

II-310

振動流下における懸濁物質の沈降過程と形成された高濃度層の特性

九州大学工学部 学生員○末次敏弘

同 上 正 員 楠田哲也 正 員 二渡 了

(株)熊谷組 正 員 山西博幸

1. 序論

河川流域や河口部に存在する微細な粒子、いわゆる粘土・シルト系の微細粒子から成る軟弱底泥は、海上交通の拠点となる港湾において、波や潮流等による巻き上げや移動により、水質汚濁や航路の埋没等の問題を引き起こしている。これらの現象を解明し、人工的に制御することは、社会的にも求められており、研究を早急に行う必要がある。従来¹⁾の研究や一連の巻き上げ実験²⁾などにより得られた結果によると、濃度分布は二層構造となり、堆積した圧密底泥直上に形成される高濃度層（浮泥層）と、その上に位置しほとんど濃度分布のない低濃度層に分類することができる。懸濁物質の輸送を議論する際には、この二層構造内の下層部に位置する高濃度層が、懸濁物質の輸送総量を決定づける重要な支配要因となってくる。したがって、この底泥直上に形成される高濃度層の挙動を研究することは、シルテーションの定量的な評価を行うという観点から、極めて実用的かつ重要なことである。本研究では、試料として現地泥を用い、またU字型振動流水槽を用いることで、波動下での水面変動による影響を無視できるようにし、その水理現象を単純化させ実験を行った。実験結果に基づき、振動流下における懸濁物質の沈降特性について検討を行い、それらの結果を理論的に説明することを目的とする。

2. 実験装置及び方法

図-1は本実験において使用した、全長5m、測定部断面幅および高さが20cmの正方形断面を有するU字型振動流水槽である。管路片端面からのピストン（ストローク、周期可変）の往復運動により定常的な振動流を発生させることができる。また、経時的な管路内の濃度変化を測定するために、管路側面3カ所において、鉛直方向数十点から採水できるよう、採水装置を取り付けている。ここから、採水した懸濁物質は、波動下の実験と同様に、濁度計によって濃度測定を行った。試料に、牛津川底泥（比重2.51、中央粒径 $d_{50}=1.7\mu\text{m}$ ）を用い、海水と混合することによって所定の濃度に設定したものを管路片端からすばやく注入し、実験を行った。なお、実験条件を表-1に示す。

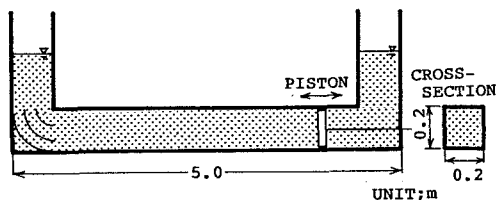


図-1 実験装置

表-1 実験条件

Series No.	初期濃度 C_0 (kg/m ³)	周期 T (sec)	振幅 a (cm)	最大底面剪断応力 τ_{max} (N/m ²)
1	0.8	4.0	5	0.082
2-1	0.9	4.0	16	0.261
2-2			12	0.196
2-3			8	0.131
3-1	1.2	4.0	10	0.163
3-2			18	0.294
4-1			16	0.261
4-2	4.8	4.0	12	0.196
4-3			8	0.131
5-1			16	0.261
5-2	9.9	4.0	12	0.196
5-3			8	0.131

3. 実験結果及び考察

(a) 沈降形態と高濃度層

図-2は浮遊懸濁物質濃度の鉛直方向分布の一例を示したものである。また、図-3は、同一剪断応力下において、初期濃度を変化させた場合の平均濃度経時変化である。図-2より、円形回転水路を用いた一方向流下での実験で得られた一様な濃度分布とは異なり、高さ方向に濃度分布を持つことがわかる。また、実験開始30分程度で、ほぼ濃度分布の形状が一定となる。図-3の平均濃度の経時変化とも考え合わせると、振動流下における沈降を論ずる場合、その現象は、実験開始数十分程度で

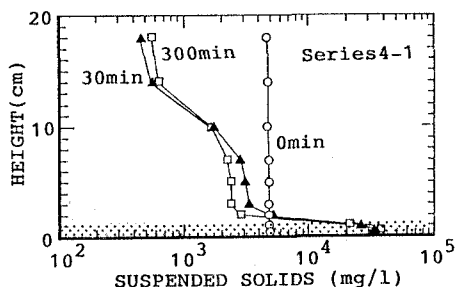


図-2 SS濃度分布

決定され、定常となることがわかる。さらに、実測濃度分布から、底面付近において、高濃度の層（いわゆる浮泥と呼ばれるもの）が形成されていることがわかるが、これはいずれの実験においても明瞭な界面として管路側面からの目測によっても観測された。

高濃度層の厚さは剪断応力や初期濃度に比例して大きくなり、 $C_0=9.9\text{kg/m}^3$ における層厚は $C_0=0.9\text{kg/m}^3$ の約3倍となっている。この層内の最高濃度は、剪断応力の増加とともに減少し、本実験の範囲では、底面から0.5cmの高さにおける濃度は、15～60g/lの範囲にあり、剪断応力が 0.3N/m^2 まで増加すると、いずれの場合も35g/lに漸近する傾向にあった。したがって、これらの結果を考え合わせることで、高濃度層内で保持できる濃度はほぼ決められていると推測される。すなわち、高濃度層内の保持濃度は剪断応力及び初期濃度によって決定され、それ以上の濃度については、その層内に保持されずに沈積するか、あるいは高濃度層内に進入できず、上層水中に留まるか、どちらかとなり、それに伴って、層厚も変化することになる。

また、水路内の濃度分布が定常になったときの、上層水中の懸濁物質濃度は、加えられた剪断応力から沈降限界剪断応力を差し引いた値に比例した。今回の実験における沈降限界剪断応力は、 0.07N/m^2 であった。

（b）沈降フラックス

図-4は剪断応力 τ と C_∞/C_0 （ C_∞ は充分時間が経過し、濃度に変化しなくなった時点での濃度と定義する）との関係を示したものであり、 $C_0=9.9\text{kg/m}^3$ の場合には、他のシリーズと多少傾向が異なるものの全体が一つの傾向を示していることがわかる。また、この関係から最大粒径が沈降する限界の τ_{cd1} を、 $C_\infty/C_0=1$ との交点とし、また、 $C_\infty/C_0=0$ との交点を最小粒径に対する限界剪断応力 τ_{cd2} （この剪断応力以下では、全ての粒子が沈降することになる）とする。さらに、管路内の平均濃度の経時変化より、その初期段階での直線部分がその沈降全体を支配することから、この部分の勾配を沈降フラックス F_d と定義する。この F_d を初期濃度 C_0 と粒径 $2\mu\text{m}$ の単粒子沈降速度 W で無次元化したものと、 τ_{cd1} で剪断応力を無次元化したものとでプロットしたものが、図-5である。これから、 $F_d/C_0W=-45(\tau/\tau_{cd1}-1)$ なる関係が得られる。ただし、 τ_{cd2} を 0.05N/m^2 とすれば、 $(\tau_{cd2}/\tau_{cd1})=0.2$ となり、これ以下では全粒子が沈降する領域となるため、 F_d/C_0W は一定となる。

4. 結論

- （1）振動流下における懸濁物質の沈降過程は実験開始後30分で、大半が終了する。
- （2）高濃度層厚は剪断応力、初期濃度に比例して大きくなる。
- （3）無次元沈降フラックス F_d/C_0W と無次元剪断応力 τ/τ_{cd1} の関係は、 $F_d/C_0W=\beta(\tau/\tau_{cd1}-1)$ と表すことができ、本実験では τ によらず $\beta=45$ となった。

【参考文献】

- 1) T. Putawatari, et al.: Development of a New Simulation Method for Suspended Sediment Transport in a Tidal River, Wat. Sci. Tech., Vol. 20, pp. 103～112, 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.

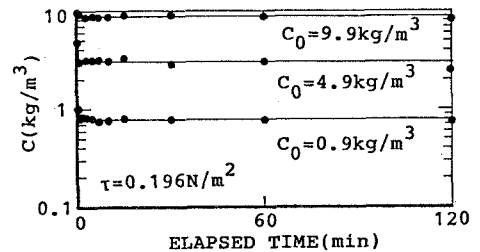


図-3 管内平均濃度の経時変化

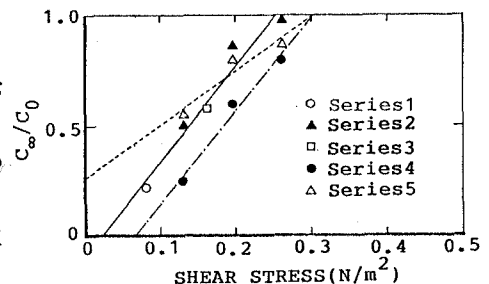


図-4 C_∞/C_0 と τ との関係

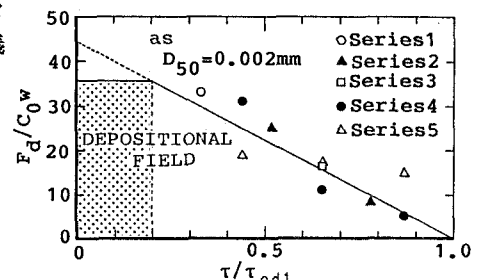


図-5 (τ/τ_{cd1}) と (F_d/C_0W) との関係