

## 濾過池の濁質除去の速度式について

大阪大学基礎工学部 正会員 芝 定孝

1. はじめに 濾過池は沉澱池と組み合わせて用いられる最も基本的な水処理施設の一つである。濾過池における清澄濾過理論の数式モデルによる表現は岩崎富久博士が始めて以来、多くの研究者によって試みられている。ただ、その場合の大多數の数式モデルは濁質の除去速度式と濁質の連続の式とを分離して表現しており、水処理プロセスに適用するには相当複雑である。また、通常、物質移動操作の基礎方程式となる質量保存則（ここでは濁質の連続の式がこれに相当する）においては、生成項あるいは消滅項として速度式に対応する部分が組み込まれている。この様に濁質の連続の式に除去速度を組み込んだ方が濁質濃度の変化に対する見通しが、より得やすく、また、数式モデルとして使用する際により便利であろう。ここでは、濾過池における濁質の除去速度は1次反応型で表わされるものと仮定して、濁質除去の基礎方程式を導いた。その式中の反応速度定数に相当するパラメータを岩崎数と名付け、この岩崎数の時間的变化を、Eliassenの実験データを使用して、評価し、検討した。この岩崎数は、濾過池運転上、有用な情報を与えるものと思われ、装置の運転操作から見た、濾過水水質に関する管理指標として使用できるものと期待される。

2. 濁質除去の基礎方程式 岩崎博士の数式モデルを初めとして、多くのモデルは砂層内の濁質の鉛直分布に着目しているが、本研究では処理水水質すなわち濾過池流出水の濃度変化を問題としているので、システムの空間的な集中化を行なうことにより、流出水濃度の時間的な変動のみを取り扱うことにする。このとき濾過池に対する基礎方程式は沉澱池と相似な次式で与えられる。ただし、 $C_{IN}$ ,  $C$  はそれぞれ流入水、流出水の濁質濃度で、

$$\frac{dC}{dt} = Q \cdot C_{IN} - (Q+I) \cdot C \quad \text{----- (1)}, \quad I = (1-e) \cdot P \quad \text{----- (2)}$$

$Q$  は流量、 $t$  は時間である。これらの変数はいずれも平均流入水濃度、平均流入水流量および平均滞留時間で無次元化したものである。上式中のパラメータ  $I$  はいわゆる反応速度式の速度定数に相当するもので、Eq. (1) は濁質除去が1次反応型で行なわれることを示している。通常、濾過速度を保つ為に流量調節によって、流入水量と流出水量とが平衡されるので、ここでは  $Q_{IN} = Q_{OUT} = Q$  と操作されるものとしている。岩崎博士が砂層による濁質除去の定式化において、濁質除去機構と粉体の篩による阻止機構とのアナロジーから濾過阻止率  $\epsilon$  を導入した。その入り意味とEq. (1) の  $I$  の意味とは若干異なるが、式中では類似の作用をしているので、これに因んで岩崎数と呼ぶことにする。岩崎数  $I$  の物理的意味はEq. (1) を濁質に関する連続の式の空間的集中化によって導出する過程で明らかとなるが、濾過池における水理諸量で構成される無次元パラメータである。また、 $I$  は沉澱池において定義されたのと同様のHazen数  $P$  および合田数  $e$  を用いればEq. (2) のように表現される。ただし  $P = vS/Q$  であり、 $v$  は濁質の濾材表面への沉澱速度、 $Q$  は濾過流量、 $S$  は濾材の有効表面積

である。濾過池の場合の合田数は、 $k < 1$  では濾材表面に沈澱する濁質が scour によって濾材表面から離れ流出する濁質よりも卓越し、全体として濁質が濾床内に抑留されることを意味し、 $k > 1$  では逆に濾床内から流出する濁質が多く、濾過水水質が原水よりも悪化する事を意味する。濾過池においては合田数 $k$ によって濁質のブレイクスルーが支配される。

3. 岩崎数の評価法 岩崎数 $I$ は濾過池の濁質除去機能を定量的に示す尺度として重要な物理パラメータである。従って、このパラメータ $I$ を濾過池運転の管理指標として使用することが考えられ、その評価法を確立する必要がある。水量 $Q$ が一定の場合、岩崎

$$I = \frac{\sum [\phi_{12}(t_i) \cdot (C_{08}(t_i) - P_1(t_i))] - C(t_0) \cdot \sum [\phi_{11}(t_i) \cdot \phi_{12}(t_i)]}{\sum [\phi_{12}(t_i) \cdot \phi_{12}(t_i)]} \quad (3)$$

数 $I$ は $E_g(3)$ によって評価することができる。ただし、 $\phi_{11}(t_i)$ 、 $\phi_{12}(t_i)$ 、 $P_1(t_i)$ はそれぞれ $E_g(4) \sim$

$$\phi_{11}(t_i) = e^{-(a+I)(t_i-t_0)} \quad (4), \quad \phi_{12}(t_i) = -e^{-(a+I)(t_i-t_0)} \int_{t_0}^{t_i} C \cdot e^{(a+I)(u-t_0)} du \quad (5)$$

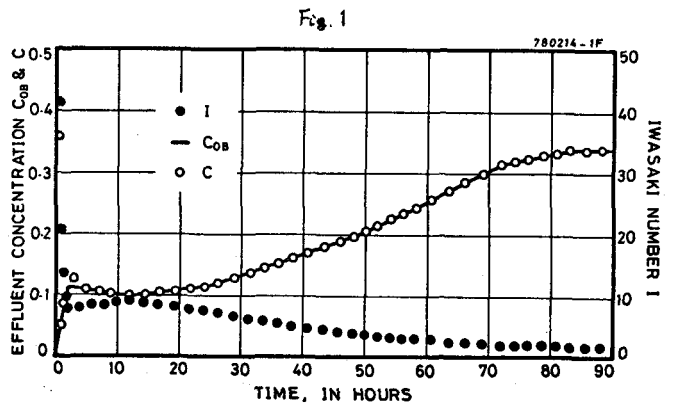
$$P_1(t_i) = e^{-(a+I)(t_i-t_0)} \int_{t_0}^{t_i} (IC + C_{IN}Q) \cdot e^{(a+I)(u-t_0)} du \quad (6)$$

(6)で与えられる。 $E_g(3)$ 中の $C_{08}(t_i)$ は流出水濃度の実測値で、 $C(t_0)$ は初期濃度である。岩崎数 $I$ は合田数 $k$ の変域によって、 $E_g(2)$ から明らかなごとく、正負いずれの値も取り得るが、基礎方程式の $E_g(1)$ から見て、正常な濾過池の運転においては常に正の値でなければならない。

#### 4. 岩崎数評価と流出水濃度予測の一例 濾過池の実測値としてEliassen(1941)<sup>1)</sup>の実験

データを使用した。断面積約 $1880 \text{ cm}^2$ 、高さ約 $60 \text{ cm}$ の濾床で、平均濾過速度は約 $117 \text{ m/day}$ である。total solidで約 $50 \text{ ppm}$ の原水を濾過し、逆洗なしの96時間連続運転としている。Fig. 1に流出水濃度の実測値 $C_{08}$ を実線で示

してある。黒丸は岩崎数 $I$ の評価値で、白丸は流出水濃度の予測値 $C$ で、いずれも無次元化してある。流出水濃度の初期の立上りは清水から濁水に切替えられたことを示し、この場合の異常に高い $I$ の値は必ずしも濁質除去と正確に対応していないものと思われる。濾過開始後約2~12時間にかけて $C_{08}$ は次第に減少している。



これは濁質抑留により濾材閉塞が進行し、濁質抑留機能が高められたことを示す。 $I$ はこれに従って、次第に増加している。12時間目以後は通水とともに抑留機能が低下している。

なお、本研究は文部省科学研究費補助金(代表者:上田年比古九州大教授「処理水水質および発生汚泥の処理性からみた浄水プロセスの管理指標に関する研究」)の交付を受けた。

引用文献: 1) Eliassen, Rolf, "Clogging of Rapid Sand Filters," J. A. W. W. A., Vol. 33, No. 926, 1941.