

岩手大学 正 ○海田輝之
" 正 大村達夫
" 正 大沼正郎

1. はじめに 河口感潮部でのSSの挙動は水理条件の変動や底泥自体の物性の複雑さ等のため、その挙動の解明の重要性にもかかわらず未解決の問題といえる。本研究は底面剪断応力を周期的に変動させた室内実験におけるSSの挙動を一定剪断応力下での巻き上げ及び沈降実験で得られた知見をもとに検討したものである。

2. 実験装置、方法、結果¹⁾ 実験は試料として武佐川河口部で採取した底泥を用いた。試料の平均径は $6\mu\text{m}$ 、比重2.92、LL 99%、PL 41%、Ignition Loss 12%であった。実験装置としては円形回転水路を用いた。底面剪断応力は図-1に示したように最大剪断応力を 0.4 N/m^2 として周期的に変動させた。実験方法としては試料を5時間以上充斥に攪拌後、図-1の $\tau = 0.4\text{ N/m}^2$ から実験を開始し、SSを経時的に測定した。

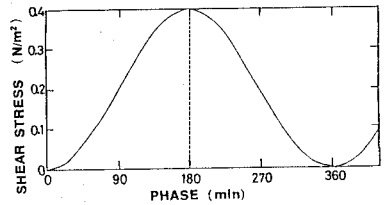


図-1 底面剪断応力の変動

なお、実験は比重1.025の塩水で行った。図-2に剪断応力 τ の変動に伴うSSの変化を示した。図中の数字は周期回数を示している。SSは図上で左廻りのループを描いて変動し、周期を繰り返すに従って巻き上げられる底泥の量が少なくなっている。また、1つの周期ではSSは $\tau=0$ から徐々に大きくなって若干低下し、その後SSは増加し始め、最大剪断応力付近でSSは最大値をとり、 τ の低下に伴いSSは減少し、 $\tau=0$ 近くになるとSSは急激に減少している。

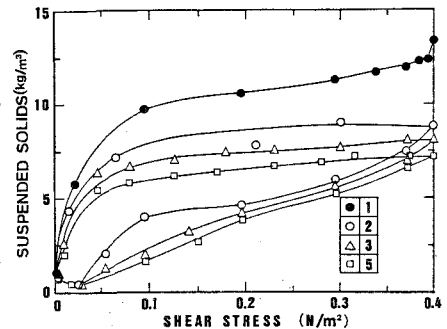


図-2 τ の増減に伴うSSの変化

3. シミュレーションの手法 図-2に示したSSの挙動をシミュレートするため、これまで筆者らが得た知見をもとに、1周期

を① $\tau_c \sim \tau_{max}$ 、② $\tau_{max} \sim \tau_d$ 、③ $\tau_d \sim \tau_c$ の3つの区間に分けた。ここで τ_c は巻き上げの限界剪断応力、 τ_d は凝集沈降が顕著になる剪断応力であり、①の区間では巻き上げ、②の区間では粒子はほぼブロックを形成せず分散した状態で沈降し、③の区間では凝集沈降が生じるとした。巻き上げについては底泥最底層の限界剪断応力 τ_c により τ が大きくなった時点の τ を τ_c とし、各時刻で τ が τ_c より大きくなると巻き上げが生じるとした。 τ_d の値は一定剪断応力下での沈降実験より 0.025 N/m^2 とした。また、水路床に底泥が存在する時には底泥は圧密及び剪断歪による硬化を受ける可能性があるとした。以下具体的に①～③のシミュレート手法を示す。

①巻き上げ 巻き上げのフラックス E は一定剪断応力 τ の下での巻き上げ実験の $\tau=0$ での巻き上げ速度から

$$E = 0.00917 \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)^{1.9} \quad [\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}] \quad \text{--- (1)} \quad \text{と与えた。この式を用いる場合、実際には底泥が巻き上げられる新たな表面が現われるため、底泥の τ_c は時間とともに変化している。従って、底泥表面の τ_c が即知でなければならぬ。ここでは底泥の τ_c が固相分率(1- ε)のみに依存するとし、1- ε を変えた場合の巻き上げの限界剪断応力を実験的に求め$$

$$\tau_c = 6.5 (1-\varepsilon)^{1.6} \quad [\text{N/m}^2] \quad \text{--- (2)} \quad \text{とした。}$$

②分散した状態での沈降 様々な一定剪断応力 τ の下での沈降実験の結果を

$$\frac{C-C_0}{C_0-C_0} = e^{-\frac{\omega}{H} t} \quad \text{--- (3)} \quad \text{と近似した。ここで、} C_0: \text{初期濃度、} C: \text{ある τ の時に充分時間が経過しても沈降し得ないSS濃度、} H: \text{水深、} \omega: \text{沈降速度、} t: \text{時間} \quad \text{である。③式を用いる場合、 τ と} C_0 \text{あるいは} \omega \text{との関係が求められなければならない。} \tau \text{と} \omega \text{との関係は②式をもとに実験結果から、}$$

$w = 8.94 \times 10^{-4} (\tau/\tau_{cd}) + 0.0002 \quad [\text{cm/s}] \quad \dots (4)$ とした。また、 τ と C_0 の関係は図-3 に示したように $\frac{\tau - \tau_{cd}}{\tau_{0.5} - \tau_{cd}}$ と C_0/C_0 との関係が対数正規分布に従うので $\frac{\tau - \tau_{cd}}{\tau_{0.5} - \tau_{cd}} = \tau'$ とおき、 τ' の平均を $\bar{\tau}'$ 、偏差を $\log \sigma$ とすれば、

$C_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\tau'} \exp(-\frac{1}{2}x^2) dx \quad \dots (5)$ とする。ここで $\tau_{0.5}$ は τ と C_0 の関係において C_0 が 0.5 になる時の τ である。 $\log \sigma$ の値は図-3 より各々 0.600, 0.92 となる。

③凝集沈降 凝集沈降の区間ではそれぞれの SS と沈降フラックス F_d との関係を実験より求めると図-4 に示したように両対数紙上で直線で示され、

$$F_d = 420 C^2 \quad [\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}] \quad \dots (6) \quad \text{となり } F_d \text{ は } C \text{ に依存せず}$$

上層水中の SS のみに関係するとした。また、②及び③の区間で沈降した直後の底泥の 1- ε は 0.98 と仮定した。

以上より 3 つの区間での τ の変動に伴う巻き上げ及び沈降量が規定できたのでシミュレーションが可能となる。底泥自体の挙動としては剪断歪による硬化と圧密の影響を考慮する必要があるが、基本式及び仮定は本発表会の分野の論文と同様であるのでここでは省略する。計算は Δt を 1 秒とする explicit の差分法で行った。

4 シミュレーションの結果 図-5 に第 7 周期までの SS の挙動についての計算結果を示す。各周期での SS の増減のバターンは実験結果をよく表している。また、第 2 周期までの SS の計算値は実験値と概ね一致している。(しかしながら、第 3 周期

以降では計算の巻き上げ量が実験値より小さくなり、長時間の SS の予測については換算の余地がある。図-5 に鉛直方向の空けき率の分布についての計算結果を示す。(第 3 周期) 縦軸は底面から累積した底泥量を示している。 τ_{cd} から τ_{max} までの巻き上げの区間では残存する底泥近くの底泥の空けき率が剪断歪により時間とともに低下し、この低下が巻き上げ速度の低下を引き起こしている。また、 $\tau = 0.4 \text{ N/m}^2$ の時点で残存する底泥は巻き上げ及び沈降に関与しないものである。 τ_{max} から τ_{cd} までの沈降の区間では沈降した底泥は剪断歪により空けき率は 0.98 より小さくなっていく。また、時間が経過するに従って、新たな底泥が堆積するため

$\tau = 0$ の時点ではこの区間に沈降した底泥のみについて考えると表面の方が空けき率は大きくなっていく。以上よりシミュレーションの結果は底泥内での空けき率の増減も定性的にはよく表していると考えられる。

今後はシミュレーションで用いた各区間の式をさらに改良し、検討する予定である。

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

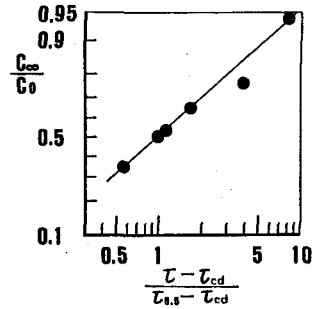


図-3 τ と C_0 の関係

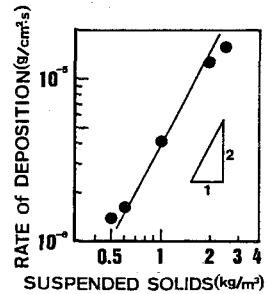


図-4 沈降フラックス

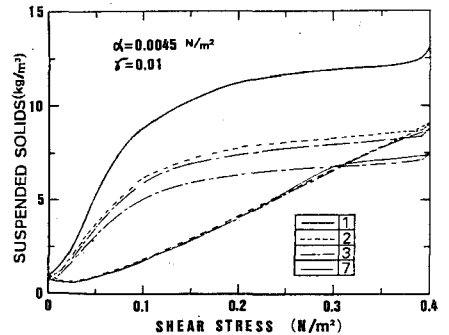


図-5 τ の増減に伴う SS の変化 (計算値)

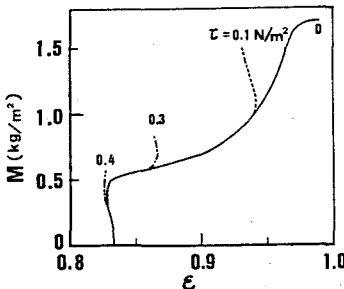


図-6 空けき率の変化 ($\tau = 0 \rightarrow \tau = \tau_{max}$)

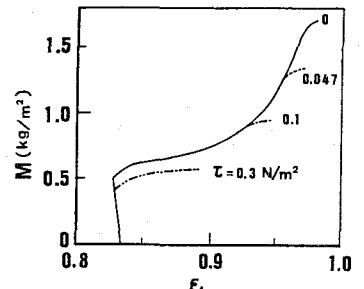


図-6 空けき率の変化 ($\tau = \tau_{max} \rightarrow \tau = 0$)