

京大・工・正員○松田 譲
京大・工 幸前清喜
京大・工 塩山欣春

既存浄水プロセスにおいて溶解性水質の除去を净水の目的に加え、フロック形成池をコントロールすることによって水和塩金属イオンなどのフロックへの取り込みをはかるときには、形成池内のC値を高めフロック径の成長を抑えることによって吸着能の高揚をはかる必要が生ずる。この場合、沈降速度不足から後続する沈殿池では傾斜板などの設置により処理能力の増加をおこなわなければならぬが、こういった微細フロック流入における傾斜板沈殿池の合理的設計法の基礎として粒度分布変化のモデルを取りあげ模型実験、数値シミュレーションをおこなった。

1. 傾斜板沈殿池のモデル

本研究では池内の水質変化のモデルとして近似的ではあるが次の定常・流下方向一次元のモデルを採用する。

$$-u \frac{dc}{dx} + D \frac{d^2c}{dx^2} - \frac{w_c}{h} (1-R) + \phi_c = 0 \quad (1)$$

ここに、 x : 流下方向座標、 C : 汚質重量 c (下に示す理由により)の粒子の重量濃度($n \cdot v$)、 n : 粒子重量 c の粒子数濃度、 u, D : 流速と拡散係数、 w : 沈降速度、 R : 傾斜板間鉛直距離、 ϕ_c : 再浮上など沈降に関する補正パラメータ、 ϕ_c : 凝集による変化を示す。フロック破壊を無視できるときには、 ϕ_c は $K(v, v')$ を凝集定数、 α を有効衝突効率として、

$$\phi_c = \alpha v \left\{ \frac{1}{2} \int_0^v K(v, v-v') n(v) n(v-v') dv' - n(v) \int_v^\infty K(v, v') n(v') dv' \right\} \quad (2)$$

となるが、フロックの場合、密度が体積によつて変化することを考えるとひの解釈としては衝突によって保存される量であるフロック中の汚質重量とみなさなければならぬ。つぎに式(1)中の拡散項については Fig-1 に示す模型池から別途得られた拡散係数値を使用しその効果を推定してみると Pelet 数が模型池にて 11~18、現地では 170 (水深 3m、全長 30m、ピット 10cm、流速 0.5cm/秒)となりほとんど無視することができるから以下の解析では無視することにする。

2. 数値計算手法

式(1)の数値計算特に ϕ_c の取り扱いに関しては単位粒の整数倍に離散化したりモルタル法などがある

で行われているが、ここでは(1)

計算負担が少く、(2)広範囲

かつ(3)容易なプログラムで、(4)

实用による精度で解くといった

立場から区分積分法を採用し

計算をおこなった。この方法

は y 軸を m 図に区切り区

間内の $C(v)$ を一定値 C_{ij} ($i=1 \sim m$)

と近似し、式(2)中の積分をあ

らかじめのさせることによつて C_{ij} の

m の連立微分方程式を作らう

法であり、 v_0, v_1, \dots, v_m によって

y 軸を区切った時には、式(1)は

Fig-3 数値手法の検討例
COMPARISON OF THE NUMERICAL SOLUTION AND ANALYTIC SOLUTION

constant coagulation coefficient K , no deposition
of sections=20
 $dt = 0.05KN_0$

numerical solution
analytic solution

initial distribution
 $t = x/u$

$T = (1+0.5 KN_0 t)$

$V = v/v_0$

$n_v(v) = n(v) \cdot v/N_0$

$n_v(v) = T^2 v \cdot \exp(-TV)$

$N_0 = \text{initial numbers of floc}$

$v_0 = \text{total volume of floc}$

non-dimensional density of floc volume, $n_{v'}(v)$

non-dimensional floc volume v/v_0

Fig-2 $K_{i,j}, K_{i,j+1}$ など

$K_{i,j+1}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-1}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-2}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-3}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-4}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-5}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-6}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-7}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-8}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-9}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-10}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-11}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-12}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-13}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-14}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-15}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-16}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-17}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-18}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-19}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-20}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-21}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-22}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-23}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-24}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-25}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-26}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-27}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-28}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-29}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-30}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-31}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-32}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-33}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-34}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-35}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-36}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-37}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-38}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-39}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-40}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-41}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-42}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-43}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-44}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-45}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-46}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-47}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-48}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-49}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-50}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-51}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-52}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-53}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-54}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-55}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-56}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-57}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-58}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-59}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-60}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-61}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-62}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-63}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-64}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-65}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-66}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-67}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-68}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-69}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-70}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-71}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-72}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-73}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-74}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-75}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-76}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-77}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-78}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-79}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-80}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-81}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-82}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-83}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-84}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-85}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-86}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-87}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-88}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-89}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-90}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-91}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-92}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-93}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-94}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-95}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

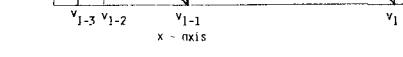
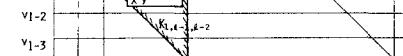
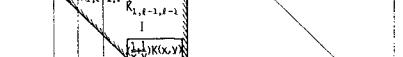
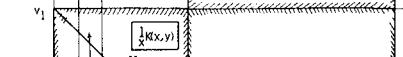
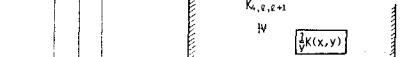
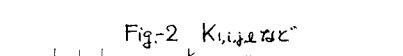
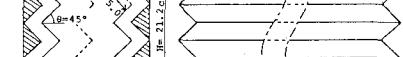
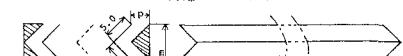
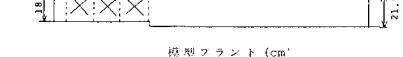
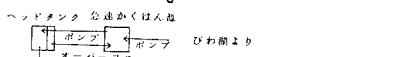
$K_{i,j-96}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-97}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-98}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-99}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$

$K_{i,j-100}$ $\frac{1}{x} K(x, y)$



$$U(V_{i-1} - V_{i+1}) \frac{dC_i}{dx} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{L-1} K_{ij} C_j + C_0 \sum_{j=1}^{L-1} K_{jil} C_l - \frac{1}{2} K_{3il} C^2 - C_0 \sum_{i=L}^m K_{il} C_i - W_i C_i$$

となる。ここに K_{ij} , K_{il} とは Fig.-2 に示される領域 I ~ IV 内のメッシュで四角に囲まれた要素を積分したものであり、 W_i は W_i ($-l$) の値を (V_{i-1}, V_{i+1}) で積分したものである。 V_{i-1} の区分について $i < 2$ の条件下では K_{ij} は $j = l - 1$ あるいは $j = l + 1$ を除き 0 となるから計算はより簡単である。式(3)の妥当性として Fig.-3 は $K(x, y) = \text{定}$, $W = 0$ の場合の解析解との比較を示している。この計算は x については RKG 法を用いた所要 CPU は K_{ij} の計算を含め 100 ステップで 0.5 秒であった。

3. モデルの検証および現況池への適用

実際計算に使用した拡算定数 $K(x, y)$ については層流流速分布、沈降速度差が主因であると考えられるから具体的には、式(2)をもじって。

$$K(x, y) = \frac{1}{6} G \left[\frac{6(p_e - p_s)}{\alpha \tau_p} \right]^{\frac{2}{3}} \left(x^{\frac{1}{3}} + y^{\frac{1}{3}} \right) + \frac{x \alpha \theta}{\tau_p} \left[\frac{6(p_e - p_s)}{\alpha \tau_p} \right]^{\frac{4}{3}} \left(x^{\frac{2}{3}} + y^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{2 \tau_p}{x^{\frac{1}{3}} + y^{\frac{1}{3}}}$$

ここに α, τ_p は有効密度関数 $p_e = ad^{-k_p}$ のパラメータ, p_e, p_s は水、沈殿物の密度であり、 G としては板間流速差により生ずるスループ (p_e : 板間距離) を使用した。対応とした実験は Fig.-1 の槽にびわ湖湖水に硫酸アルミニウム 30 ppm を葉注入したものと用い、沈度直としてはスルード (湖泥を加え高濃度とした場合には 19 度 ~ 28 度) であった。有効密度関数としては同一条件で別途測定した $p_e = 1.55 \times 10^{-4} d^{1.10}$ (cm, g/cm³) を使用し、沈度と x の間に線型を仮定した。Fig.-4 は k , α を調整することによって観測流入済度分布から計算された累積流出済度分布と観測分布との適合を示したものであり、Fig.-5, 6 はどのようにして得られた k 及び α をピッチを代表長とするレインルス数でまとめたものである。原水の状況によってはちらばりがありレインルス数によって系統的な偏位をもつループもあるが、湖水原水に限って論すれば系統的な変化は見られない。そこでこの平均値である $k = 0.85, \alpha = 0.010$ を固定し、湖水原水の場合における流出済度の計算値と観測値を比較したものと Fig.-7 に示す。図中の黒丸は k 及び α の算出に使用したデータ点であり、白丸はそれと独立なデータ点である。このようにして検定されたモデルを使用し、同一原水を使用する原寸規模の傾斜板沈殿池の除去効率の予測例を Fig.-8 に示す。図中に示された要求済度直 1.4 度はびわ湖湖水を原水とする K 淨水場済度水の実績であるが、Fig.-4 に示されるような微細なフロウ (中心径 40~50 μm) の入力によっても傾斜板の挿入によって現況処理水質より低下させない条件を読み取ることができる。

最後に御指導いただいた佐々木恒教授、および計算に助力いただいた田中誠君に謝意を表します。

[参考文献]

Gelfand et al., J. Colloid Interface Sci., 76, 541 (1980)

Fig.-8 現況池での予測例 →

SIMULATED OUTPUT CONCENTRATION SERIES $C_{in} = 6.7 \text{ T.U. } P = 10 \text{ CM } (h = 17.32 \text{ CM})$

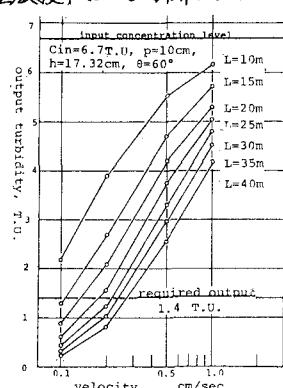


Fig.-4 k と α の検定例

EXAMPLES OF CALIBRATION EFFORTS OF "k" AND COLLISION FACTOR α

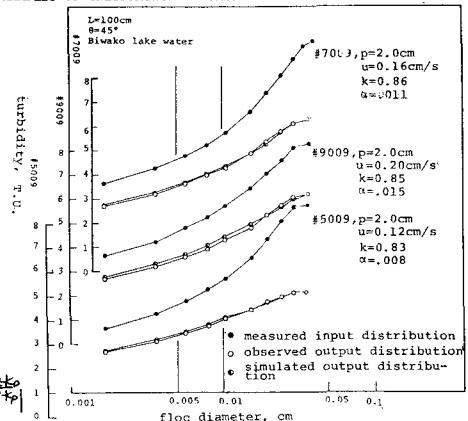


Fig.-5 α とレインルス数

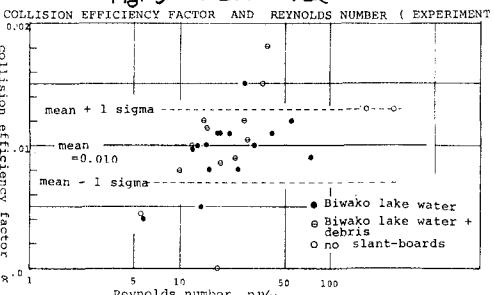


Fig.-6 k とレインルス数

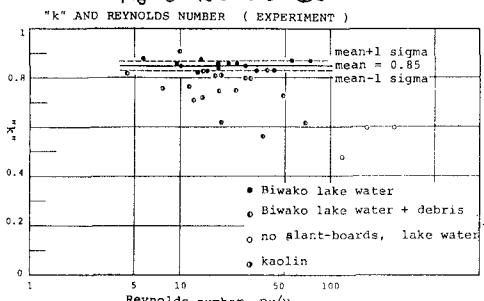


Fig.-7 モデルの検証

