

N-2 下水下向流ろ過のシミュレーション

前澤工業(株) 中央研究所 ○ 数井 徹
" 山中正則
(財)埼玉県下水道公社 鷹野洋一

1. はじめに

ろ過処理において、懸濁物の除去率は、流入水の懸濁物粒子径によって異なることが、報じられている。下水高度処理の対象とする2次処理水の懸濁成分の多くは、生物処理からリークした活性汚泥のフロックであり、比較的幅広い粒子径分布をしている。このような流入水を1つの初期ろ過係数(後述③式中の λ)で処理性 α と抗 β の変化を模擬しても充分な結果は得られない。

本稿では、より簡便な方法でより高精度な除去率を算出する為に、懸濁成分を $10\mu\text{m}$ を境に小粒子径と大粒子径とに分け、異なる2つの初期ろ過係数を用いるという方法でシミュレーションを行った。なお、ろ過係数の変化を表す式としては、Ivesの式を用いている。

2. 懸濁物粒子径と初期ろ過係数

表1の条件で、ろ過開始時にろ層各層より採集したサンプルをSS及びコールターカウンター(アパッチャー径 $280\mu\text{m}$)にて分析した結果の一例を以下に示す。

横軸に懸濁物粒子径、縦軸に体積比(球形、同密度と仮定)によるSS換算濃度を取り、各層ごとに表したものを図1に示す。

流入水は、 $25\mu\text{m}$ がピークとなっているのに対し、ろ層が深くなるにつれピークが徐々に小さい粒子径に移行している様子が分かる。これは懸濁物粒子径により、除去率が異なることを表している。

この結果をさらに、横軸にろ層深さ、縦軸にSS濃度の対数をとってプロットして図2に示す。プロット(□-Total)は曲線的になり、後述①式に表す岩崎の式が成立しなくなっていることが分かる(岩崎の式ではプロットが直線上に載る)。そこで同じく図2に示すが、この曲線を懸濁物粒子径により $10\mu\text{m}$ 以下と $10\mu\text{m}$ 以上の2成分に分解して、それぞれの体積比によるSS換算濃度をプロットすると、両者ともほぼ直線に近づくことが分かった。即ち、初期ろ過係数(λ)を2種類用いることにより、各々において岩崎の式が成り立つと考えた。

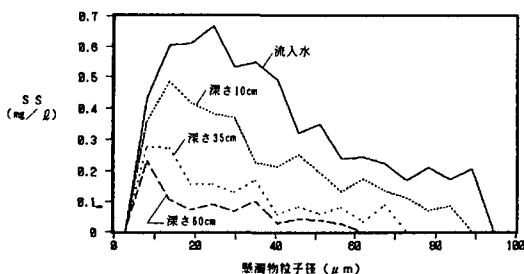


図1 懸濁物粒子径の分布

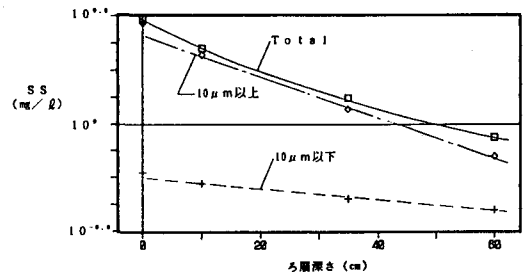


図2 各層のSS濃度

3. 基礎式

処理性については、岩崎の式

$$\partial C / \partial L = -\lambda C \dots\dots\dots ①$$

C : SS 濃度 (kg/m³) λ : ろ過係数 (-m) L : ろ層深さ (m)

及び、物質収支の式

$$\partial \sigma / \partial t = V \cdot \partial C / \partial L \dots\dots\dots ②$$

σ : 抑留量 (kg/m³) V : 空塔速度 (m/s) t : 時間 (s)

を用い、ろ過係数とろ抗の変化は Ives による次式を用いた。

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \beta \sigma / (1 - \varepsilon_0))^x (1 - \beta \sigma / \varepsilon_0)^z (1 - \beta \sigma / \beta \sigma_{max})^y \dots\dots\dots ③$$

$$\partial H / \partial L = \partial H_0 / \partial L \cdot (1 + \beta \sigma / (1 - \varepsilon_0))^x (1 - \beta \sigma / \varepsilon_0)^{2x-3} \dots\dots\dots ④$$

λ₀ : 初期ろ過係数 (-m) β : 膨潤率 (m³/kg)

σ_{max} : 最大抑留量 (kg/m³) ε₀ : ろ材空隙率 (-)

H : ろ抗 (m) H₀ : 初期ろ抗 (m)

x, y, z : 係数 (-)

4. シミュレーション手法

シミュレーションのフローを図3に示す(但し、ろ層は単層)。本法においてλを2種類用いているため、抑留量も式③→①→②によって2種類算出される。しかしろ抗式④、及び次回ろ過係数式③には、2種類の和を入力して求めている。また、λ以外の係数は粒子径区分に関わらず同一のものを用いている。

5. シミュレーションの対象としたろ過装置及び条件

シミュレーションの対象とした装置を図4に示し、ろ過条件を表1に示す。なお、本装置は実設備同様逆洗を定期的に行っている為、実際のろ層は表層においてろ材径が小さくなっていること、また、洗浄によって排出されなかった抑留物が表層に残存していること(約5 kg/m²-as SS)を観察している。従って、シミュレーションもこれらのことを考慮(3層及び、σ_{0,1}=5を初期入力)したモデルとなっている。

表1 ろ過条件

ろ層構成	フラスサイト 平均径 2.4mm-----65cm 但し、表層3cmにおいて平均径 1.75mm 砂 平均径 0.83mm-----30cm
流入水	2次処理水 (SS : 5~10mg/L)
ろ速	200m/day

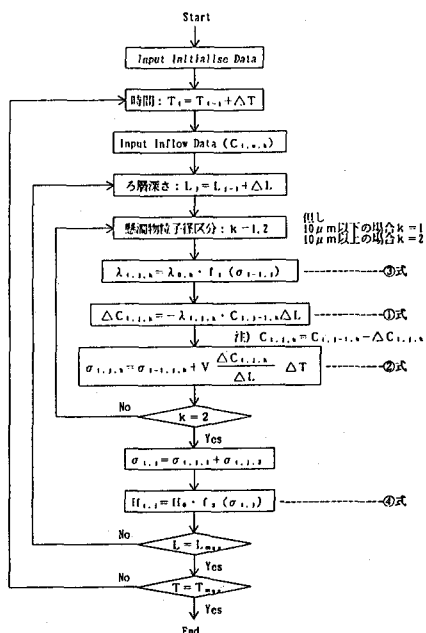


図3 シミュレーションのフロー

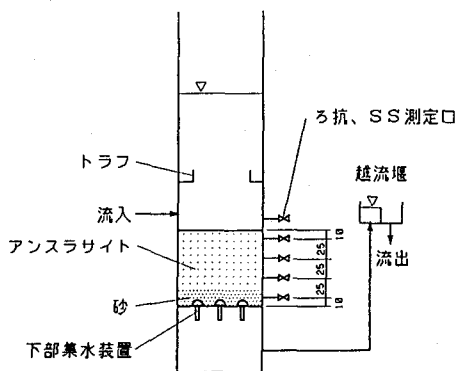


図4 実験装置

6. シミュレーション結果

シミュレーション結果を2例程、実験値と合わせて図5と6、及び図7と8に示す。ここで図5、及び図7における2点鎖線は、 λ を除く同一係数下での懸濁物を粒子径区分しない場合のシミュレーション結果である。処理水のSS濃度は、粒子径区分を行わないと実験値と一致しない。これに対し、2成分系とした場合はほぼ一致する。また、ろ抗についてもほぼ一致している。但し、実験値はろ層深さ10cmでブレイクスルーが生じて以降も上昇し続けるという点で、水質分析上の問題が残る。

またCase1とCase2で y 、及び σ_{max} が異なるが、それぞれの λ/λ_0 の抑留量による変化を③式から求めて図9に示す。ここでCase1とCase2の条件として大きく異なる点は、流入水の懸濁物平均粒子径（体積平均）がCase2では $33\mu m$ であるのに対し、Case1では $13\mu m$ とかなり小さかった。このことから小粒子成分が多い場合、少ない大粒子成分がろ材の役目をなし急激に λ が上昇する反面、抑留物は脆くて崩れ易いと考えられる。この点についても今後の検討課題である。

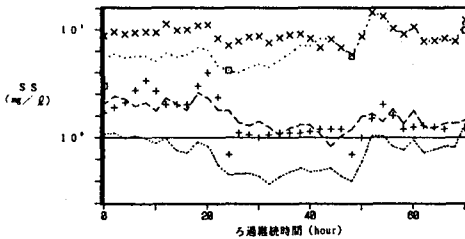


図5 SS濃度経時変化 Case1

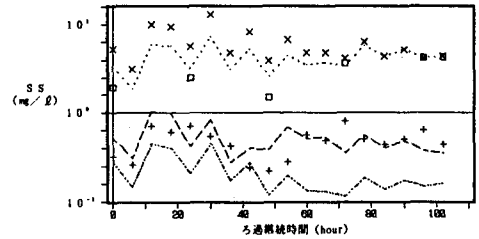


図7 SS濃度経時変化 Case2

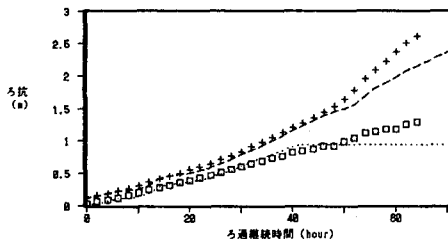


図6 ろ抗経時変化 Case1

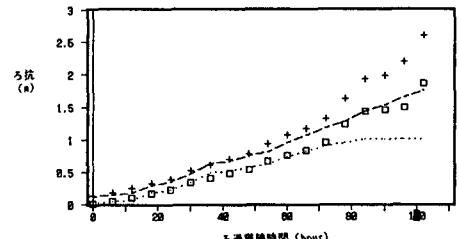


図8 ろ抗経時変化 Case2

7/25日付実験	$\lambda_{0.1}=1$	$\lambda_{0.2}=7.5$	$\varepsilon_0=0.45$	$\partial \Pi_0 / \partial L=0.1$	$L=0.03$
7/25日付実験	$\lambda_{0.1}=0.5$	$\lambda_{0.2}=4$	$\varepsilon_0=0.45$	$\partial \Pi_0 / \partial L=0.053$	$L=0.62$
砂層	$\lambda_{0.1}=0.7$	$\lambda_{0.2}=5$	$\varepsilon_0=0.5$	$\partial \Pi_0 / \partial L=0.24$	$L=0.3$

Case1	$\beta=0.02$	$\sigma_{max}=8.2$	$x=0.2$	$y=8$	$z=1$
Case2	$\beta=0.02$	$\sigma_{max}=15$	$x=0.2$	$y=4.5$	$z=1$

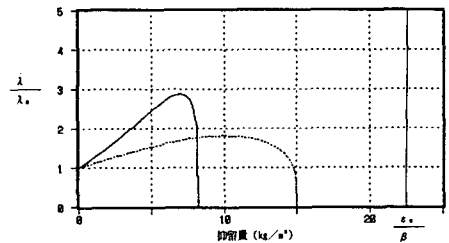


図9 λ/λ_0 の抑留量による変化

7. あとがき

以上のように、懸濁物粒子径を小粒径（ $10\mu m$ 以下）と大粒径（ $10\mu m$ 以上）に区分して、それぞれ独立したろ過係数を用いることにより、比較的良好にシミュレーションを行うことができた。今後はさらに、様々な条件の下での実験を行い、実用化を念頭においたシミュレーションモデルの検討を行いたい。