

九州大学 工学部 正員 上田 年比古
同 正員 笠口 英昭
同 〇学生員 平野 信久

1. 序 急速ろ過池の逆流洗滌時に膨張砂層表面から排出される汚泥濃度の時間変化は、ろ層の不定常膨張時に高濃度の汚泥が急激に排出され、ろ層が定常状態に達した後、低濃度の緩慢減衰部が続く。前報²⁾での実験では、実験室内での小断面ろ過池を用いた単純化されたモデルのもとで行なったが、実際のろ過池では、流動化したろ層内に生ずる砂流、ろ層表面から排出トラフまでの木域（上部木域）での乱流拡散、さらにまた、上部木域を上昇する排出汚泥粒子の持つ沈降性などのため、トラフから排出される洗滌水の濃度の減衰はかなりゆるやかになっている。本報では、上述の諸点を考慮してトラフからの排出濃度の減衰を論じるために、まずろ層内および上部木域での拡散係数の推定と粒子の干渉沈降速度を考慮した場合の上部木域の濃度の拡散を考察した。

2. ろ層内と上部木域での拡散係数の算定 図-1のようなアクリル製実験塔(30cm×15cm)を使い、塩水をフィルター入口より注入し、ろ層内ではフィルター最上部および膨張ろ層表面直上にブルーを固定し、また上部木域では膨張ろ層表面直上と、そこから60cm上にブルーを固定し、塩分濃度計により濃度変化を測定した。この結果を図-2,3に示す。いまろ層内、および上部木域では次の拡散方程式が成立するとし、 $x=0$ での境界条件³⁾は実験結果より与えることにした。

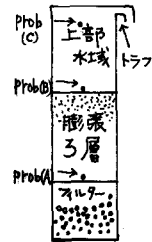


図-1

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{---(1)}$$

初期条件: $C(x, 0) = 0$
境界条件: $C(0, t) = f(t)$, $C(\infty, t) = 0$ } (2)

ここに C : 塩分濃度 u : 空筒速度 D : 拡散係数
 x : ろ層ではろ層下端、上部木域では膨張ろ層表面を0として上方にとった距離とする。

i) ろ層境界条件を $f(t) = C_0(1 - e^{-\alpha t})$ --- (3)

で与えると、(1)式の解は

$$\left. \begin{aligned} C(x, t) &= \frac{2C_0}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{ux}{2D}\right) \int_0^\infty \exp\left\{-\left(\lambda^2 + \frac{\alpha^2}{\lambda^2}\right)\right\} d\lambda \\ &- \frac{2C_0}{\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{ux}{2D} - \alpha t\right) \int_0^\infty \exp\left\{-\left(\lambda^2 + \frac{\alpha^2}{\lambda^2}\right) + \frac{\alpha x}{4\lambda^2}\right\} d\lambda \end{aligned} \right\} \quad \text{---(4)}$$

ここに $\alpha = \frac{u^2}{4D}$, $\beta = \frac{x}{2D\alpha}$, $\lambda = \frac{x}{2(D\alpha - x^2/4D)}$

なお(4)式で $\alpha < u^2/4D$ の場合は(5)式となる。

$$\left. \begin{aligned} C(x, t) &= \frac{C_0}{2} \left\{ e^{4\alpha} \operatorname{erfc}\left(\beta + \frac{\alpha}{\beta}\right) + \operatorname{erfc}\left(\beta - \frac{\alpha}{\beta}\right) \right\} \\ &- \frac{C_0}{2} \exp(2\alpha - \alpha t) \left\{ e^{2\alpha} \operatorname{erfc}\left(\beta + \frac{\alpha}{\beta}\right) \right. \\ &+ \left. \frac{C_0}{2} \exp(2\alpha - \alpha t) \left\{ e^{-2\alpha} \operatorname{erfc}\left(\beta - \frac{\alpha}{\beta}\right) \right\} \right\} \end{aligned} \right\} \quad \text{---(5)}$$

ここに $\gamma^2 = \frac{x^2}{4D} \left(\frac{u^2}{4D} - \alpha \right)$

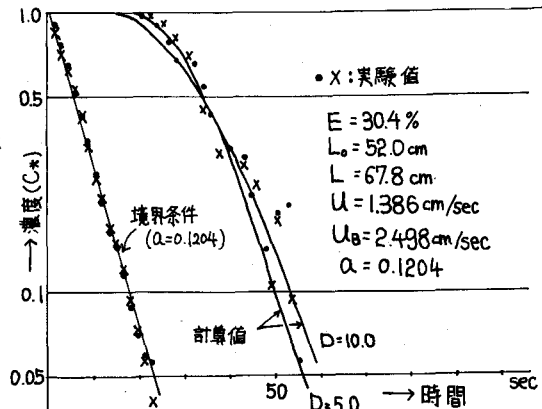


図-2

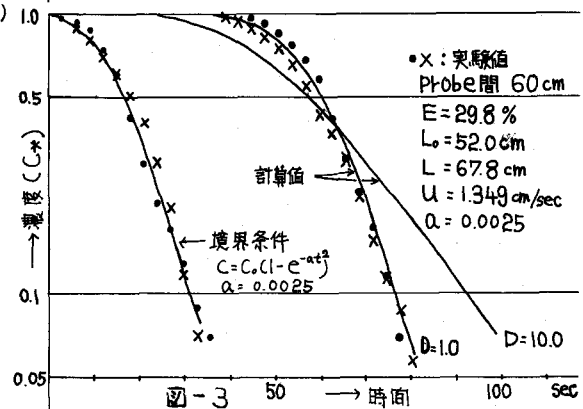


図-3

境界条件(3)式の u を各膨張率の実験結果から与え、代式または(5)式の w を変化させて計算し、膨張層層表面位置の濃度曲線の計算値と実測値が一致するような D を求めた。一例を図-2に示す。こうしてえられた拡散係数は膨張率10%~50%で $D=5.0\sim 10.0\text{ cm}^2/\text{sec}$ の値をとり、膨張率の増加による変化は認められなかった。

ii) 上部水域境界条件を $f(t)=C_0(1-e^{-at})$ ……(6)を与えると(1)式の解は

$$C(x,t)=\frac{2C_0}{\sqrt{\pi}}\exp\left(\frac{ux}{2D}\right)\int_0^{\infty}\exp\left\{-\lambda^2\left(1+\frac{u^2}{4\lambda^2}\right)\right\}d\lambda-\frac{2}{\sqrt{\pi}}\exp\left(\frac{ux}{2D}\right)\int_0^{\infty}\exp\left\{\left(t-\frac{x^2}{4D\lambda^2}\right)\lambda-\lambda^2\left(1+\frac{u^2}{4\lambda^2}\right)\right\}d\lambda\text{-----}(7)$$

る層内と同様にして膨張層層表面から60cm上のブロープ位置での濃度曲線について求めた拡散係数は膨張率10~50%で $D\approx 1.0\text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度となった。また小断面(5cm x 10cm)実験塔による実験結果もほぼ同じ D の値が得られた。

3. 上部水域で粒の沈降性を考慮した拡散について

C を汚泥の体積濃度、 u を空層速度、 w を干渉沈降速度、 D を拡散係数とすれば汚泥の沈降速度を考慮した拡散方程式は

$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[C(u-w)] = \frac{\partial}{\partial x}(D\frac{\partial C}{\partial x})$ ……(8) D を一定とし、また w を濃度 C の関数とすれば $\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial C} \cdot \frac{\partial C}{\partial x}$ となるので(8)式は $\frac{\partial C}{\partial t} + \{(u-w)-C\frac{\partial w}{\partial C}\}\frac{\partial C}{\partial x} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ ……(9) また $w/w_0 = e^{-(1-C)^n}$ (w_0 :単粒沈降速度、 e :空隙率)だから

$\frac{\partial C}{\partial t} + \{u-w_0(1-C)^n + nw_0C(1-C)^{n-1}\}\frac{\partial C}{\partial x} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ ……(10) いま $(1-C)^n$, $(1-C)^{n-1}$ をTaylor展開して二次の項までとると(10)より $\frac{\partial C}{\partial t} + (u-w_0)\frac{\partial C}{\partial x} + nw_0\frac{\partial C^2}{\partial x} - \frac{n}{2}w_0(n-1)\frac{\partial C^3}{\partial x} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ ……(11) いま

境界条件として膨張層層表面で高濃度の排水がでてこれが減衰する場合を考えて $C(0,t)=C_0e^{-at}$ ($C_0=0.5$)……(12) として $x=X\text{ cm}$ の排出濃度曲線を(11)式の数値計算により求めた。この場合フロックの単粒沈降速度 $w_0=1.0\text{ cm/sec}$, $n=3$, $\alpha=0.0192$ を用いた。またこれと比較するため w を考慮しない次の拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{初期条件: } C(x,0)=0 \quad \text{境界条件: } C(0,t)=C_0e^{-at}, \quad C(\infty,t)=0 \text{-----(13)}$$

についても計算した。図-4に干渉沈降を考慮した場合と考慮しない場合のトラフから流出する濃度の時面変化を示す。 w を考慮した場合トラフからの濃度の始めはややおくれるが、始めると急激に高濃度の汚泥が排出され、その後低濃度のゆるやかな減衰が稀く。この傾向は上部水域が存在する実際のろ過池の排出濃度の減衰がかなりゆるやかなことをよりよく説明していると考えられる。

4. むすび 本実験においてろ層内の塩分濃度の測定によりえられた拡散係数の値は5~10 $\text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度であった。実際のろ過池での逆流時にはろ層内に発生する砂流の影響で拡散係数の値がいくぶん増大し、それが逆流終期の低濃度減衰部において濃度の排出を遅延させることが考えられるが、この点についてはさらに検討したい。また上部水域での塩分濃度の測定によりえられた拡散係数は1.0 $\text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度であった。なお上部水域においては、膨張砂面からトラフまでは一般に60cm程度の高さがあり、この場合フロックの干渉沈降速度を考慮すること、濃度のゆるやかな減衰のパターンを説明できるようなのである。

参考文献

(1) 上田、笠口、下茂: 各種ろ過池の逆流効果に関する実験的考察, 土木学会第31回年次講演会講演概要集(1976.10)

