

## 混合汚泥の沈降濃縮について

室蘭工業大学 正会員 穂積 洋  
室蘭工業大学 学生員 河野 芳彦

## 1. はじめに

筆者等は、凝集性スラリーの圧縮沈降特性について検討を加え、濁質粘土凝集スラリー及び同一性状の活性汚泥スラリーに対しては次式が成立することを示した。

$$(H - H_{\infty}) / (H_c - H_{\infty}) = (t / t_c)^n \quad \text{---- (1)}$$

$$H_{\infty} = \alpha (C_0 H_0)^{\beta} \quad \text{---- (2)}$$

$$t_c = \gamma (C_0 H_0)^{\delta} \quad \text{---- (3)}$$

ここで、 $H$ ：圧縮点以降の任意の沈降時間におけるスラリー界面高、 $H_c$ 、 $H_{\infty}$ ：それぞれ圧縮点時間及び沈降完了時におけるスラリー界面高、 $C_0$ 、 $H_0$ ：それぞれ沈降開始時におけるスラリーの初期固形物濃度と初期界面高、 $t$ ：沈降時間、 $t_c$ ：圧縮点における沈降時間、 $n$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ ：定数。

しかしながら、活性汚泥スラリーの性状は同一処理場においても季節、天候により異なり、その沈降性は $C_0 H_0$ が同じであっても相違する。したがって、濃縮槽等の汚泥処理施設の合理的設計のためには、汚泥の性状によるスラリーの沈降性の相違を把握することが必要であるが、実験目的に応じて任意の性状の活性汚泥スラリーを実際の下水処理場から得ることは困難である。そこで、活性汚泥スラリーに濁質粘土凝集スラリーを添加してスラリーの性状を広範に変化させ、スラリーの性状による沈降特性の相違を把握することを目的として研究を行なった。併せて活性汚泥スラリーは濁質粘土凝集スラリーに比して沈降性が著るしく劣り、沈降濃縮に長時間を要するので、沈降性の良い濁質粘土凝集スラリーを混合して沈降性を改善することを目的としたものである。

## 2. 実験方法

実験は、主に家庭排水を分流方式で流集し標準活性汚泥法により処理している市内下水処理場最終沈殿池から採取した活性汚泥と、市販カオリンを硫酸アルミニウムで凝集処理して得られた無機汚泥を混合したものをを用いて行なった。沈降筒は壁面の影響を避けるために内径 10 cm、高さ 100 cm のアクリル製円筒の側面にスケールを付したものをを用いた。上記の沈降筒 2 本を用いて行なった実験手順は次のようである。①採取してきた PH 6.9 ~ 7.1 の活性汚泥を静置濃縮して所定濃度となるように水道水を加えて希釈する。②所定濃度の無機汚泥が得られるように、あらかじめ乾燥させた一定量のカオリンに硫酸アルミニウムを重量比 10 % の割合で注入して沈殿汚泥を生成する。③①の活性汚泥と②の無機汚泥を混合し PH が 6.8 ~ 7.2 になるよう NaOH で調整する。④攪拌機を付した 50 l 容器を用いて約 20 分間の攪拌を行なう。⑤先端にビニールホースを取付けた漏斗を用いて、得られたスラリーを所定の高さまで沈降筒の底部から静かに注入する。⑥次いでビニールホースを筒外に静かに引き出し、その瞬間を沈降開始時間として約 10 時間の沈降分析を行なう。⑦さらに沈降筒を静置して約 48 時間経過後のスラリー界面高を測定する。⑧各沈降筒のスラリーを容器に移して一様に攪拌し、約 500 cc ビーカーに採り、様濃度となるように攪拌した後、その 100 cc、50 cc を採取して浮遊物質濃度を測定した。又、熱灼減量を測定して有機物含有量を求めた。活性汚泥についても混合汚泥の場合と全く同様の手順で行った。

## 3. 実験結果と考察

図-1は、浮遊物質(SS)濃度がほぼ等しい活性汚泥スラリーと濁質粘土凝集スラリー(無機スラリー)の容積混合割合を変えることにより有機物含有量の異なる混合スラリーを生成した場合の沈降曲線を示したものである。SS濃度が一定の場合には有機物含有量が小さくなるにつれてスラリーの沈降性が改善されている。又、等速沈降区間から減速沈降区間への移行が急激となり、既報に示したように無機スラリーの沈降曲線に類似して

図-2は、有機物含有量が一定となるように種々の濃度の活性汚泥スラリーと無機スラリーを等容混合して生成したスラリーの沈降曲線を示したものである。この場合の混合スラリーの有機物含有量は810~900 mg/l とほぼ一定で、SS濃度は900~4400 mg/l である。既報に示したように、無機スラリー及び同一性状の活性汚泥スラリーではSS濃度の増大とともにその沈降性は悪くなるが、図-2はSS濃度のみに着目してみると、SS濃度が高い程スラリーの沈降性が良く既報と全く逆の結果を示している。したがって、単位SS量当りの有機物量を求めると図中に示すように、この値の大きい程スラリーの沈降性が良くなっている。したがって、スラリーの沈降性状はSS濃度のみならず有機物含有量によっても大きく相違する。図-3はSS濃度が3200 mg/l と4200 mg/l で有機物含有量が異なる活性汚泥スラリーの沈降曲線を示したもので、SS濃度が一定であれば有機物含有量の高いスラリー程その沈降性が悪く、図-1と同一の結果を示している。又、SS濃度が低くても有機物含有量の大きいスラリーでは沈降性が悪くなっている。図-1~3にみられるように、有機物含有量が高い程沈降初期において上方に凸の部分が発著になり、ぜい弱で破壊さ水場いフロックとなっている。この点でも有機物含有量の高いスラリーは処理性が劣る。以上の結果から、浮遊物質量当りの有機物量がスラリーの沈降特性を表わす一つの目安と考えられるので、これをO/S比で表わして用いることとする。

$$O/S \text{ 比} = \frac{\text{汚泥中の有機物量}}{\text{汚泥中の浮遊物質量}}$$

図-4は、O/S比がほぼ一定の活性汚泥スラリー、無機スラリー及びO/S比が異なる混合スラリーのH<sub>00</sub>とSS濃度との関係を示したものである。無機スラリーではH<sub>00</sub>はSS濃度の増大とともに上方に凸の曲線を変化し、活性汚泥スラリーの場合も同様の変化をするがH<sub>00</sub>とSS濃度の関係はほぼ直線に近い緩やかな曲線となる。前述したように、両スラリーとも式(2)の関係能满足し、無機スラリーではβ=0.8、有機物含有量の高い活性汚泥スラリーではβ=1.1~1.2程度の値をとる。混合スラリーのH<sub>00</sub>は無機スラリーと活性汚泥スラリーの中間にある。混合汚泥スラリーのH<sub>00</sub>とSS濃度との間に上記の2つのスラリーと同様の曲線関係を

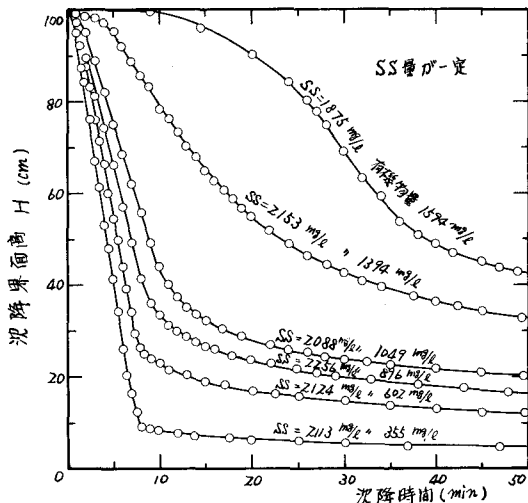


図-1 沈降曲線の比較

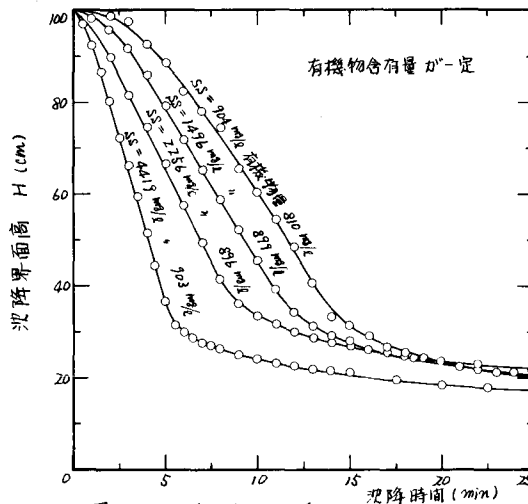


図-2 沈降曲線の比較

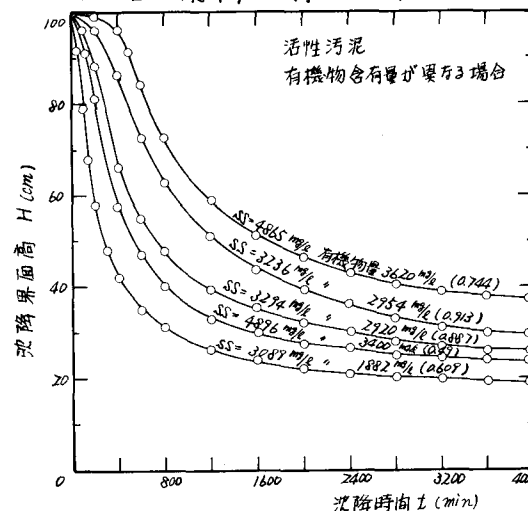


図-3 沈降曲線の比較



軸に  $(H-H_{\infty})$ 、横軸に  $t$  をとって両対数グラフにプロットしたものである。図-8は、同様に図-2の有機物含有量一定の混合スラリーに対する結果を用いて、 $(H-H_{\infty})$  と  $t$  の関係を両対数グラフにプロットしたものである。無機スラリー及び活性汚泥スラリーの場合と同様に、沈降濃縮が著しく進行した終期の段階では  $(H-H_{\infty})$  と  $t$  の両対数プロットは直線とはならず式(2)の関係を満足しないが、減速沈降の広範な区間にわたって直線関係を示し式(2)の関係を満足している。図-7, 8の両対数プロットの直線の勾配  $n$  を求め、 $O/S$  比に対してプロットすると図-9のようである。図-7から明らかのように、式(1)の定数  $n$  はSS濃度が一定であれば有機物含有量が変化してもそれほど大きくは変化しない。又、図-8においても、 $O/S$  比が約0.2のスラリー(SS濃度4350 mg/lのスラリー)を除けば、定数  $n$  は  $O/S$  比が0.85~0.40と変化してもほとんど変化しない。したがって、式(1)の定数  $n$  は  $O/S$  比が0.2~0.3程度までは  $O/S$  比とともに急激に減少するが、 $O/S$  比が0.4以上ではほとんど減少しないものと考えられる。図-10は、 $O/S$  比が0.4以上の混合汚泥スラリーと活性汚泥スラリーに対する定数  $n$  とSS濃度の関係を示したものである。定数  $n$  はSS濃度1500~2000 mg/l程度までは急激に増加するが、SS濃度がそれ以上になるとほぼ一定値を示している。無機スラリーの場合も、図-10の破線で示すように同様の变化をする。ただし、無機スラリーでは定数  $n$  はSS濃度1000 mg/l以上では1.0~1.1程度の大きな値をとる。式(1)の定数  $n$  はSS濃度及び  $O/S$  比の大小によって異なるが、 $O/S$  比が0.3~0.4以上、SS濃度が1500~2000 mg/l以上のスラリーでは、 $O/S$  比及びSS濃度によらずほぼ一定値をとるものと考えられる。

次に、式(1)の圧縮点における界面高  $H_c$  と  $O/S$  比の関係について求める。筆者等はカオリン凝集スラリーを用いた場合の  $H_c$  と  $H_{\infty}$  の関係は式(4)のように与えられることを示した。

$$H_c = a H_{\infty} - b \quad \text{--- (4)}$$

ここで、 $a, b$ : 定数で、一般に小さな値であるので無視し得る。したがって、 $H_c$  と  $O/S$  比の関係は  $H_{\infty}$  と  $O/S$  比の関係と同じとなることが予想される。図-1~3の沈降曲線から簡便法によって  $H_c$  を求め、図-6

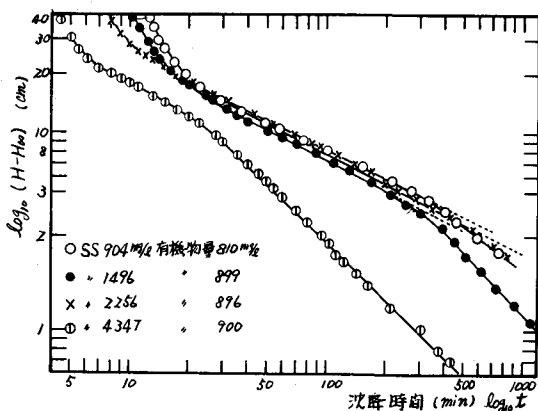


図-8  $\log_{10}(H-H_{\infty})$  と  $\log_{10}t$  とのプロット

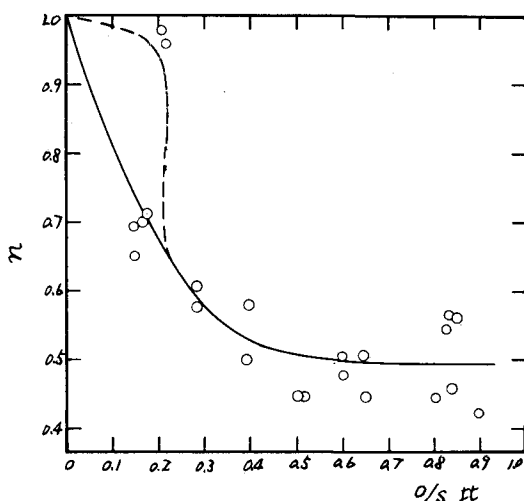


図-9  $n$  と  $O/S$  比の関係

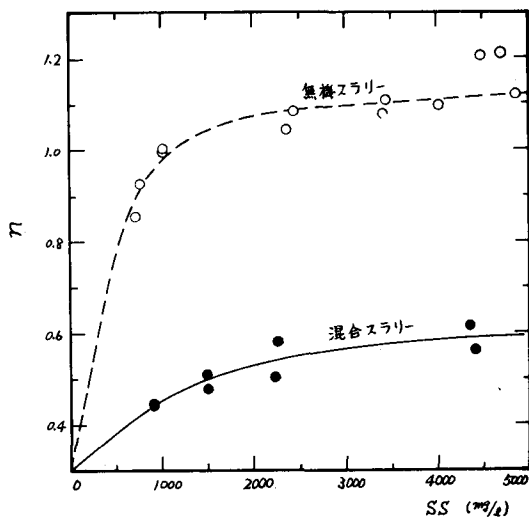


図-10  $n$  と SS との関係

と同様の補正を行なってSS濃度 3000 mg/l の場合の  $H_c$  に換算したものを  $O/S$  比に対してプロットすると、図-11 のようである。 $H_c$  は  $O/S$  比の増大とともに曲線的に大きくなり、 $H_{c0}$  と  $O/S$  比との関係と同じ結果を示している。したがって、活性汚泥スラリー及び混合スラリーに対しても無機スラリーの場合と同様に式(4)の関係が成立するものと考えられる。

最後に、混合スラリーの等速沈降速度と  $O/S$  比の関係について述べる。図-1 のSS濃度がほぼ一定の混合スラリーの等速沈降区間の直線の勾配は有機物含有量の増大とともに小さくなっている。スラリーの等速沈降速度に關しては種々の理論式及び実験式が求められているが、最も簡単かつ実用的な式としては次式が挙げられる。

$$V/W_t = \varepsilon^n = (1 - V_f)^n \quad \dots (5)$$

ここで、 $V$ :スラリーの等速沈降速度、 $W_t$ :スラリーを構成する代表粒子の単一終末沈降速度、 $\varepsilon = 1 - V_f$ :空隙率、 $V_f$ :粒子群の体積濃度、 $n$ :粒子レイノルズ数によって異なる定数、粒子レイノルズ数の小さい凝集性スラリーに対しては  $n = 5.6$  程度の値が得られている。スラリーを構成する個々の粒子の密度は有機物含有量によって異なるので、同一のSS濃度であっても  $V_f$  は異なる。又、前述したように、有機物含有量の増大によって生成フロックが弱い弱となるので、同一攪拌強度下でも生成フロックの寸法が異なる。したがって、図-1の結果は、有機物含有量によって  $V_f$  及び  $W_t$  がともに変化することによるものと考えられる。図-12は、図-2の有機物含有量が一定のスラリーの沈降曲線の等速沈降区間の直線部分の勾配から求めた界面沈降速度をSS濃度に対してプロットしたものである。等速沈降速度はSS濃度の増大とともに速くなっている。式(5)に示すように、 $V$  は  $V_f$  の増大とともに小さくなるので、図-12の結果はこれと全く逆の結果を示している。図-12では有機物含有量は同じであるが、図-1と同様に  $O/S$  比が異なる。そこで、図-1~3の等速沈降速度を  $O/S$  比を横軸にSS濃度をパラメータとしてプロットすると、図-13に示すようである。 $V$  は  $O/S$  比とともに減少し、 $O/S$  比  $0.2 \sim 0.7$  の領域では  $V$  と  $O/S$  比の関係はSS濃度毎に異なる直線で近似できる。 $O/S$  が  $0.1$  以上では  $V$  は  $O/S$  比の増大とともに一定値に近づいてゆくものと考えられる。なお、SS濃度 3300 mg/l

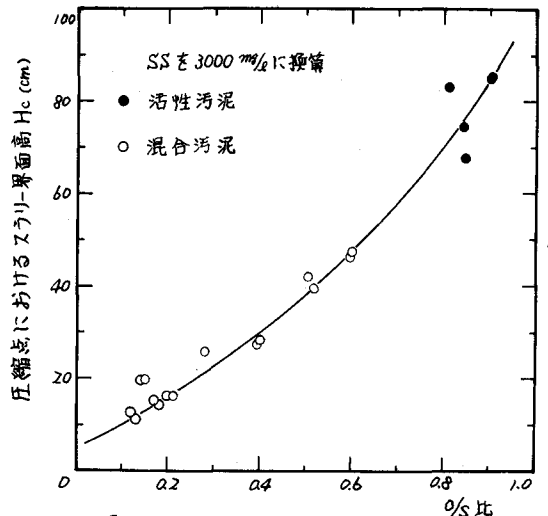


図-11  $H_c$  と  $O/S$  比との関係

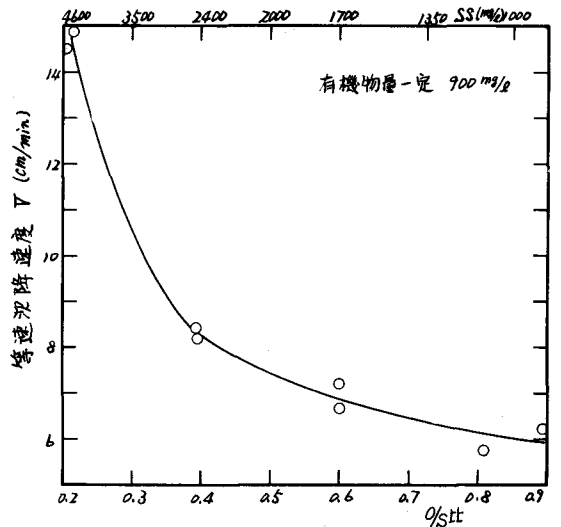


図-12  $V$  と  $O/S$  比及びSSとの関係

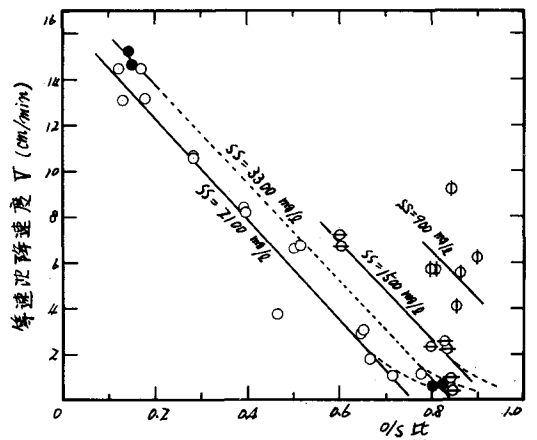


図-13  $V$  と  $O/S$  比との関係

の活性汚泥スラリーの場合には、図-3から明らかなように厳密には等速沈降区画が存在しないが、近似的に直線を想定して等速沈降速度を求めたもので、図-13の破線は参考のために示したものである。Fischerström等は活性汚泥スラリーの等速沈降速度 $V$ と30分沈降後の粒子群集濃度 $V_f'$ (式-4)の $V_f$ とは必ずしも一致しない。)との間には近似的に $V \cdot V_f' = \text{const}$ なる関係があることを示した。この関係はカオリン凝集スラリーの場合にも概略当てはまる。そこで、等速沈降速度に及ぼすSS濃度の影響を除くために、 $O/S$ 比による個々の粒子の密度変化を無視して図-13の $V$ を上記の関係を用いてSS濃度2000及び3000 mg/lの場合のものに換算し、これを $O/S$ 比に対してプロットすると

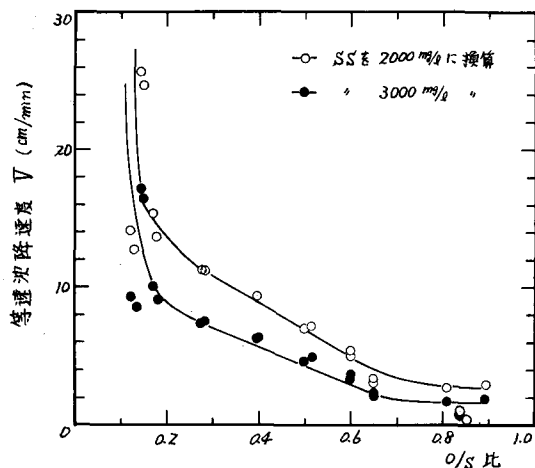


図-14  $V$ と $O/S$ 比との関係

図-14のようである。 $V$ と $O/S$ 比の関係はほぼ一本の曲線で近似でき、 $O/S$ 比 $<0.2$ の領域では $V$ は $O/S$ 比とともに急激に減少し、 $O/S$ 比 $>0.2$ の領域では $V$ の変化は緩やかで、 $O/S$ 比 $>0.8$ 以上ではほとんど変化しない。 $O/S$ 比 $\approx 0.2 \sim 0.7$ の領域では、図-14の曲線は図-12に示すようにほぼ直線で近似し得る。等速沈降速度に及ぼすSS濃度及び有機物含有量の影響は、厳密にはスラリーを構成する個々のフロックの密度及びフロックの最大成長粒子径と攪拌強度の関係すなわちフロック強度に及ぼす $O/S$ 比の影響について把握して、式-5)の関係を用いて表わすことが必要であるが、ここでは上記に示すような形で概略の $O/S$ 比の影響を求めるに留めた。等速沈降速度に及ぼす $O/S$ 比の厳密な検討は今後の課題としたい。

#### 4. あとがき

無機及び有機成分から成るスラリーの圧縮沈降性状に及ぼす有機物含有量の影響は、活性汚泥スラリーも含めて、浮遊物量当りの有機物量 $O/S$ 比によって示し得ることを明らかにした。又、スラリーの等速沈降速度に及ぼす有機物含有量の影響も同様に $O/S$ 比によって概略表わし得ることを示した。本実験では無機スラリーとしてALT比(単位濁度量当りのアルミニウム添加量)のカオリン凝集スラリーを用いたが、このような無機スラリーの圧縮沈降特性はALT比によって表わし得ることを示した。したがって、濁度粘土凝集スラリーから活性汚泥スラリーに至るまでの性状の広範に異なる凝集性スラリーの圧縮沈降特性は $O/S$ 比及びALT比を指標として定量的に把握し得るものと考えられる。

活性汚泥は沈降性が著るしく悪いので、浄水汚泥等の無機汚泥と混合してその沈降性を高め、汚泥処理を便ならしめる等のが考えられる。理由は異なるが、札幌市では浄水場から下水処理場に汚泥を流送して活性汚泥との混合処理を行なっている。本実験の結果がそのような処理を行なう場合の有効な資料となれば幸いである。

#### 引用文献

- 1) 穂積 準; "凝集性スラリーの圧縮沈降特性に関する研究(I)" 水道協会誌, 514号, P2-16, 1977.
- 2) 穂積 準, 河野 芽宜; "凝集性スラリーの圧縮沈降特性に関する研究(II)" 水道協会誌投稿中
- 3) 穂積 準, 河野 芽宜; "活性汚泥フロックの圧縮沈降性状", 土木学会北海道支部論文報告集, 33号, P195-199, (1977)
- 4) W.W. Eckenfelder, N. Melbinger; "Settling and Compaction Characteristics of Biological Sludge", Sew & Ind. Waste Vol. 1, 29, p114-122, (1967)
- 5) 例へば、穂積 準, 丹保 徳仁; 接触高速凝集沈降池の合理的設計(7033), 工業用水, 196号, P38-39 (1975)
- 6) 丹保 徳仁, 穂積 準, 福原 幸三; 上昇流沈降池におけるフロックアランゲットの挙動(Ⅱ), 水道協会誌, 425号, P22, (1970)
- 7) C.N.H. Fischers Tröm; "Settling of Activated Sludge in Horizontal Tank", Proc. A.S.C.E., San. Engrng. Div., Vol. 93, No. SA3, P77. (1967)
- 8) 丹保 徳仁, 穂積 準, 小椋 勝理; "フロックアランゲットの除去効果" 第4回衛生工学研究討論会講演論文集, P114, (1967)