}$ を示したのが図-6である。浮上の開始直後は浮上速度の傾きの直線であるが、時間の経過とともにばらつきが見られ、式(3)のような簡単な解析では不十分となっていく。

6.おわりに 本研究では含水率の高い汚泥の限界掃流力は、 $\frac{U_b}{(g\beta)^{1/3}} = 0.25$ で評価できることを示した。底泥の浮上量については今後さらに検討を進めたい。

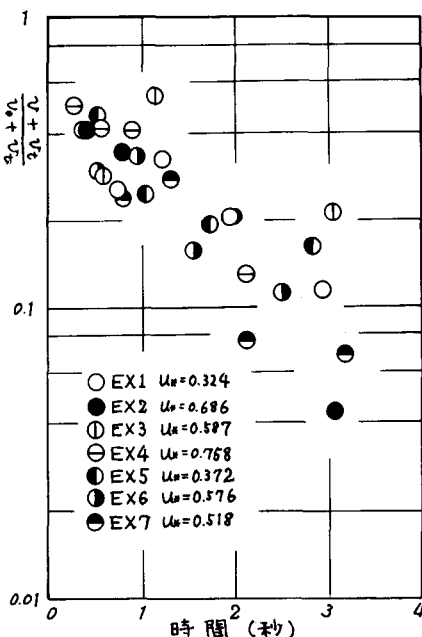


図-6 時間の経過による上昇速度の変化

1. 糸田, 白谷, 佐々, 底泥のまきあげに関する実験的研究 第33回年報, 土木学会, 1978
2. 糸田, 佐々, 底泥のまきあげに関する実験的研究II, 第15回衛生シンポジウム, 土木学会, 1979