

底泥の巻き上げ機構に関する実験的研究

九州大学 工学部

 学 長 永達生 正 楠田哲也 正 栗谷陽一
 正 海田輝久 学 二 渡 了 学 石原達弘

1. まえがき 港湾・河口感潮部等の半閉鎖水域にはかなりの量の底泥が堆積している。これら底泥は潮汐や洪水等により巻き上げられ、水質環境に様々な悪影響を及ぼしている。一つは底泥が巻き上げられた事によって生じるSS自体による汚濁の問題であり、さらにSSに吸着された有害物質、例えば水銀、カドミウム、栄養塩類等の拡散・輸送の問題がある。巻き上げについては、従来多くの研究がなされているが、巻き上げ機構の解明には至っていないのが現状であろう。本実験は、種々の固体分率の底泥について一定掃流力の下での巻き上げ実験を行ない、SSと巻き上げられた底泥の粒度分布、巻き上げられずに残存した底泥の固体分率及び粒度の鉛直分布を測定し、これらの実験結果から、底泥の巻き上げ機構について検討を加えたものである。

2. 実験装置及び実験方法 実験に用いた円形水路の概略を図-1に示す。水路は円形の回転水路(アクリル製、外径220cm、内径180cm、深さ25cm)とリフト(電動スチロール製)とからなり、前者は別個のモーター及び回転制御装置によって、それぞれ独立に回転できるようになっている。実験は、水路床に予め所定の含水比に調整した試料を、厚さ2cmに均一に敷き、その後試料を孔さめように塩水(比重1.025)を水深15cmまで注入し、一定掃流力の下での巻き上げ実験を行なった。なお実験継続時間は2時間とし、試料の含水比が300%, 365%, 400%の3種について、各々掃流力を変化させて実験を行なった。採水は水面下7cmのところで行ない、孔径0.1mmのメンブレンフィルターで濾過し、SSの経時変化を求めた。また巻き上げられた底泥の分散させた状態での粒度分布の測定は、試料をヘキサメタリン酸ナトリウムで分散させ、超音波破壊器でフロックを分解した後、遠心式粒度試験器を用いて行なった。また実験終了後に巻き上げられずに残った底泥を層状に採取し、鉛直方向の固体分率と粒度分布を求めた。なお試料としては、筑後川河口部で採取した底泥を用いた。比重は2.61であり、粒度分布は図-2に示す通りである。実験中における試料の物性変化を防ぐため水温は20±1℃とした。

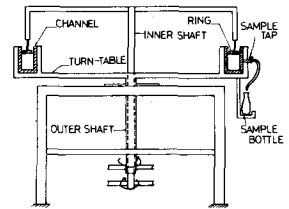


図-1 円形回転水路

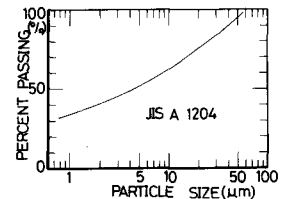


図-2 試料の粒度分布

3. 実験結果及び考察 図-3にSSの経時変化を示す。含水比(W)300%, 掃流力(τ)0.5 γ/cm の場合を除いて、顕著な局所的沈掘は起らなかった。SSの増加パターンは、初期のSSが急激に増加する初期急速巻き上げ期と、その後のSSが徐々に増加する後速巻き上げ期、あるいは、SSが若干低下した後SSの変動がないSS一定期の二つに分けられる。初期急速巻き上げ期の $\tau=0$ における初期巻き上げFlux(f_e)と掃流力を臨界掃流力(τ_c)で無次元化した($\frac{\tau-\tau_c}{\tau_c}$)の関係を図-4に示す。 f_e と無次元掃流力との関係は、両対数系上で直線となり、本実験で用いた試料の場合、 f_e は次式で表わされる。 $f_e(\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{min}) = A \left(\frac{\tau-\tau_c}{\tau_c} \right)^B$ ($A=3.9, B=2.29$)、ただしBの値は、本実験では初期含水比が鉛直方向に一定のため、鉛直方向に含水比が低下する前回の実験に比べ、若干大きくなっている。また巻

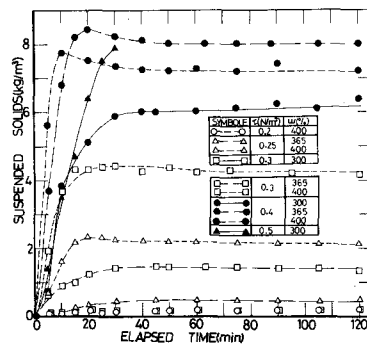


図-3 SSの経時変化

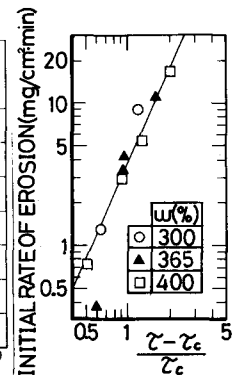


図-4 初期巻き上げFlux

き上げ速度が時間の経過に伴い、低下もしくは停止することから、巻き上げを継続すると、巻き上げを抑制する何らかの機構が生じること示唆している。底泥が巻き上げられる時、底泥個々の粒子で巻き上げられるか、あるいはフロックで巻き上げられるかは現在のところ明らかではない。以下では、巻き上げられた底泥を分散させた時の粒度について検討を加える。まず巻き上げられた底泥の粒度分布の経時変化を一例として図-5に示す。これは $\tau = 0.3 \text{ N/m}^2$, $w = 300$

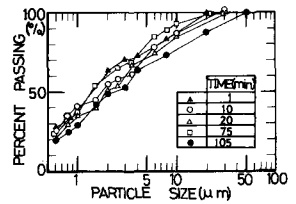


図-5 粒度分布の経時変化

%におけるものである。これより粒度分布の経時変化はほとんどなく、底泥はほぼ同じ粒度分布で巻き上げられ、さらに一度巻き上げられた粒子は、沈降することほとんどないといえる。次に、

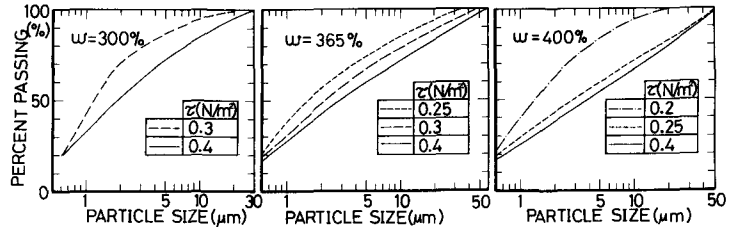


図-6 τ を変化させた時の巻き上げられた底泥の粒度分布

各含水比の底泥に対して τ を変化させた時の、巻き上げられた底泥の粒度分布を図-6に示す。底泥の含水比が同じであれば掃流力の大きい程、掃流力が同じであれば底泥の含水比が大きい程、粒径の大きい粒子も巻き上げられ、粒度分布も粗くなっていることがあがる。また巻き上げられた底泥の粒度分布及び濃度と、水路床に敷いた泥の粒度分布と固体分率から、各粒径の粒子が初期の状態からどれだけ巻き上げられたかを計算したのが図-7である。前述の無次元化掃流力が大きい場合、粒子は粒径によらずほぼ同じ深さから巻き上げられているが、掃流力が小さくなると、粒径の小さな粒子ほど深くから巻き上げられていることがあがる。実験終了時の表層付近の粒度の鉛直分布の一例を図-8に示す。これは $\tau = 0.3 \text{ N/m}^2$, $w = 800\%$ におけるものである。これより底泥表層近くの粒度分布は粗くなっており、底泥表層近くではatmoringを生じていることがあがる。

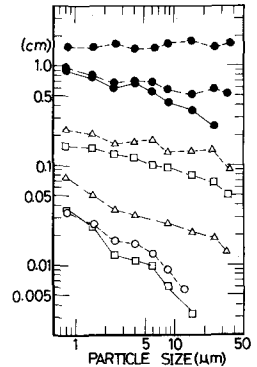


図-7 図中の記号は図の2と同じ

以上より、底泥表層部ではかなりの混合が行われ、この「混合層」中から掃流力と底泥含水比等に対応した一定の粒度分布で構成された底泥粒子あるいはフロックが、上層水中に移動する考えられる。次に実験終了時の底泥の鉛直方向の固体分率を示したのが図-9である。これより実験終了時の底泥の固体分率は圧密により下層が大きくなる一方、表層近くも大きくなっている。特に掃流力が大きい程、表層近くの固体分率は大きくなっており、表層近くの粒子はreorientationを起こしていると考えられる。以上のことより、巻き上げ速度の時間的な低下は、reorientationとatmoringにより起こり、同一の底泥含水比では、掃流力が大きい場合（本実験で用いた試料では無次元化掃流力が2以上）、reorientationの影響が大きく、無次元掃流力が小さくなればatmoringの方がより支配的になると考えられる。今後は、前述の「混合層」中での底泥の挙動をモデル化するとともに、底泥表層部でのreorientationが巻き上げに及ぼす影響を定量化し、底泥の巻き上げ過程及び最大巻き上げ量について検討を行きたい。

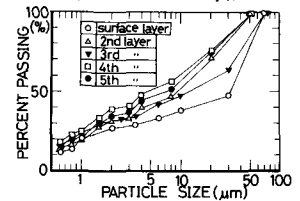


図-8 鉛直方向の粒度分布

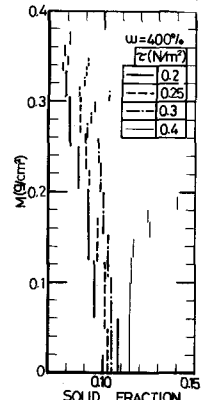


図-9 鉛直方向の固体分率

〈参考文献〉1) KUSUDA, T., et al., "Erosional Process of Fine Cohesive Sediments" Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol. 82, No. 8, December 1982, pp. 317~333