



多孔整流設備による接触高速凝集沈殿池の水流整正に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 穂積, 準 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3683

多孔整流設備による接触高速凝集沈殿池の 水流整正に関する研究

穂 積 準

A Study on Flow Regulation in Upflow Solids Contact Clarifiers by Perforated Baffles.

Hitoshi Hozumi

Abstract

The effects of the structure of perforated baffles on the dispersion coefficient of supernatant zone above floc blanket were studied. The experiments were carried out by using a model unit of the floc blanket type clarifiers and the dispersion coefficient was calculated from the measured concentration distribution of mother floc particles in the supernatant zone.

The results are summerized as follows;

1. The volumetric efficiency of the unit is much increased by the settling of perforated baffles, independent of its structure.
2. The dispersion coefficient is independent of the thickness of the baffles at heigher values than 10 cm.
3. The dispersion coefficient is increased in proportion to the distance between the centers of openings in the baffles, and to the 0.7th power of the ratio of total area of openings to the cross sectional area of the flow.
4. When the ratio mentioned above is smaller than about 8 per cent and upward flow velocity is lower than 5 cm/min at the same time, floc particles accumulate on the baffles and the dispersion coefficient increase conversely.
5. It seems the ratio from 0.15 to 0.20 is suitable for upflow solids contact clarifiers.

1. は じ め に

沈殿池の処理効率は除去対象粒子の沈降速度と池内水流状態によって決定されるが、実際の処理においてはその処理効率は主として池内水流の良否によって支配される。このため、水平流沈殿池では一般に流入・流出端に整流設備を設けて池内水流の整正をはかっている。場合によってはさらに中間整流壁、導流壁や傾斜板等の池内構造物を設置し、池内水流を整正して容量効率を高めるための工夫がなされている。これに対して、既存の接触高速凝集沈殿池では整流設備を有するものは皆無に等しい。筆者等¹⁻³⁾は、接触高速凝集沈殿池の固液分離機能に関して一連の研究を行ない、その処理効率は本装置において最も重要な操作と考えられている接触フロップ形成よりはむしろ固液分離部における水流状態によって大きく支配されることを確認し、整流設備の設置によって水流の均等化を効果的になし得る結果、負荷流量を増大せしめ、

かつ、流出水中への懸濁物質の逸出を著しく軽減し得ることを示し、固液分離部における混合拡散係数に及ぼす上昇流速、フロックブランケット層の厚さ及びその空間率の影響について明らかにした。混合拡散係数に影響を及ぼす因子としては上記のもの他に整流設備の形状が考えられる。

本報告は、接触高速凝集沈殿池の改良を目的として、固液分離部におけるフロックの混合拡散輸送の観点から整流設備の形状の相違による水流整正効果について検討したものである。

2. 清澄部の混合拡散係数の算定法

丹保と穂積³⁾は、フロックブランケット型接触高速凝集沈殿池の固液分離部に対して、ブランケット界面と清澄部との間に既成フロック群濃度が急激かつ不連続的に変化する薄層の存在を仮定して図-1に示すような拡散輸送モデルを考え、清澄部における既成フロックの拡散輸送に対して次式を提示した。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{zc} \frac{\partial^2 C}{\partial \bar{z}^2} + (W_t - V_s) \frac{\partial C}{\partial \bar{z}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 C ：清澄部の既成フロック濃度、 t ：時間、 \bar{z} ：薄層上面から上方への距離、 D_{zc} ：清澄部における混合拡散係数、 W_t ：既成フロックの単一終末沈降速度、 V_s ：空塔上昇速度。式(1)は沈降速度($W_t - V_s$)なる粒子の横方向の流れのない静止容器中における垂直濃度分布の時間変化を与える式と同一である。したがって、定常状態において薄層上面 $\bar{z} = 0$ における既成フロック濃度を $C = C_0$ とすると、式-1は式-2のようになる。

$$\ln \frac{C}{C_0} = -\frac{\Delta W}{D_{zc}} \bar{z} = -K \bar{z} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\Delta W = W_t - V_s$ ：既成フロックの清澄部での相対沈降速度、 $K = \Delta W / D_{zc}$ 。 C_0 は上昇流速の関数で上昇流速の増大とともにその値は大きくなる。

したがって、清澄部における既成フロックの垂直濃度分布を測定し、縦軸に C 、横軸に \bar{z} をとって片対数グラフにプロットすると直線が得られ、その直線の勾配と ΔW_t とから D_{zc} を求めることができる。式-2による D_{zc} の測定は押し出し流れに乱れが加わった場合に意味を持つもので、水流に偏りあるいは死空間等が存在する場合には水流状態を別途に求めておく必要がある。ただし、この場合は D_{zc} が著しく大きくなるので、整流設備の良

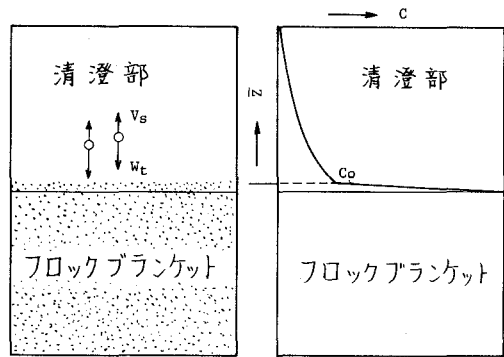


図-1 拡散輸送モデル

否を判定する上では支障はない。

ところで、フロックブランケット層内では攪拌部においてフロック形成を終えて固液分離部の下部から流入してくる小フロックは接触捕集反応によって既成フロックに吸合されるが、一部の末反応吸合粒子は上昇流によって清澄部へ漏出し減衰することなく流出水中へ出て行く。したがって、清澄部における既成フロックの垂直濃度分布を知るためには、全濃度成分から漏出小フロックに由来する濃度成分を差し引かねばならない。既成フロックは小フロックに比して大きくその沈降速度が速いので、採取試料を3～5分間静置して残留濃度を測定し、これを漏出小フロック濃度とする簡単な方法もあるが、ここでは以下に示すような方法によって漏出小フロック濃度を求めた。拡散輸送を伴う場合のフロックの物質収支式は次のように示される。

$$\frac{\partial \phi}{\partial \theta} + \frac{\partial \phi}{\partial \varphi} = \frac{1}{2M} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \varphi^2} + \frac{d\phi}{d\theta} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\phi = C'/C'_0$, $\theta = t/(L/u)$, $\varphi = z'/L$, $2M = uL/\bar{D}_z$, C' , C'_0 : それぞれフロックブランケット層の任意の水平面および最下端における小フロック濃度, t : 時間, z' : フロックブランケット最下端からの垂直距離, L : フロックブランケット層の厚さ, $u = V_s/e$: フロックブランケット層内の平均流速, e : フロックブランケットの空間率, \bar{D}_z : フロックブランケット層における平均混合拡散係数。又、既成フロックによる小フロックの接触捕集反応は式—4で与えられる⁴⁾。

$$\frac{d\phi}{d\theta} = -\frac{3}{2} q \frac{(1-e)L}{D_p} \phi \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 D_p : 既成フロックの直径, q : 接触捕集効率で、直径 50μ 以上の小フロックに対しては $q \approx 0.1$ である⁴⁾。式—4を式—3に代入し、流入端で逆混合がなく、又、清澄部では小フロックの減衰がないものとして、定常状態で式—4を解いて $\varphi = 1$ における ϕ を求めると式—5のようである。

$$\phi_* = \frac{2K_* \exp(M)}{(1+K_*) \exp(K_*M) - (1-K_*) \exp(-K_*M)} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 ϕ_* : $\varphi = 1$ における ϕ 値で清澄部への漏出小フロック濃度, $K_* = \sqrt{1+2K_cL/M}$, $K_c = 3q(1-e)/2D_p$ 。そこで、 e , D_p および \bar{D}_z を知れば、式—5によって ϕ_* を算定できる。 e と D_p は後述するような方法で求められる。一方、 \bar{D}_z の測定はトレーサー法等によらねばならず、その測定が困難な場合には次のような簡便法によって ϕ_* を求めることができる。清澄部における混合拡散係数 D_{zc} は $\varphi = 1$ における混合拡散係数に等しいとみなせるので、まず $\phi_* = 0$ として測定濃度分布から D_{zc} を求め、この D_{zc} から \bar{D}_z を推算する。次いで、 \bar{D}_z を用いて求めた ϕ_* を測定濃度から差し引いて補正濃度分布を求め、再び上記の計算を行なって \bar{D}_z を推定して ϕ_* を計算する。以下同様の計算を繰返して ϕ_* の収束値を求めて漏出小フロック濃度とする。

注一) 既成フロック群が高濃度で懸濁浮遊しているフロックブランケット層内では、混合拡散係数 D_z は流入端からの距離 z' とともに変化するので一定ではないが、簡単のためその平均値を用いることとした。一方、単に水のみの水深 1 m 程度の清澄部では水流の乱れ等は殆んど減衰せず、その混合拡散係数 D_{zc} は変化しないものとして扱ひ得るので、 D_{zc} は $z'=L$ における D_z に等しいとみなし得る。

[注一] 筆者等³⁾ は孔中心間隔 1.5 cm、開孔率 20% の整流設備を用いて実験を行ない、 D_z に関して次式を得た。

$$D_z = Ue^{2z'/a(z'+b)} = V_s/a'(z'+b')$$

ここで、 a, a', b : 係数、 b は比較的小きな値であり、 z' が大きいときには $b \approx 0$ においても実用的には差しつかえない。

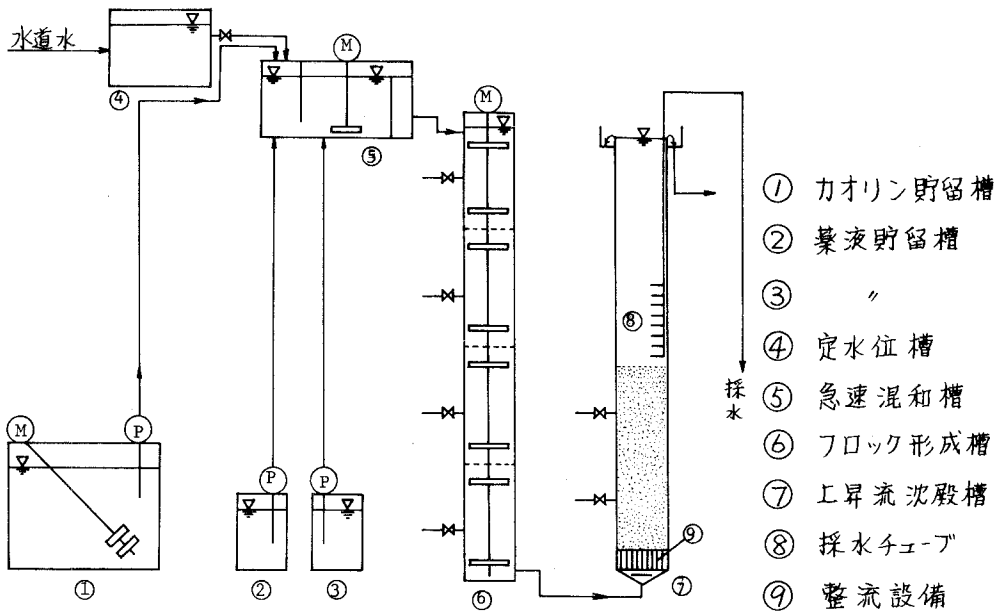
D_z の推算は b の値として既報³⁾ に示した b 値を代用し、次のようにして行なった。 $\phi_* = 0$ として求めた $D_{zc}(z'=L)$ における D_z から a' を求め、上式を積分して $z'=0 \sim L$ 間の D_z の平均値を第 1 次推算値とした。

3. 実験装置及び方法

3-1 実験装置

実験は図一 2 に示すようなフローシートに基づいて行なった。実験装置の概要は次のようである。

- i) 混和槽：35×30×60 cm の塩化ビニール板製で 3 槽に分けられており、第 1 槽では粗製カオリン懸濁液と水道水が加えられ、第 2 槽では PH 調整剤が添加され、第 3 槽では凝集剤が添加されて 250 rpm の急速攪拌が上昇流速 5 cm/min のときで 10 分間行なえるようになっている。
- ii) フロック形成槽：20×20 cm の水平断面を有する高さ 200 cm のアクリル板製の角型槽で、有孔仕切り板によって等容積の 4 室に分けられており、各室とも 2.5×19 cm の 2 枚の平羽根によって完全混合に近い状態の水流が得られるようになっている。攪拌は槽上部に取付けられ



図一 2 実験装置のフローシート

た駆動装置とギアによってなされ、30 rpmの緩速攪拌が13~40分間行なえるようになっている。

iii) 上昇流沈殿槽：フロックブランケットを懸濁浮遊する沈殿槽は20×20 cmの水平断面を有する高さ190 cmの亚克力板製の角型槽で、底部流入口直上には流入噴流の運動エネルギーを分散減殺するための阻流板が付され、その上部に種々の蜂の巣型整流設備が取り付けられ、不均一流入による池内水流の偏りを軽減し得るようになっている。又、側面にはフロックブランケットの厚さを任意に調節し得るようにスラリー引出し管が取り付けられている。

iv) 濁度測定用試料採取チューブ：清澄部のフロック群の垂直濃度分布を測定するために、内径約6 mmのガラス管が図-2に示すように上昇流沈殿槽の側面に縦方向に3 cm間隔に8個取り付けられている。ガラス管先端の開孔口は内径1~2 mmで、側壁内面より3 cmの位置に固定されている。試料はサイフォンによって採取される。

v) 沈降分析管： W_t と e を求めるために用いられた沈降分析管は側面にスケールを付した内径1インチの透明亚克力樹脂製の円筒で、その上部には不攪乱試料採取のためのバルブが付されている。試料採取後底部にゴム栓を付す。上端のバルブ取付面から下端のゴム栓上面までの有効高は106 cmである。

vi) 整流設備：実験に用いた整流設備は表-1のようで、板厚、孔中心間隔及び開孔率を変化させたものである。

表-1 多孔整流設備の種類

種類 諸元	A	B	C	D	E	F	G
孔 径(cm)	0.9	0.9	0.9	1.3	1.8	0.9	0.9
孔 数(個)	10×10	10×10	10×10	7×7	5×5	7×7	13×13
板 厚(cm)	5	10	15	15	15	10	10
孔中心間隔(cm)	2.0	2.0	2.0	2.9	4.0	2.9	1.5
開 孔 率(%)	15.9	15.9	15.9	16.3	15.9	7.8	26.9

3-2 実験方法

実験は上昇流速を5~15 cm/minの間で種々変化させ、次のような手順に従って行なった。
 ①あらかじめカオリン 100 mg 当り 0.4~0.5 mg のアルギン酸ソーダーを添加しておいた所定量のカオリン懸濁液を定量ポンプで混和槽に送り、濁度 100 ppm となるように定水位槽で計量した水道水で希釈混合する。
 ②ジャーテストで設定した条件に従って凝集剤注入後の PH が 6.9~7.2 となるように NaOH 溶液を、又、注入率が 40 ppm もしくは 30 ppm となるように硫酸アルミニウム (Al₂(SO₄)₃ · 18H₂O) 溶液をそれぞれ所定量ずつ定量ポンプで順に添加し、急速攪拌を行なう。
 ③次いで、生成された初期フロック群をフロック形成槽の上部から流入させて緩速攪拌を行なう。
 ④フロック形成後の懸濁液を上昇流沈殿槽に流入させる。
 ⑤同時に、同一薬注条件下で生成しておいた既成フロック群を沈殿槽の底部に静かに注入してフロックブランケットを構成する。
 ⑥フロックブランケットの既成フロック群が全てフロック形成槽からのフロックに置換されるまで連続運転し、引き続き側面のスラリー引出し管によってフロックブランケット厚を 70 cm に調整しつつ連続運転を行なう。
 ⑦フロックブランケットを十分安定させ

て定常状態に達せしめた後、濁度測定用チューブのコックを開いてチューブ内の水を捨て、澄清部の各水深からの試料をビーカーに採取する。試料の採取速度は試料が液滴となって落下する程度とし、できるだけ同一水平断面から試料を採取する。⑧試料をスターラーで十分攪拌してフロックを完全に破壊してからその濁度を測定する。⑨所定の時間経過後、フロックブランケットから既成フロック群スラリーを沈降分析管に不攪乱採取し、架台に垂直に静置して所定時間毎のスラリー界面高を測定する。

4. 実験結果と考察

式一2と式一5を用いて D_{zc} を求めるためには W_t , D_p および e を知らねばならない。しかしながら、フロックブランケット層内の既成フロックの体積濃度が高く、しかもフロック自体がぜい弱で破壊・変形性に富むので、個々のフロックを破壊することなく採取して W_t と D_p を測定することが困難であり、又、 e を直接測定することも難しい。そこで、フロックブランケットからスラリーを不攪乱採取して界面沈降試験を行ない、次のような間接的な方法によって W_t , D_p および e を求めた。式一6の界面沈降速度式から e と W_t を求め、又、フロックを正八面体と仮定して丹保等⁵⁾が与えた式一7の沈降速度式および式一8の密度関数から D_p を求めた。

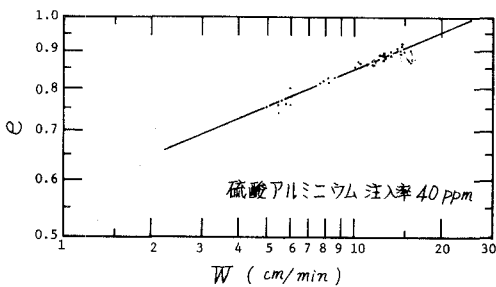
$$e' = (W/W_t)^n \dots\dots\dots (6)$$

$$W_t = g\rho_e D_p^2 / 34\mu \dots\dots\dots (7)$$

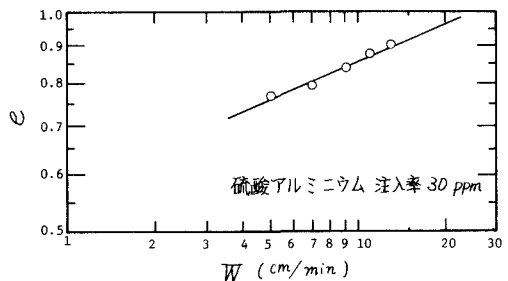
$$\rho_e = \rho_f - \rho_w = a/D_p^{K_p} \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 e' : 等速沈降時のスラリーの空間率で、後述するようにフロックブランケットの空間率にほぼ等しい。 W : スラリーの等速界面沈降速度、 ρ_e : フロックの有効密度、 ρ_f, ρ_w : それぞれフロックと水の密度、 g : 重力の加速度、 μ : 水の粘性係数、 n, a, K_p : 定数。

種々の整流設備を用いた場合の界面沈降曲線から凝集剤注入率 40 ppm と 30 ppm のスラリーに対する e' と W_t の関係を求めて両対数グラフに描くと図一3の(a)および(b)の直線のようなのである。この場合の e' は粒子同志が相互に接触し合った状態における空間率を 0.38 と仮定



図一3(a) Wとe'の関係



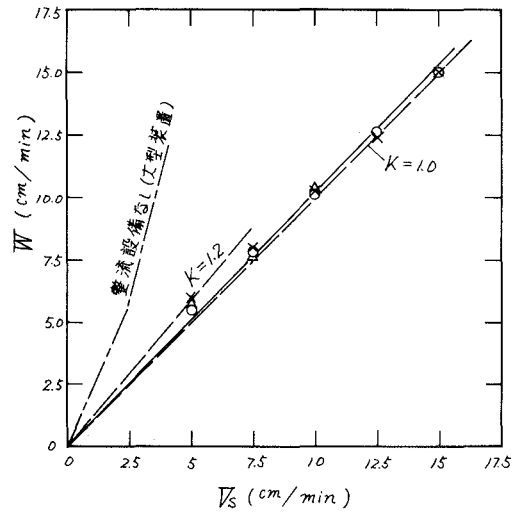
図一3(b) Wとe'の関係

して求めたものである。この値は球形粒子を不規則充填した場合の空間率の平均値である。⁶⁾ 図一3の直線から n を求めると、筆者³⁾が既に求めた結果と同じく $n \approx 0.17$ である。又、 $e' = 1$ の点に対応する W_t を求めると、凝集剤注入率 40 ppm で $W_t \approx 26 \text{ cm/min}$ 、凝集剤注入率 30 ppm で $W_t \approx 25 \text{ cm/min}$ である。

式一8の定数 a と K_p はフロックブランケット層の既成フロックに対する過去の実測結果では $a \approx 5.4 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ および $K_p \approx 1.41$ である²⁾。既成フロックは攪拌生成直後の新鮮なフロックに比して高い密度を有し、その密度は先行するフロック形成条件の影響を殆んど受けない。これは、既成フロックがブランケット層内に長時間浮遊滞留している間に水流のせん断等によって周密化作用を受け、より小さな一定の含水率を有するようになることによるものである。そこで、ここでも上記の a および K_p を採用して、図一3から求めた W_t と式一7および式一8から D_p を求めると、凝集剤注入率 40 ppm で $D_p \approx 0.12 \text{ cm}$ 、凝集剤注入率 30 ppm で $D_p \approx 0.11 \text{ cm}$ である。

以上の結果から、凝集剤注入率 40 ppm の場合には $W_t = 26 \text{ cm/min}$ 、 $D_p = 0.12 \text{ cm}$ 、凝集剤注入率 30 ppm の場合には $W_t = 25 \text{ cm/min}$ 、 $D_p = 0.11 \text{ cm}$ を用い、又、 e としては図一3の e' を用いて、 ϕ_* と D_{zc} を決定した。

次に、フロックブランケット層における水流の偏りについて検討する。図一4は種々の整流設備を用いた場合の W と V_s の関係を示したもので、両者の関係はほぼ直線で示される。水流の偏りはこの直線の勾配から次のように求められる。偏流の存在しない理想的な流況下ではスラリーの界面沈降速度 W と空塔上昇流速 V_s とは等しい。偏流あるいは死空間が存在して流れに対する有効断面積が減ずる場合には上昇流速は過大となり、フロックブランケットはこの上昇流速と平衡したより大きな空間率の状態では浮遊する結果、



図一4 W と V_s の関係

その空間率に対応したより大きな界面沈降速度を持つ。つまり、この場合の界面沈降速度は有効断面内を通過する上昇流速に等しい。ところで、フロックブランケット層内の実上昇流速は空塔上昇流速を対応する空間率で割ったものに等しい。したがって、偏流が存在する場合のフロックブランケット層の容量効率 E_B は式一9のように与えられる。

$$E_B = \frac{(V_s/e)}{(W/e')} \times 100 = \frac{1}{K_B} \cdot \frac{e'}{e} \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 $K_B = W/V_s$ で、図-4のように W と V_s の関係が直線で近似し得るときには直線の勾配で与えられる。理想的な流況下では $K_B = 1$ で、 $e = e'$ である。式-9 に式-6 の関係を代入すると次式のようになる。

$$E_B = K_B^{-(1-n)} \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

図-4 の直線から K_B を求めると $K_B = 1.0 \sim 1.2$ 程度で、これと $n = 0.17$ を用いて E_B を求めると 85~100% となり、ほぼ理想的な流況が得られていることを示している。この程度の E_B であれば、 e と e' は近似的に等しいとみなしてよい。図-4 には整流設備のない場合の実測例が併せて示されているが、整流設備を設けることによって容量効率を高め、装置の処理効率を著しく改善し得ることを示している。なお、図-4 の結果からは整流設備の構造の良否を明確に判断することはできない。

本実験における既成フロックの逸出は容量効率の高いほぼ理想的な流況下におけるもので、2 節に述べた方法によって求められる D_{Zc} は固液分離部における水流の良否を物理的に表わ

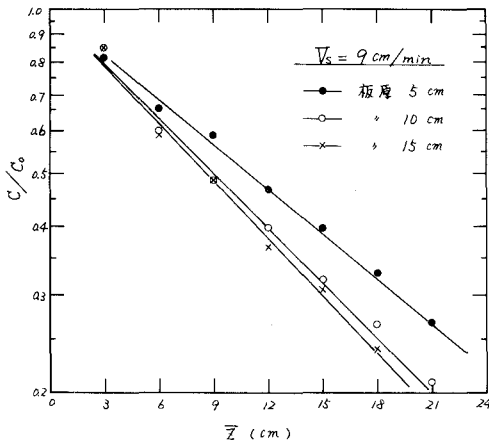


図-5(a) C/C_0 と Z の片対数プロット

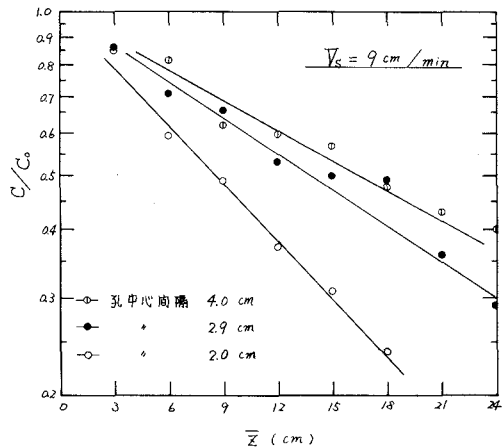


図-6(a) C/C_0 と Z の片対数プロット

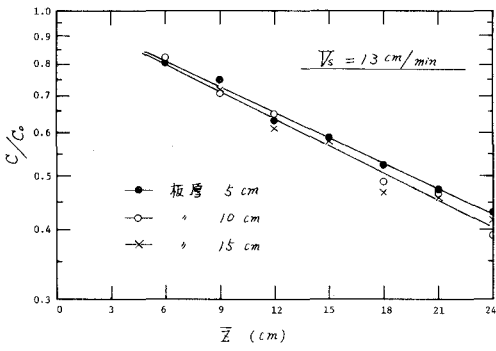


図-5(b) C/C_0 と Z の片対数プロット

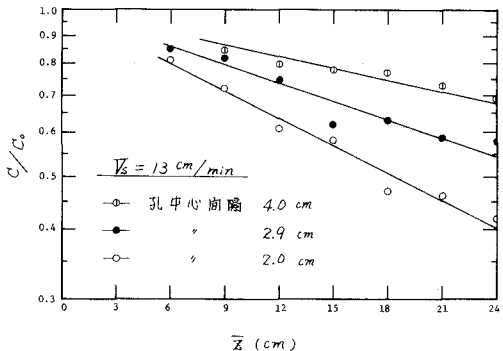
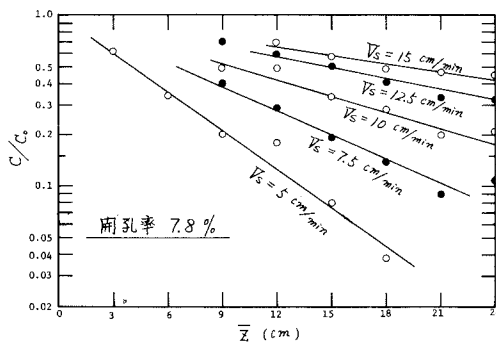


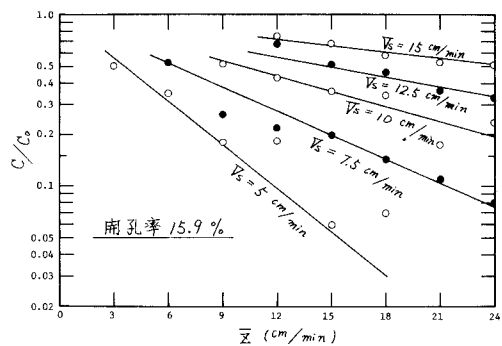
図-6(b) C/C_0 と Z の片対数プロット

すものと考えられる。又、フロックブランケットの既成フロック群は水流整正効果のある程度有しているが、この場合には整流設備の種類によらずその空間率(既成フロック群の体積濃度)は同一上昇流速下では同じであるので、以下に示す D_{zc} の相違は整流設備そのものの相違によるものと考えられる。

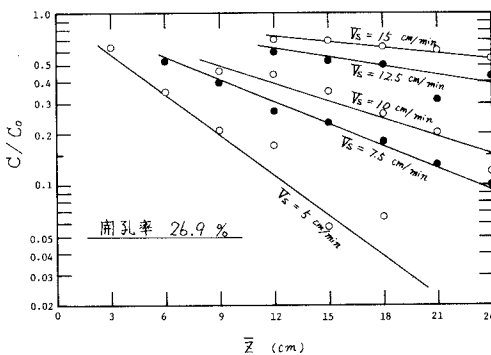
図一5は他の条件が同じで板厚のみが異なる整流設備A, B及びCを用いた場合の清澄部における既成フロックの垂直濃度分布を $V_s = 9 \text{ cm/min}$ と $V_s = 13 \text{ cm/min}$ の場合を例にとって示したものである。同様に、図一6は板厚と開孔率が等しく孔中心間隔が異なる整流設備C, D及びEを用いた場合の既成フロックの垂直濃度分布を $V_s = 9 \text{ cm/min}$ と $V_s = 13 \text{ cm/min}$ の場合を例にとって示したものである。この場合の整流設備はそれぞれの開孔直径を変えることによって、開孔率を変えることなく孔中心間隔を変化させたものである。又、図一7は板厚と開孔直径が等しく開孔率及び孔中心間隔が異なる整流設備B, F及びGを用いた場合の既成フロックの垂直濃度分布を V_s をパラメーターとして示したものである。既成フロックの



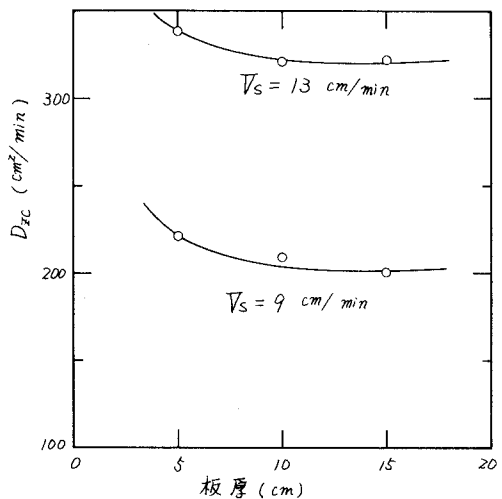
図一7(a) C/C_0 と \bar{z} の片対数プロット



図一7(b) C/C_0 と \bar{z} の片対数プロット



図一7(c) C/C_0 と \bar{z} の片対数プロット



図一8 D_{zc} と板厚の関係

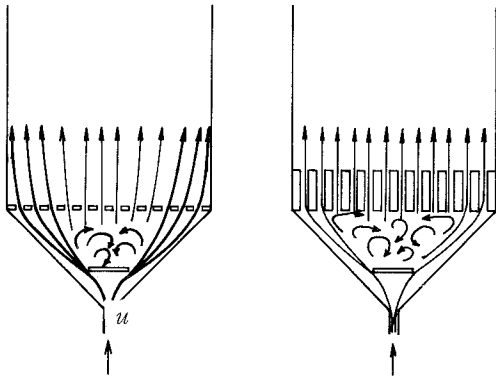
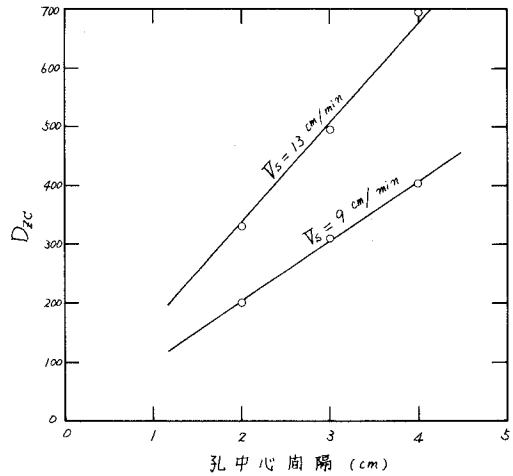


図-9 板厚の相違による水流の模式図

図-10 D_{zc} と孔中心間隔との関係

垂直濃度分布はいずれも片対数グラフ上で直線で近似することができ、この直線の勾配とときに求めた W_t 及び V_s から D_{zc} を求め得ることを示している。

図-5の直線の勾配から D_{zc} を求めると図-8のようである。板厚 15 cm の整流設備の D_{zc} を 1 とし、板厚による D_{zc} の相違を比較すると、板厚 10 cm では 1.0~1.05 倍、板厚 5 cm では 1.05~1.1 倍で、 D_{zc} は板厚によって若干異なる。図-9に模式的に示すように、水流はまず整流設備の下部に付された阻流板によって乱されて拡がるがこれのみでは完全ではなく、さらに整流設備を通過する際に抵抗を受けて全断面一様に拡がる。この場合、整流設備の板厚が極めて薄く開孔を通過する際の抵抗が小さいと、水は阻流板通過後の流れ方向に沿って開孔をそのまま素通りしようとするので、水流は全断面一様に拡がるまでには至らない。このときにはフロックブランケットの容量効率若干小さくなる。整流設備の板厚がある程度厚くなると、水流は開孔内壁に衝突して乱されその流向が変化するのでより大きな抵抗を受ける。そのため、水の一部は分配水量が少なく抵抗の小さい開孔部分に向って流れ、各開孔への分配はより均等化されて水流整流効果は高くなる。図-8はこのような板厚の効果を示している。しかしながら、本実験の板厚 5 cm 以上の整流設備では、 D_{zc} に及ぼす板厚の影響はそれほど大きくはなく、板厚 10 cm 以上の整流設備ではその水流整流効果はほぼ等しいものとみなし得る。

図-10は、図-6の直線の勾配から求めた D_{zc} を整流設備の孔中心間隔に対してプロットしたものである。 D_{zc} は孔中心間隔の増大とともに直線的に増大し、筆者等³⁾が既に推測したように D_{zc} は概略孔中心間隔に比例する。 D_{zc} はフロックブランケット界面 L における混合拡散係数 D_z に等しく、 D_z は流入端からの距離 z' とともに変化するが、整流設備直上 $z' = 0$ 付近の水流の混合状態に大きく左右される。整流設備の開孔を通過して流入してくる水は噴流となって上昇し、隣接する噴流と相互に衝突して乱されて混合し、全断面一様に拡がって上昇する。こ

の場合の衝突する噴流の幅は孔中心間隔に等しく、又、噴流が衝突する垂直距離は孔中心間隔に比例する。したがって、整流設備直上の乱れのスケールの最大寸法は縦横とも孔中心間隔によって規定される。又、噴流の変動速度はその軸上流速に比例し、噴流の衝突位置における軸上流速は噴流が全断面一様に拡がったときの流速で代表し得るので、整流設備上の乱れ強度はフロックブランケット層の実上昇流速に比例する。乱流場では拡散係数は混合距離あるいは現象を支配する渦のスケールと乱れ強度との積で定義されるので図-10の結果は混合距離が孔中心間隔に比例することを示すものと考えられる。

〔注-3〕流れの場合における拡散現象は分子拡散現象との対応類推によって取り扱われ、乱流場では時間平均速度からのずれ速度（乱れ強度）による物質輸送現象に関して混合距離を導入して乱流拡散係数を定義している。さらに、断面平均速度からのずれ速度による物質輸送では縦方向分散係数を導入し、これを乱流拡散係数と流速分布の関数として取扱ったりしている。ここでは流れの全ての影響を含んだものを混合拡散係数として扱っているため、混合距離に相当するようなスケール概念を単純には想定し得ないが、移流拡散における縦方向分散係数が乱流拡散係数と定数のみを異にする同一関数形で与えられていることから、みかけの混合距離といったものの想定が可能であると考えられる。なお、図-10の結果は等方性乱流場における乱れ発生格子背後の渦の平均径に関するテイラーの実験結果⁷⁾あるいは多孔媒体中における縦方向分散係数と粒子間距離との関係⁸⁾に符号するものである。

図-11は、図-7から求めた D_{zc} を V_s をパラメーターとして開孔率に対してプロットしたものである。ただし、 D_{zc} に及ぼす開孔率の影響をみるために、図-10の結果を考慮して縦軸には D_{zc} を孔中心間隔で割った値をとった。開孔率の増大に伴う D_{zc} の増加傾向は、 $V_s > 10$

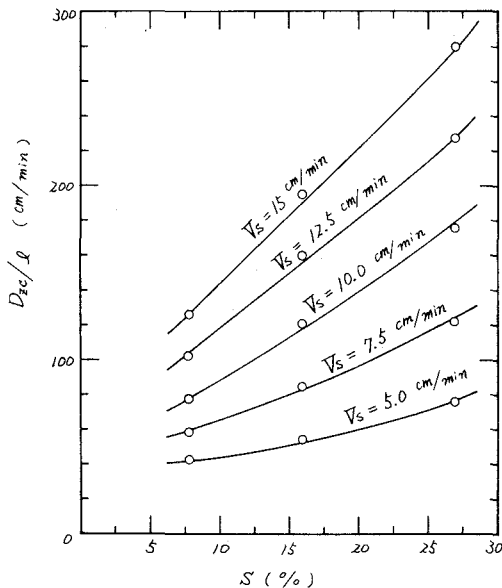


図-11 D_{zc}/l と s との関係

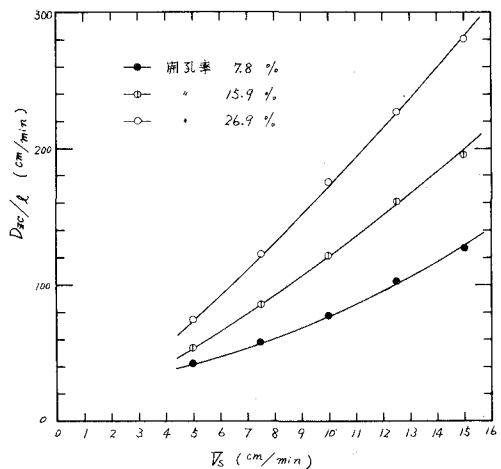


図-12 D_{zc}/l と V_s との関係

cm/min では比較的急激であるが、 $V_s=7.5$ cm/min では緩やかとなり、 $V_s=5$ cm/min ではさらに緩慢となっている。これは次のような理由による。開孔率が小さく孔中心間隔の大きい整流設備では、低上昇流速下で長時間連続運転を行うと既成フロックの一部が整流設備の非開孔部上面に沈殿堆積し、水は堆積フロックの間を通過上昇してゆく。上昇流速が極端に低い場合にはこの堆積フロックによって有効断面積が減じ、チャンネルリングや循環流が発生し池内水流は悪化する。観察によると、開孔率7.8%の整流設備では $V_s=5$ cm/min でかなりの堆積フロックがみられ、 $V_s=7.5$ cm/min においても若干の堆積フロックの存在が認められた。図-11の V_s による D_{zc} の変化傾向の相違は開孔率7.8%における低上昇流速側の D_{zc} に及ぼす堆積フロックの影響によるものと考えられる。なお、 D_{zc} そのものの値は $V_s=5$ cm/min では開孔率7.8%のときに最も大きく、 $V_s=7.5$ cm/min では開孔率7.8%と15.9%における D_{zc} はほぼ等しい値を示す。

図-12は、図-10の結果を横軸に V_s をとって各整流設備毎にプロットしなおしたものである。 D_{zc} は V_s の増大とともに大きくなり、両者の関係は次式のように示される。

$$D_{zc}/l = \zeta V_s^\eta \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 η , ζ : 係数、堆積フロックの影響のみられる整流設備Fの低流速時の D_{zc} の実測値を除外して図-11から η を求めると、整流設備によらず $\eta=1.2$ の一定値が得られる。 D_{zc} の $V_s^{1.2}$ なる関係は、注-2に示したように D_{zc} がフロックブランケット層の実流速 u の1乗に比例し、空間率の2乗に比例することによるものである。図-12の結果は $\eta=1.2$ として \bar{D}_z を推算したことの妥当性をも示すものである。ただし、堆積フロックの存在する場合の \bar{D}_z の推算は厳密には正確ではない。一方、図-12から各整流設備に対する ζ を求め、開孔率に対してプロットすると図-13のようである。係数 ζ には図-10に示した関係の比例定数やフロックブランケットの厚さの影響等が含まれるが、図-13の ζ の変化傾向は開孔率の相違によるものである。開孔率7.8%の整流設備の ζ を1として比較すると、開孔率15.9%では1.6、開孔率26.9%では2.2で、開孔率が大きくなるにつれて ζ の増加率は小さくなる。3点の実測結果から ζ すなわち D_{zc} と開孔率の関係を求めるのは危険であるが、おおまかな目安としてその関係を求めると、 $\zeta(D_{zc})$ は開孔率の0.6~0.7乗に比例する。

以上の結果から、整流設備の形状の D_{zc} に及ぼす影響は次のように示される。

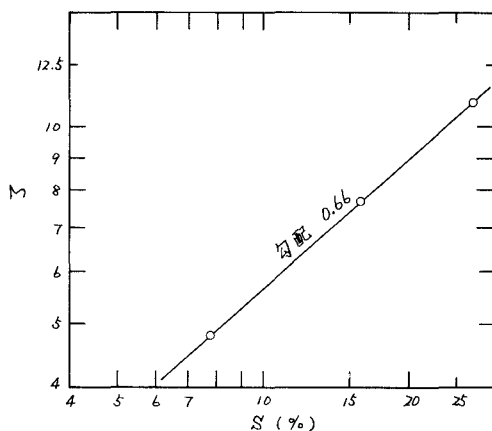


図-13 係数 ζ と S の関係

$$D_{zc}/l = \alpha \beta V_s^{1.2} \dots\dots\dots (12)$$

又は、注-2の結果と併せて D_{zc} は次式のように与えられる。

$$D_{zc} = \frac{\alpha \beta}{\gamma} \frac{s^\delta}{L/l} V_s^{1.2} \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 l ：孔中心間隔、 s ：開孔率、 α ： D_{zc} に及ぼす l の影響を表わす係数、 β 、 δ ： D_{zc} に及ぼす s の影響を表わす係数、 γ ：フロックブランケットの水流修正効果を表わす係数、係数 δ は上述の如く0.6~0.7程度である。

最後に、接触高速凝集沈殿池において採用すべき整流設備と水平流沈殿池におけるそれとの相違について述べる。水平流沈殿池では沈殿除去すべきフロックを破壊することなく池内水流を均等化するために、一般に開孔直径10 cm前後、開孔率6%程度の整流壁が用いられている。フロックブラケットを有する接触高速凝集沈殿池では攪拌部から沈殿分離部へ流入するフロックの直径を0.05~0.1 mm程度の大きさにまで成長させておくと、流入小フロックは式-4に示す接触捕集反応によって効率良く既成フロックに吸合一体化されて大型化するので、整流設備を通過する際の水によるフロックの破壊は問題とはならない。一方、接触高速凝集沈殿池では既成フロックが整流設備上面に沈殿堆積すると水流修正効果は悪くなる。すなわち、接触高速凝集沈殿池では堆積フロックの有無を考慮して水流修正効果を考えれば良い。したがって、その整流設備としては堆積フロックの無い最小の開孔率とし、できるだけ小径の開孔と密に配置して孔中心間隔を小さくすれば良い。実際の水処理においては、接触高速凝集沈殿池は通常安全を見込んで $V_s = 5 \text{ cm/min}$ 程度を標準にして設計、操作されているので、整流設備の開孔率としては15~20%が望ましい。整流設備を設けることによって標準上昇流速を従来のもよりも大きくとることが可能であるが、この場合でもある程度の余裕を見込んで開孔率10%以下の整流設備の採用は避けるべきであろう。

5. あ と が き

フロックブランケットを有する上昇流沈殿槽を用いて清澄部の混合拡散係数に及ぼす整流設備の形状の影響について検討を行ない、次のような結論を得た。

1. 整流設備の設置によって固液分離部の容量効率は著しく高められる。その効果は整流設備の形状には影響されない。
2. 混合拡散係数は板厚10 cm以上の整流設備ではほとんど変化しない。
3. 混合拡散係数は孔中心間隔に比例して増大し、又、概略の目安として開孔率の0.6~0.7乗に比例して増大する。
4. 開孔率が小さくかつ上昇流速が低くて既成フロックが整流設備上面に堆積する場合には混合拡散係数は大きくなる。

5. 接触高速凝集沈殿池においては整流設備の開孔率は15~20%程度が適当と思われる。

以上、整流設備の形状の混合拡散係数に及ぼす影響について検討したが、接触高速凝集沈殿池の改良の一助ともなれば幸いである。

(昭和53年5月20日受理)

文 献

1. 穂積 準, 丹保憲仁: 工業用水, 192, 17 (1974) ; 同, 192, 23 (1974) ; 同, 196, 37 (1975) ; 同, 214, 29 (1976)
2. 丹保憲仁, 穂積 準: 水道協会誌 417, 7 (1969)
3. 丹保憲仁, 穂積 準: 水道協会誌 425, 18 (1970)
4. 丹保憲仁, 穂積 準: 北大工学部研究報告 46, 1 (1968)
5. 丹保憲仁, 渡辺義公: 水道協会誌 397, 2 (1967)
6. 白井 隆, 流動層, 科学技術社 P 40 (1958)
7. 例えば, 藤本武助: 液体力学, 養賢堂 P 262 (1967)
8. 王井信行 水理科学 109 31 (1976)