

# 剪断流下での底泥の沈降に関する研究

岩手大学 正 O 海田輝二  
学 柳橋 巧  
正 大沼正郎

1 はじめに 剪断流下における微細粒子の沈降過程について、即ち筆者らは実験及び理論的研究を行ってきた。その結果、粘土成分のみを含むような試料の場合とシルトが主成分の場合では沈降形態が異なり、前者の場合には粘性底層内でフロックが個々の単独の粒子にまで破壊されないが、後者の場合にはほぼ単独の粒うまで破壊されると考えこる事、両者ともに剪断応力がある限界の剪断応力以上の場合、充分時間が経過しても沈降し得ない粒子群が存在する事等も明らかになった。本研究では即ち得られた沈降過程をあらわす基礎式をもとに、①シルトを主成分とする試料で、分散状態での粒度分布が Rosin-Rammler 分布に使う場合（以下①の場合とする）、②粘土成分のみを含む試料で、剪断応力が時間的に減少する場合（以下②の場合とする）について検討したものである。

## 2. 実験装置、方法、実験結果

実験装置として円形回転水路を用いて行った。まず実験①の場合には、試料として地下鉄工事現場で採取した粘性土（比重2.70、平均粒径 $9.0\mu m$ ）を用いた。初期濃度を $2kg/m^3$ として充分湿混後、所定の剪断応力とした。数種の剪断応力の下でのSSの経時変化を図-1に示す。SSは時間の経過とともに減少し、その減少速度も徐々に低下し最終的には各剪断応力に応じて一定値に落ちついている。

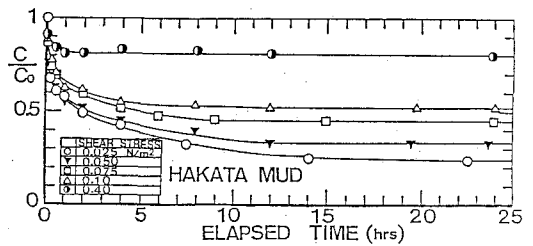


図-1. SSの経時変化(実験)

次に実験②の場合には試料として市販カオリン（AP600、比重2.66、平均粒径 $0.6\mu m$ ）を用いた。初期濃度を $1.5kg/m^3$ として、図-2に示した様=剪断応力を正弦波に促って変化させた場合のSSの経時変化を図-3に示す。SSの減少過程は滑らかな曲線とはならず勾配の緩やかな部分と急激な部分とを有するが特徴的である。

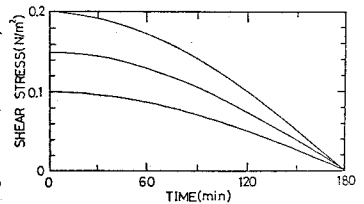


図-2 底面剪断応力

## 3 解析手法及び結果

即ち得られた実験結果より、(1)水路内の鉛直方向の濃度分布は横出さぬ、(2)いったん水路底に沈降した粒子は再浮上さぬ、(3)粘性底層の厚さは粒子(群)の径より1桁以上大きく、粘性底層内で粒子(群)の挙動が全体の現象を支配している。また、粘性底層内の粒子は抵抗力を受ける。以上の事柄が明らかになった。物質収支より、

$$\frac{\partial C(D,t)}{\partial t} + \frac{\alpha\beta}{H} (D^2 - D_c D) \overline{C(D,t)} = 0 \quad (1)$$

が得られる。ここで、 $\overline{C(D,t)} = \frac{1}{H} \int_0^H C(D,t) dy$ 、 $D_c$ は $D > D_c$ ならばその粒子は沈降し、 $D < D_c$ ならば沈降しない。即ち沈降に関する限界粒径を示している。左辺第2項は沈降フラックスで、 $\alpha$ :係数、 $\beta = \frac{g}{18\mu} \rho$ である。 $D_c = 0$ ならば $w = \alpha\beta D^2$ となり、Stokesの沈降速度式となる。(1)式を解くと

$$\overline{C(D,t)} = \overline{C(D,0)} \exp\left\{-\frac{\alpha\beta}{H} (D^2 - D_c D) t\right\} \quad \text{但し } D \gg D_c \quad (2)$$

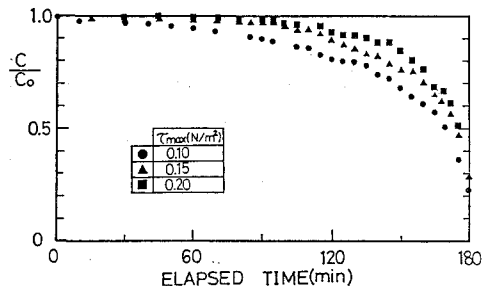


図-3 SSの経時変化(実験)

$C(D,t) = \text{const}$  但し  $D \leq D_c$  (3) となる。全体としての濃度は粒径に関して積分

$$C(t) = \int_0^{D_c} C(D,t) dD + \int_{D_c}^{\infty} C(D,t) dD = C_0 + \int_{D_c}^{\infty} C(D,t) dD \quad (4)$$

で与えられる。①の場合、粘性底層内でフロックが破壊され、その粒度分布はほぼ元の分散させた状態での粒度分布で近似できる。粒度分布型として本研究で用いた粘性土の Rosin-Rammler 分布に従うか検討してみる。R-R 分布では通過重量割合  $P$  は  $P = 1 - \exp(-bD^n)$  (5) で与えられる。

ここで、 $b, n$  は定数である。式(5)を変形後、両辺の対数を2回とると、

$$\log\{\log(\frac{1}{1-P})\} = n \log D + \log b + \log(\log e) \quad (6)$$

$\log D$  と  $\log\{\log(\frac{1}{1-P})\}$  の関係をプロットしたのが図-4であり、両者の関係はほぼ直線となり、粒度分布は R-R 分布で近似でき、 $n=1, b=79.4$  が見つかる。従って、式(5)は

$$C(t)/C_0 = \{1 - \exp(-79.4 D)\} + 79.4 \int_{D_c}^{\infty} \exp[-79.4 D + \frac{\alpha \beta}{n} (D^2 - D_c D) t] dD \quad (7)$$

となる。 $\beta = 9256 \text{ g/cm}^2 \text{ s}$  とし、 $\alpha$  の値を変え、実験結果と

合う様子は  $\alpha$  の値を決めると  $\alpha = 0.65$  となる。 $\alpha$  の値は計算結果を図-5に示す。 $\alpha$  は球形粒子の沈降速度に対する粘土粒子の沈降速度の比を示している。McNown は円板の Stokes 域での沈降速度について、円板面が沈降方向に対して垂直の時  $\alpha$  が 0.85、平行の時  $\alpha$  が 0.57 を与えている。本研究での試料は扁平である事を考慮すれば  $\alpha = 0.65$  は充分合理的な値といえる。従って、一定剪断能力下での沈降過程は式(7)で表現できる。

次に②の場合については、フロックは粘性底層内で完全には元の粒子には破壊されず、また、フロック径から沈降速度を表示し得ない。従って式(7)で  $\frac{\alpha \beta}{n} (D^2 - D_c D) = W$  とし積分すれば、

$$C/C_0 = \frac{C_0}{C_0} + (1 - \frac{C_0}{C_0}) \exp(-\frac{W}{H} t) \quad (8)$$

式(8)を用いて、一定剪断能力の下で得られた結果から剪断能力が時間的に変化する場合には適用できるか検討してみる。種々の剪断能力が置ける実験より、 $\%C_0 = \frac{C - C_{cd}}{C_0 - C_{cd}} (C_{cd}$  はすべての粒子(群)が沈降する最大の剪断能力で、 $C_{cd} = 0.025 \text{ N/m}^2$  であった。 $C_{0.5}$  は  $\%C_0$  が

0.5 になる時の剪断能力)との関係は図-6に示す様子は、訂数正規分布で表わされ、平均 0.91、訂数標準偏差 0.188 となる。 $W$  も実験より  $W (\text{cm/s}) = 6.22 \times 10^{-4} (\%C_0 - 1.5)^2 + 0.007$  (9) とした。計算結果を図-7に示す。経過時間が 130~160 分程度の時に計算値、実験値ともに勾配が緩やかな部分を有しており、定量的には計算値は現象を良く表わしているといえる。しかし後半部分では計算値の方が実験値より小さくなっている。これは実験では徐々に剪断能力が小さくなるため、最初から同一の剪断能力の下で行なわれた場合には比べ、各時間でのフロックの形成が少くなつていくためであろう。

4 おおりに ①の場合  $D_c$  と剪断能力との関係が求まる事、②の場合(9)式の理論的説明が今後の研究課題である。〈参考文献〉1) Kusuda T. et al Depositional Process of Fine Sediments. Wat. Sci. Tech. Vol. 14, pp/175-189

2) McNown, J.S. Particles in Slow Motion, La Tuille Blanche Vol. 6, pp/741-742, 1951 3) 柳本 隆夫 剪断流下における粘性土の沈降速度の測定について、39 回年報 2-370, 1992

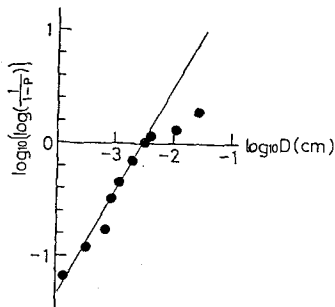


図-4  $\log D$  と  $\log\{\log(\frac{1}{1-P})\}$  の関係

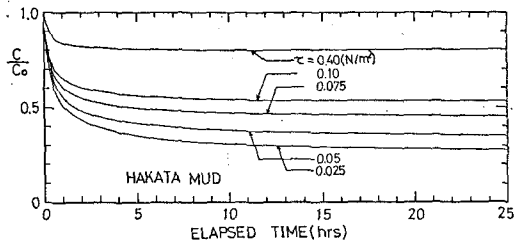


図-5 SS の経時変化 (計算)

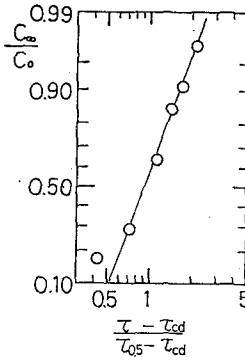


図-6  $C/C_0$  と  $C$  の関係

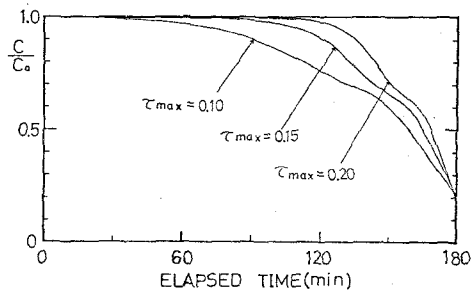


図-7 SS の経時変化 (計算)