

底泥の攪乱・不攪乱による巻き上げへの影響について

九州大学工学部 学生員○山西博幸 学生員 吉見博之
同 上 正 員 二渡 了 正 員 楠田哲也

1. まえがき 底泥粒子の巻き上げ、沈降そして輸送といった現象は水域の汚染や、航路の埋没などの問題を引き起こしており、これらの現象解明は非常に重要である。本研究は、現地底泥（不攪乱）と攪乱試料との定量的比較を行うことで室内での実験結果を実際の状況に照らし合わせることを可能とすることを目的として、現地の底泥をできるだけ乱すことなく採取し、波動下及び一方向流下での巻き上げ実験を行い攪乱試料を用いた実験結果との比較検討を行った。

表-1 実験条件

	〇〇〇〇下下 (熊本新港底泥)				〇〇〇〇下下 (佐賀県牛津川底泥)			
	RUN NO	含水比 (%)	粒径 (φ)	底面剪断応力 (N/m ²)	RUN NO	含水比 (%)	底面剪断応力 (N/m ²)	
不攪乱試料	1-1	110	0.85	2.7	0.20	3-1	280	0.66
	1-2			4.5	0.34	3-2		3.68
	1-3			8.6	0.50	3-3		5.15
攪乱試料	2-1	110	0.85	2.9	0.22	4-1	240	0.52
	2-2			4.5	0.34	4-2		1.12
	2-3			8.6	0.50	4-3		2.08
	※剪断 (0~1cm) 平均含水比				4-4	4.08		

2. 実験方法 本実験では波動、一方向流ともに全長8m、幅0.1mのアクリル製直線水路を用いた。巻き上げ現象に影響を及ぼす底泥の表層付近をできるだけ攪乱しないように現地底泥を採取し、水路中央区間2mにわたって層厚5cmで設置した。比較対照となる攪乱試料の底泥含水比は、不攪乱試料の表層から1cm厚の層平均含水比になるように調整した。波動下での実験は、実海域の水深を4mと想定し、1/25縮尺で幾何学的相似のもと、水深16cmとなるように海水を満たし、周期一定で波高のみを変化させて行った。実験中、所定の時間間隔でサイフォンにより採水を行い、SS濃度を濁度計で測定した。また一方向流下の実験では、勾配をつけた水路内に、下流端に貯水した現地河川水をポンプにより循環させ、底泥設置区間の上流側と下流側で採水し、巻き上げ量を求めた。実験条件は表-1に示すとおりである。なお、波動下では、熊本新港建設予定地内の底泥（熊本泥）、また、一方向流下では佐賀県牛津川底泥（牛津川泥）を用いてそれぞれ実験を行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 巻き上げ量の経時変化 図-1は今回の実験で用いた不攪乱試料の鉛直方向の含水比分布である。攪乱試料の含水比は十分に海水と混合させているため、鉛直方向には一様分布である。なお、熊本泥、牛津川泥ともに大潮の干潮時に採取したものである。

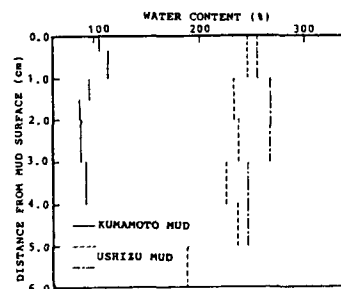


図-1 不攪乱試料の鉛直方向含水比分布

(1) 波動下における巻き上げ 図-2、3は熊本泥を用いた時の巻き上げ量の経時変化である（図-2は不攪乱試料、図-3は攪乱試料）。実験開始初期において急激に巻き上げ量が増加し、その後、巻き上げ速度の減少とともに巻き上げ量がある一定値に近づいている。また、剪断応力が大きいほど、巻き上げ量は大きくなることも既報の結果¹⁾と同様であった。不攪乱試料の方が攪乱試料の最終的な巻き上げ量よりもかなり少なく、オーダーが1桁異なっている。これは不攪乱試料では海域の波作用等によって、底泥の表層付近が巻き上げられにくい構造へと変化しているために、このような構造が形成されていない攪乱試料よりも巻き上げ量が低くなったものと考えられる。また、巻き上げ速度が0になるまでの時間は、不攪

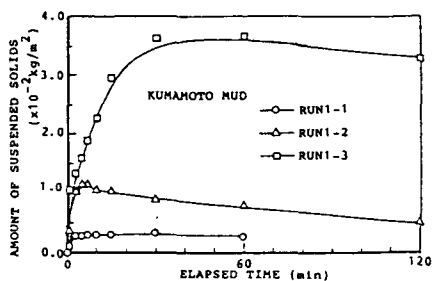


図-2 巻き上げ量の経時変化（不攪乱試料）

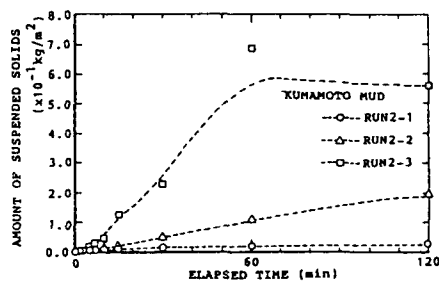


図-3 巻き上げ量の経時変化（攪乱試料）

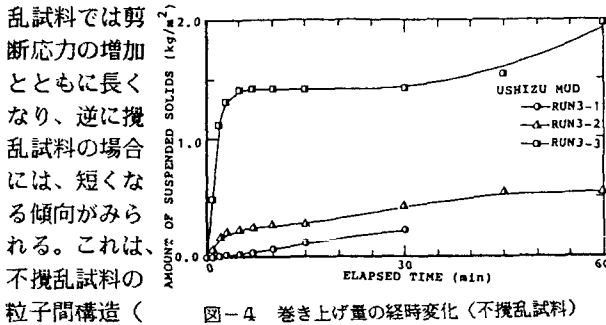


図-4 巻き上げ量の経時変化 (不攪乱試料)

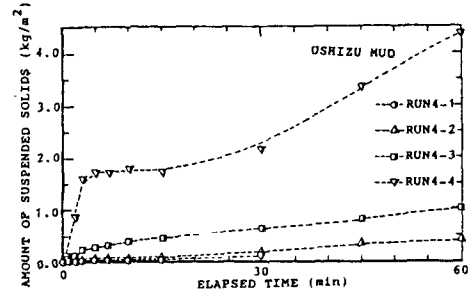


図-5 巻き上げ量の経時変化 (攪乱試料)

乱試料では剪断応力の増加とともに長くなり、逆に攪乱試料の場合には、短くなる傾向がみられる。これは、不攪乱試料の粒子間構造 (リップルや細かな縦筋など) のため、剪断応力が小さければ、実験開始数分で、この構造の影響を受けやすいと想定される。一方、攪乱試料では実験開始時には上述のような底泥表層の形状変化がないため、すぐには巻き上げ量が一定値にはならない。さらに、剪断応力が大きいほど、最終巻き上げ量に到達するまでの時間は短くなっており、これらのことから、今回行った実験条件の範囲では作用する剪断応力が大きい方が、不攪乱試料と同様な粒子間構造が形成されやすいことがいえる。

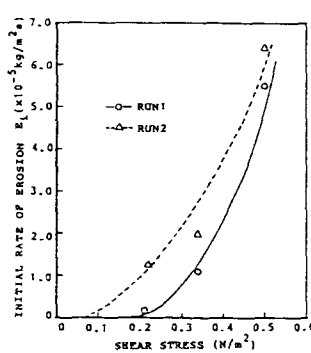


図-6 初期巻き上げ速度 E_i と剪断応力 τ との関係 (波動下)

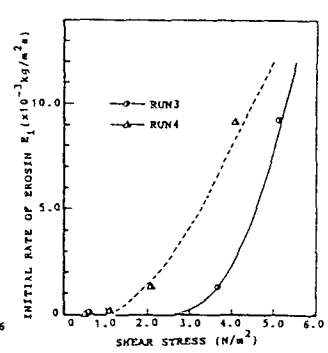


図-7 初期巻き上げ速度 E_i と剪断応力 τ との関係 (一方向流下)

(2) 一方向流下における巻き上げ

図-4、5は一方向流下における巻き上げ量の経時変化である (図-4は不攪乱試料、図-5は攪乱試料)。波動下と同様に、剪断応力が大きいほど、また、不攪乱試料よりも攪乱試料の方が最終巻き上げ量は大きくなっている。しかし波動下と比べ、最終巻き上げ量に到達するのに要する時間が短い。これは、波動下では、底面剪断応力が周期的に変化し、底泥表層が乱されやすいのに対して、一方向流下では、一定方向に同じ剪断応力が作用するために短時間で底泥表層が変化し、巻き上げ速度の低下をもたらすためである。

3-2 巻き上げ限界剪断応力について 図-6、7は巻き上げ量の経時変化より算出した初期巻き上げ速度と底面剪断応力との関係を示したものである (図-6は波動下、図-7は一方向流下)。巻き上げ限界底面剪断応力 τ_{c0} は波動下、一方向流下ともに不攪乱試料の方が大きな値を示している。また、無次元剪断応力 $(\tau/\tau_{c0}-1)$ を用いて、初期巻き上げ速度 E_i を表せば、 $E_i = \alpha(\tau/\tau_{c0}-1)^n$ [kg/m²s] となる。波動下の不攪乱試料では $E_i = 7.5 \times 10^{-6} (\tau/0.15-1)^{2.2}$ 、攪乱試料では $E_i = 1.7 \times 10^{-6} (\tau/0.05-1)^{1.6}$ となる。さらに最終巻き上げ量 W_f も $(\tau/\tau_{c0}-1)$ の関数として表せる (図-8参照)。

4. おわりに 今回得られた実験結果では、攪乱・不攪乱試料での明かな差異が認められ、最終巻き上げ量は波動下で、攪乱試料のおよそ1/10になることがわかった。また、一方向流場での底泥の方が波動場での底泥よりも巻き上げ限界剪断応力は大きくなり、しかも一度巻き上げられると最終巻き上げへ移行するのに要する時間も一方向流下の方が短いことがわかった。今後は同一試料を用い、波動下、一方向流下での比較を行う予定である。なお、本研究は財団法人鹿島学術振興財団研究助成金による援助を受けて行われたものであり、ここに謝意を表します。また、現地実験に際し、種々便宜を図って下さいました運輸省第四港湾建設局八代工事事務所の方々に申し上げます。

<参考文献> 1) 楠田、他：波による底泥の浮遊及び挙動に関する研究、第35回海岸工学講演会論文集、pp352~356、1988

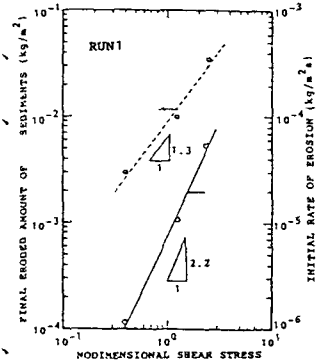


図-8 無次元剪断応力 $(\tau/\tau_{c0}-1)$ と初期巻き上げ速度 E_i 、最終巻き上げ量 W_f との関係