

九州大学工学部 学生員〇二 渡 了

同 上 正 員 栗谷 陽一

同 上 正 員 楠田 哲也

同 上 正 員 海田 輝之

1. はじめに 河口感潮部や港湾等の水域において、水底に堆積したり、水中に浮遊している微細粒子は、水流によって巻き上げ、輸送、沈降を繰り返しており、それらは、種々の水質環境問題や港湾内での航路水深の浅化、砂洲の形成といった問題ともかかわっている。従って、水流による微細粒子の挙動を明らかにし、それらの堆積位置、堆積量等の予測を可能とすることが必要である。筆者らは、シルト分が多くほとんど凝集しない粒子は、一定剪断応力下では大粒子から徐々に沈降することを明らかにした¹⁾。そこで、本研究は、粘土分が多くフロック化の顕著な試料について、同様の実験を行ない検討したものである。

2. 実験装置及び方法 実験には図-1に示す円形回転水路を用いた。水路は、リングと円形水路（深さ25cm、外径220cm、内径180cm）よりなっており、両者は互いに逆方向に回転できる。実験は、所定の濃度の懸濁液を十分に混合攪拌した後、所定の一定剪断応力の下で行なった。試料を経時的に水面下7cmのところで採水し、孔径0.1 μ mのメンブランフィルターを用いてSSを求めた。また、浮遊状態にあるフロックの粒度分布は顕微鏡写真より求めた。フロックの沈降速度の測定には、図-2に示すようなサンプラーを用い、採取したフロックを所定の時間間隔で顕微鏡写真に撮り、その写真よりフロック径を求め、また、沈降時間と沈降距離（3mm）より沈降速度を算定した。試料としては、市販カスリン（Engelhard ASP600）を用い、その物性値は、比重2.66、平均径0.64 μ m、液性限界65%、塑性限界36%であった。また、実験時の水深は15cmとし、実験はすべて、比重1.025（並塩使用）の塩水中で行なった。なお、実験中における試料の物性変化を防ぐため、実験は室温 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の恒温室内で行なった。

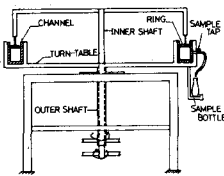


図-1. 円形回転水路

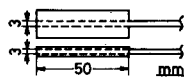


図-2. サンプラー

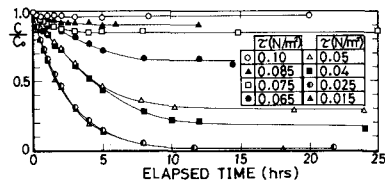
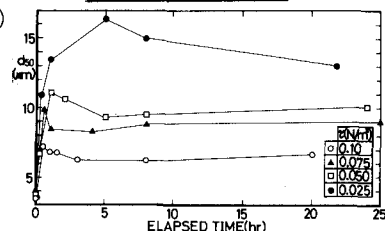


図-3. SSの経時変化

図4. d_{50} の経時変化

3. 実験結果及び考察 図-3に、初期濃度(C_0)を2g/Lとし、8種の一定剪断応力(τ)のときのSSの経時変化を示す。SSは時間の経過と共に減少し、その減少率が次第に低下しており、最終的にはほぼ一定値(C_{∞})に落ち着いている。図-4には、浮遊状態にあるフロックの体積中央粒径(d_{50})の経時変化を示した。 τ の小さいとき(0.025N/m²)を除いて、実験開始より1時間までは d_{50} は増加するが、その後はSSが減少するにもかかわらず、あまり変化していない。また、 τ が0.05N/m²のときの実験において測定した、沈降速度とフロック径の関係の経時変化を図-5に示す。図中の直線は、粒子が分散状態にあり球形であるとしてStokes式より求めた沈降速度を示している。時間が経過するに従い、沈降速度が

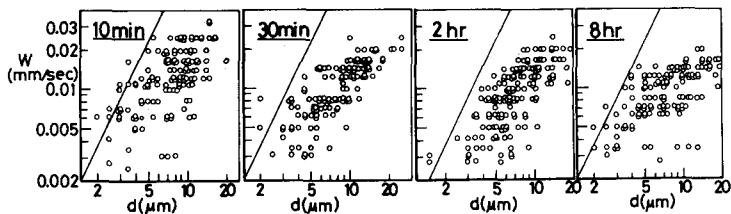


図5. 沈降速度とフロック径の関係の経時変化

より大きいものは若干減少するが、図-5に示す両者の関係の分布は、SSがかなり低下するにもかかわらず、あまり変化していない。この傾向は他の τ の場合においても見られた。また、 W/d_{50} （ここで、 W :沈降速度、

44: 降速速度) の値は、 $\tau = 0.05 \text{ N/m}^2$ 、 $\omega = 0.02 \text{ mm/sec}$ のとき、 3×10^{-3} 程度となり 1 より非常に小さくなっている。以上のことから、このような凝集性懸濁物質の濃度の減少は、フロックの沈降速度に支配されないと考えられる。

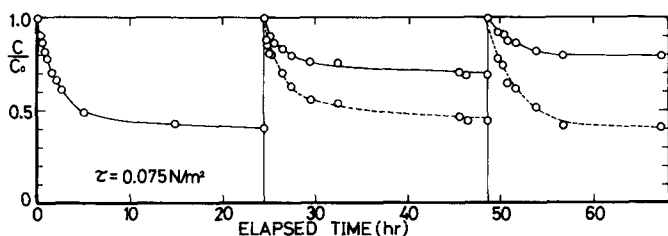


図-6. SS の経時変化

次に、 C_0 を 2g/l とし、常に剪断応力が一定 ($\tau = 0.05 \text{ N/m}^2$) の実験において、SS が変化しなくなった時点で、再び濃度が 2g/l となるように新たに試料を加えた。この操作を繰り返し、連続的に実験を行なった。このときの SS の経時変化を図-6 に示す。図中の実線は、各段階における C_0 で無次元化した濃度の減少曲線であり、一方、破線は、新たに加えたものの無次元化した濃度減少曲線である。実線で示した SS の減少曲線は、段階が進むに従い、次第に緩やかになり、 C_0/C_0 の値も増加している。一方、追加分だけを考えた場合、図中破線で示されているように、その SS の減少パターンはほとんど変わっていない。このことは、 C_0 として浮遊しているものは、次の段階でも浮遊状態を続け、追加した試料の一定比率分が前段階の C_0 の値に加算されるものと考えられる。さらに、これらのことは、濃度に変化しないという状態が、巻き上げと沈降が平衡状態にあるのではなく、巻き上げも沈降も起こっていないことを示している。

最後に、時間の経過に伴ない、減少する濃度分 ($C - C_\infty$) だけに注目して、粒子及びフロックがランダムに底面に付着するものとするれば、濃度減少を表わす式は、 $C = C_\infty + (C_0 - C_\infty) e^{-\alpha t}$ となる。本実験の結果を片対数紙上にプロットしたのが図-7 であり、それらは各直線上にある。微細粒子は、わずかな剪断応力が作用していれば浮遊状態を続け得るものではあるが、図-8 に示した C_0/C_0 と τ の関係より、すべての粒子が浮遊し得ないという限界剪断応力 (τ_{cd}) を外挿して求め、この τ_{cd} を用いて剪断応力を無次元化し、その無次元剪断応力と α の関係を、既に筆者らが行なった実験結果も合わせて示したのが図-9 である。各シリーズで試料等の物性値が異なり、 τ_{cd} の値も違ったものとなっているが、各々の τ_{cd} で無次元化することにより、 τ/τ_{cd} と α との関係はかなりまとまったものとなっている。ここで、 α の値は τ_{cd} の値に応じて変化しているが、これは粒子やフロックが底面に衝突する確率と、衝突しても付着し得ずに浮遊状態を続ける確率が、各々 τ によって変化するためと考えられる。

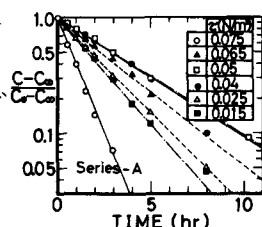


図-7. $\frac{C - C_\infty}{C_0 - C_\infty}$ と t の関係

4. おわりに 凝集性懸濁物質の濃度減少は、フロックの沈降速度によっては支配されず、形成されたフロックが底面に達した時に、底面に付着し留まるか、あるいは付着し得ずにそのまま浮遊状態を続けるかによっていると考えられる。しかし、そのような付着し得ずに浮遊状態を続ける確率というものの物理的解釈や、 C_0 の予測について今後さらに、検討していく必要があると思われる。

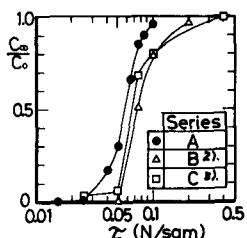


図-8. C_0/C_0 と τ の関係

なお、本研究は、文部省科学研究費 (一般研究) の補助を受けた。また、実験に際して協力を戴いた松永達生君に心から感謝する。

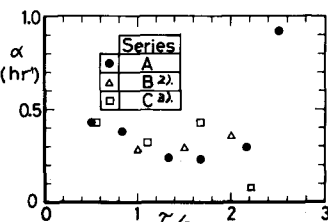


図-9. α と τ/τ_{cd} の関係

<参考文献>

- 1). T. Kusuda et al.: Depositional Process of Fine Sediments, WATER SCIENCE TECHNOLOGY Vol. 14, 1982.
- 2). 海田ら: 凝集性懸濁物質の沈降過程, 土木学会西部支部研究発表会, 1982. 2, pp 159-160.
- 3). 海田ら: 底泥の巻き上げと沈降に関する基礎的研究, 第17回衛生工学研究討論会, 1981. 1, pp 42-48.