

高濃度層の流動機構

九州大学工学部 学生員○熊谷博史

同 上 正 員 山西博幸

同 上 正 員 楠田哲也

1. はじめに

シルテーションの定量的評価に際し、底泥面上に発生する高濃度層の挙動を把握し、その生成、安定、消滅および流動機構の解明を行うことは極めて重要な問題である。本研究は振動流中で形成される高濃度浮泥層の流動機構について、実験的検討を行ったものである。

2. 実験装置および方法

本実験で用いた振動流水槽の概略を図-1に示す。従来の研究より高濃度層内下層部の粒子水平振幅は上層水の動きよりも先に進むことが確認されている(楠田ら、1993)が、これはピストンの直接的な影響により発生する現象とも考えられる。そこで今回は図-1に示したように、端部をベルマウス形状に加工した厚さ5cmの亚克力板を同振動流水槽の底部に設置し、水路中央部に2mのトレンチ部を作成した。このトレンチの有無による高濃度層の流動への影響を観察した。試料には佐賀県牛津川底泥(土粒子密度 $\rho_s=2.60\text{kg/m}^3$)を用い、これを海水と十分に混合させて所定の濃度($\sim 10\text{kg/m}^3$)となるように調整した。実験は、この懸濁液を水槽内へ素早く投入した後すぐに行った。実験中は間隙水圧計や差圧計を用いて上層水や高濃度層内の圧力測定を行った。また水路中央付近に設置した壁面採水孔より懸濁液を採水し、メンブレンフィルターによる濾過によって濃度測定も随時を行った。さらに高濃度浮泥層内の微粒子運動を水路側面からのビデオやモータードライブ付きカメラによって追跡した。なお、実験条件として初期濃度はおよそ 10kg/m^3 、ピストン振幅は5cmあるいは11cm、周期は5秒程度とした。

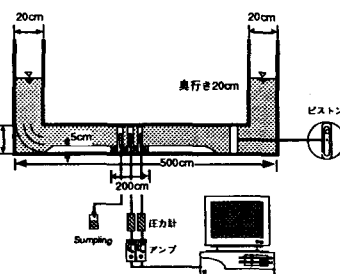


図-1 振動流水槽の模式図

3. 実験結果および考察

図-2は写真撮影によって求めた粒子の水平移動振幅の位相変化の一例である。トレンチの有無にかかわらず、高濃度層内の粒子は上層水粒子の位相よりも先に進んでいることがわかる。これにより、ピストン板が高濃度層の流動に直接影響を与えているわけではないことが明かとなった。また底面付近の粒子ほど位相差が大きくなることが確認された。この位相差が生じる原因として、水流が加速される際に作用する水平方向の圧力勾配が考えられるものの、これがどうして高濃度層内下層部の粒子の位相を先に進めるかについては明らかではない。しかし、これは非定常な運動をする高濃度浮泥層内の構成則にかかわる問題でもあり重要な検討課題の一つである。

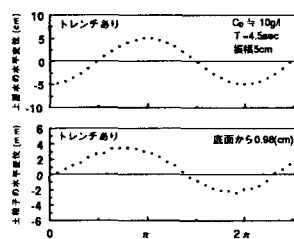


図-2 位相変化の一例

図-3は、水のみが水槽内を満たした場合にその底面に作用する剪断応力の一周期平均値より算出した摩擦速度 u_* と高濃度層内の平均濃度 $\bar{C}_d$ を初期濃度 C_0 で無次元化したものとの関係を既存のデータ(山西、1990)と共に示したものである。 u_* を大きくすると $\bar{C}_d/C_0$ は減少し、 u_* を小さくすると $\bar{C}_d/C_0$ は増加する。しかしながら、ある定常状態から u_* を増加させる場合と逆に減少させる場合とでは、 $\bar{C}_d/C_0$ の変化の割合にかなりの差異が現われる。これは一度弱い剪

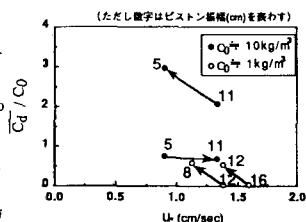


図-3 摩擦速度と層内平均濃度

断応力下で底面に沈積した微細粒子群は相互の接触によって粘着したようになり、上層水中へ巻き上げられにくい粒子間構造が形成されたためである。したがってこのような場合には可逆過程とならない。

図-4は初期濃度 $C_0 \sim 10\text{kg/m}^3$ でピストン振幅を11cmから5cmに変化させた場合の濃度界面高の経時変化である。この濃度界面高は実験開始後1時間で定常となり、また水路側面からの目視及び濃度分布（図-5）から水路底面より17cmと1cm付近に2つのルートクライン（濃度界面）が形成されていた。さらに実験開始から180分後にピストン振幅を変化させたと、2つのルートクラインは1つのルートクラインのみとなり（図-6参照）、不動層厚はピストン振幅変更後、0.3mmから35mmに急激に増加した。これはピストン振幅の減少に伴い、層内の浮遊懸濁物質間でブロック形成が促進され、沈降・沈積フラックスが増加したためである。

また、図-4より高濃度層内の粒子は沈積せず、ある層厚を保持しつつ流動していることがわかる。この層厚が存在する理由として、①粒子に作用する圧力勾配の影響、②剪断流によって生じる混合の効果、③層内に作用する浸透水圧、④粒子間接触に伴う有効応力の影響などが考えられる。有効応力の効果については、実験によって得られる濃度分布から過大に見積ったとしてもたかだか1mmのオーダーでしかなく、有効応力のみが浮泥層を保持する原因とは考えにくい。

次に浸透水圧の影響について考察を加える。高濃度層内に作用する上向き浸透水圧によって下向きの力すなわち粒子重量を支えるものとする。このとき高濃度層上側界面（ $y=0$ 、上向きを正）から任意の深さまでの距離を d とすれば、この層の水中重量から静水圧分を除いたものの水頭表示は次式となる。

$$\Delta h = \int_0^d \frac{\rho'(y)}{\rho_w} dy - d \quad (1)$$

ただし、 Δh ：層厚 d 内の水中重量を水頭表示したもの、 $\rho'(y)$ ：見かけ密度、 ρ_w ：海水密度、である。この Δh よりも大きいと同程度の力が作用することで高濃度層内の粒子沈降・沈積を妨げることができる。図-7は図-5の濃度分布の状態では底面から17cmと1cmの高さで測定した差圧の経時変化である。なおどちらも静水圧を取り除き水頭表示したものである。図-7中の破線は図-5をもとに(1)式から求めた Δh である。実測値の一周期平均値とこの破線値との絶対値を比較した場合、同程度かもしくは実測値の方がやや大きくなっており、上向きの浸透水圧による影響も無視できないことがわかる。しかしながら、この層厚を挟んで作用する圧力勾配がどのようなメカニズムで生じているのかについては下層粒子移動の機構とともに現在までのところ不明である。

4. おわりに

高濃度層の流動機構について徐々に解明されつつあるも、振動流下における高濃度浮泥層内の構成則をはじめとして、その本質的な部分については未だ不明な点が多く残されており、今後の研究課題としたい。

<参考文献>

- 楠田哲也・山西博幸(1993):「振動流中で形成される高濃度浮泥層の保持機構に関する基礎的研究」、海岸工学論文集 第40巻、pp.346～350。
 山西博幸(1990):「波動下における底泥及び懸濁物質の輸送に関する研究」、九州大学修士論文資料。

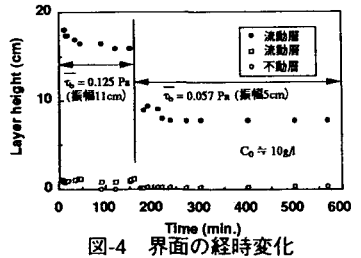


図-4 界面の経時変化

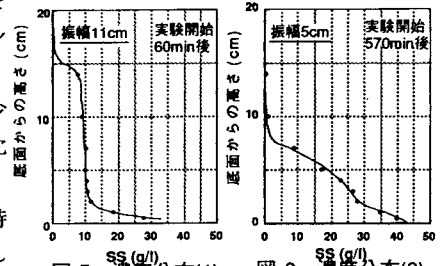


図-5 濃度分布(1)

図-6 濃度分布(2)

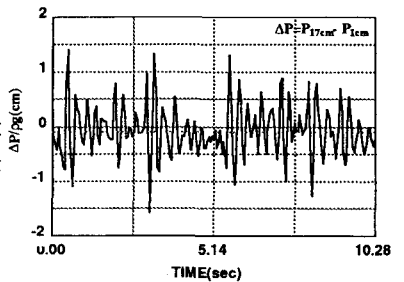


図-7 差圧の経時変化