

九州大学工学部 正員 栗谷 陽一
同 上 “ の橋田 哲也
建設省 “ 田中 愼一郎

I. まえがき

河口急潮部、海域あるいは最終沈澱池において底泥が捲き上げられると水質を悪化させる。汚泥の性質は砂粒の性質とは異なり複雑ではあるが、この性質は大幅に変化するため捲き上げられる際の力学的機構はほとんど明らかになっていない。本研究は底泥の捲き上げ機構を明らかにするための基礎として汚泥の動的な性質、特に水流から伝達されるエネルギーの消費に關係する見かけ粘性、および重複波のもとでの汚泥の挙動について検討を加えたものである。

II. 実験装置、および方法

降伏応力 τ_0 、塑性粘度 μ_p の測定 ①内径19mm、全長2.5mの管に汚泥を流し損失水頭(測定区間1.4m)と流量を測ることにより Buckingham の式を用いて求める。②コーンプレート粘度計(コーン径8mm¹、頂角173度)を用いて、 $\tau = \alpha \mu_w \cdot 2\pi N$ (α :定数、 μ_w :水の粘性係数、 N :回転数)から捲き上げが生じる時の剪断力を求める。

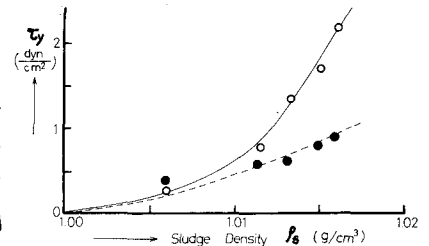
造波装置 長さ6m、幅50cm、深さ90cmの水槽に造波板をとりつけたもので、板の支点は上下可変としてゐるので長波を造ることができるようになっている。

汚泥の挙動の測定 汚泥中におけるエネルギー消費を求める場合には汚泥厚を波長以上に作るようにし、渾水波に作るようにした。また重複波のもとでの汚泥の捲き上げ実験では汚泥厚を1.5cm、波長8mとした。実験では、VTRを用いて1/100秒ごとの時間とともに録画し、位相再生により波高、波数、位相等を求めた。

試料 armoring による影響を除去するために上水汚泥を使用した。固形物の比重は2.62、強熱減量は23.6%である。

III. 実験結果および考察

①**降伏応力と塑性粘度** 管路中に汚泥を流すことにより求めた降伏応力 τ_0 およびコーンプレート型粘度計により求めた捲き上げ直前の剪断応力 τ と汚泥密度 ρ_s との關係を図-1に示す。両者の差は汚泥が純粋のBingham体になっていないことを示している。 τ_0 は1dyne/cm²程度であり活性汚泥の約2倍、実際の河川底泥の1/2倍程度になっている。塑性粘度を図-2に示す。固形物体積濃度の2.5倍以上に μ_p が増しているの、この図-1 ○管路による、●コーンプレート型粘度計による



②**汚泥中におけるエネルギー消費** 汚泥の捲き上げは水流から汚泥へエネルギーが伝達して生じるので、汚泥中でのエネルギー消費の状態を知る必要がある。泥泥はBingham体に近い性質を示すので現象は線形ではなく、複雑になるので、ここでは、簡単化のために、汚泥のみで運動を造り、振幅の減少率から、汚泥を粘性流体とみなした場合の粘性係数を求めた。振幅の減少状態の例を図-3に示す。 a/λ は振幅と波長の比である。 $2a/\lambda$ が小さくなると減少率が大きくなるのは、(水温は、図-1,2とも5.0°Cである。)

Bingham体としての性質が現われてきているためと考えられる。一方汚泥の流線は理想流体のものと近似的に同じであると仮定すれば、

$$\phi = -2a\phi/a \cdot e^{kz} \cos kx \sin \omega t \quad (1) \quad \phi: \text{角速度}, k: \text{波数}, \phi: \text{重複波のポテンシャル}$$

$$G = 2\sqrt{\phi \cdot \phi} = 4a k \phi e^{kz} \quad (2) \quad \phi: \text{歪テンソル}$$

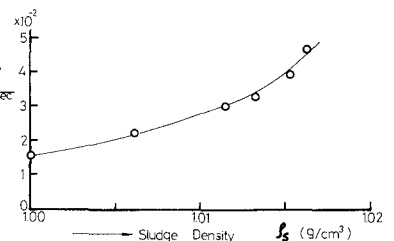


図-2 μ_p と ρ_s の關係

として、エネルギー消費率 γ 、つまり $2\lambda k^2$ (λ :見かけ動粘性係数)は

$$\gamma = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\tau_y + \mu_p G) G dy}{\rho_s g a^2} = 4 \left(\frac{\tau_y}{a k G_0} + \mu_p \right) k^2 \quad (3)$$

となる。図-4に実験から求めたものと、この近似計算の結果(実線)とを示す。同一系列の実験において振幅が小さくすると見かけ動粘性係数は計算結果の $\frac{1}{2}$ に近くなる。また、実際のエネルギー消費は η によるものが卓越していると考えてさしつかえない。

①重複波のもとでの汚泥の挙動 一樣流のもとでの汚泥の巻き上げ実験では汚泥が一度掃流されると実験の継続が困難になる等汚泥の性質の把握には不向な点が多いのでここでは重複波を用いた。汚泥厚を波長程度に大きくすると水層との合成振動を生じるのでここでは汚泥厚1.5cm、波長8m、水深11cmと固定し節の部分の一樣流れに近いところに着目した。汚泥表面に波動が生じる程度の流速のもとでは、汚泥層は二層に分れる。水層と接する上層部は粘性流体の如く水層の運動にともなって流動する。下層部はある程度圧密もすすみ弾性体り如く振舞う。この上下二層は明確に識別できる。上層の厚さは、下層の汚泥密度、流速にあまり関係せず、ほぼ5mmの一定値をとる。また水-汚泥界面に発生する ripple の波数は図-5に示すように $1 \sim 2 \text{ cm}^{-1}$ で Re (水表面流速と水深を基準とする)が大きくなるとやや減少する傾向にある。この波数が下層の汚泥密度の影響をほとんど受けないこと、および上層厚がほとんど一定していることから、上層の汚泥密度はほとんど一定値をとるものと考えられる。界面に発生する ripple の形状は流速の増加期においてはほぼ sine-wave に近いが流速が最大を過ぎたところで波形がくずれ砕波状態になる。これは波の相位の位相より汚泥界面の位相の方が(流速の位相は相位より常に遅延している)下層の弾性体の影響を受け常に進んでいる影響による。汚泥の下層の厚さを h_e 、剛性率を G_e 、上層の厚さを h_s 、見かけ粘性係数を μ_0 、波動の角速度を ω 、水の動粘性係数を μ_w とした時の汚泥表面における速度(破線)及び剪断応力(実線)と水層の無限上方の相位との位相差を求めたものが図-6である。実験にて求めた汚泥表面と水表面との相位あるいは速度の位相差は、流速の増加とともに増大はするが平均的にはほぼ 0.2π で、この値から汚泥下層の剛性率 G_e は約 0.1 dyn/cm^2 となる。実際の流れの場合においても、巻き上げ直前には汚泥層は二層に分けられ、上述と同様の現象が生じているものと考えられる。乱流場においては、乱れによる応力変化の周期が短いため、汚泥の緩和時間も問題になると思われる。この点については今後検討を加えたい。

参考文献

- 1) 橋田, 山崎, 田中, 栗谷: 活性汚泥の巻き上げに関する基礎的研究, 土木協会誌, Vol.13, No.104, 1976.5, 111-16
- 2) 村岡: 流れに懸る泥層の形成と水質の関連, 水工学国際会議論文講演集, 1974.2, 118-126

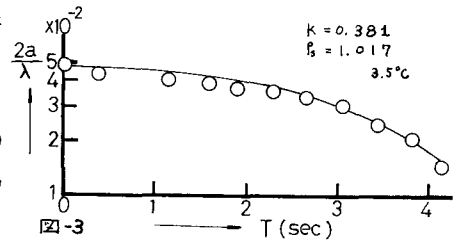


図-3

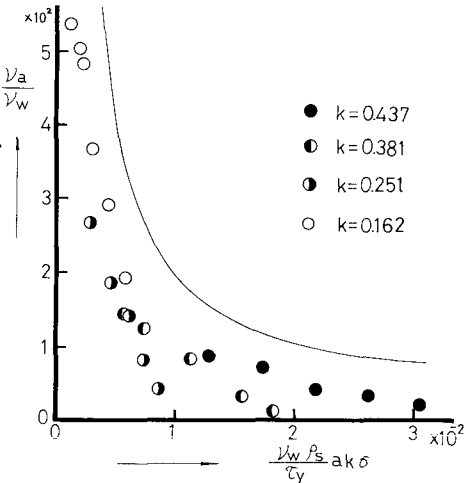


図-4 — は計算値, $\mu_s = 1.017$, $\mu_p = 0.048$

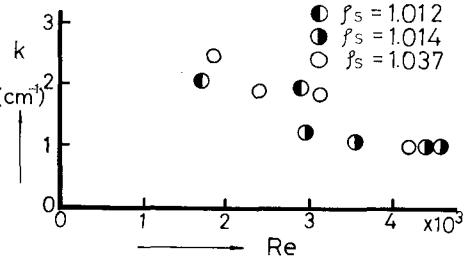


図-5 水表面流速、水深(11cm)基準

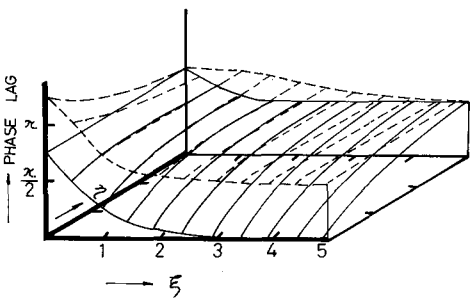


図-6 --- 水-汚泥界面の流速の位相差
—— 水-汚泥界面の剪断力の位相差
(無限上方の水表面の相位基準)

$$\xi = \mu_0 \sqrt{\frac{\omega}{2\mu_w}} \omega \frac{h_s}{G_e}, \quad \eta = \frac{1}{\omega} \frac{G_e}{h_s} \frac{h_s}{\mu_0}$$