

# ろ層内固液分離現象の解明\*

## ON THE MIXED LIQUOR SOLIDS SEPARATION IN FILTER

篠 原 紀\*\*  
By Osamu Shinohara

### 1. 緒 言

急速ろ過の浄化機構を論ずる場合、研究の対象はろ層内におけるろ池水の固液分離現象の追究にある。

急速ろ過における固液分離現象は、これまでろ層厚さの違いにおける損失水頭とろ水水質の経時変化を測定することによって、マクロに検討されてきた。このような観測手法によって、これまで多くの研究者が浄化機構を現象面から解明し、設計操作の最適条件を追求してきた。

しかし、浄化作用説については諸説提唱され解明が進んだが、まだ明解な結論は得られていない。さらに、ろ層内のフロックの挙動についても、いったんろ材やフロックに付着したフロックは、はく離・移動しないという説と、はく離・移動するという説に分かれている状態である<sup>1)</sup>。

同時に、ろ層内の浄化機構についても、ろ池水性状とろ層構成、ろ過操作との関連性は完全に解明されていない。その原因は使用薬品の種類、薬注量の違い、フロック形成過程の違いおよび水質水温の変化によって、ろ池水性状が複雑な変化を示すためで、ろ過作用の完全な定量化、数式モデル化が困難なのはそれらの相関性が解明されていないからである。

そこで、本論文においては、これまでの研究から、ろ池水性状の変化が浄化機構におよぼす影響を水量、水質の両面からマクロにとらえて、ろ層構成、ろ過操作との関連性を考慮に入れてフロック挙動を定義した。続いて実体顕微鏡を用いて微小セルろ過筒内でのフロック挙動を観察することによって、

- (1) ろ過作用の主役説についてアプローチ
- (2) ろ層内のフロック挙動と諸因子との関連性の解

\* 本論文の一部は第 26 回土木学会年次学術講演会（昭和 46 年 10 月）に発表した。

\*\* 正会員 近畿大学助教授 理工学部土木工学科

### 明

(3) ろ池水性状表現因子の選定  
を試み、これまでのマクロな研究成果と、その他の裏付け資料によって浄化機構の解明に資するものである。

### 2. ろ池水性状の違いによるフロック抑留現象

ろ池水性状の違いによる損失水頭値とろ水水質の経時変化について、これまでの筆者らの研究<sup>2)~5)</sup>や他の研究室の発表論文<sup>6)~8)</sup>によって要約してみると表-1 のような結果になる。

しかるに、実際池においては、物理、化学および生物的水質変化が生じ、さらにろ材の形状、表面性状が変化するために、ことのほか浄化機構を複雑にしている。

そこでこのような複雑なろ過の浄化メカニズムを、より適切に表現するために、ろ池水性状の表現因子をこれまでのマクロな研究から次のように選定し、その影響度を仮定した。

- (1) フロック沈降速度の大なるものほど、下層部へ移行する。
- (2) 粘性度の高いフロックほど、単位容積当りのフロック数の多いものほど、ろ材表面での接触チャンスが多く抑留量が大きい。
- (3) フロックの性状の違いが、フロック抑留と大きな関係を有する。

それらのろ池水性状に関連するろ層構成とろ過操作の因子については、ろ材表面の電荷、ろ材間げき径の大きさ、ろ材形状、ろ過速度、ろ材へのフロックの付着状態の変化があげられる。

### 3. ろ層内固液分離状態観測装置と実験方法

ろ層内の固液分離現象を直接観察する装置は、通常用いられるジャーテスターと実体顕微鏡とを立体的に組立

表-1 ろ池水性状の違いとろ過効率

抑留 状態 因子	損失水頭値から の判断	水質除去効率から の判断
使 用 薬 品	① 総損失水頭変化から判断して、ろ過継続時間は 硫酸バンド単独 > 活性シリカ併用 硫酸バンド単独 > PAC > SA 併用 ② 表層部損失水頭比から判断して、表層部に抑留される時間の早さ と、表層部損失水頭比の値の大きさは、 活性シリカ併用 > 硫酸バンド単独 ③ 各層ごとの損失水頭値から判断すると、次の傾向がある。 硫酸バンド単独は 表面ろ過 消石灰併用は 内部ろ過	① 濁度除去率から判断して除去率の良好さは SA 併用, PAC > 硫酸バンド単独 ② 細菌除去率から判断して、8時間目までは硫酸バンド単独、それ以後は、活性シリカ併用の方が良好。 これは表層部損失水頭比の値が平行に進した状態が8時間目で関連性がある。
フ成 ロ ック 形程	総損失水頭変化から判断して、ろ過継続時間は フロック形成 > マイクロ・フロック この傾向は、消石灰併用ほど大きく表れる。	濁度流出状態から判断して、その流出濁度値の大小は、 マイクロ・フロック < フロック形成 この傾向は消石灰の併用によって変化する。
薬 注 量	マイクロ・フロックの場合 高薬注量：内部ろ過 の傾向をとり、損失水頭値は、 高薬注量 > 低薬注量 (表層にはアルミが、下層にカオリン粒子が多く存在する)	① マイクロ・フロックの場合、ろ水水質の違いは、凝集状態の悪い微フロックの方が凝集状態の良い大フロックより良質でブレーク・スルーは後者に表われる。 ② 高薬注量：初期漏出の時間が長い。 低薬注量：終期漏出の始まりの時間が早い。

(注) ろ層構成因子で有効径が大なるほど水量的に、有効径が小なるほど水質的に、良好で、均等係数は一般に 1.0 に近いものほど、水量的、水質的に良好で、ろ材の種類の違いによって、ろ過効率は変化し、ろ層厚が増すと、濁質流出は、時間は同じだが、量的には反比例する。ろ過操作因子である速か小であれば、水質的に、ろ速が大であれば、水量的に効率が良くなる傾向にある<sup>2)</sup>。

てたもので、図-1,写真-1 に示すとおりである。

実体顕微鏡はオリンパス JM-Tr を用い、フィルター・セルはガラス製で、本実験装置はいかなる研究室でも簡単に組立てられる点で特徴を有する。

実験における統一条件として、原水は東大阪市水道水を貯水し、それにカオリン 30 ppm, 消石灰 10 ppm を加えたものとした。この原水の pH 値 8.95, アルカリ度 24.9 ppm, ろ材の粒径は 0.84 mm フルイ通過 0.59 mm 残留で幾何平均径 0.70 mm。フロック形成の方法は、マイクロ・フロックろ池水の場合、150 rpm で薬注 1 分後流入せしめ、その後 1 ピーカーについて隨時新しいピーカーと交替させつつ 5 分間だけ使用した。フロック形成ろ池水の場合、すべてのピーカーを同時に作動させたが、150 rpm 3 分間、80 rpm 12 分間、さらに 120 rpm にして微小フロックにし、5 分後すべてのピーカーからサイフォンにより流入せしめた。

ろ過継続時間は 1 時間とし、10 分間ごとに流速検定と調整ならびにマノメーター観測、写真撮影を行なった。写真機は PENTAX-SP, 顕微鏡アダプターを使用し、接眼レンズ ×P 20, 総合倍率 ×20。フィルムは通常 KODAK TRI-X (ASA 400), FUJI COULOR N 100 を併用した。フロック挙動の観察は肉眼で詳細にメモした。なお、8 mm カメラの撮影も数実験について行なった。

ろ材は実験ごとに取り換え、重量、容積を一定とし、初期損失水頭を統一した。なお、セルの支持床であるガラス・ウールは、実験条件を統一する必要から量を統一し、初期損失水頭値を同一にした。

本研究と微小部分を観察するという点において類似し

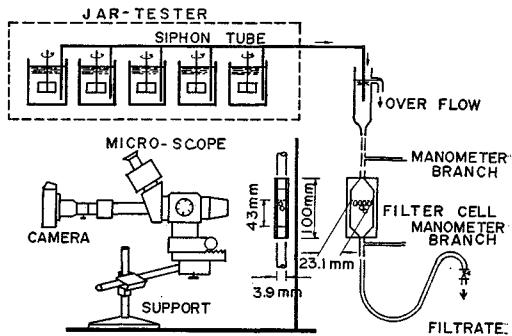


図-1 固液分離現象観測装置

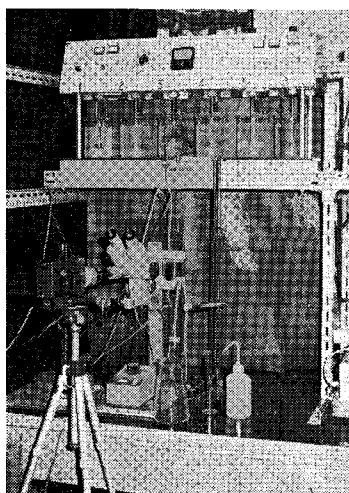


写真-1 実験装置

た研究として、P.C. Stein<sup>9)</sup>、ならびに A. Maroudas ら<sup>10)</sup>による研究があるが、いずれも 2 次元モデルでの実験であり、ろ材形状、ろ材表面電位などに対する詳細な検討がなされておらず、さらに、A. Maroudas らの研究においては、懸濁粒子にポリスチレン粒子を用いているためあって、ろ池水性状の影響把握に一考を要する。

#### 4. 実験条件と方法およびその目的

##### 実験-I 淨化機構に影響する諸因子を考慮した固液分離現象の観察

表-2 に示す実験条件で全実験 16 回のフロック挙動の観察を行なった。本実験の目的は諸因子の固液分離現象に与える影響をつぶさに調べるものである。

表-2 実験-I の実験条件

因 子	水	準
ろ過速度 m/day (0.84~0.59 mm)	100	200
ろ材 (アンスラサイト)	ガラス (理想球体)	
凝集剤 10 ppm as $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	ポリ塩化アルミニウム (PAC) 1.53 ppm as $\text{Al}_2\text{O}_3$	
フロック形成過程	マイクロ・フロック	フロック形成

##### 実験-II フロックのゼーター電位の違いによる固液分離現象

本実験の目的はフロックの持つゼーター電位の違いが固液分離現象にどうかかわりあいがあるかを調べるもので、ゼーター電位の測定はゼーター・メーター社製のゼーター・メーターを用いた。

実験条件は最適凝集条件のフロック形成ろ池水（ゼーター電位 : -10~-15 mV）と三種のマイクロ・フロックろ池水（硫酸バンド注入量 : 75 ppm, 25 ppm, 10 ppm, ゼーター電位 : +18.8 mV, 0 mV, -18.7 mV, at 23.5°C）を用いた。ろ材はアンスラサイトを用い、ろ過速度 100 m/day である。以上 4 実験について観察した。

##### 実験-III ろ材表面のゼーター電位の違いによる固液分離現象

ろ材の種類の違いによってろ過効率が変化することがわかっているので<sup>11)</sup>、それらの影響が、ろ材表面のゼーター電位と関連性を有するか否かについて調べるために、実験-I のガラスろ材とアンスラサイトろ材以外に、砂ろ材、素焼きろ材について追加実験を行なった。実験条件はろ過速度 200 m/day, PAC 使用で、マイクロ・フロックとフロック形成のろ池水を用いた。以上 4 実験について観察した。

ろ材表面のゼーター電位については、砂、アンスラサ

イト、素焼きろ材について測定し、その測定方法は、洗浄した乾燥ろ材を乳鉢の中ですって粉末にし、それをイオン交換水（以下脱塩水と称す）の中でそれぞれのろ材について同容量だけ溶解させ、十分に混和の後、共栓付メスシリンダーの表面（250 cc）から 40 cc の液を捨て、その下約 120 cc の液を採取し、これを湯煎し、最後に乾燥させ、第 1 試料とした。ここまで過程で、粉体にするときの帶電を防止した。

さらに、第 1 試料の一定容量を脱塩水に溶解させ、第 1 試料採取と同様の方法で採り出し、残りの部分の固形物量を測定し、単位水中のろ材粉末容積を、各ろ材ともに同容積となるように調整したものを第 2 試料とした。

第 2 試料について、0.1 N HCl と 0.1 N NaOH を用いて pH 調整をして最終試料を得て、それについてゼーター電位を測定した。

なお、現在のところ、固形物表面の電位を測定する方法は、このような方法しかないといわれている。

##### 実験-IV ろ材表面電位とろ材形状の相違との関連性

実験-III によってろ材表面のゼーター電位の違いによって、固液分離現象に違いが生じることは調べられるが、ろ材の種類が異なるとろ材形状が異なり、それに関連して空げき率、ろ材間げき径、間げき形状が異なってくるので、いずれの影響が特に関与しているのかを調べるために行なったのが本実験である。

同一種類のろ材で形状を異ならせるために、ろ材としてアンスラサイトを用い、コンクリート・ミキサに小砂利とろ材を入れ、水を適量入れて長時間混和させ、摩滅ろ材を得た。その後、よく水洗いし、フリイ分けして同一粒径のろ材で固液分離現象を観察（以上 2 実験）するとともに、マクロなろ過実験を並行して行なった。なお、ろ池水は、マイクロ・フロックろ池水を用いた。

##### 実験-V フロックの沈降速度とフロック浸入の関連性

フロックの沈降速度については丹保らの研究<sup>12),13)</sup>の成果をもとに、硫酸バンド単独、PAC 単独、硫酸バンドとアルギン酸ソーダ（以下「SA 併用」と称す）の場合について、フロック径が 350 μ, 水温 10°C, ALT 比 1:20 (硫酸バンド, PAC の場合), ALT 比 1:15 (SA 併用の場合) のフロック沈降速度を算定すると、SA 併用: 630 μ/sec, 硫酸バンド: 830 μ/sec, PAC: 1 200 μ/sec となる。

しかるに、ろ池水のフロック径は、100 μ 前後が一番多く<sup>14)</sup>、マイクロ・フロックの場合は 50 μ 前後<sup>15)</sup>といわれているので、それらのフロック径について実測してみた。

フロック沈降速度はジャクソン濁度管の中に水道水を入れ、ジャークスターからサイフォンでフロックを導き、その沈降速度を実体顕微鏡と電気タイマーで計測した。

フロックの沈降速度と固液分離現象との関連はこれまでのマクロな研究成果を比較してみる。したがって、本実験においては、セルろ過筒の観察は行なっていない。

## 5. 実験結果と考察

### 実験-I

本実験の観察結果は、表-3 のとおりであるが、これはフロック形成過程の違いによってかなり異なる傾向を示したので、各因子ごとにマイクロ・フロックろ池水とマイクロ・フロックろ池水の場合について、その傾向をまとめたものである。それらの現象の一部を図-2 に示す。

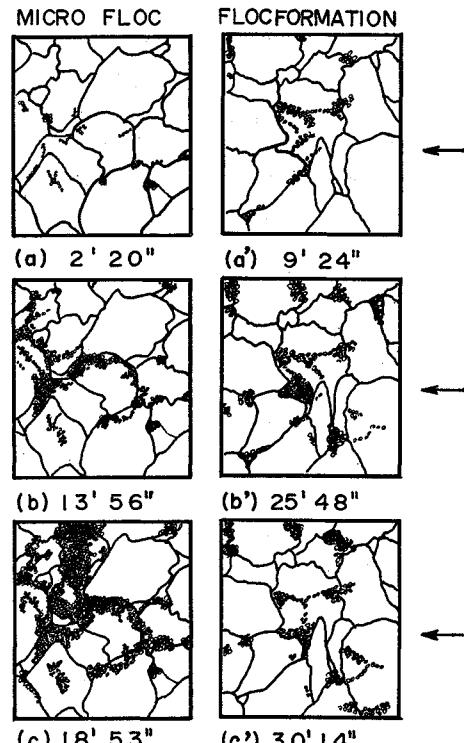
表-3 実験-I の観察結果概要

因 子	マイクロ・フロックろ池水	フロック形成ろ池水
フローグ動	傾 向 付着 <sup>*1</sup> →吸着 <sup>*2</sup> →堆積流線の乱れが激しい ろ速 変動 ろ速は見られず	沈積→脱離→沈積 流線はろ材にかなり沿う 脱離→移動→沈積
ろ速 過度	大 小 付着箇所が集中的 ろ材に全面的な付着	脱離が大 脱離が小
ろ材 状	傾 向 浸入深さが小 特に後縫に付着 ろ速の違い	浸入深さが大 付着箇所に沈積 理想球体の浸入深さ>形状変化大ろ材の浸入深さ
凝集剤	硫酸バンド P A C 凝集剤の 速	硫酸バンドに比して付着 が速か。 PAC の浸入深さ>硫酸バンドの浸入深さ

(注) \*1 ろ材とフロックの結合を「付着」

\*2 フロック同士の結合を「吸着」と呼称して区別してみた。

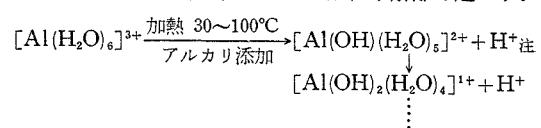
以上の結果から、フロックの発達状態の違いによって、ろ材に付着する状態の違いが生じているのは、アルミニウムの単位イオンがフロックを形成する場合、混和時間、温度、pH に左右されて、生成するフロックの化学形はかなり異なるという説<sup>16)</sup>から理由付けできる。すなわち、フロック形成の初期過程においては、Olation (オール化反応) の機構が支配的で、したがって、オール化途上のチャージイオンがかなり重合した形で、ろ材の反対符号とクーロン力で結合すると考えられる（この点に関して実験-II, III で確認する）。しかも、初期過程におけるフロック、すなわちマイクロ・フロックは微粒子だからクーロン力が大きく結合力が大きいと考えられる。反応が進んだ場合、すなわちフロック形成したフロックの場合、オール化重合が進んだものは大フロックになり、粒子も大で吸着が弱い。しかも大フロックに成長したものを見分離させた後、フロックは大フロックと分子の形は変わらず、かつ、チャージも変化しない。



(注) この図は、写真から転写したもので、表面から 2.5 mm 附近。使用薬品 PAC ろ過速度 200 m/d 素焼きろ材。MICRO FLOC の方は時間経過とともに堆積が進行しているが、FLOC FORMATION の方は←部分で脱離が見られる。また同じ深さであるが、堆積フロック量は MICRO FLOC の方が多い。

図-2 微小セル内の経時変化傾向

なお、Olation については、次のように説明される。単核のアコ錯イオン（モノマー）は、pH<3 で安定であるが、その一部は次のように配位水解離を起こす。

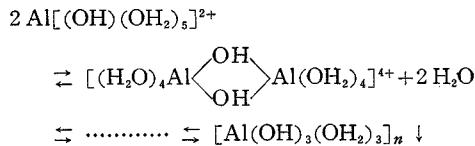


これらの反応はプロトルシスと呼ばれ、この加水分解反応は溶液の pH で決まる。

以上のようにチャージ (Charge, 荷電) が変化していくことを「荷数が変化する」と称する。

pH が高くなり、OH<sup>-</sup> イオン濃度が高くなるにつれて配位水解離はさらに進み、pH 4~7 において次のように二つの OH の間で締合反応を起こして、水酸化アルミニウムの沈殿に至るまでの各段階の重合度を持った塩基性多核アルミニウムイオン（ポリマー）を形成する。

注 通常法により、簡略化して H<sup>+</sup> で示したが、水中では H<sup>+</sup> + H<sub>2</sub>O → H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> (ヒドロニウムイオン) として実在するとされている。



これを Ol-bridge (オール橋) でつながったと称し、複核錯イオンと呼ばれるのである。

通常のろ過実験において、フロック形成させた大フロックのろ池水をすべて流入せしめた場合と、沈殿池を作動させた上澄水の場合とを比較して、フロック抑留現象が類似している<sup>2)</sup>ことからも、前述の説明は妥当と考えられる。

マイクロ・フロックの場合、フロック移動の乱れが激しいのは、ろ層間げきの電気的な場の影響をより強く受けないと考えられる。

ろ過速度、ろ材形状の違いによってフロックの挙動が変化していることから、Ives が懸濁粒子すなわちフロックがろ層空げき中の流線とどうかかわりあうかについて諸作用を説明<sup>17)</sup>しているが、その中で阻止、沈殿、流体力学的作用が大きく働いているといえる。

そこで、ろ過作用を考える場合、通常の急速ろ過の浄水プロセスにおいては、ろ材径 300~2000 μ であるため、そのろ材間げきは、最大 120 μ (最小 50 μ)~850 μ (300 μ) 程度であるから、100 μ (フロック形成したフロック)、50 μ (マイクロ・フロック) のフロックがその間げきに抑留される現象は、ふるい作用も生じるが、観察結果はろ材間げき径がフロック径に比べてはるかに大なる場合でも、ろ材表面に沈積、付着の現象が見られ、明らかに沈殿作用と考えた方が妥当である。

そこで、フロック形成の違いによって付着力が異なることから、その原因としては化学物理的吸着作用が働いていると考えるのが妥当である。

ろ池水性状の違いによって人工ろ過膜説やふるい作用説にいわれる作用が働くことはあっても、非常にまれであるか、ほとんど主役であるとは考えられないとする説<sup>14)</sup>は妥当であり、そのほかの作用については、諸作用の主体説、あるいは諸作用の一體説が提唱されているが<sup>15)</sup>、筆者は次のように説明したい。

すなわち、ろ層内での固液分離作用は現象面からは沈殿作用であり、その原因是化学物理的吸着作用で、それはろ池水性状とろ層状態によって相違があるというものである。

さらに、ろ層内のフロックの挙動については二説あるが<sup>15)</sup>、本研究の観察結果から次のことがいえる。

(1) マイクロ・フロックろ池水の場合、いったん付着したフロックは容易に脱離移行しない。

(2) フロック形成ろ池水の場合、いったん付着したフロックは、ろ過変動やろ池水の違い、あるいはろ材の

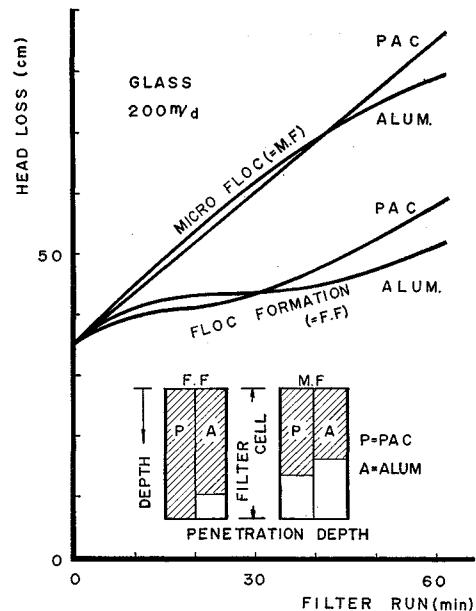


図-3 微小セルの総損失水頭の経時変化

違いによって量的な大小はあるが脱離移行する。

さらに以上の観察結果と、表-1 のこれまでの研究成果を対比させて考察すると、それらの現象は合致した結果を導き浄化機構の解明に有効な手段であると考えられる。

図-3 は微小セルの損失水頭の変化図であるが、この傾向はすべての実験について見られ、表-1 の結果の一部を再現している。なお、図中のフロック浸入深さを表わす図は、観察によって判別できた同程度のフロック濃度から、浸入深さを実測したものである。

これらのこととは、表層ほどフロックとの接触チャンスが多く、マイクロ・フロックの場合、付着力が大きく、フロック単位容積中の数も多いため表面ろ過の傾向をとり、損失水頭値が大きく出るのは、フロックを一部分で抑留し水流に対するフロックの抵抗力の強さも働いているものと考えられる。

## 実験-II

ろ池水のゼーター電位の時間変化は図-4 のとおりである。このことは、マイクロ・フロックろ池水の場合と、フロック形成ろ池水の場合とでは同じ薬注量でもゼーター電位が変化していることを示している。

これは、原水中の陰イオン性の配位子（たとえば、 $\text{HSiO}_3^{1-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ など）がアルミフロックのアコイオンと配位子置換され、チャージがマイナス側に移行するためと考えられる。

また、フロックのゼーター電位の違いによって固液分離現象がどう変化するかの観察結果は、マイクロ・フロ

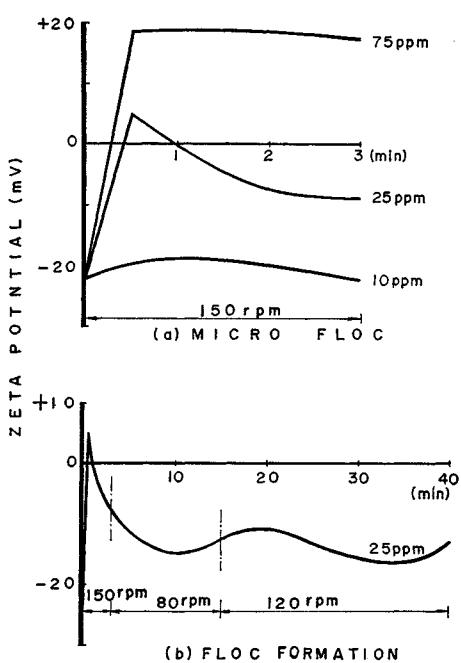


図-4 ろ池水（アルミニウム・フロック）のゼータ電位の時間変化

ックろ池水を用いた場合、いずれの薬注量でも、全体的には実験-I の現象と同じであったが、ゼータ電位 0 mV のろ池水の場合、部分的にフロック形成に類似したフロック沈積、移動の現象が見られ、+18.8 mV のろ池水の場合は、フロックの透明度が高く、部分的に架橋現象が見られた。なお、フロック形成ろ池水の場合は、実験-I の現象を再現したにとどまる。また、以上 4 実験の損失水頭の経時変化の傾向は、佐藤のマクロな研究<sup>19)</sup>と同じ結果であった。すなわち、薬注量の大なるほど損失水頭の経時変化の勾配は急で、フロック形成ろ池水の場合は、マイクロ・フロックろ池水の場合に比べて緩勾配であった。

以上の結果は、フロック形成ろ池水（ゼータ電位：-10～-15 mV）とマイクロ・フロックのゼータ電位-18.7 mV ろ池水とは、ゼータ電位において同じマイナス値を有するにろ材へのフロックの付着状態が異なるのは、フロックの極性結合（Polar linkage）<sup>18)</sup>の違いによるものと考えられ、フロックを形成する微フロックのチャージの違いによるものと考えられる。

武田が提唱<sup>19)</sup>する凝集の理論は、“濁度粒子の凝集剤から生ずる反対電荷の粒子の大きさが濁度粒子と同程度であるとき凝集が起こるのであり、両者の粒子の大きさの相違があまり大きすぎると起こらない”という点が基本となっている。

武田の説によれば実際の水にはアルカリ度があり、そ

れらの負に帯電しているゾルが正に帯電した金属水酸化物と静電引力で結合し、両者の大きさが同等であれば、電気双極子的粒子となるとし、このような粒子が集合した現象が凝集であるとしている。

このように集合した粒子がさらにカオリン粒子と結合して電気双極子的粒子となり、それらが集合してフロックを形成するという説である。

しかも、これらの粒子において、正負の電荷の重心間の距離が非常に小さいので、巨視的に見た場合は正負どちらかの電荷の方が一方よりも過剰であれば、それが粒子の電荷のように見えるわけで、フロックのゼータ電位は、そのような巨視的に見た場合現われる電荷によって測定されるものであるとしている。

この説からもフロックのゼータ電位がマイナス値であっても、フロックの一方が正に帯電していることが考えられる。

### 実験-III

ろ材表面のゼータ電位については、砂、アンスラサイト、素焼きろ材について測定したが、その結果は図-5 のとおりである。

O'Melia らの論文中<sup>20)</sup>に砂ろ材表面の電気泳動の測定値があるが、本研究の結果とかなり近似しているので、筆者の独自の方法によって得られたこの結果は妥当であると考える。

ろ材表面のゼータ電位の違いが固液分離現象に与える状態は、マイクロ・フロックろ池水を用いて、ろ材の違いによるフロック挙動を比較すると、アンスラサイトろ材間の流線の乱れが他のろ材に比して特に激しく、フ

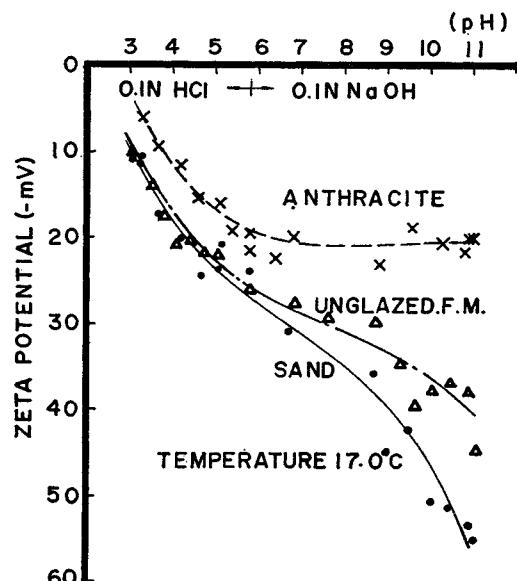


図-5 ろ材表面のゼータ電位

ロック形成ろ池水を用いて、素焼きろ材を使用した場合、フロックせん断現象が少ないことが観察された。すなわち、素焼きろ材の場合、吸着力が強いことがいえる。

本実験と、実験-II の結果から考察すると、ろ材が負に帯電していて、フロックが正に帯電していることから、フロック吸着の原因は電気的なもので、物理化学的吸着を主役と考えるのは妥当である。しかも、ろ材の負電荷の値の違いによって吸着状態が異なるのはクーロン力で説明がつけられる。しかし、ろ材の違いによってろ材間げき形と、その大きさが異なるため、いずれの影響が大きいかはいえないが、ろ材の種類の違いによるろ過効率との相関性はむしろろ材空げき率と良く一致している。すなわち、砂（空げき率：50%）、アンスラサイト（55%）、素焼きろ材（63%）の順に総損失水頭曲線は緩やかな勾配を示している。

しかし、濁度流出の少ない順から並べると、素焼きろ材、アンスラサイト、砂となっていることから<sup>11)</sup>、固液分離現象が空げき率とか、空げき径だけからも判断できないことを示している。

#### 実験-IV

ろ材形状の違いの固液分離現象におよぼす影響度を調べるために、摩滅ろ材と鋭い形状のろ材で同質のろ材を用いて観察した結果は、摩滅ろ材の場合、ろ材の表面すなわち上側に主としてフロックが付着したが、鋭いろ材

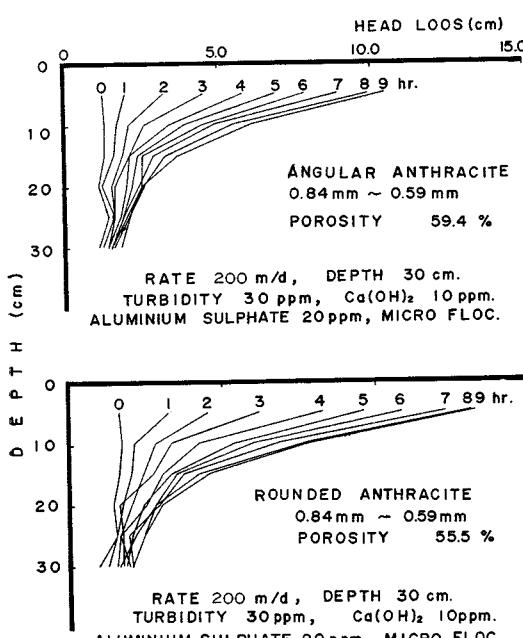


図-6 同質ろ材で形状の異なる二種のろ材による損失水頭の変化

の場合、実験-I と同じく初めフロックは稜線に付着し、次いで全面的に付着した。さらに、摩滅ろ材の場合、フロックはろ材に沿って流れ、これまでのように、ほかのろ材の場合でも形状が球形に近い場合と同じ現象を示している。このことは、ろ材形状の違いによってフロックの流動状態が異なり沈積部分も形状に左右されることがわかる。

フロックの浸入深さも当然、摩滅ろ材の方が深層にフロックを流動させている。並行して行なったマクロなろ過の実験結果（図-6）から、摩滅ろ材の方が、ろ層全体でフロックを抑留させている。この場合、空げき率に約5%の差があり、総損失水頭の経時変化の直線勾配はほとんど同じであった。

以上の結果は、ろ層内のフロック挙動はフロックとろ材表面との化学物理的吸着作用だけに左右されず、フロックの流下経路の変化によって変化することを示している。

#### 実験-V

フロック沈降速度とフロック浸入との関連性については、丹保らの研究成果から判断すると、沈降速度が遅い順に並べると、SA 併用、硫酸バンド単独、PAC 単独となっていて、これまでのマクロな研究成果（表-1）から、PAC が深層に達し、SA 併用の場合表層で抑留されるという関連性があるよう思えるが、筆者が行なったフロックの沈降速度の結果は、同一粒径のフロックでの沈降速度の値の観測幅が非常に広かった。

丹保らの実験と ALT 比が異なり、フロック径も 100 ~ 500 μ と微小であったが、同じ結果が得られなかった。これは筆者の実験では消石灰を併用している関係で、フロックの形成状態が異なるためによるのか判別はつけにくいが、フロック沈降速度とフロック浸入深さについては明解な結果は得られなかった。

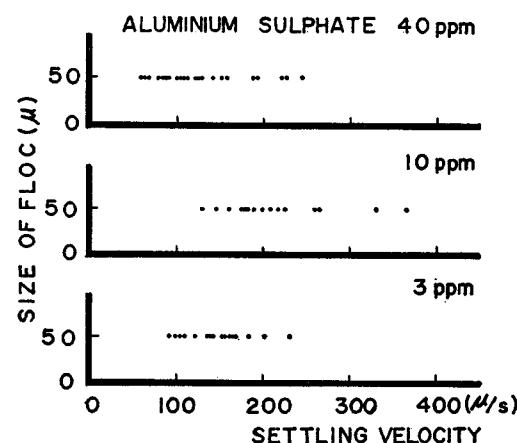


図-7 マイクロ・フロックの沈降速度

図-7 はマイクロ・フロックの場合のフロック沈降速度の実測結果であるが、フロックのゼーター電位との関連性がある。すなわち、凝集状態の良好なフロックは沈降速度が早いが、良好なフロックができる最適薬注量を上限として、薬注量が多いものは深層に達するというこれまでの研究成果と対比させて考えると浄化機構にはフロック沈降速度とフロックの電位およびフロック強度とが関連していて、切り離して考えることはできないことがわかる。

## 6. 総 括

以上、固液分離現象の観察を多くの影響因子について行ない、これまでの多くのマクロな浄化機構に関する研究成果とあわせて検討した結果を総合すると次のような結果が導かれる。

(1) ろ過作用の主役説については、ろ層全体におけるろ材表面と懸濁粒子（主としてフロック）との接触チャンスによって変化はあるが、主原因是物理化学的吸着作用と考えて良く、ろ層内のフロック抑留現象はろ池水性状によってフロック沈積部分が異なり、ろ層状態によって沈積状態は異なるが、沈殿作用で表現することが可能である。

(2) ろ層内でいったん付着したフロックが再びせん断移行するか否かの、これまでの説は条件付でいずれも正しい。すなわち、ろ池水中のフロックの持つチャージとろ材表面のチャージの違いによって、ろ層内のフロックとろ材、フロック同士の付着状態が異なるが、一般的にいって、マイクロ・フロックの場合、せん断移行は生じにくく、フロック形成の場合、せん断移行は容易に生ずる。これは、マイクロ・フロックの場合、フロック形成のフロックに比べて、付着力が強いためにせん断移行する度合が少ないためである。付着力の原因は、フロックの極性（正の帯電）にあると考える。

(3) マイクロ・フロックろ過方式の場合、薬注量が多いと内部ろ過の傾向を示すのは、フロックの強さが弱く、部分的にフロック形成の場合と同じくせん断移行するからで、薬注量が少ないと表面ろ過の傾向をとるのは単位容積当たりフロック数が多いため表層での接触チャンスが多いためと考える。フロック形成とマイクロ・フロックの場合を比較するとマイクロ・フロックの方が表面ろ過の傾向をとるのも同じ理由からだと考える。

(4) フロックのろ層内での挙動は、ろ材の形状が大きく原因する。すなわち、空けき率、間げき径、立体的間げき形状の違いによってフロックの流下経路が変化し、沈殿状態が異なってくる。乱れ状態が激しい場合、ろ材粒子全体に付着するチャンスは多い。したがってそ

の場合、表面ろ過の傾向をとる。

(5) 損失水頭に影響するフロックの付着状態は、ろ層全体に付着し、抵抗係数を増すことによって大きい抵抗となって表われる。しかし、マイクロ・フロックの損失水頭が大きく表われるのは表層部での部分的な大きな負担によって表われることが考えられる。

(6) ろ過速度、ろ材形状、ろ材粒径、フロック性状をすべて考慮に入れた因子は、フロック流動速度であると考える。すなわち、フロック流動速度は、ろ層内間げき速度とフロック沈降速度との合計と考えれば、ろ層内間げき速度は、ろ過経過とともに変化し、ろ材間げき形状の変化とともに変化し、フロック沈降速度はろ池水性状によって変化するからである。その関係が定量化できればろ過方程式（数式モデル化）が実用性の大きいものとなる。

(7) ろ池水中のフロックは、薬注量、使用薬品、フロック形成過程、水質変化に応じてゼーター電位の変化で、その性状変化を一応とらえることができ、ろ材も経年変化によるろ材変化も、ろ材の種類の違いも、表面電位を知ることによって、その性状を表現すれば、ろ過効率の判断もこれまでよりも、より簡明に表現することが可能である。

フロックの沈降速度は、フロック密度、フロック径によって変化するが、これらの凝集機構が解明されれば、定量化も実用性の高いものとなり、ろ過に与える影響因子の一つとして定量化が可能になるであろう。

以上は、ろ過効率に影響を与える諸因子の相関関係を完全に追求するため、複雑多岐の現象をより合理的に簡潔化し、適用性の高いろ過池の設計操作へのアプローチを試みたものである。さらに詳細な検討がなされれば、ろ過現象がいくつかのパターンに分類され、最適設計操作も可能になってくるであろう。

終りに、本研究にあたり、終始ご懇切なるご指導を賜った九州大学教授 上田年比古工学博士、貴重なる助言を頂いた近畿大学教授 西川泰治理学博士に対し、厚くお礼申し上げる。

また、本研究を遂行するにあたっては、多くが独自の実験手法によったが、それについては、助手の網谷力君、昭和46年度の卒業研究の学生諸君の労を煩した。ともに心からの感謝を捧げたい。

## 参 考 文 献

- 佐藤敦久：最近のろ過理論、用水と廃水、Vol. 11, No. 4, 昭和44年4月。
- 篠原 紀・網谷 力：複層ろ過池の効率に影響を与える諸因子について、土木学会論文報告集、第194号、昭和46年10月。

- 3) 荒木正夫・伸山雄之助・篠原 紀：急速砂濾過における砂層損失水頭の変化について，昭和 36 年度土木学会西部支部発表会，昭和 36 年 2 月。
- 4) 荒木正夫・遠山 啓・伸山雄之助・篠原 紀：急速濾過池における細菌除去の実験的研究，九州大学工学集報，第 33 卷第 4 号，昭和 36 年 2 月。
- 5) 篠原 紀・網谷 力：ろ層内のフロック挙動，第 22 回全国水道研究発表会，昭和 46 年 5 月。
- 6) 佐藤敦久：急速砂濾過における濾過機構に関する研究，東京大学学位論文，昭和 45 年。
- 7) 佐藤敦久・浜谷光昭：マイクロ・フロック法に関する一実験，第 22 回全国水道研究発表会，昭和 46 年 5 月。
- 8) 丹保憲仁・高橋徹男・広田静志・森峰亮一：直接ろ過の基礎的研究，第 21 回全国水道研究発表会，昭和 45 年 6 月。
- 9) Camp, T.R. : Theory of Rapid Sand Filtration, Jour. Sanitary Eng. Div. Proc. A.S.C.E., August 1964.
- 10) Maroudas, A. and Eisenklam, P. : Clarification of Suspension: a study deposition in granular media, Chem. Eng. Sci. 20, 867, 1965.
- 11) 篠原 紀・網谷 力：ゼオライトを原料とする素焼きろ材のろ過特性，工業用水，第 149 号，昭和 46 年 2 月。
- 12) 丹保憲仁・渡辺義公：アルミニウム・フロックの密度に関する研究，水道協会雑誌，第 397 号，昭和 42 年 10 月。
- 13) 丹保憲仁・渡辺義公・清水 慧：同上 (II)，水道協会雑誌，第 410 号，昭和 43 年 11 月。
- 14) 赤沢 寛：急速ろ過に関する研究，工業用水，第 40 号，昭和 37 年 1 月。
- 15) 石橋多聞：凝集機構の新理論，水道協会雑誌，第 409 号，昭和 43 年 10 月。
- 16) 後藤克己・四ツ柳隆夫：アルミニウム・イオンの性質，工業用水，第 47 号，昭和 37 年 8 月。
- 17) Ives, K.J. : Filtration The significance of theory, Jour. I.W.E., Vol. 25, No. 1, 1971.
- 18) 石橋雅義：分析化学総論 (II)，裳華堂，昭和 20 年。
- 19) 武田福隆：水処理における凝集機構に対する新しい考え方，水処理技術，Vol. 12, No. 11, 昭和 46 年 12 月。
- 20) O'Melia, C.R. and Crapps, D.K. : Some Chemical Aspects of Rapid Sand Filtration, Jour. A.W.W.A., October 1964.

(1971. 12. 3・受付)