

II-309 波による底泥の浮遊特性

九州大学工学部 学生員 川添正寿
 日本道路公団 正員 蔵元利浩
 九州大学工学部 正員 二渡了
 同上 正員 楠田哲也

1. はじめに

海域では、波の作用により底泥の巻き上げ、沈降、移動といった現象が起こっている。これらの現象は、航路や泊地の埋没を引き起こし、港湾機能の障害要因ともなる。また、海域の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、底泥の挙動を知ることは極めて重要であるが、従来これらに関する研究は余り行われていない。本研究は波の存在下での底泥の挙動を明らかにしようとしたものであり、とくに本報では、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との関係について実験的検討を加え、若干の知見を得たので以下に報告する。

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 $0.64\mu\text{m}$ ）を用い、海水中で実験を行った。本実験では、現地底泥（含水比160%、空中スランプ値6.8cm、水中スランプ値2.8cm）を想定し、スランプ値で試料の含水比調整を行った。実験は、所定の含水比に調整した試料を水路底部に厚さ5cmに均一に敷き、所定の水深にした

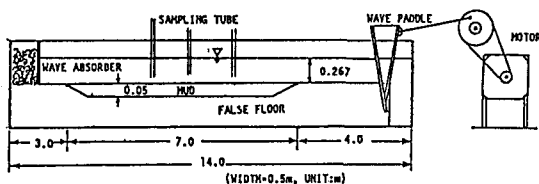


図-1 実験水路

後、波を作用させて行った。SS測定は、実験中経時的に水路延長方向3ヶ所でサイフォンにより採水を行い濁度計を用いてSSを測定した。採水水深は底泥表面から0.5、1、2、3、5、7、10、15、20cmの9点である。

3. 実験結果及び考察

a) 理論計算による底面剪断応力

波の作用下における底面剪断応力の求め方は次のように考えられる。層流境界層が形成されているとしてこの場合の底面($z=-h$)に作用する剪断応力は、微小振幅波理論による解に、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。これより、水平流速 u は、

$$u = a \sigma / \sinh kh \cdot [\cosh k(z+h) \cos(kx - \sigma t) - \exp\{-\beta(z+h)\} \cos\{kx - \sigma t + \beta(z+h)\}] \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\text{ただし、} \beta = (\sigma / 2\nu)^{1/2}$$

であり、このとき底面に働く剪断応力は、(1)式より

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

である。(2)式から底面剪断応力は算出している。

b) 波による底泥の巻き上げ形態

波により底泥が巻き上げられるときの形態は、大別して次の三種が考えられる。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-1 実験時の諸条件

RUN NO.	含水比 (%)	空中スランプ (cm) 水中スランプ (cm)	周期 T (s)	波高 H (cm)	理論底面剪断応力 τ (N/m ²)
1	100.1	5.8 2.6	1.4	7.0	0.429
2	98.5	5.8 2.8	1.3	7.5	0.460
3	98.3	6.1 2.6	1.2	8.0	0.486
4	100.0	6.4 2.6	1.1	8.3	0.494
5	99.4	6.1 2.6	1.0	8.5	0.483
6	99.7	6.2 2.8	1.0	8.0	0.454

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、底泥表面にクラックが生じ、その間隙に上層水が浸入し、その部分の底泥の含水比が高まるために、ある時間後に巻き上がり始めるもの。本実験は、③に近い②の状況にあった。

表-1 に実験時の諸条件を示す。これらの実験では、底面剪断応力が一定になるようにしている。

次に、図-2 にSSの鉛直濃度分布の経時変化を、図-3 にそれより求めた単位面積当りの巻き上げ量の経時変化を示す。図-2を見ると、底面直上の濃度は実験開始直後高いが、時間の経過と共に上下層の濃度差が小さくなっている。底面直上の高濃度層に着目すると、そこでの濃度は実験開始からある時刻まで増加し、そこでピークをとった後減少して再び増加する。しかしながら、図-3の巻き上げ量は時間の経過に伴って一様に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高濃度層の厚さ及びSSの鉛直濃度分布が決められることが解る。つまり、ある時刻まではこの層の濃度は増加するが次第に上方への分散が卓越し、水面まで一様な濃度分布となっていく。その後も巻き上げが少ないながらも継続するために、濃度が徐々に増加して行くものと考えられる。

実験開始後底面直上に高濃度層が現われるが、このときの鉛直濃度分布を二層にモデル化し、連行係数 E 、リチャードソン数 R_i の関係を求めたものが図-4である。これによると E と R_i の関係式は、 $E = 0.03 / (1 + 10R_i)^2$ 程度である。

また、巻き上げ量が直線的に増加しなくなる時刻を t_1 、そのときの巻き上げ量を F_1 としたとき、無次元数 t/t_1 と F/F_1 の関係を示したものが図-5である。本実験では、 H が大きく違わないので、 H による影響を無視すると、 τ が一定のもとでの巻き上げと周期の関係が得られる。巻き上げ速度と周期との関係を図-6に示す。この図より巻き上げは $T = 1.1s$ 付近まで周期が小さくなるほど巻き上げ速度は増加するが $T = 1.1s$ 付近でピークをとり、それ以上周期が小さくなれば逆に巻き上げ速度は減少することが解る。

4. おわりに

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。今回の実験に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を明らかにした。今後さらに、巻き上げ現象をより明確にするために、検討を続けて行く予定である。

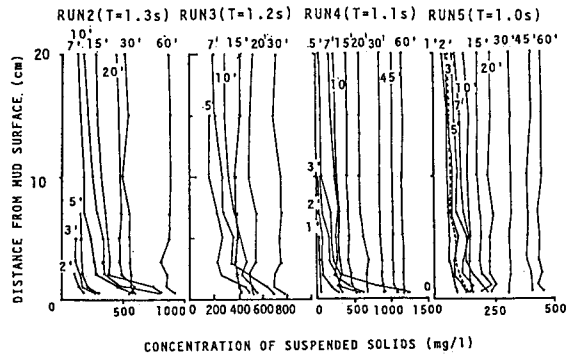


図-2 鉛直濃度分布の経時変化

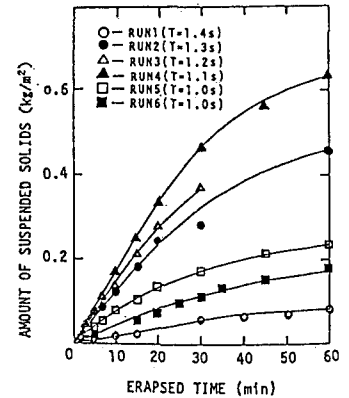


図-3 巻き上げ量の経時変化

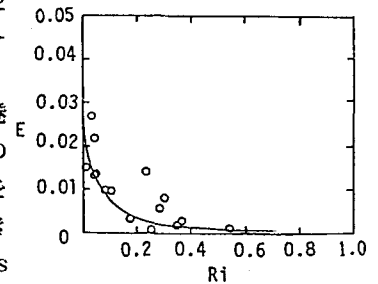


図-4 連行係数とリチャードソン数の関係

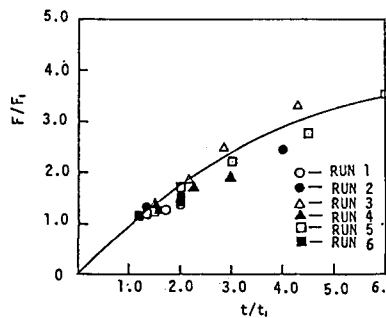
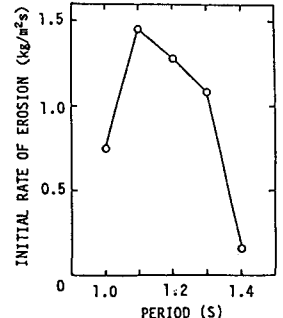

図-5 F/F_1 と t/t_1 の関係


図-6 巻き上げ速度と周期の関係