

上向流型高速凝集沈殿池におけるブランケットの安定性について

九州大学工学部 正 員 栗谷 陽一

學生員 ○楠田 哲也

田中 纒彦

I. はしき 水処理における凝集およびフロック形成は沈殿、滲過とともに重要なプロセスを形成している。近年広く用いられるようになった急速凝集沈殿池は、凝集、フロック形成、沈殿の各々単一なプロセスを合せて一つの装置としたものである。この装置は沈殿時間が短くて済むこと、薬品使用量が少なくて済むこと、床面積が少なくて済むこと等の長所を有する反面、管理に高度の技術を要すること、水質変動および水量負荷の急変に順応しにくいこと等の短所をも有している。本研究は水量負荷の変動によるスラッジブランケット(以下ブランケットと略す)界面の挙動と、ブランケット層内および界面附近での濃度分布とを調べることによりブランケット層内での渦動拡散係数を求め乱流場における凝集およびフロック形成の機構を明らかにするとともに、各種凝集沈殿池の運転効率を改善することを目的としている。本論文ではブランケット層内の濃度が比較的高い場合の層内の渦動拡散係数およびブランケット界面の挙動について若干の考察を加えてみたい。

Ⅱ. 基礎理論 ブランケット層内の同一水平断面において現象は等しいものとして一次的に考える。 ブランケット層の下端を起点とし鉛直上向きにX軸をとると、フロックの保存式は、

$$\frac{\partial C}{\partial k} = -\frac{\partial}{\partial x} \{ (u-w) C \} + \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial C}{\partial x}) \quad (1)$$

ここで C : フロックの濃度 α : 渦動拡散係数

w : フロックの干渉沈降速度 t : 時間

$$u: \text{上昇流速} [= (\text{水量負荷}) / (\text{ブランクett層の断面積})]$$

(1) の右辺第一項は上昇流速とフロックの沈降速度との差に起因するフロックの増分を、第二項は拡散によるフロックの増分を示す。フロックの干渉沈降速度は次のように仮定する。

$$w = w_0 - dC \quad \text{-----} (2)$$

ここで w : フロツクの干渉沈降速度 C : フロツクの濃度

$$w_0$$
: フロックの単一粒子としての沈降速度 α : 係数

プランケット層内におけるフロックは離合集散を繰返すが、破壊してOVER FLOWすることはないと仮定すると、フロック量は常に一定となる。したがって次式が成立する。

$$\int_C^H C(x) dx = W = \text{const.} \quad (3)$$

ここで H : ブランケット層の下端から計ったブランケット層の高さ

W: ブランケット層内の単位垂直面積当りのフロック重量

渦動拡散係数および(2)の係数は濃度 c に関係しない常数とする。ある定常状態においてブラケット層内の濃度 c は一定であると仮定する。記号の添字[1]は初めの定常状態を、[2]は水量負荷変化後の定常状態を示す。水量負荷が増加する場合と減少する場合に分けて考察する。

1) 上昇流速(水量負荷)を減少させた場合 グランケット層の下部の濃度が上部より高くなる。
即ち $C_1 < C_2$ である。 $C = C(x')$, $x' = x - vt$ とおいて (1) を変形する。 境界条件は次のようになる。

$$x' \rightarrow -\infty \text{ で } C=C_2, \quad w=w(C_2)=w_2 \quad x' \rightarrow +\infty \text{ で } C=C_1, \quad w=w(C_1)=w_1$$

$x'=0$, $x'=-vt$ における濃度を C_2 と近似し、(2),(3)を考慮すると次の解を得る。

$$t = \frac{k}{\alpha^2 C_2 (C_2 - C_1)} \left[\log e \frac{C_3 - C_1}{C_2 - C_1} - \frac{C_2}{C_1} \log e \frac{C_2 - C_1}{C_2 - C_1} \right] \quad (4)$$

$$H = H_2 + \frac{k}{\alpha C_2} \log e \frac{C_2 - C_1}{C_3 - C_1} \quad (5)$$

ここで C_3 : ブランケット界面でのフロック濃度 H_2 : $t=\infty$ のときの H

したがって C_3 をパラメータとして、ブランケット層の高さ H と時間 t の関係がえられる。この状態を図的に示すと図-1 のようになる。ここで A-B-C はブランケット界面(上端)の挙動を、O-B は濃度 C_1 と C_2 の界面の挙動を、 H_1 , H_2 は定常になった時のブランケット層の高さをそれぞれ示している。なお渦動拡散係数 $k=0$ と仮定すると A-B と O-B は各々直線となる。

2) 上昇流速(水量負荷)を増加させた場合 この場合は $C_1 > C_2$ である。上昇流速を増加させた後は

$$u = w_2 = w_0 - \alpha C$$

となり、1) の場合と同様にして次のようにおく。

$$x' = x - vt, \quad v = \alpha C_1 \quad (6)$$

$$C' = C - (C_1 + C_2)/2 \quad (7)$$

以上4式により(1)は次のようになる。

$$\frac{\partial C'}{\partial t} = -2\alpha C' \frac{\partial C'}{\partial x'} + k \frac{\partial^2 C'}{\partial x'^2} \quad (8)$$

境界条件は次のようになる。

$$x' \rightarrow +\infty \text{ で } C' = (C_1 - C_2)/2 \quad x' \rightarrow -\infty \text{ で } C' = (C_2 - C_1)/2 \quad (9)$$

(8), (9) の近似解を求めるために

$$C' = C'(\xi), \quad \xi = x'/f(t) \quad (10)$$

とおくと(8)は次のようになる。

$$\frac{\xi}{f} \frac{df}{dt} \frac{dC'}{d\xi} = 2\alpha C' \frac{1}{f} \frac{dC'}{d\xi} - \frac{k}{f^2} \frac{d^2 C'}{d\xi^2} \quad (11)$$

(11) が f とともにに関する常微分方程式となるためには、A, B を常数

として

$$2\alpha C' \frac{dC'}{d\xi} = A \xi \frac{dC'}{d\xi} \quad (12)$$

$$k \frac{d^2 C'}{d\xi^2} = -B \xi \frac{dC'}{d\xi} \quad (13)$$

(12),(13)を(11)に代入して $t=0$ で $f=0$, $t=\infty$ で $f=\infty$ $f/t \rightarrow 1$ とすると $A=1$

として

$$t = f - B \log e \left(1 + \frac{f}{B} \right) \quad (14)$$

(12), (13)は同一の関係を与えなければならぬ。(12)と(13)を満足

する解は

$$C' = \begin{cases} (C_1 - C_2)/2 & \xi \geq \alpha (C_1 - C_2) \\ \xi/2\alpha & |\xi| < \alpha (C_1 - C_2) \\ (C_2 - C_1)/2 & \xi \leq -\alpha (C_1 - C_2) \end{cases} \quad (15)$$

(13)と(9)を満足する解は

$$C' = \frac{C_1 - C_2}{2} \left(2B/\pi k \right)^{\frac{1}{2}} \int_0^{\xi} e^{-(B\xi^2/2k)} d\xi \quad (16)$$

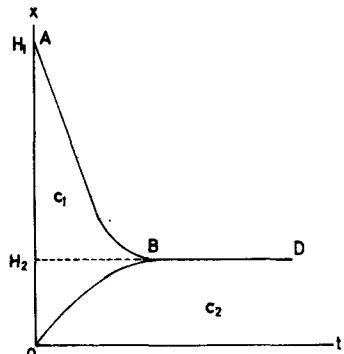


図-1 水量負荷減少時の界面の挙動

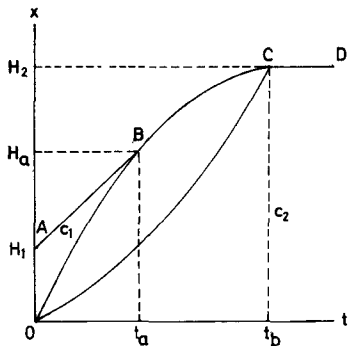


図-2 水量負荷増加時の界面の挙動

(15)と(16)の C' の値の差を $0 < \delta < \infty$ の範囲で積分したものが0に等しいとおくことによつてこれらの解が近似的に同一であるとみなしてBを求める。すなわち

$$B = 2k / \{ \pi d^2 (\Delta C)^2 \} \text{----- (17)} \quad \Delta C = (C_1 - C_2) / 2 \text{----- (18)}$$

(6),(7),(10),(15),(17),(18)を用いると C を x と t との関数として求めることができる。したがつてこの関係と(3),(15)を用いるとブラケットの高さ H の変化が求められる。結果は(15)にしたがつて三段階に分けられる。濃度変化の境界を x_a, x_b とし $x > x_a$ では $C=C_1, x < x_b$ では $C=C_2$ とすると(6),(10),(15)から

$$x_a = d(C_1 t + 2\Delta C \cdot f) \text{----- (19)} \quad x_b = d(C_1 t - 2\Delta C \cdot f) \text{----- (20)}$$

a) $H > x_a$ のとき ----- H は一定速度で上昇する。

$$H = W/C_1 + 2\alpha \Delta C \cdot t \text{----- (21)}$$

t の上限は $H=x_a$ となる時刻 t_a であり(14),(19),(21)から

$$C_1 f_a - 2\alpha C_2 (1 + f_a/B) / \{ \pi d^2 (\Delta C)^2 \} = W/dC_1 \text{----- (22)}$$

上式により f_a が求まると(14),(17)から t_a, H_a が求まる。

b) $x_b < H < x_a$ のとき ----- H の上昇速度は漸減する。

$$H = dC_1 t + 2\alpha f \left\{ \left\{ W/(\alpha f) + C_1 C_2 (1 - t/f) \right\}^{1/2} - (C_1 + C_2)/2 \right\} \text{----- (23)}$$

(14),(19),(23)から t と H の関係が求まる。 $H=x_b$ となる時刻を t_b ,そのときの H を H_b とすると(20),(23)により

$$H_b = 2\alpha f_b \left\{ W/(\alpha f_b) + C_1 C_2 (1 - t_b/f_b) \right\}^{1/2} - \alpha f_b C_2 = W/C_2 \text{----- (24)}$$

c) $H < x_b$ のとき ----- H は一定の値におちつく。(14)と(24)から t_b が求まる。

$$t \geq t_b \text{ で } H = W/C_2$$

この状態を図-2に示す。A-Bは直線、B-Cは曲線、C-Dは直線となる。図-3,4に計算結果を示す。

III. 実験装置と方法

長さ2.2m, 内径32mmのガラス管を使用した。管断面のいたるところで一様な上昇流をえ, またflocの逆流を防ぐために管の下端にG1のガラスフィルターをつけてある。ヘッドタンクを下った水は流量計を通過後このフィルターを通り管内を上昇し, 管の上端からのOVER FLOWするようになっている。この管の上端から下端までスライド可能な台に豆球を用いた光源とフォトランジスタとこのスライド台のレベルを電気的に示すための接点が取付けられている。光源とフォトウの角度は90°でフォトウはフロックによる反射光を受光するようになっている。したがってフォトウの電流はフロックの濃度に比例するものと考えられる。スライド台に取付けられた接点の対の接点は別の支柱に1cm間隔に設けてある。使用flocは水道水(アルカリ度84°, pH7.2, 水温23.1°C)と市販のカオリン50%を混和した原水にバンド($Al_2(SO_4)_3$)40%を注入後S製ゼータスタにて90rpmで30秒間攪拌し, 更にセパラン2610を20%注入し, 90-60-30rpmで各々10分間攪拌し15分間静置後上澄水を捨てさりえたものである。

番号	上昇流速 mm/sec	最終フ ロク高 cm	最終濃度 mg/cm ³	界面移動 動方向	推定平均 拡散係数	(2)の係数 α cm/sec	理論式で 求めた t_a sec	理論式で 求めた t_b sec
1	2.625	158.5	18.79	下	1.0	7.849	699.3	
2	1.832	103.1	28.89		1.6	7.849	309.5	1484.5
3	2.625	158.5	18.79		1.0	7.018	645.1	
4	1.486	85.0	35.02	下	1.0	6.966	235.5	1652.9
5	2.625	159.5	18.67		1.0	6.397	648.4	
6	1.359	77.4	38.48	上	0.7	6.254	213.9	1932.8
7	2.627	163.9	18.17		1.0	6.320	522.0	
8	0.637	59.9	49.70	下	1.0	6.358	128.7	1803.9
9	2.639	163.9	18.17		—	—	519.8	
10	0.548	55.1	54.05	上	0.8	5.830	116.7	1944.1
11	2.629	162.8	18.28		—	—	—	

表-1 ブラケット界面の挙動と推定平均拡散係数

*図-1に相当する場合の t_a は $t=0$ のときの値を示す。他は $t=1$ のときの値を示す。

IV. 実験結果

結果を表-1に示す。最終濃度は(フロック重量)/(最終ブランケット高)で求めた。フロック重量は実験終了後管内に存在したフロックの乾燥重量である。推定平均拡散係数は(2)の係数 α を理論式に代入して計算した結果を描いた理論曲線と実験値から求めた曲線を重ねることにより推定した。上昇流速が減少する場合の例(表-1の5~6に相当)を図-3に示す。図-1のB点附近で拡散効果が特に生ずるので図-3ではその附近のみを示した。フロック濃度の低いところ即ちブランケットの高いところでは渦動拡散係数が小さく、フロック濃度の高いところではこの逆になっている。また定常状態への到着にかなりの時間を要する。上昇流速が増加する場合の例(表-1の10~11に相当)を図-4に示す。渦動拡散係数については図-3の場合と同様のことがいえる。また α が小さいほど図-2における t_a が長く、 t_b が短い。表-1から分るように定常状態間のフロック濃度差が大きいほど t_a は小さく t_b は大きくなっている。

V. 考察

ブランケット管内での濃度を一定と仮定したが実験結果と理論値がかなりの一致を示すことからこの仮定がほぼ正しいと推察される。本実験においては、 $k=1$ であるが、実際には $k=k(c)$ と考えられこの傾向は図-3,4からも推察される。水量負荷の増加時と減少時の両者において k の値がほぼ一致することは k を用いてフロック形成を論じうる可能性の裏づけとなりうると思われる。なお水量負荷の増加時と減少時のブランケットの上端の挙動 H_{cm} に差が生じるのは図-4においては図-2のOCに相当するものが存在しないからである。

VI. むすび

本実験では、測定方法およびデータの補正法に不備な点があり今後更に改良してフロック濃度の稀薄な場合についても実験を行ないたい。本論文の計算には、九州大学中央計数施設のOKITAC-5090-H電算計算機を使用した。

文献

JAWWA, Vol 140 NO.2 1948 P113

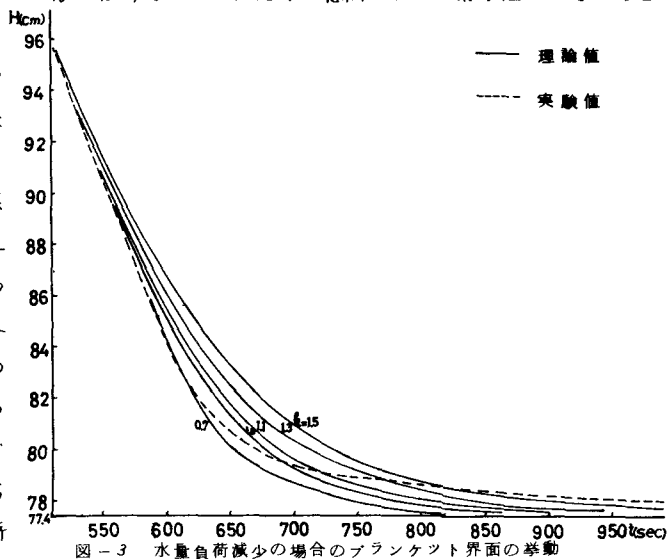


図-3 水量負荷減少の場合のブランケット界面の挙動

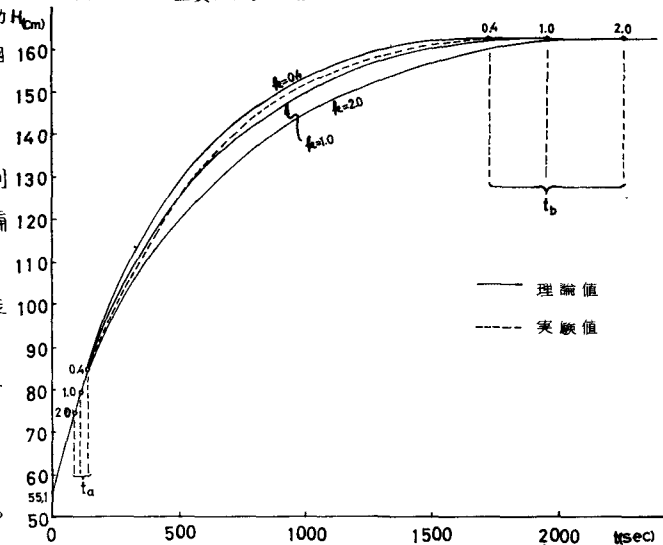


図-4 水量負荷増加の場合のブランケット界面の挙動