

周期的移流場におけるSSの挙動に関するシミュレーション(Ⅱ)

岩手大学工学部 正員 海田輝三 大村達夫 大沼正郎

1 はじめに 本研究は昨年度に引き続き同期的に底面剪断応力を変化させた室内実験でのSSと底泥の挙動について、一定剪断応力下での巻き上げあるいは沈降単独の実験とそれらのシミュレーションの結果を用いて検討したものである。本報告では「分散した状態での沈降を扱う項」を改め、さらに、SS及び底泥中の粒度の変化を考慮してシミュレーションを行った。

2 シミュレーションの手法 試料として一般的に水域で見られるようなシルトを主成分とし、粘土成分を若干含むものを考える。移流の影響が無く、即ち、SS及び底泥量がある時刻において場所的に変化せず、さらに底面剪断応力も各周期の同一の位相の時に同じ値となる場合には、これまでの実験結果から図-1に示したように1周期内でのSSの挙動は3つの領域に分けられ、①巻き上げ、②分散した状態での巻き上げ粒子からの沈降、③凝集沈降により主に支配されている事が分った。以下では1周期を3つに分け、 $\tau \leq 0.025 \text{ N/m}^2$ 以下では②、 τ が底泥最表層の τ_{ce} (巻き上げの限界剪断応力)より大きいと①、その他は②が生じるとした。次に各領域の現象をそれぞれ表式式を示す。

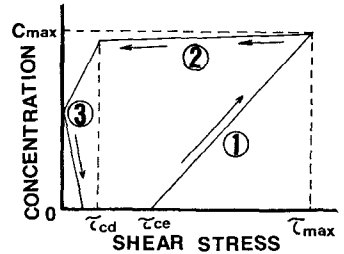


図-1 SSの挙動

①巻き上げ領域²⁾ 種々の一定剪断応力下での巻き上げ実験での初期の巻き上げ速度のデータから、巻き上げのフラックス F_E と $F_E = 0.09/7 (\tau_{ce} - 1)^{1.9} \text{ [kg/m}^2\text{s]}$... (1) として。但し、 τ_{ce} は底泥最表層の固相分率(1-E)の関数として、 $\tau_{ce} = 6.5(1-E)^{1.6} \text{ [N/m}^2]$... (2) である。

②分散した状態での沈降領域³⁾ 主流部はSSの鉛直方向の分布がないという実験結果、粘性底層内で粒径の2乗に比例する揚力が働くという仮定等から、各粒径毎の物質保存式は

$$\frac{\partial \overline{C(D,t)}}{\partial t} + \frac{\beta}{18\mu H} (\rho_f - \rho_0) g (D^2 - D_c) \overline{C(D,t)} = 0 \dots (3)$$

となる。ここで、 $\overline{C(D,t)} = \frac{1}{H} \int_0^H C(D,t) dz$, μ : 粘性係数、 H : 水深、 D : 粒径、 ρ_f, ρ_0 : 粒子及び水の密度。

D_c : ある τ の下で沈降し得ない最大の粒径であり、実験及びシミュレーションの結果から、

$$D_c[\mu\text{m}] = 1.34 \times 10^{-4} \tau \text{ [N/m}^2] \dots (4)$$

である。(3)式を積分して D_c の意味を弄ると、

$$\frac{\overline{C(D,t)}}{\overline{C(D,0)}} = \exp \left[-\frac{\beta}{18\mu H} (\rho_f - \rho_0) g \int_0^t (D^2 - D_c) dt \right] \quad \text{for } D \geq D_c$$

$$\overline{C(D,t)} = \text{const.} \quad \text{for } D < D_c$$

となる。ここで t_c は粒径 D の粒子について τ の低下に伴う D_c になる時刻であり、 t_c は τ の経過時間である。全体としての濃度 $\bar{C}$ は初期の粒度分布が対数正規分布に従う($D_0 = 7\mu\text{m}$, $\log \sigma = 0.575$)のとき

$$\bar{C}(t) = \int_0^{D_c} \overline{C(D,0)} dD + \frac{0.4343}{12 \log \sigma} \left\{ \int_{D_c}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\log(D/D_0)}{\log \sigma} \right)^2 \right\} - \frac{\beta}{18\mu H} (\rho_f - \rho_0) g \int_0^t (D^2 - D_c) dt \right\} dD \dots (6)$$

はシミュレーションの結果より97とした。

③凝集沈降 現在の τ と凝集沈降を扱う簡便な式がないので、実験結果から、フラックス F_d と $F_d = 420 C^2 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$ $C[\text{kg/m}^2]$... (7) とした。

次に底泥の挙動を表わす表式式として

$$\tau = -(\tau_g + \gamma \rho_0) - \mu_p \frac{\partial u}{\partial x} \quad \text{for } |u| \geq \tau_g + \gamma \rho_0$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad \text{for } |u| < \tau_g + \gamma \rho_0$$

$$\tau_g = \alpha \int_0^t \frac{\partial u}{\partial x} dt + \tau_x \quad \dots (9) \quad \mu_p = 10 \tau_g \quad \dots (10)$$

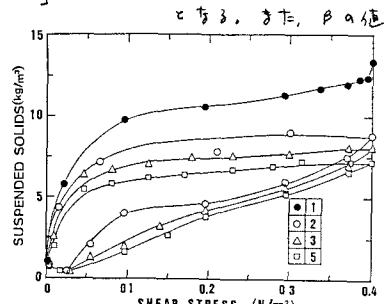


図-2 SSの経時変化(実験値)

(8)式は構成方程式で底泥がビンガム流体としての挙動を示し、さらに有効応力 P_0 に比例する力が剪断に抗するとした式である。(9)式は降伏値 τ_0 が初期値 τ_0 。から変形速度の時間積分値に比例して増加する事示す。また、底泥には圧縮が生じるとした。初期状態として最大剪断応力の時に全ての粒子が浮遊し、 $\tau = 0.4 \cos^2 \frac{\pi t}{2 \times 240 \text{ (min)}}$ 、 $t[\text{sec}]$ とした。計算はexplicitの差分で $\Delta t = 30 \text{ sec}$ 、 $\Delta w(w = \int_0^x (1-\epsilon) S dz) = 0.1 \text{ kg/m}^2$ とし、SSは底泥の Δw 中の各粒径範囲内の粒子量をメモリーに入れた。

3. シミュレーションの結果と考察

図-2に円形回転水路を用いた場合のSSの経時変化を、図-3に計算結果を示す。計算では実験値よりも同期回数の小さな時に定常状態に入る傾向があるが、第3同期までは現象を良く表わしており、領域の割合と現象の表示式の妥当性を示している。図-4は第1同期の τ_{max} (0分)から第2同期までの2で示

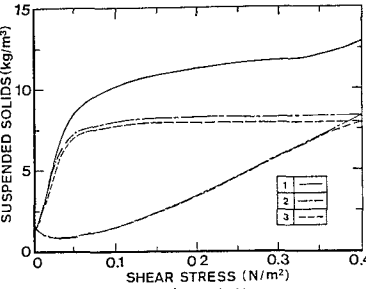


図-3 SSの経時変化(計算値)

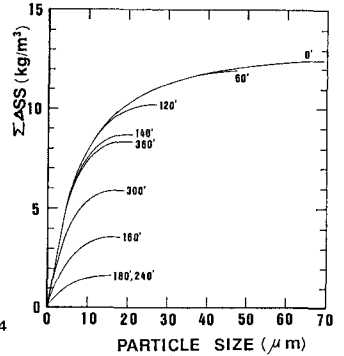


図-4 SS中の粒度の変化(計算値)

した②→③→④のSS中の粒度の計算値結果である。図-5は巻き上げが始まる直前の底泥10μm毎の粒度の計算値を示したものであり、最下層を1としている。この分布は同期を繰り返してもほとんど変化しない。つまり、図中の破線は $\tau=0$ のSS中の粒度であり、底泥の各層の粒度とは全く異なっている。図-6は実験終了時の底泥の粒度である。これらの図から、まず、分散した状態での沈降(0~140分)ではこの条件下に付着し大きな粒子から徐々に P_0 に達して沈降を開始するため、SS中の大粒子の存在量が低下していき、10μm以下の小粒子の存在量は変化していない。そのため底泥の粒度の計算結果では1~9の下層部では比較的大きな粒子のみが堆積している。実験では若干凝集するため下層部でも小粒子が堆積している。この点についてはさらに検討する必要がある。凝集沈降(160~240分)では P_0 を粒度にかかわらずSSの2乗に比例するとしているため、表層近くの10~18の粒度は変化していない。これは実験結果も同様である。次に巻き上げ時(240~360分)では、表層から徐々に巻き上げらるるとしているため、表層部の小さな粒子のみが関わりSS中の粒度はほとんど変化しない。これ以降、小さな粒子のみが巻き上げ、沈降を繰り返す。図-5中の1~9の底泥は水理条件、例えば、 τ_{max} が大きくなるような変動がなければSSの増減には関与しなくなる。

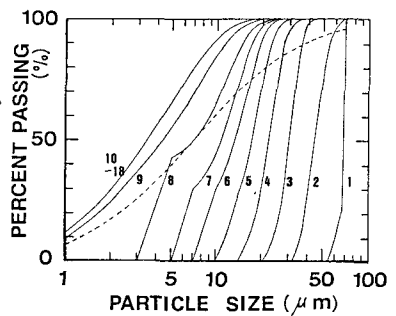


図-5 底泥中の粒度の変化(計算値)

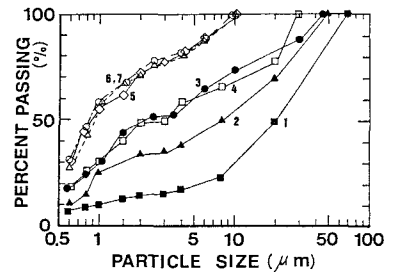


図-6 底泥中の粒度の変化(実験値)

図-7は第5同期の巻き上げの開始直前の底泥の鉛直方向の固相分率を、図-8は実験終了時のものを示している。概ね良く表わしているといえる。

〈参考文献〉1) T. Umita et al., The behavior of suspended sediments and muds in an estuary. Wat. Sci. Tech. Vol. 17 pp 915-927, (1984)

2) T. Umita et al., A model of soft cohesive sediments, 3rd Int. Sympo. on River Sedimentation

3) T. Kusuda et al., Depositional process of fine sediments, Wat. Sci. Tech. Vol. 14 pp 175-184 (1992)

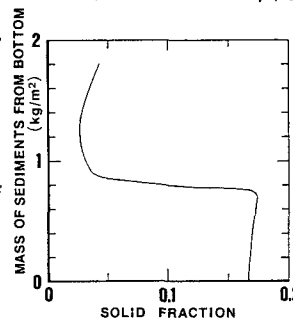


図-7 底泥の固相分率(計算値)

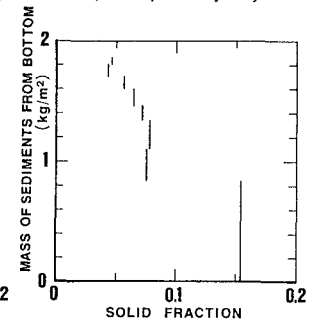


図-8 底泥の固相分率(実験値)