

II—2 急速砂ろ過池の阻止率の動きについて

北見工業大学 正会員 海老江 邦雄

1. まえがき

現今のろ過基本式(後掲)は岩崎によって最初に提唱され¹⁾Ivesらの貢献によって発展してきた。その基本式の速度係数は、ろ層の単位厚さ内における懸濁粒子のろ過確率を表わし、阻止率 λ [cm⁻¹]と称される。したがって、阻止率の動きはろ過機能そのものの動きということになり、その解明はろ過に関する最も重要な課題となっている。従来、この阻止率はろ層各部の経時の流下水や蓄積した抑留物質の採取、あるいは損失水頭の測定をもとに重量基準または体積基準で計算されてきた。しかしながら、ろ過の進行に伴う、すなわち、抑留物質の増加に伴う阻止率の推移型に関しても、(1) Stein, Ives⁴⁾らは山型(上昇部→ピーク→下降部)、(2) Mintz, Shekhtman, Markle²⁾らは下降型(①の上昇部が消失した型)、(3) Hall³⁾らは一定値型を報告していることから窺われるように、その最も基本的と考えられる点においてすら統一の見解が確立されておらず、今後の検討に待たすべき点が多い。

本論では、扱いが困難とFox & Cleasby²⁾によって指摘された凝集性粒子を対象にして凝集剤注入率、珪砂の径、ろ過速度を変えた広範な実験を行い、ろ層各部の経時の抑留物質量を定量することにより重量基準で阻止率を計算し、その動きを詳細に検討した結果を報告する。

2. 実験

今回の実験に用いたろ過装置の概要を図-1に示した。ろ過筒(断面積53.0 cm²の矩形)には珪砂(径0.59~0.74 mmまたは0.81~1.00 mm)を空隙率44.3%で60 cm厚さに充填した。原水としては本学水道水に所定量のカオリン(20%)と凝集剤(硫酸アルミニウム Al₂(SO₄)₃·18H₂Oを5, 10または20%)とを加えたものを用い、急速混和したのち直ちにろ速120, 240または360 1/分でろ過した。設定した原水条件でろ過継続時間を3, 6, 12, 18, 24, 36時間と変えた運転を行い、それぞれの実験において原水・ろ過水を経時採水し、濁度とAl濃度(オキシ法)を測定した。損失水頭については運転開始直後と終了直前にろ層5 cm毎の値を測定した。ろ過終了後、ろ過筒内の水抜きを抑留物質を乱さないよう慎重に行い、図-2に示す14箇所からそれぞれ1 cm厚の採砂を行った。その後、これらの砂に附着していた抑留物質をJar Testerを用いて剥離させて水相に懸濁させ、濁度測定により定量した。

3. ろ過基本式と阻止率の計算手順

ろ過基本式としては、次の水質変化式と物質収支式が提示されている。

$$\frac{\partial C}{\partial L} = -\lambda C \quad (1) \quad \frac{\partial C}{\partial L} + \frac{1}{V} \cdot \frac{\partial S}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

ここで、 ∂C はろ層の微小間隔 ∂L における懸濁粒子の濃度変化量[mg/l]、 C はその部分を流れる懸濁粒子濃度[mg/l]、 λ は上述の阻止率[cm⁻¹]、 V はろ速[cm/時]、 ∂t は水流が ∂L の層を通過するに要する時間[時]、 ∂S はその間の抑留物質の変化量[mg/cm²]、(1)、

(2)式を差分で表示すると、 $\frac{\Delta C}{\Delta L} = -\lambda C \quad (1) \quad \frac{\Delta C}{\Delta L} + \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} = 0 \quad (2)$

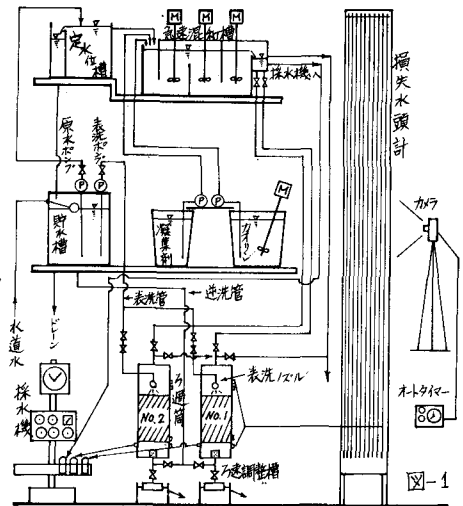
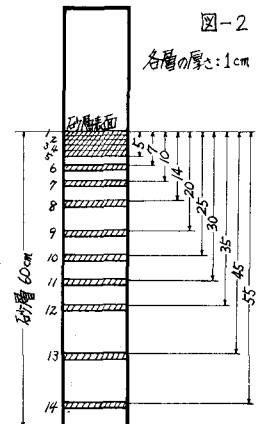


図-2

各層の厚さ: 1 cm



(2)式を(1)式代入して入について整理すると(3)式となる。

$$\lambda = \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} \text{----- (3)}$$

(3)式の分子・分母にろ層の単位体積としてろ過断面面積(A)×単位厚さ(ΔL)を掛けて整理すると、(3')式になる。

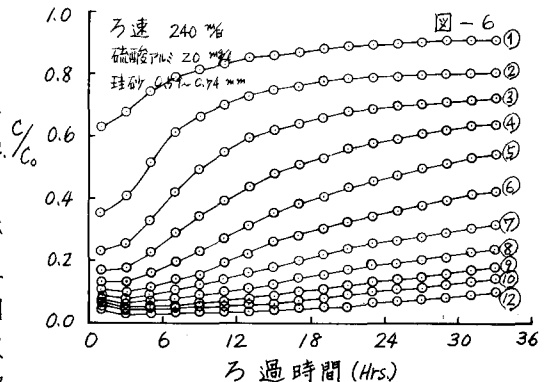
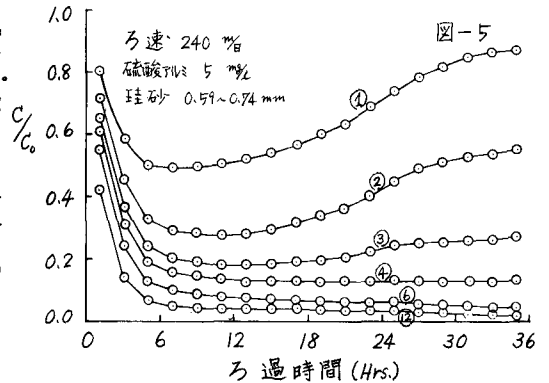
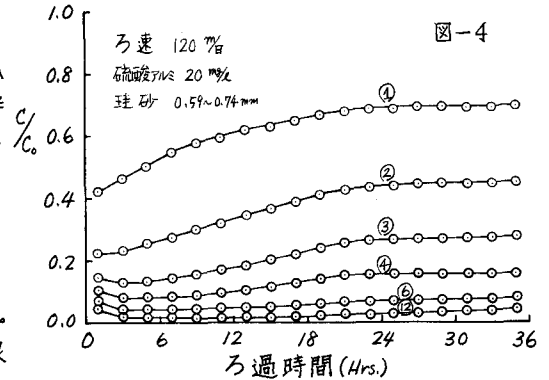
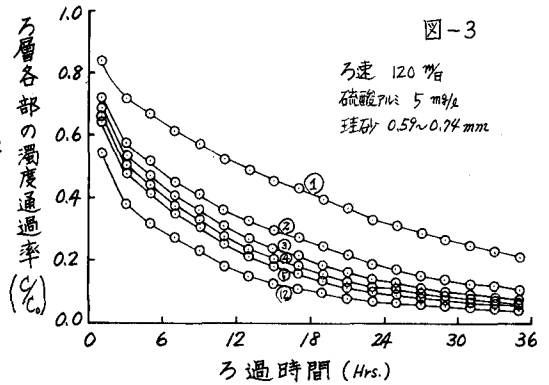
$$\lambda = \frac{S}{C \cdot Q \cdot \Delta t} \cdot \frac{1}{\Delta L} \text{----- (3')}$$

式中のQは流量、SはΔt時間での抑留物質量の増分である。この度の阻止率の計算においては、ろ速120, 240, 360 ml/日でQ=26.5, 53.0, 79.5 l/時、Δtとして2時間、ΔLとして5cmを採用した。したがって、(3')式を用いてろ層各部の阻止率を計算するに当っては、当該単位ろ層(5cm厚)Δ単位時間(2時間)毎の懸濁物質の供給量(CQΔt)とそれに伴う抑留物質の増加量Sを知らなければならない。実験においてはろ層上部より供給される懸濁物質量は既知(ろ速、原水濁度とも一定)となるので、Sさえ求まればろ層上部から下部へ向って阻止率を逐次計算することが可能になる。

実験データを補正してSを求める手順は次の通りである。
 1). 平均原水濁度 20 ml/l時における経時のろ過水濁度曲線を系列ごとに確定(原水及びろ過水濁度の補正、系列内での経時のろ過水濁度の相加平均)。2). 原水ろ過水濁度差と流量との積から2時間ごとのろ層全体での抑留物総量の計算。
 3). 採砂実験から定まった抑留物総量を2)で求まった抑留物総量に対応するよう補正して抑留物質分布図を確定。
 4). 3)の抑留物質分布図からろ層5cmごとの抑留物質量の計算。
 5). 4)の計算により得られた一連のろ過時間の異なる抑留物質量の動きから2時間ごとの抑留物質の増加量を順次求めて行く。
 6). 2)及び4)でそれぞれ求まった2時間ごとの抑留物総量とろ層5cmごとのろ過36時間における抑留物質総量となるよう、繰返し計算によってろ層5cm、2時間ごとの抑留物質の増加量Sを定める。

4. 結果と考察

実験データをもとに計算した結果の一部を図-3～図-14に掲げた。図中の数字は5cm単位でろ層の位置(1は0～5cm, 2は5～10cm, …… 12は55～60cm)を表わす。図-3～8は、ろ層内を流れる水のろ過の経過に伴う濁度の動きを示したものである。全体的傾向に限って述べると、上層部における濁度の低下率はろ過速度の遅いほど、凝集剤注入率の低いほど、珪砂の径の小さい場合ほど高い。それに対して、ろ過速度などがこれと逆の場合ほど下層部の濁

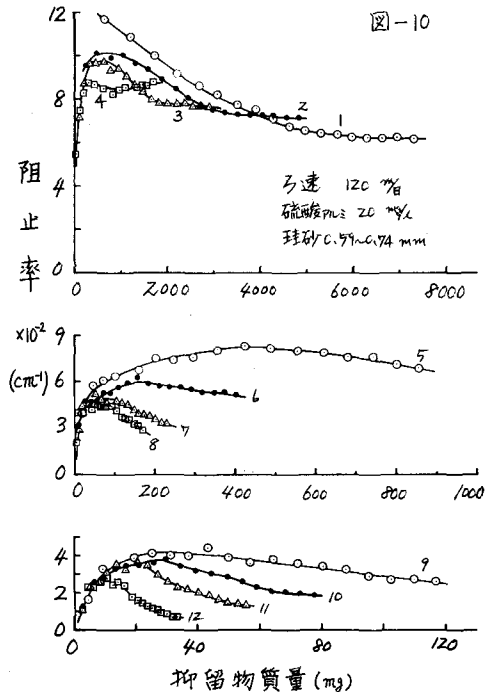
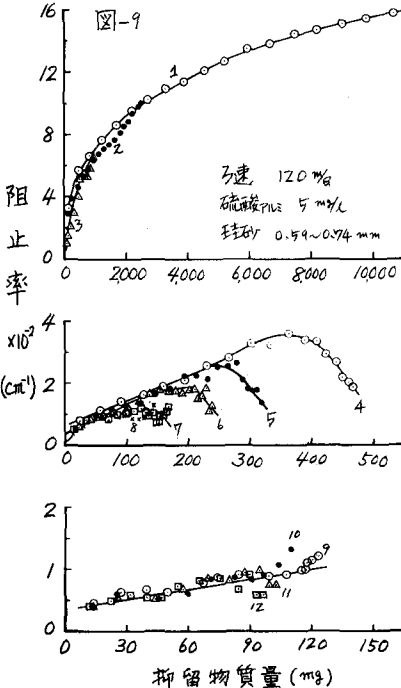
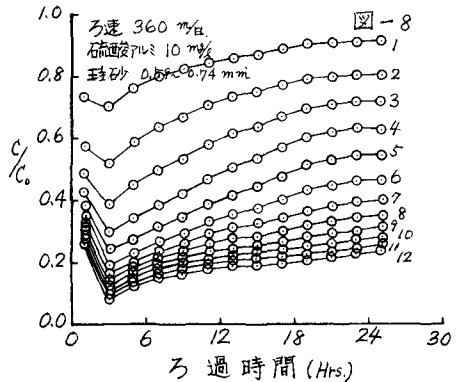
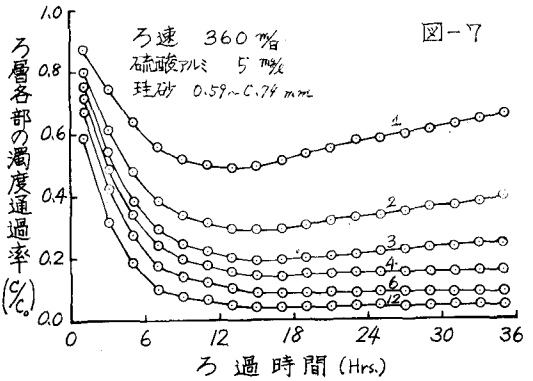


度低下率が高く、ろ層全体で懸濁物質を捕捉する傾向になっている。

こうした捕捉傾向下における阻止率の動きを見て行く。始めに、阻止率の推移型についてはIvesらの唱える山型、Mintzらの主張する下降型のほか、岩崎らの提唱した上昇型、さらに、Hallらの言う一定値型についても局部的に適合するものが認められる。しかしながら、全体的に見ると、阻止率の推移型としては上昇部・ピーク・下降部から成る山型が最も広範に出現している。ろ材粒子上の抑留過程の微視的観察と諸現象を合わせて考察すると、抑留表面積が拡大する帽子型抑留の進行時期が阻止率の上昇部に、また、主として既抑留物質の圧縮によって生じたスペースに高流速下での捕捉が進行する細水路形成型抑留の時期が阻止率の下降部に一致すると判断されることから、この山型が阻止率の基本的な推移型と考えて間違いないだろう。ろ速の遅い、凝集剤注入率の低い条件、即ち、単位時間当りの供給懸濁物質体積の少ない条件下では帽子型抑留が長時間にわたるから上昇型の阻止率推移となり、逆に単位時間当りの供給量が多い条件下では帽子型抑留が短時間のうちに細水路形成型に移行するから下降型の阻止率推移になることが予想され、実際にそうした条件下でこれらの推移型が現われている。こ

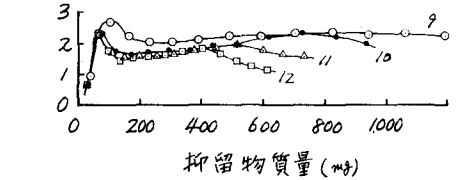
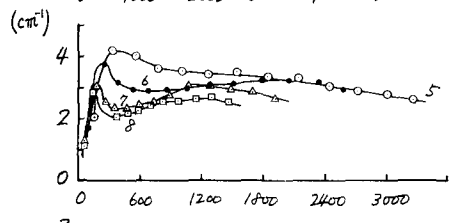
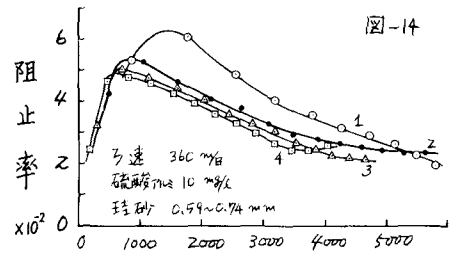
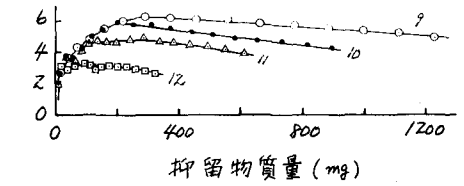
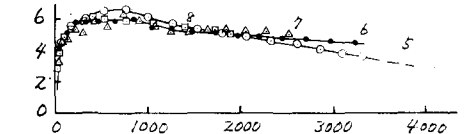
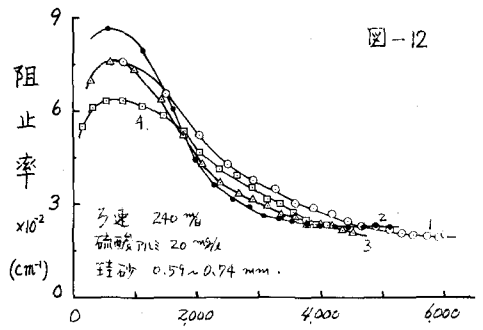
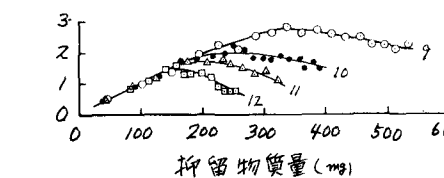
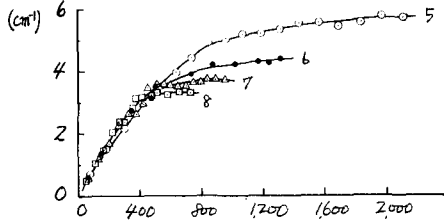
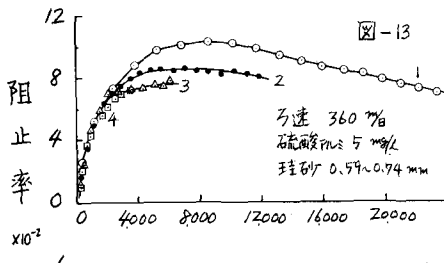
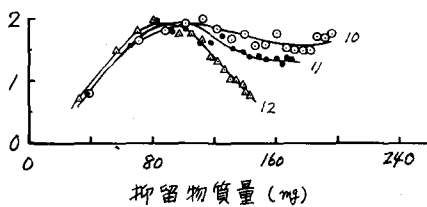
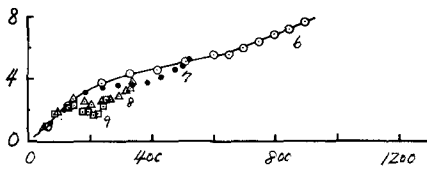
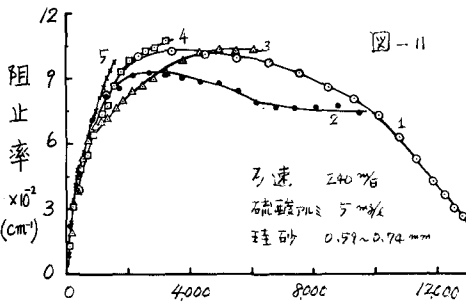
のように、阻止率の推移型はろ過条件によって異なることが明らかになった。つぎに、ピーク値とその出現時期をそれぞれのろ過条件で見ると、一般に下層に行くほど抑留物質量の少ない時期にピークが現れると同時に小さな値

を取っている。ろ層上下でのピーク値の差はろ速、凝集剤量、ろ材径の大小にほぼ小さい。いずれにせよ、Ivesらの展開した理論のように全ろ層の阻止率を一本の推移曲線で定めることは凝集性粒子を扱う実際のろ過の場合不可能である。主な理由として(1)ろ層の成層化のため部位によってろ材径が異なる、(2)流下水中の粒子特性がろ層の部位によって一定していない



(ろ過に伴う懸濁粒子のゼータ電位やろ層内抑留物のAl/Feの動きについては別に報告済み)。(3)凝集性のため抑留時の圧縮度が異なることを挙げる。

続いて、全ろ過条件で見ると、凝集剤量の多いほど抑留量の少ない早い時期に、また、ろ速、ろ材の大きなほど上層部では早い時期に、下層部では遅い時期にピークが出現する。一方ピーク値は、上層部ではろ速の遅いほど凝集剤量の少ないほど、ろ材径の小さいほど大きな値となっているのに対し、下層部ではろ速の大きなほど凝集剤量の多いほど大きな阻止率になるが、ろ材径の影響については特定の傾向は認め難い、など全体として、ろ過の経過に伴うろ層全体の阻止率の動きを把握しえた。



- (参考文献) 1). Ives, K.J.: Theory of Filtration. International Water Supply Congress & Exhibition, Special Sub. No. 7. 1969 München.
2). Fox & Cleasby: Experimental Evaluation of Sand Filtration Theory, Jour. of Sa. Eng. Div., Proc. of ASCE, Oct. 1966 SA5.
3). 海元江 邦雄: 直接砂ろ過池の阻止率の動き, 土木学会第34回年次学術講演会(II)論文集, 1980.9. P.702~703.
4). 海元江 邦雄: 急速砂ろ過による懸濁粒子のゼータ電位の動きについて, 土木学会第34回年次学術講演会(II)論文集, 1979.10. P.327~328.