

凝集性懸濁物質の沈降過程(Ⅱ)

九州大学工学部 学生最〇二 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、浮遊している微細粒子(主にシルト及び粘土)は、潮汐や洪水等の水素によって巻き上げ・輸送・沈降等を繰り返している。これらの微細粒子は、粒子自体による汚濁や、粒子に栄養塩類、重金属等が吸着しているため、種々の水質環境問題の原因となっている。こういった水質環境問題や、港湾内の航路水深の確保、河床架の保持といった問題等にとって、このような微細粒子の挙動を明らかにすることは重要である。本研究は、その沈降過程を明らかにするために、粘土成分が多くフロック化の顕著な試料について、一定剪断応力下での沈降実験を行い、凝集性懸濁物質の沈降過程について検討を加えたものである。

2. 実験装置及び方法 実験に用いた円形回転水路の概略を図-1に示す。水路は、リングと円形水路(アクリル製、長さ25cm、外径220cm、内径180cm)よりなり、両者は互いに逆方向に回転できる。このような水路では、遠心力による半径方向の二次流が生じるが、その影響が底面付近で最小となるような回転速度を予め求めた。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。SSは、経時的に水面下7cmのところから採水した試料を孔径0.1 μ mのメンブランフィルターを用いて求めた。このとき、水路の鉛直方向には充分混合されており、濃度分布はほとんど認められない。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た。浮遊状態のフロックを採取し、サンプラー下面にフロックが沈降するまでしばらく静置した後、サンプラーを反転させ、サンプラー下面に垂れたフロックを所定の時間間隔で顕微鏡写真に撮った。その写真よりフロック径を求め、沈降時間と沈降距離(3mm)から沈降速度を算定した。試料としては、市販カスリン(Engelhard ASP600)を用いた。この試料の物性値は、比重2.66、平均径0.64 μ m、液性限界85%、塑性限界36%である。また、実験時の水深は15cmとし、水深基準のレイノルズ数は(5~11) $\times 10^4$ である。さらに、すべての実験は、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20 $\pm 1^{\circ}$ Cの恒温室内で行なった。

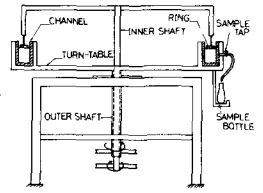


図-1 円形回転水路

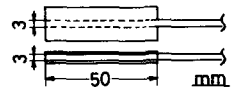


図-2 サンプラー

3. 実験結果及び考察 図-3に、初期濃度(C_0)を2g/lとし、剪断応力(τ)を、0.025、0.05、0.075、0.10 N/m²とした場合のSSの経時変化を示す。SSは時間の経過と共に、次第にその減少率は低下し、最終的にはほぼ一定値(C_{∞})に落ち着いている。図-4には、フロックの体積中央粒径(d_{50})の経時変化を示した。各 τ について、実験開始より数時間までは 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、 d_{50} はあまり変化していない。 τ が0.05 N/m²のときの沈降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である。時間の経過と共に、沈降速度の大きいものは若干減少するが、その分布型は、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。

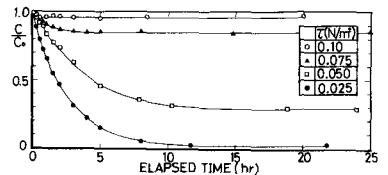


図-3 SSの経時変化

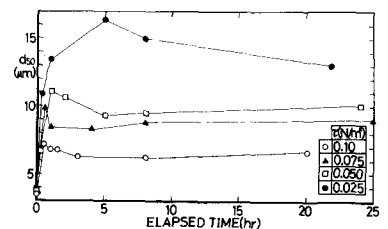


図-4 d_{50} の経時変化

また、 W/H (ここで、 W : 沈降速度、 H : 層厚) の値は、 $\tau = 0.05 \text{ N/m}^2$ 、 $W = 0.02 \text{ cm/sec}$ のとき、 3×10^{-3} 程度となり非常に小さな値である。以上のことから、このような凝集性懸濁物質の沈降では、フロックの沈降速度は現象を支配していないと考えられる。

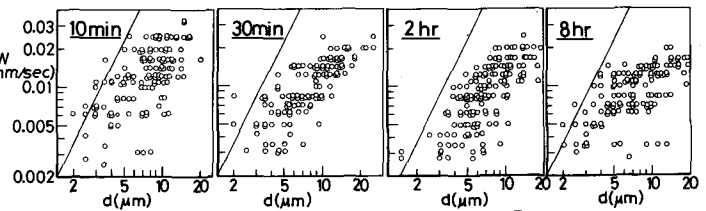


図-5 沈降速度とフロック径の関係の経時変化

次に τ を 0.075 N/m^2 、 C_0 を $2g/l$ とし沈降実験を行ない、SS が一定値となった時点で、再び濃度が $2g/l$ となるように、新たに試料を加え連続的にこの実験を行なった。ただし、 τ は常に一定とした。なお、この実験はシリーズが異なったため、他のシリーズと測定値は一致していない。

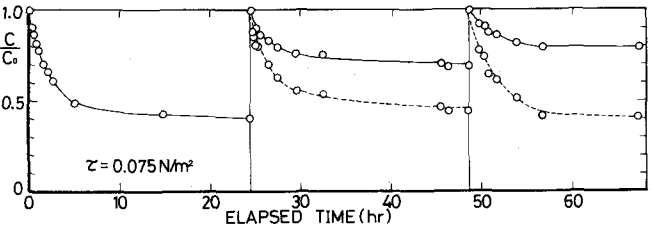


図-6 SSの経時変化

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 で無次元化した沈降曲線であり、また破線は、2段階以後各SSより前段階で C_0 として残った濃度分を差し引いて求めた、追加分のSSの経時変化を示している。各段階におけるSSの減少曲線は、段階が進むに従い、次第に緩やかな曲線となり C_0 の値も増加している。一方、追加分に注目すると、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ぼ同一形となっている。これらのことから、前段階において沈降し得なかった粒子及びフロックは、次の段階においても沈降し得ず、2段階以後においては、追加した試料の一定比率分が前段階の C_0 の値に加算されていると考えられる。さらに、このことは、 C_0 での状態が、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。図-7は、 $\tau = 0.075 \text{ N/m}^2$ で4.5時間沈降させ、引き続き τ を 0.05 N/m^2 に減少させたときのSSの経時変化を示したものである。図中の実線は、 C_0 で無次元化した沈降曲線であり、一方、破線は、 τ を 0.05 N/m^2 に減少させた時点での濃度でそれ以後の各SSを無次元化したものである。実線で示した濃度減少曲線において、SSが変化しなくなった時点での C/C_0 の値は、最初から一定剪断応力の下で沈降させた場合の値より小さくなっている。また、 τ を減少させた時点を実験開始時と見なした場合のSSの減少状態は、一定剪断応力下での沈降状態とはほぼ一致している。これらのことは、ある剪断応力の下で沈降し得ずに浮遊した状態にある粒子及びフロックでも、剪断応力が減少すれば沈降し得ることを示している。さらに、ある剪断応力の下で浮遊している粒子及びフロックが、剪断応力が減少した場合の沈降に及ぼす影響は、沈降実験開始時において浮遊している粒子及びフロックの持つ性質と変わらないと考えられる。

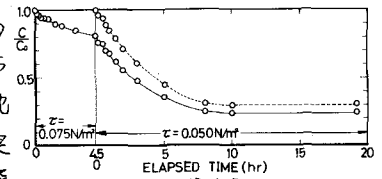


図-7 SSの経時変化

いま、SSとして C_0 の分を差し引いたものを考え、粒子及びフロックがランダムに底面に付着すると考えると、 $C = C_0 + (C_0 - C_0)e^{-\alpha t}$ 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-8であり、各点はほぼ直線上にある。しかし、 α と τ との関係はさらに検討を要する。

4. おわりに 凝集性懸濁物質の沈降は、フロックの沈降速度によっては規定されず、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、或るいは、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。今後は、各剪断応力に対して底面に付着し得ずに浮遊状態にある粒子及びフロックについての考察、すなわち C_0 の予測についても検討して行きたい。

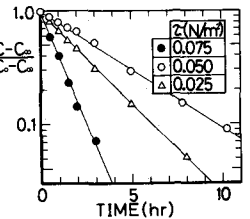


図-8 $\frac{C-C_0}{C_0-C_0}$ と τ の関係