

1. はじめに 港湾, 河川, 貯水池等に堆積した粘着性汚泥の巻き上げは, その汚泥が有機物, 有害物質を吸着している場合も多く, その水質, ひいては水域全体に及ぼす影響は, かなり大きい。しかしながら未だ, その水理学的な機構が明らかになるまでに至っていない。本報では, 自然沈降により形成された底泥層について, 含水比及び粒度分布の鉛直方向分布, 更に, 底泥の強度の変化について調べ, 鉛直方向の物性変化を明らかにするとともに, 回転円形水路により, 剪断流下での沈降実験を行ない, 濃度, 粒度分布の時間変化等を測定し, 沈降特性について, 若干の考察を加えたものである。

2. 実験装置及び方法 自然沈降により堆積した底泥の含水比及び粒度分布の鉛直分布は, 直径10.5cmの沈降筒に濃度30%の一様懸濁液を入れ, 水深を, 15cmとし, 5又は72時間自然沈降後, 堆積した底泥を鉛直方向にスライスカット方式で Samplingして求めた。更に, 図-1に示す細管粘度測定装置を用い, 含水比の変化に伴う底泥の Bingham 流体としての降伏値  $\tau_0$  を次式により求めた。

$$\tau_0 = \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 \right] \mu_b$$
 ここで  $\mu_b$  は塑性粘度,  $V$  は平均流速,  $R$  は管の半径,  $\tau_0$  は壁面剪断力である。  $\tau_0$  は  $\tau_0 - \tau_0$  のグラフの,  $V=0$  の時の  $\tau_0$  の外挿値  $\tau_0$  より次式から求めた。  $\tau_0 = \frac{1}{2} \tau_{00}$  剪断流下の沈降実験では, 円形回転水路を用いたが, 水路の詳細については "基礎的研究(II)" で述べる。実験は, 初期濃度2%で一様に混合後, 所定の剪断力とし, 経時的に壁面より試料を採取した。沈降は, 水路全面にわたって一様に生じていた。なお, 浮遊物濃度は, メンブレンフィルター (pore size 0.1 $\mu$ ) で, 浮遊物の粒度分布は, 顕微鏡写真をプロジェクターで更に拡大して, 体積粒度分布として求めた。この方法では粒径 1 $\mu$ 未満のものは測定できない。測定粒子個数は1サンプルにつき200個以上とした。実験時の Reynolds 数は, 2~8  $\times 10^3$  であった。実験に用いた試料は, 福岡市中洲地下鉄工事現場より採取した粘着性土で, 比重2.73, 有機物含有量9.3%, 塑性指数35.9, JISA1204による粒度分布試験では, 粒径 1 $\mu$ 未満のものが10%程度含まれていた。

3. 実験結果及び考察 図-2に初期濃度30%, 及び50%で, 1メスミリシリンダーで行なった沈降実験の結果を示す。沈降初期では, 界面の形成は見られず, ほぼ5時間後から明瞭な界面をもつ圧縮沈降を示す様になった。60時間以後では底泥厚さは, ほぼ一定となった。しかし, 上澄中には50~100%程度の微細粒子が残っていた。図-3, 4, 5, 6に沈降筒で求めた5時間, 72時間沈降後の底泥の含水比及び粒度分布の鉛直分布を示す。なお図-5, 6の粒度分布は, 採取した試料を攪拌後, 測定したものである。底泥の含水比は, 表層で大きく, 深さ方向に圧縮され小さくなり, 粒度分布は, 底泥下層の方が広く, 最大径, 平均径共に大きくなっている。図-7に, 図-4, 5の含水比変化に伴う底泥の Bingham 流体としての降伏値を示す。図から, 底泥の強度は, 表層付近で小さく, 底面に近づくにつれ大きくなっている。更に経時的な強度の増加も見られる。以上より, 自然沈降した底泥の巻き上げには, 底泥の堆積時間及び底泥の鉛直方向の物性変化をも考慮しなければならないと考えられる。次に剪断流下での沈降実験における浮遊物濃度  $C$  の時間変化を掃流力をパラメーターとして図-8に示

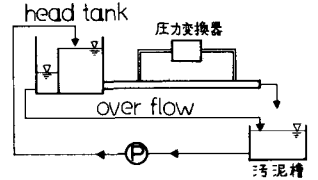
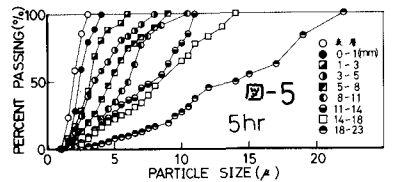
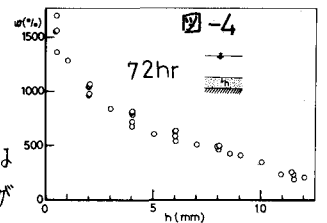
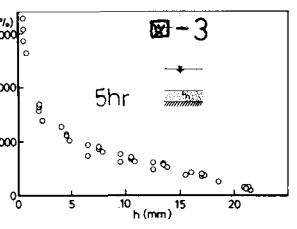
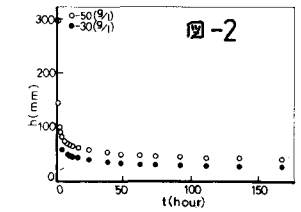


図-1 細管粘度測定装置



す。所定の剪断力に調整した時点<sup>1)</sup>を0時としている。また本実験では、浮遊状態にある粒子は顕微鏡下の観察でほぼ単粒子として存在していた。そこで、浮遊状態粒子の粒度分布の時間変化を示した例が図-9,10,11である。水深方向の粒度分布及び濃度の変化は全実験を通じて無視できた。図-8から浮遊物濃度は、時間の経過とともに減少し、その減少率も時間とともに小さくなり、最終的には一定値に落ち着いている。一定値に落ち着くまでの時間は、剪断力の増加に伴い減少している。また、平衡濃度は剪断力の増加に伴い増えており Partheniadesらの結果と同様である。 $\tau = 0.25 \text{ dyn/cm}^2$ の場合には、濃度は減少を続けている。工学的には、沉降の限界掃流力が $0.25 \text{ dyn/cm}^2$ 程度と考えると良いと思われる。濃度の減少を図-9,10,11に示した浮遊状態粒子の粒度分布の時間変化から見ると、 $\tau = 4.0 \text{ dyn/cm}^2$ では初期を除き、ほぼ一定であるが、 $\tau = 0.5, 0.75 \text{ dyn/cm}^2$ では最大径、平均径共に減少し、徐々に一定に落ち着いており、濃度減少状況と良く一致している。更に浮遊状態にある限界の最大粒径は、ほぼ $15 \mu$  ( $\tau = 4.0 \text{ dyn/cm}^2$ )、 $12 \mu$  ( $\tau = 0.75 \text{ dyn/cm}^2$ )、 $7 \mu$  ( $\tau = 0.5 \text{ dyn/cm}^2$ )である。ここで沉降した粒子の再浮上の可能性について考える。粒子に粘着性がないとすれば、 $u_* = 4, 0.75, 0.5 \text{ (cm/sec)}$ の時、掃流限界での粒子径は岩垣式で、 $0.07, 0.003, 0.002 \text{ cm}$ となる。よって水路床に沉降した粒子の再浮上は充分考えられるが、図-9,10から最大径、平均径共に減少しており、再浮上した様子はない。また、水深方向の濃度分布がほぼ無視できたことは、*Route*の浮遊物の濃度分布式では $\beta = \frac{u_*}{u_{*c}}$ の値が小さい事を意味する。即ち、沉降速度に比して上方向の拡散が十分に大きく、通常の沉降のみにより濃度が減少したとは考えられない。したがって、濃度の減少は、浮遊状態にある粒子が、水路床の底泥に付着或いは捕捉されることにより生じると思われ、更に、一旦底泥に付着或いは捕捉された粒子は、その粘着性の為再浮上し難いのではないかと考えられる。濃度の減少を、累加体積と粒径の関係から見たのが図-12である。図から、大きい粒子だけでなく、小さな粒子まで沉降しているのが分かるが、特に大きな粒子は早い時期に確実に沉降している。既に一樣な Bed が形成されている場合の沉降を考えると、底泥表面には粗な粒子の層の形成が考えられるとともに、小粒子も捕捉されやすいと考えられる。したがって、底泥の粒子の再浮上は、より強い掃流力が加わらない限り、起こりにくいのではないかと考えられる。より詳細な微細粒子の沉降現象の解明には、粘性底層内での粒子の挙動や粒径による付着確率等を考慮しなければならないであろう。今後この方向での研究を進めて行きたい。最後に、本研究を行なうに当り、御助力いただいた工藤博幸君(現、久保田鉄工機)安藤弘俊君に心から感謝いたします。なお、本研究は文部省科学研究費補助(総合研究A)を受けて行なつたものである。

参考文献) E. Partheniades, Erodability of channels with cohesive boundary. J. H. D. 1970 Vol. 96, P105-138.

2) 水理公式集: P 208 土木学会編

