

1. はじめに 底泥の巻き上げと沈降の問題は、水質汚濁の防止や水費の予測、貯水池の寿命等に関係しており非常に重要である。底泥の物性は、堆積時間や堆積過程(自然沈降が流水下での沈降)等により大きく変化するため、巻き上げ現象もかなり複雑であり、現象の解明には至っていない。本研究は、自然沈降により形成した底泥について、円形回転水路を用いて種々の掃流力の下で巻き上げ実験を行ない、巻き上げ現象の把握を行なうとともに、その機構について若干の考察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。水路はソクリル製回転円形水路と泥槽スチロール製リングよりなっており、両者は独立に回転できる。円形水路では半径方向の二次流が生じるが、本研究では水路とリングを逆方向に回転させることにより二次流の影響が底面で最小となるような水路とリングの回転速度の操作曲線を求めた。底面剪断力は、リングに働く剪断力を測定し次式より求めた。 $\tau = \frac{A_r}{A_b A_w} \tau_r$ 但し、 τ : 底面剪断力、 τ_r : リング剪断力、 A_b : 水路底面積、 A_w : 水路壁面積、 A_r : リング面積である。実験に際しては、試料を30%の濃度で一様に混合した後、5時間及び72時間自然沈降させ、底泥を形成した。掃流力を5段階に変え巻き上げ実験を行ない経時的に壁面より採水し浮遊物濃度及び粒度分布を測定した。その測定方法及び実験に用いた試料は報告(I)と同じである。

3. 実験結果及び考察 図2、図3に底泥の堆積時間(以下Tとする) $T=5, 72$ 時間における浮遊物濃度の時間変化と掃流力をパラメータにして示す。また、図4-5に巻き上げられた底泥の粒度分布の時間変化を示す。 $T=72$ 時間は底泥の圧密沈降がかなり進んだ時点であり、 $T=5$ 時間は沈降初期である。水深方向の濃度勾配及び粒度分布変化は、巻き上げの初期を除いて無視できた。報告(I)で示されたように、Tの増加とともに底泥の降伏値を示さぬような強度が増加し、巻き上げのパターンもかなり異なったものになっている。まず、濃度からみた場合、 $T=5$ 時間の場合、底泥のほとんど全部が巻き上げられた $\tau=4 \text{ dyn/cm}^2$ の場合を除いて、初期の急速な巻き上げ(1時間以内)とその後の緩やかな沈降(数十時間)とに分けらる。また、濃度プロフィールをもつまでの時間が掃流力が大きくなるに従って短くなるというが特徴的である。 $T=72$ 時間の場合には、初期急速巻き上げ(1時間以内)とその後の非常にゆるやかな巻き上げ(数十時間)とから成っている。底泥表面の状態については、 $T=5$ 時間の場合、 $\tau=0.25, 0.5, 0.75 \text{ dyn/cm}^2$ で、 $T=72$ 時間の場合、 $\tau=4 \text{ dyn/cm}^2$ を除いた他の全ての掃流力の場合に、水路の回転と同時に底泥表面に進行性の波動が局所的に発生し、この波動の峰が碎ける事により巻き上げが生じた。また、この碎段による巻き上げは、本研究の場合、先に述べた急速巻き上げ期とはほぼ対応し、緩速沈降や緩速巻き上げ期には波動は起さず、掃流力が大きい他の場合には、短時間(数分程度)で初期の巻き上げが終了し、波動は観察されなかった。底泥

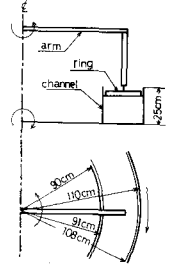


図1. 回転円形水路

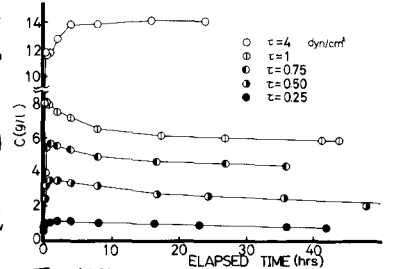


図2. 経過時間と濃度の関係(T=5時間)

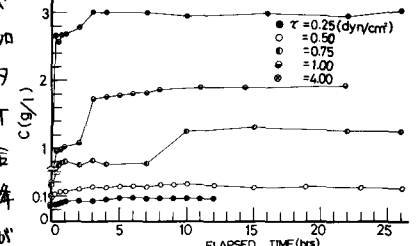


図3. 経過時間と濃度の関係(T=72時間)

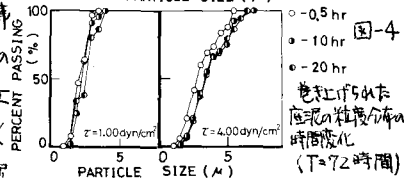
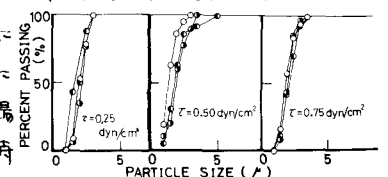


図4. 巻き上げられた底泥の粒度分布の時間変化(T=72時間)

表層の研取による巻き上げは、底泥表層の強度と掃流力に關係すると考えられるが、その詳細を得るには至らなかった。次に、巻き上げられた底泥の粒度分布については、 $T=5$ 時間の場合、濃度の時間変化と良く対応し濃度がピークの時最大径、平均径とも最大となり、その後濃度の減少とともにそれらも減少している。この濃度の減少のメカニズムは、報告(I)で示されたのと同様であると考えられるが、風潮部等の初期には掃流力が時間により変化する場合、巻き上げられた粒子のうち、比較的粒径の大きなものが残し底泥表層をおおうため、同一の掃流力では巻き上げられにくくなると考えられる。 $T=72$ 時間では平均径、最大径とも時間の経過とともに大きくなっている。しかし本実験での巻き上げられた粒子の径は報告(I)での同じ大きさの剪断流下での濃度一定となった時点の粒子よりかなり小さい。従って、この場合粒子の底泥への付着や捕捉がほとんど起っていないと考えられる。次に、表-1に巻き上げられた底泥の最大濃度から算出した最大巻き上げ量 M と、報告(I)の図-3,4の底泥の鉛直方向の含水量より計算した巻き上げ深さ H 及びその H に相当する降伏値を示した。このより、巻き上げは降伏値より小さな掃流力でも起るべきが知られる。これは、変形速度と応力の關係において、変形速度がの近くでは非線形となり応力が降伏値より小さくても流動を生ずるため、降伏値では底泥の流動の開始を必ずしも正確に表現できなかったと考えられる。さらに、報告(I)の図-5,6の H 以上の深さに相当する粒度分布と巻き上げられた底泥の粒度分布を較べると、掃流力が大きな程、前者の方が最大径、平均径とも大きくなる。さらに図-6に示した様に実験終了時の底泥表層の粒子の方が、実験前の同じ深さの粒子より明らかに大きくなっている。このより、掃流力が小さくなると、底泥は底泥表層から深さ方向に徐々に巻き上げられず、底泥表層近く及びその下層の粒子径の小さな粒子がかなり選択的に巻き上げられていると考えられる。

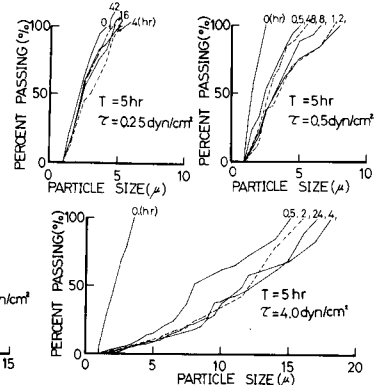


図5. 巻き上げられた底泥の粒度分布の時間変化 ($T=5$ 時間)

過とともに大きくなっている。しかし本実験での巻き上げられた粒子の径は報告(I)での同じ大きさの剪断流下での濃度一定となった時点の粒子よりかなり小さい。従って、この場合粒子の底泥への付着や捕捉がほとんど起っていないと考えられる。次に、表-1に巻き上げられた底泥の最大濃度から算出した最大巻き上げ量 M と、報告(I)の図-3,4の底泥の鉛直方向の含水量より計算した巻き上げ深さ H 及びその H に相当する降伏値を示した。このより、巻き上げは降伏値より小さな掃流力でも起るべきが知られる。これは、変形速度と応力の關係において、変形速度がの近くでは非線形となり応力が降伏値より小さくても流動を生ずるため、降伏値では底泥の流動の開始を必ずしも正確に表現できなかったと考えられる。さらに、報告(I)の図-5,6の H 以上の深さに相当する粒度分布と巻き上げられた底泥の粒度分布を較べると、掃流力が大きな程、前者の方が最大径、平均径とも大きくなる。さらに図-6に示した様に実験終了時の底泥表層の粒子の方が、実験前の同じ深さの粒子より明らかに大きくなっている。このより、掃流力が小さくなると、底泥は底泥表層から深さ方向に徐々に巻き上げられず、底泥表層近く及びその下層の粒子径の小さな粒子がかなり選択的に巻き上げられていると考えられる。

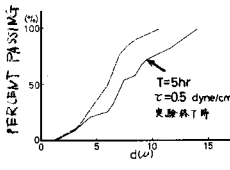


図6. 表層の粒度分布

表-1

沈降時間 (hr)	掃流力 (dyn/cm ²)	最大巻き上げ量 M (mg/cm ²)	巻き上げ深さ H (mm)	Hに相当する降伏値 (dyn/cm ²)
5	0.25	4.70	2.15	0.32
	0.5	40.8	9.50	0.80
	0.75	71.2	13.65	0.97
	1.0	109.3	16.70	1.75
	4.0	202.5	21.30	10.20
72	0.25	0.39	—	—
	0.5	1.19	0.54F	0.77
	0.75	17.4	2.35	1.32
	1.0	26.7	3.10	1.78
	4.0	43.4	4.72	2.90

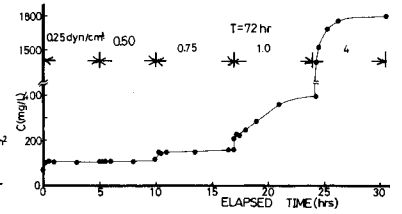


図7. 経過時間と濃度の関係 ($T=72$ 時間)

次に、 $T=72$ 時間において、掃流力を10時間間隔程度で段階的に増加させた時の濃度の時間変化を示したのが図-7である。この図と図-3を比較すると段階的に掃流力を増加させた方が濃度の増加が明らかに小さくなっている。例えば、 $\tau=1$ dyn/cm²では、図-3の方が図-7より4倍程度大きくなっている。この原因の一つとして、先に述べた底泥表層に於ける水流による底泥粒子の分散作用により、粗い粒子が表層に残り、それらが表層をおおう事により巻き上げられにくくなる事が考えられる。さらに、掃流力が強く巻き上げがほとんど起っていない状態 ($\tau=0.25$ dyn/cm²) から $\tau=0.5$ dyn/cm² にした時、濃度の増加が非常に少なくなっている事より、底泥が応力を受ける事により、底泥表層の粒子やフロックの配向性が変化し、応力を受ける前より底泥表層の強度が大きくなる事も考えられる。実際の三河川等では、シルト含率が低くは前着のアーマリニグ作用が卓越するであろうし、さらには、掃流力の時間による変動等により、底泥表層の粒子やフロックの再配向が生じる等現象はさらに複雑であると思われる。最後に、本研究を行なうに当り協力して下さいました工藤博幸君(現久保田鉄工)、安藤弘俊君に深謝致します。なお本研究の一部は文部省研究所(総合研究(A))の補助を受けて行なわれたものである。