

底泥の巻き上げ機構に関する実験的研究(Ⅱ)

九州大学工学部 学生員 ○中大塚 茂
九州大学工学部 正 員 二 渡 了
九州大学工学部 正 員 楠田 哲也
九州大学工学部 正 員 栗谷 陽一

1. はじめに 河川底層部や港湾等の半閉鎖水域に堆積している底泥は、水質環境に種々の悪影響を及ぼすことが指摘されている。これには、潮汐や洪水等により既に堆積している底泥が巻き上げることによるSS自体による汚濁の問題、底泥に吸着された有害物質の水域への回帰の問題等がある。これまでに、一定掃流力下での巻き上げ実験から、巻き上げ速度の時間的低下は、reorientationとarmoringにより起こること、また、周期的に掃流力を変化させた場合における底泥の巻き上げ—次降における実験から、周期回数が増加と共にSS濃度は、一定の変化状態(定常状態)を示すことが明らかにされている。本研究では、周期的に掃流力が変化する場で、底泥形成がどのように行われるかを明らかにするために実験を行い、SS濃度の経時変化、実験終了時での底泥の鉛直方向の固体分率、最大剪断応力時に浮遊状態にある底泥の粒度分布、及びその底泥の圧密過程を測定し、周期的掃流力場での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. 実験装置及び方法 実験には円形回転水路(詳細は文献¹⁾を参照)を用いた。実験は、初期粘土濃度30%で試料を完全混合の後、最大剪断応力 τ_{max} の状態から開始し、剪断応力を周期的に変化させるものと、同濃度で試料を完全混合の後、所定の時間静置次降して底泥を形成し、 $t=0$ より実験開始するものを行、た。剪断応力の周期的変化を図-1に示す。 τ_{max} は、0.3あるいは0.4 N/m²とした。このとき、各実験の実水深は、15cmである。採水は水面下8cmの所で行い、孔径0.1mmのメンブレンフィルターでろ過し、SS濃度の経時変化を求めた。また、底泥の鉛直方向の固体分率分布及び粒度分布は、実験終了後底泥を数mmごとに採取して求めた。採取した底泥の粒度分布の測定は、遠心式粒度分布測定装置を用いて行、た。巻き上げられた底泥の次降時の圧密過程は、 τ_{max} 時に採水した試料を2時間次降後、上記と同様の方法で、鉛直方向の固体分率分布及び粒度分布を測定した。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。その物性値は、比重2.61、液性限界84.0%、塑性限界42.6%、膨脹減量10.0%であった。その粒度分布を図-2に示す。実験中における試料の物性変化を防ぐために、実験は、20.0±1.0℃の恒温室内で行、た。

3. 実験結果及び考察 周期的に変動する掃流力場での、 $\tau_{max}=0.3$ N/m²で τ_{max} 開始の場合のSS濃度の経時変化を図-3に示す。周期回数が増加と共に、SS濃度は減少する。次に、周期回数が増加と τ_{max} 時のSS濃度($C_{\tau_{max}}$)の関係を図-4に示す。本実験では、100分静置次降後、 $\tau_{max}=0.4$ N/m²で $t=0$ 開始の場合には、各周期でのSS濃度の経時変化はほぼ一定で、周期回数が増加しても $C_{\tau_{max}}$ にあまり変化がみられず、巻き上げ量は、第一周期目で決定されている。一方、 $\tau_{max}=0.3$ N/m²で τ_{max} 開始の場合には、各周期の $C_{\tau_{max}}$ は、周期回数が増加と共に減少し、第8周期目よりほぼ一定値を示している。第8周期目以降は、SS濃度変化について定常状態にあるといえる。次に、 $\tau_{max}=0.3$ N/m²で τ_{max} 開始の各周期終了時の底泥の固体分率分布を図-5に示す。図中の○印は、各周期中におけるSS

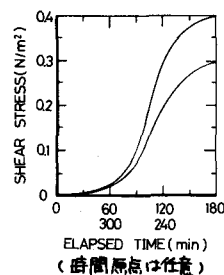


図-1 掃流力の時間変化

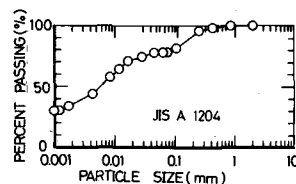


図-2 試料粒度分布

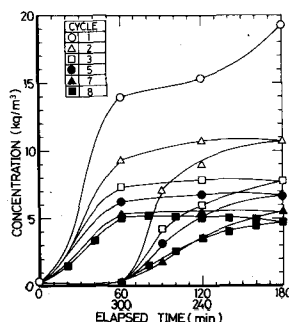


図-3 SS濃度の経時変化

の最高濃度 (C_{max}) より求めた単位面積質量を示し、 Δ 印より上層部分が、各周期で巻き上げられた底泥量を示している。この図からも、周期回数の増加に伴う巻き上げ量の減少がわかる。また、 Δ 印付近においては、残留底泥表層で固体分率が大きく増加し、固体分率分布に勾配の急変が生じている。次に、各周期で巻き上げられた底泥の2時間静置沈降後の固体分率分布を図-6に示す。第2・4周期の最下層は、定常状態にある第8・12周期の最下層より固体分率が大きく減っている。この固体分率の増加は、巻き上げられた底泥の自重圧密によるものである。さらに、この固体分率が、巻き上げ直前まで増加し、ある値(巻き上げ限界値)を越えることで、ある周期に巻き上がりその後沈降してきた底泥の一部は、次周期には巻き上げられなくなる。このことが、巻き上げ量の減少を引き起こしている。定常状態では、巻き上げた底泥の固体分率が、沈降-巻き上げの過程で、巻き上げ限界値を越えることができない。したがって、前周期で巻き上げた底泥が、次周期でも巻き上がり、SS濃度が、常に一定の経時変化を示す定常状態に達すると考えられる。

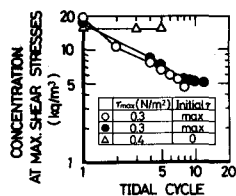


図-4 周期回数と C_{max} との関係

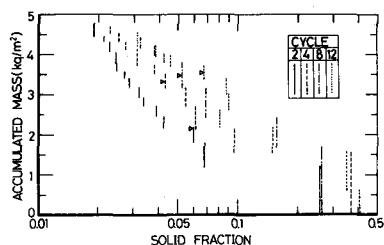


図-5 各周期別固体分率分布

次に、12時間静置沈降後の底泥の固体分率分布と、6時間静置沈降後 $\tau_{max}=0.3\text{ N/m}^2$ で $\tau=0$ 開始より第一周期終了時の底泥の固体分率分布を図-7に示す。残留底泥表層付近で、固体分率が大きく増加しているのは、自重圧密だけを考えても説明がつかない。そこで、固体分率の増加には、流体運動により底泥に生じる剪断歪も存在すると考えられる。したがって、巻き上げられる底泥についても、剪断歪による固体分率の増加があると思われる。巻き上げ限界掃流力以下では、底泥は流動せず、しかも、この時点から次周期の巻き上げが開始されるまでの圧密が無視できるならば、残留底泥表層の固体分率は、ほぼ C_{max} となる剪断応力にみあう巻き上げ限界値となる。しかし、 C_{max} となった時点から底泥は、沈降・堆積し、自重圧密により固体分率を増すので、実験終了時の今回測定した残留底泥表層の固体分率は、実際に巻き上げが終了するところの巻き上げ限界値より大きくなる可能性がある。次に、 $\tau_{max}=0.3\text{ N/m}^2$ で τ_{max} 開始の場合の各周期別 τ_{max} 時の沈降状態にある粒子の粒度分布を図-8に示す。各周期とも巻き上げられた粒子の粒径は、ほぼ一定で、本実験では、選択的巻き上げは、あまり影響はないといえる。

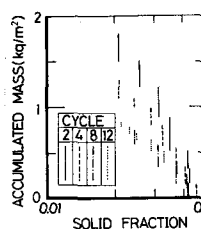


図-6 巻き上げられた底泥の固体分率分布

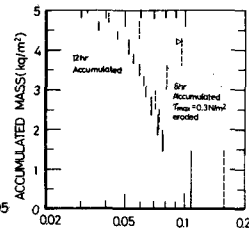


図-7 静置沈降と掃流力を受けた底泥の固体分率

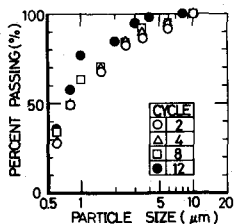


図-8 巻き上げられた底泥の粒度分布

4. おわりに 本研究では、試料として、筑後川河口部底泥を用い、周期的掃流力場における底泥形成について検討した。その結果、 C_{max} の減少は、巻き上げられた底泥が次周期に巻き上げられるまでの間に、底泥の固体分率が増加するためであることがわかった。また、巻き上げ量は、底泥の固体分率の巻き上げ限界値により定められ、その巻き上げ限界値は、各周期の終了時において、ほぼ0.05程度となる。今後は、巻き上げられた底泥が、沈降・巻き上げ期間中に、どれ程の圧密を受け、また、剪断歪の影響による固体分率の増加を明らかにした上で、SS濃度変動のモデル化を検討していきたい。本研究は、文部省科学研究費一般(C)及び、総合研究(A)の補助により、行われたものである。

〈参考文献〉

1) 二表ら：円形回転水路とその流況特性，土木工学集報，第57巻 第4号，P.431～435，1994.8