

京大・工・正員の松田 譲
京大・工 幸前清孝
京大・工 塩山欣春

既存淨水プロセスにおいて溶解性水質の除去を淨水の目的に加え、フロック形成池をコントロールすることによって水和重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G値も、高めの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と必要が生ずる。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大を要するわけでは無いが、こういった微細フロック流入下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。

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

ここに、 x : 流下方向座標、 c : 沈重量 v (下を示す理由により) の粒子の重量濃度 ($n \cdot v$)、 n : 粒子重量 v の粒子数濃度、 u, D : 流速及び拡散係数、 w : 沈降速度、 τ : 傾斜板間鉛直距離、 R : 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、

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

となるが、フロックの場合、密度が体積によって変化することを考えると v の解釈としては幾何学的に保たれる量であるフロック中の沈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 Peclet 数が模型池にて 11~18、現池では 170 (水深 3m、全長 30m、ピッチ 10cm、流速 0.5cm/秒) とよりほとんと無視することができると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子の整数倍に離散化したりモンテカルロ法などがよく

使われているが、ここでは (1) 計算機負担が小さく、(2) 広範囲の粒径、(3) 容易なプログラムで、(4) 実用になる精度で解くといった立場から正分積分法を採用し計算をおこなった。この方法は v 軸を m 個に区切り区間内の $C(v)$ を一定値 $C_e (e=1, \dots, m)$ と近似し、式(2)中の積分をあらがめさせることにより C_e のみの連立微分方程式を作る方法であり、 $v_0, v_1, \dots, v_m$ によって v 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
 $\Delta t = 0.05 \text{ KN}_0$

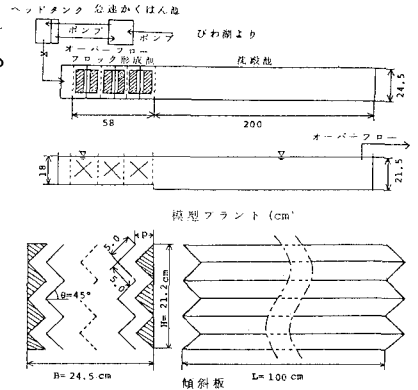
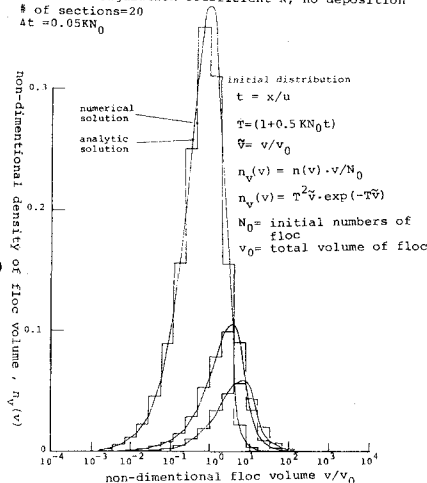
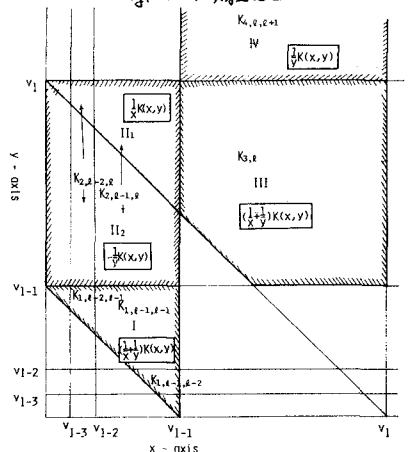


Fig-2 $K_{i,j,k,l}$ など



$$u(v_2 - v_1) \frac{dC_0}{dx} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n K_{i,i+1} C_i G_i - C_0 \sum_{i=1}^n K_{i,i+1} G_i - \frac{1}{2} K_{n,n+1} C_n^2 - C_0 \sum_{i=1}^n K_{40,i} C_i - W_0 C_0$$
 となる。ここに $K_{i,i+1}$, $K_{40,i}$ は Fig-2 に示される領域 I~IV 内の α によって図中に記された関数を積分したものであり、 W_0 は $w(1-R)h$ を (v_2, v_1) で積分したものである。
 v_2 の区分について $v_2 \geq 2v_{n+1}$ の条件下では $K_{i,i+1}$ は $i = n-1$ あるいは $i = n-1$ 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 $K(x, y) = \text{一定}$, $w = 0$ の場合の崩壊係数の比較を示している。この計算は x については RKG 法を用い所要 CPU は $K_{i,i+1}$ 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寸池への適用

実際計算に使用した調整定数 $K(x, y)$ 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(1)をもちいた。

$$K(x, y) = \frac{1}{6} G \left[\frac{(p_2 - p_0)}{\alpha p_2} \right]^{\frac{1}{3}} K_0 \left(x + \frac{y}{\alpha} \right) + \frac{\pi \alpha G}{24 \mu} \left[\frac{(p_2 - p_0)}{\alpha p_2} \right]^{\frac{1}{3}} K_0 \left(x + \frac{y}{\alpha} \right) \left(\frac{2\mu}{\alpha} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{2\mu}{\alpha} \right)^{\frac{1}{3}}$$

ここに α , K_0 は有効密度関数 $p_e = \alpha d^4 \rho$ のパラメータ、 ρ_w, ρ_s は水、沈降物の密度であり、 G としては板間流速差により生ずる Δv_0 (ρ_w 板間流速差)を使用した。対応させた実験は Fig-7 の槽にびわ湖湖水に硫酸バク 30ppm を懸注したものを使用し、沈降値としては 7/13 度 (湖泥を加え高沈降とした場合では 19 度~28 度) であった。有効密度関数としては同条件で別途測定した $p_e = 1.55 \times 10^{-10} (\text{cm}^3/\text{g}) d^{11.0}$ を使用し、沈降と C との間には線型を仮定した。Fig-4 は k, α を調整することによって観測流入粒度分布から計算された累積流出粒度分布と観測分布との適合を示したものであり、Fig-5, 6 はこのようにして得られた k 及び α を k と α を代表長とするレイノルズ数でまとめたものである。原水の状態によってはちがいが異なりレイノルズ数によって系統的な偏値をもつグループもあるが、湖水原水に限って論ず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沈降の計算値と観測値を比較したものを Fig-7 に示す。図中の黒丸は k, α 値の算出に使用したデータ点であり、白丸はそれと独立したデータ点である。このようにして検証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降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水質値 1.4 度はびわ湖湖水を原水とする K 浄水場沈降池の更替であるが、Fig-4 に示されるような微細なフロック (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状処理水質より低下させない条件を導き出すことができる。

最後に御指導いただいた佐友恒教授、および計算に協力いただいた田中誠君に謝意を表します。

[参考文献]

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

Fig-8 現寸池での予測例 →

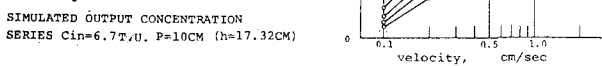


Fig-4 k と α の検証例

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

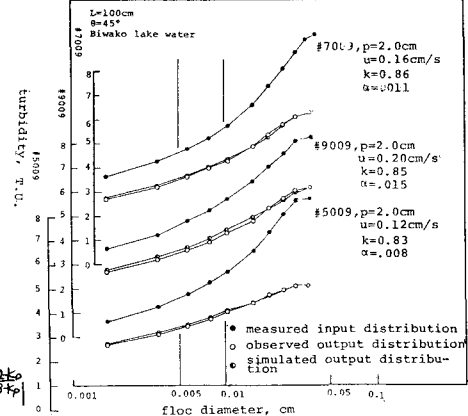


Fig-5 α とレイノルズ数

COLLISION EFFICIENCY FACTOR AND REYNOLDS NUMBER (EXPERIMENT)

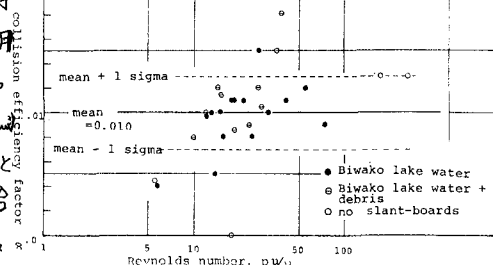


Fig-6 k とレイノルズ数

"k" AND REYNOLDS NUMBER (EXPERIMENT)

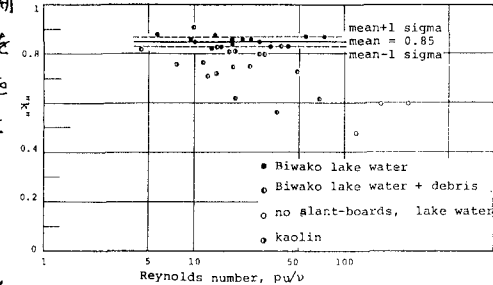


Fig-7 モデルの検証

CHECKS OF SIMULATION MODEL OF SLANT-BOARDS SEDIMENTATION TANK

