

波作用下における底泥の巻き上げ公式の検討

九州大学工学部 学生員○末次敏弘 学生員 山西博幸
同上 正員 楠田哲也

1. はじめに

海域における、底泥粒子の巻き上げ、沈降、輸送などの現象は水質汚濁や航路の埋没などの原因となるので、これらの現象を解明することは非常に重要である。従来の研究によると、一方向流下における巻き上げ公式は確定しているが¹⁾、波動下での巻き上げ公式は、実験と共に多数示されているものの確定してはいない。本研究では、造波水路を用いた巻き上げ実験を行って、巻き上げ速度に及ぼす剪断応力と含水比との影響を調べ、巻き上げ公式についての検討を加えた。

2. 実験方法

実験には、全長8m、幅0.1mの亚克力製直線造波水路を用い、試料として現象をより単純にするため、市販カオリンASP-600(比重2.66、中央粒径 $0.64\mu\text{m}$)を使用した。実験に際しては、所定の含水比に調整した試料を、水路中央区間2mにわたって厚さ5cm均一に敷き、水深が16cmになるように海水を水路に満した後、表-1に示された条件の下で行った。実験開始より所定時間毎に、底泥表面より0.5、1、3、5、7、10、13cmの計7点からサイフォンで採水を行い、SS濃度を濁度計で測定し、底泥の巻き上げ量を求めた。含水比の調整は、スランプテストにより行った。無次元水中スランプ値は、150%以下まではほぼ含水比に比例して大きくなり、150%以上で勾配が緩やかになり、180%以上でほぼ一定値となる。これは、含水比の上昇にともなうカオリンスラリーの変形に対する抵抗が低下し、180%以上では、その抵抗がさらに小さくなることによる。

表-1 実験条件

RUN No.	含水比 (%)	周期 (sec)	波高 (cm)	最大底面剪断応力 (N/m^2)
1-1	110	0.85	4.9	0.38
1-2			5.8	0.44
1-3			6.5	0.50
2-1	130	0.85	2.1	0.18
2-2			3.2	0.24
2-3			4.0	0.31
2-4	140	0.85	5.0	0.38
3-1			2.3	0.18
3-2			3.8	0.29
3-3	180	0.85	5.4	0.41
3-4			5.7	0.43
4-1			2.0	0.15
4-2	210	0.85	3.3	0.25
4-3			4.2	0.32
4-4			5.5	0.42
5-1	210	0.85	2.0	0.15
5-2			2.5	0.19
5-3			3.5	0.27
5-4			4.5	0.34
5-5			5.0	0.38

3. 実験結果及び考察

(1)最大底面剪断応力と初期巻き上げ速度 図-1は、初期巻き上げ速度と最大底面剪断応力との関係を示したものである。最大底面剪断応力を、巻き上げ限界底面剪断応力 τ_{c0} により $[(\tau - \tau_{c0})/\tau_{c0}]$ のように無次元化すると、これらの曲線は、 $E_{t=0} = \alpha(\tau/\tau_{c0} - 1)^m$ [$\text{kg/m}^2 \cdot \text{sec}$] (α , m は含水比の関数) …①で表される²⁾。また、初期巻き上げ速度は、巻き上げ量の経時変化における実験開始初期における接線から求めたもので、 α , m は曲線と実験値との標準偏差が最小になるように決定した。図-1より、初期巻き上げ速度は、底面剪断応力の増加に伴って大きくなる傾向を示しており、また剪断応力が同じであれば含水比の高い方が初期巻き上げ速度も大きくなっている。①式中の指数 m は、含水比が高くなるにしたがい大きくなる傾向がみられ、207%では3.11、100%では1.06となり、それらの比は約3倍となっている。

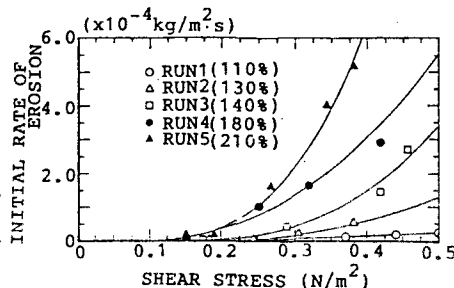


図-1 初期巻き上げ速度と剪断応力との関係

の増加に伴って大きくなる傾向を示しており、また剪断応力が同じであれば含水比の高い方が初期巻き上げ速度も大きくなっている。①式中の指数 m は、含水比が高くなるにしたがい大きくなる傾向がみられ、207%では3.11、100%では1.06となり、それらの比は約3倍となっている。

(2)巻き上げ限界底面剪断応力について 巻き上げ限界底面剪断応力 τ_{c0} は α , m 決定後、実験値上にて外挿して決定している。 τ_{c0} は底泥の剪断抵抗力に大きく支配されており、剪断抵抗力は含水比、粒度分布、鋭敏比、海水温、塩分などに支配される。今回の実験では、乱したカオリンで、どの実験もほぼ一定水温のもとで行ったため、 τ_{c0} は、含水比のみの影響を受けるものと考えた。 τ_{c0} と含水比 w との関係を、図-2に示す。両者は両対数紙上で直線的な関係を示しており、 $\tau_{c0} = 810w^{-1.8}$ …② で表すことができる。②式中の指数は既知のデータ³⁾とほぼ一致している。

(3) 巻き上げ公式の検討 無次元剪断応力 $(\tau/\tau_{c0}-1)$ と初期巻き上げ速度 $E_{t=0}$ の関係をまとめて示したものが図-3であり、図中の実験値が傾き2.3の直線の周りに分布していることがわかる。表現式を簡単化するために、 $m=2.3$ と一定にすると

$$E_{t=0} = \beta (\tau/\tau_{c0}-1)^{2.3} \text{ [kg/m}^2\cdot\text{sec]} \quad (\beta \text{ は含水比の関数)} \quad \cdots \textcircled{3}$$

のように表すことができる。 β のみを変数として、巻き上げ速度と底面剪断応力との関係を表したものが図-4である。それぞれの含水比ごとに、実験値と計算値の相対誤差によって比較すると、よく実験値と一致している含水比130%を境に、含水比の高低によらず誤差は大きくなっている。特に高含水比域の場合、含水比の増加とともに誤差が大きくなる傾向を示している。これは、(1)において述べたように、巻き上げ速度と底面剪断応力との関係から、指数部を

2.3に固定すると理論値が計算値より小さくなるためである。また、巻き上げ速度式における指数部 m を、巻き上げ限界剪断応力の関数 $m=\gamma/\tau_{c0}$ (γ は定数)と仮定して、その関係を示したのが図-5である。この図から、140%以下では理論値と計算値がよく一致しており180%以上でその差が大きくなる傾向がわかる。同じく相対誤差を用いて比較した場合、含水比140%以下における値と180%以上での値では約3倍の差がある。スランプ値の説明のところで述べたように、底泥は180%以上の高含水比域では変形に対する抵抗が弱まり、流体的な性質を帯び始める。実験からも、含水比が140%を越える頃から、巻き上げ形態が徐々に変化していることが観察でき、含水比が180%以上のものに対しては上層水との連成振動も見られた。このことから、高含水比域においては、底泥面上に作用する剪断応力は、実際に作用させている値よりも小さな値が作用することとなり、剪断応力による巻き上げ速度の算定値より実験値が小さくなっていると考えられる。

4. おわりに

今回の実験結果により、含水比による底泥の巻き上げ速度の変化の傾向が明らかになった。また、限界底面剪断応力と含水比との関係が一つの指数曲線で示されることも明らかになった。

①式 $E_{t=0} = \alpha (\tau/\tau_{c0}-1)^m$ における α 、 m はともに巻き上げ限界底面剪断応力 τ_{c0} の関数で表され 巻き上げ速度式は

$$E_{t=0} = f_1(\tau_{c0}) (\tau/\tau_{c0}-1)^{f_2(\tau_{c0})} \quad \cdots \textcircled{4}$$

となることが考えられる。今後は、巻き上げ速度をより正確に評価するため界面の振動による剪断応力の減少を補正し、関数形の解明を行う予定である。

<<参考文献>> 1) 例えば、海田、他：柔らかい底泥の巻き上げ過程に関する研究、土木学会論文集、第39号/II-9、pp.33~42、1988。 2) 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、pp.352~356、1988。 3) 村上、他：底泥の巻き上げ現象とそのモデル化に関する実験的検討、第36回海岸工学講演会論文集、pp.319~328、1989。

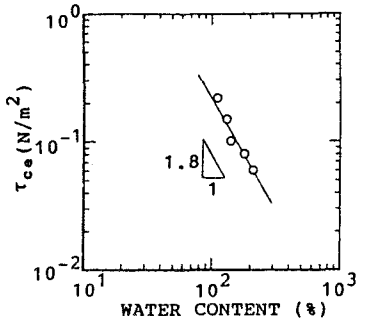


図-2 巻き上げ限界底面剪断応力と含水比との関係

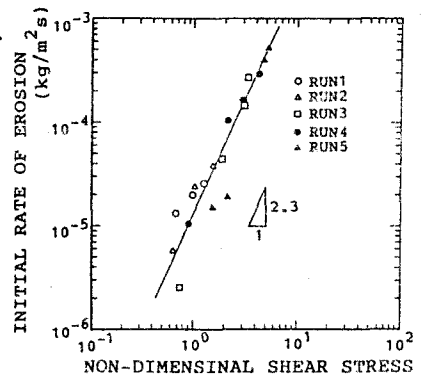


図-3 無次元剪断応力と初期巻き上げ速度との関係

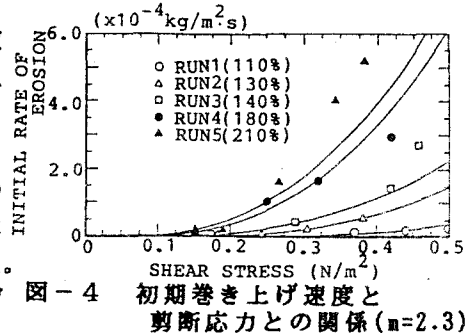


図-4 初期巻き上げ速度と剪断応力との関係 ($m=2.3$)

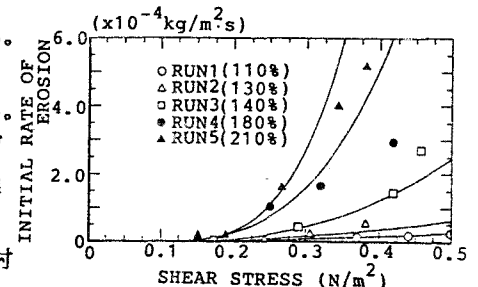


図-5 初期巻き上げ速度と剪断応力との関係 ($m=\gamma/\tau_{c0}$)