

波による底質の浮遊機構に関する研究

九州大学工学部 学生員○蔵元利浩

同 上 学生員 川添正寿

同 上 正 員 楠田哲也

同 上 正 員 二渡 了

1. はじめに

海域では、波の作用によって底泥の巻き上げ、沈降、移動といった現象が起こっている。これらの現象は工学的な立場で見たとき、航路、泊地の埋没を引き起こし、港湾機能の障害要因ともなるし、また、水質汚濁にも深く関わっている。これらの問題を解決するためにも波の作用による底泥の巻き上げ現象を解明しておくことが必要である。そこで本研究は、このような観点から、底泥の含水比一定、剪断応力一定の条件下での波の周期と底泥の巻き上げ形態との関係について実験的検討を加えた。

2. 実験装置及び方法

実験には図-1に示すような全長14.0m、幅 0.5m、深さ1.0mの亚克力樹脂製直線造波水路を用いた。試料には市販カオリンASP-600（比重2.66、平均粒径0.64 μm ）を用い、比重 1.025の塩水中で実験を行った。本実験では、熊本港の底泥（含水比 160%、空中スランブ値6.8cm、水中スランブ値2.8cm）を想定し、スランブ値で試料の含水比調整を行った。本実験で用いたカオリンのスランブ値と含水比の関係を図-2に示す（参考のため六角川底泥の値も示している）。SSの測定は、水路延長方向3ヶ所で、RUN1,2では濁度計を直接用いて行い、RUN3,4,5ではサイフォンにより採水し、濁度計を用いて行った（採水位置を図-1に示す）。またサイフォンによる採水は底泥表面から0.5、1、2、3、5、7、10、15、20cmの9点で行っている。実験条件は表-1に示す5通りで行った。

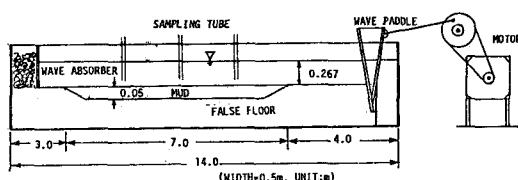


図-1

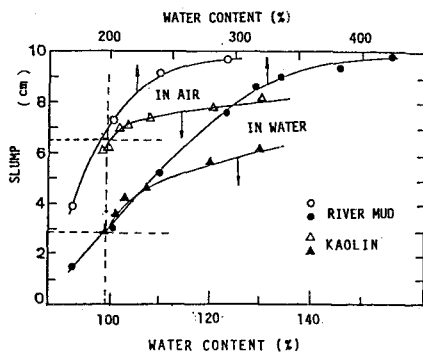


図-2

表-1

RUN NO.	含水比 (%)	空中スランブ (cm) 水中スランブ (cm)	周期 T (s)	波高 H (cm)	理論底面剪断応力 τ (N/m^2)
1	95.8	6.4 2.6	1.4	7.5	0.460
2	96.4	6.4 2.8	1.3	7.9	0.484
3	98.3	6.1 2.8	1.2	8.0	0.486
4	99.8	6.2 2.6	1.1	7.5	0.446
5	99.7	6.2 2.8	1.0	8.0	0.454

3. 実験結果及び考察

a) 理論計算による剪断応力

今回の実験では剪断応力が一定となるようにした。剪断応力の求め方は以下の通りである。層流境界層として取り扱ふと、運動は理想流体としての微小振幅波理論による流れに、底面 ($z = -h$) での流速に相当する流速(符号は逆)をもつ粘性流を加えることにより底面での水平流速を0として求めることができる。このとき

$$u = a \sigma / \sinh kh \cdot [\cosh k(z+h) \cos(kx - \sigma t) - \exp\{-\beta(z+h)\} \cos\{kx - \sigma t + \beta(z+h)\}]$$

$$\beta = (\sigma/2\nu)^{1/2}$$

であり、 $\tau_b = -\mu \partial u / \partial z \big|_{z=-h} = -(\sqrt{2} \mu \sigma a / \sinh kh) \cos(kx - \sigma t - \pi/4)$

である。これより求めた、実験時の剪断応力を表-1に示す。

b) 波による巻き上げ形態

波により底泥が巻き上げられるときの形態は、大別して三種ある。①底泥が軟らかい（高含水比の）場合

— ニュートン流体に近い挙動を示し、連成振動が明瞭に見られる。②底泥の含水比が中程度の場合 — 底泥の表層が削られるように layer by layer で巻き上げられる。③底泥の含水比が低い場合 — 波を受けた場合、水圧変動を主因として底泥層が変形を繰り返すうちに、底泥にクラックが入り、その間隙に上層水が浸入し、波による変形とともにその部分の底泥の含水比が高まり、ある時間後に巻き上がり始めるもの。我が国において、港湾域、河口部等に存在している底泥のほとんどの場合が③に相当する含水比である。本実験の条件下では、③に近い②の状況にあった。

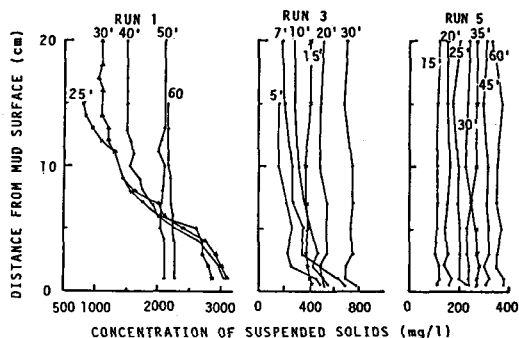


図-3

図-3にSS濃度の鉛直分布を、図-4にそれより求めた巻き上げ量の経時変化を示す。SS濃度の鉛直分布を見ると、まず第一に周期が短くなるにつれて、濃度の鉛直勾配が緩やかになってくるのが分かる。つまり $T=1.4s$ では明らかな濃度躍層が観察されるのに対して、 $T=1.0s$ では全水深に渡って濃度は一様となる。第二に底泥上 5cm 以下において濃度は実験開始からある時刻まで増加し、そこでピーク値をとった後減少して再び大きくなる。しかしながら、図-4で巻き上げ量が時間の経過に伴って増加していることから、巻き上げ速度と物質の鉛直輸送速度とのバランスによって濃度の高い層の厚さが決められることが分かる。つまり、ある濃度まではこの層の濃度は一様に増加するが、ピーク値を越えると層の上方へと分散が卓越し、水面まで一様な濃度分布となっていく。その後も巻き上げ量が増加するために、全体にわたって一様に増加していく。巻き上げ量は初期においては時間に比例して大きくなるが、巻き上げ量が比例的に増加しなくなる時刻と濃度がピーク値をとる時刻とが一致することが分かる。しかしながら RUN5の $T=1.0s$ の場合には、巻き上げ速度が小さかったために実験開始当初より分散が卓越しており、この現象は見られない。

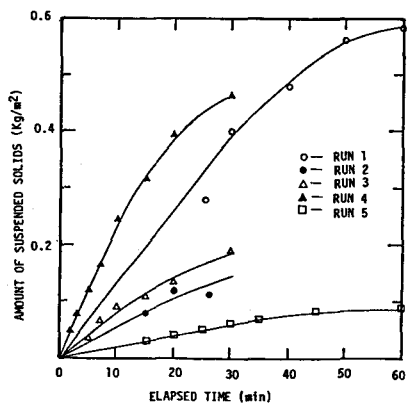


図-4

巻き上げ量を E とすると、 E は物性関数 F 、剪断応力関数 A の他に $G(T, H)$ なる関数から構成されと考えられ、 $E = F \times A \times G$ と表される。ここで、 G は周期性要因の他に波高による圧力差も要因として考えられるので $G(T, H)$ とした。本実験では表-1から H の差は大きくないので H による影響を無視すると、 τ が一定のもとでの周期性の関係が得られる。巻き上げ速度と巻き上げ量から見たこの関係を図-5に示す。この図より巻き上げは $T=1.0, 1.3$ では小さく、 $T=1.1, 1.4$ で大きいことが分かる。

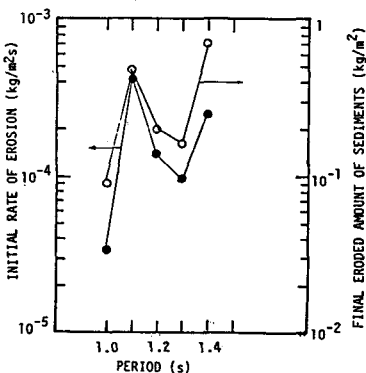


図-5

4. 終りに

波による底泥の巻き上げ現象は、底泥の物性、作用する波の特性等に関連し複雑である。今回の実験より巻き上げには周期性要因が大いに関連していることが分かった。今後さらに、これらの関係を解明するため、検討を続けていく予定である。

〈参考文献〉 Mehta, A.J. and P.Y. Maa: Waves over Mud: Modeling Erosion, Proc. 3rd International Symp. on River Sedimentation, pp588-601, 1986.