

採水されたろ過水である。これらを用いて、それぞれ12個、合計24個の粒子の泳動速度を測定し、平均値から各試料におけるゼータ電位を求めている。一方原水については、バッチで調整された試料について測定を行なった。それらの結果は、ろ過原水中の懸濁粒子のゼータ電位にはほぼ一致するものと判断した。(4) pH……原水の pHは、(1)の試料について測定した。また、ろ過水の pHは(3)のゼータ電位測定時に、同一試料について測定した。(5) 原水およびろ過水中のアルミニウム濃度……原水の濃度については、凝集剤として用いた硫酸アルミニウム溶液(既知濃度)の使用量から逆算して求めた。ろ過水については、ろ過開始30分、1, 2, 3, 4時間目に採水した試料について、濁度測定後オキシン法によって測定した。なお水道水中のアルミニウム濃度についても別個に測定している。

3. 実験結果および考察 (1). pH変動に伴う損失水頭と濁度除去率の動き

ろ過の経過に伴う損失水頭の推移は、図-2の1)で示したように、原水の pHが中性付近で凝集剤の注入率の高い場合には、僅かに下に凸の曲線傾向①を、また pHが中性から離れた場合には凝集剤注入率にかかわらず、ほぼ直線的な増加傾向②を示した。

図-3は、原水の pH変動に伴う4時間ろ過後の損失水頭発生量を、凝集剤注入率をパラメーターとして示したものである。アルミニウムの溶解度が小さい pHが中性付近では、いずれの凝集剤注入率においても発生量が最も多く、それより酸性側、アルカリ性側のいずれに向かう場合にも発生量は次第に少なくなっている。ただし、原水の pH条件を細かくとった硫酸アルミニウム10 mg/lの場合には、pH 10において僅かな上昇傾向が認められた。これは原水に含まれる微量のマグネシウム、カルシウムの凝析による影響と考えられる。また pHが中性付近では、凝集剤注入率が高い場合ほど、単位凝集剤量当りの損失水頭発生量が多い。これに対し、pH 5, 9におけるように酸性側、アルカリ性側では、凝集剤注入率による損失水頭発生量の差異は僅少であった。

図-2の2)は、ろ過水濁度の一般的な推移の傾向を示している。今回採用したろ過条件では、ろ過時間が短いこともあって終期流出①は殆んど認められなかった。それに対し、初期流出に関係するろ過開始直後のろ過水濁度は、いずれの凝集剤注入率においても、原水の pHが酸性側の5付近で最も低くなる傾向が認められた。また、原水の pHが7付近の初期流出は、凝集剤の注入率の増加と共に減少する傾向を示した。しかしアルカリ性側においては、濁度除去率が低いこともあり、凝集剤注入率による差は判然としなかった。

図-4は、原水の pHが変動した際の平均濁度除去率を、凝集剤注入率をパラメーターとして示したものである。全般的に見ると平均濁度除去率は、酸性側で高く、

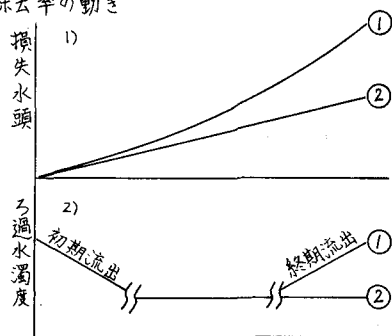


図-2

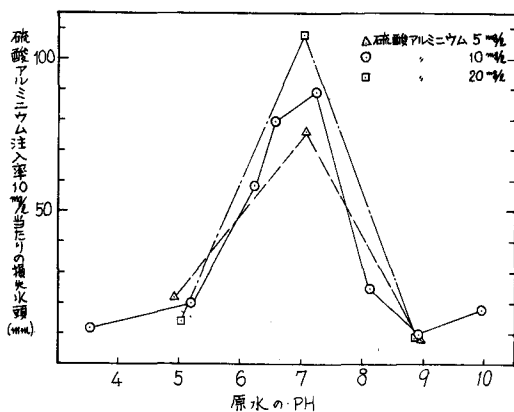


図-3

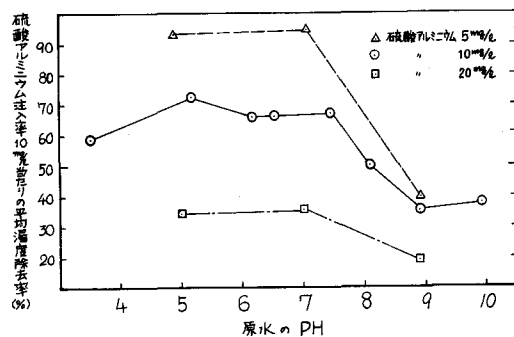


図-4

アルカリ性側で非常に低くなる傾向を示している。特に、平均濁度除去率の高い領域が pH 5～7 の広範囲にわたっていることは注目されるべきであろう。また、単位凝集剤量当りの平均濁度除去率は、凝集剤注入率の少ないほど高くなっており、このことは、凝集剤注入率の選定が、平均濁度除去率に大きく影響することを示唆している。

図-3 と図-4 で認められるように、原水の pH が中性付近では、平均濁度除去率は高いが、損失水頭発生量が最も多く、それに対し原水の pH が 5 付近では、損失水頭発生量が少ないにもかかわらず、平均濁度除去率が非常に高い。このことは、原水の pH が 5 付近では、ろ層内滞留物質が密で 2 次空隙の少ない状態で捕捉されていることを示唆している。従来、ろ過を行なう原水の pH 値としては、中性付近が多用されてきたが、酸性側の原水条件を採用するほど効果的な固液分離が可能となることが明らかになった。なお、これに関係する粒子のゼータ電位の動きについては次節以降で説明したい。

(2). pH 変動に伴うアルミニウムおよび Al₂O₃ の動き

図-5 は、原水の pH を変動させた際のアルミニウム除去率を、凝集剤注入率をパラメーターとして示したものである。除去率のピークは、いずれの凝集剤注入率においても、原水の pH が中性付近に存在しており、ここから酸性およびアルカリ性側のいずれに向かっても、除去率は次第に低下する傾向が認められる。また、原水の pH が 5～6 および 9 では、凝集剤注入率による除去率の差が微少であるが、原水の pH が 7～9 のアルカリ性側では、中性に近づくほどアルミニウム除去率にかなりの差が出る傾向が認められた。アルミニウム除去量については、pH が 5 および 9 の付近では、凝集剤注入率による差異は殆んどないが、中性付近では、除去率のピークの値の動きから推測されるように、凝集剤注入率を増すとその比以上に多量となっている。以上見てきたように、原水の pH 変動に伴うアルミニウム除去率の動きは、濁度除去率というよりも、損失水頭の動きに非常に類似していることが明らかになった。このことは、既に指摘されているように、除去アルミニウムが直接的に損失水頭の発生に大きく寄与していることを示唆している。

アルミニウムの除去率について注目すべき重要なことは、濁度除去率に比較して全般的にかなりの程度低い値を示したことである。特にこの傾向は酸性側では顕著に認められた。このような傾向をとった理由としては、海老江⁽⁶⁾が既に指摘しているように、凝集剤中には、カオリンの凝集に関与しない不活性なアルミニウムが存在していることと、また、アルミニウムは水和による高分子化が除去の大前提となるのに対し、カオリンはそれ自身でストレーニングやろ材頂部における単なる支持といった機械的な因子による除去が起こりうるなどが挙げら

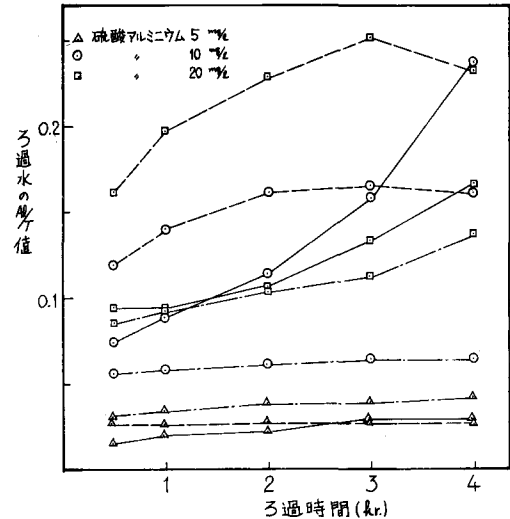
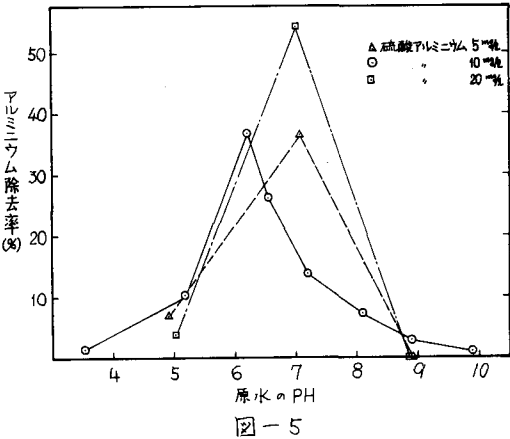


図-6 ــــــــ 原水の pH 5
 ــــــــ 〃 7
 ــــــــ 〃 9

れるが、最適凝集剤使用条件の選定と合わせて、今後さらに検討を要すると考える。

図-6は、ろ過水の Al/η の経時の推移を、原水の PH と凝集剤注入率をパラメーターとして示したものである。今回の実験で採用した原水の Al/η は、硫酸アルミニウム注入率5、10および20 mg/L の場合、それぞれ0.200、0.042および0.789であった。先に述べたように、アルミニウム除去率が濁度除去率に比較して低かったことから、ろ過水の Al/η は原水のそれよりも高くなっている。また、ろ過水中の経時のアルミニウム濃度は殆んど変動がなかったのに対し、ろ過水濁度は一般的には、凝集剤注入率の増加につれてろ過の経過と共に減少する傾向を示したので、ろ過水の Al/η は以下のような推移を辿っている。すなわち、全般的な傾向としては、凝集剤注入率が高くなるほどろ過水の Al/η が大きく、かつ経時の上昇傾向が甚だしい。さらに、 PH の影響については、凝集剤注入率の高いほど、ろ過水の Al/η は PH によって大きな差が認められ、中でも PH が5の場合に大きなろ過水の Al/η をとっている。

(3). PH 変動に伴う懸濁粒子のゼータ電位の動き

図-7は、バッチで試料をもとに、 PH 変動に伴う懸濁粒子のゼータ電位の測定値を示しており、パラメーターは凝集剤注入率である。硫酸アルミニウムを注入しない場合、つまりカオリン粒子そのもののゼータ電位は、 PH が4~10の範囲で $-19 \sim -28 \text{ mV}$ となっており、その絶対値は PH の上昇と共に徐々に増大する傾向をとっている。一方硫酸アルミニウムを注入した場合には、いずれの硫酸アルミニウム注入率(5、10および20 mg/L)においても、 PH が5付近で正の電位のピークを持ち、それより酸性側およびアルカリ性側(PH 8付近まで)のいずれに向かう場合にも、電位は急速に低下する(負領域に向かう)傾向を示した。 PH が8付近からは低下の程度は僅少となり、 PH が10では硫酸アルミニウムを注入しないカオリン粒子そのもののゼータ電位とほぼ等しい値をとる。硫酸アルミニウム注入率を5 mg/L から10 mg/L に増加させると、 PH 5におけるピーク値が高くなるが、注入率を20 mg/L とさらに増加させた場合には、このピーク値の上昇は認められなかった。懸濁粒子のゼータ電位は、凝集剤注入率が高いほど高くなっているが、その差は、ピークとなる PH 5付近で最も大となり、そこから離れるに従って徐々に小さくなっている。

図-3と図-7から、損失水頭発生量が最大となる PH 7における懸濁粒子のゼータ電位は、 $-16 \sim -21 \text{ mV}$ である。また同様に、図-4と図-7から、濁度除去率が高い原水の PH が5~7での懸濁粒子のゼータ電位は、 PH 5における $+15 \sim +25 \text{ mV}$ から、 PH 7における $-16 \sim -21 \text{ mV}$ の範囲にわたっている。

図-8は、 PH 変動に伴う珉材(珉砂、アンスラサイト、ガラス玉)のゼータ電位の動きを示したものである。今回の実験では、珉材を微粉砕したのち図-7の懸濁粒子の場合と同一の方

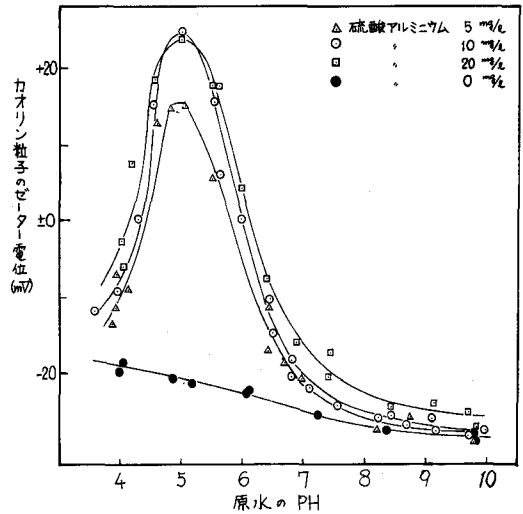


図-7

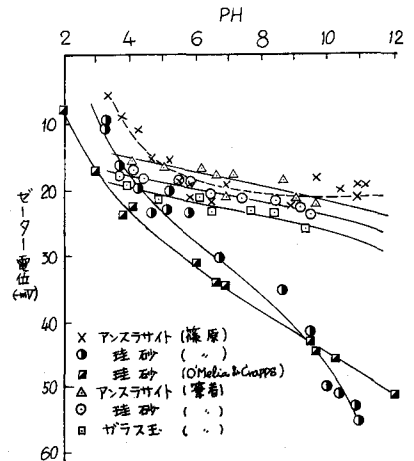


図-8

法でゼータ電位を測定し、それをろ材のゼータ電位と考へた。今回の測定結果では、篠原の結果と異なり、ろ材の種類による有意な差は認め難く、強いてその大小を問うならば、(アンストラサイト) > (珪砂) > (ガラス玉) といえよう。また、そのゼータ電位は、カオリン粒子よりも幾分高い値を示している。ろ材(ろ層)のろ過経過に伴うゼータ電位の推移については、角田・青柳、尾崎等は、懸濁粒子の付着によってろ材のゼータ電位が、時間と共に次第に懸濁粒子のゼータ電位に接近することを明らかにしている。特に、角田・青柳は、原水濁度 20 mg/l、硫酸アルミニウム注入率 5 mg/l、ろ速 240 m/h、(砂の有効径 0.56 mm、均等係数 1.4) で、20 cm 厚のろ層の総括的なゼータ電位は、1.5 時間程度に供給した懸濁粒子のゼータ電位にかなり接近すると報

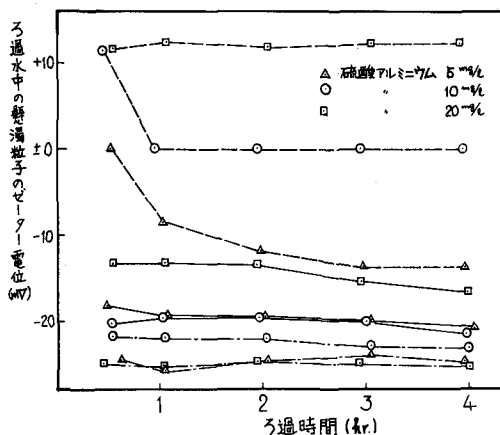


図-9は、ろ過水中の懸濁粒子のゼータ電位の経時変化も、原水のpHと凝集剤注入率をパラメーターとして示したものである。一般的に、ろ過水中の懸濁粒子のゼータ電位は、ろ過時間と共に下降する(負領域に向かう)傾向が認められた。特に原水のpHが5では、凝集剤注入率の少ないほど、下降の傾向が激しく、pHが7、9では、いずれの凝集剤注入率においても、下降する傾向は微少であった。また、凝集剤注入率によるろ過水中の懸濁粒子のゼータ電位の差は、原水のpHが5の時に最も大きく、pHが7、9と上昇するにつれて小さくなることが分った。

原水のpH	5			7			9		
硫酸アルミニウム注入率(mg%)	5	10	20	5	10	20	5	10	20
原水中の粒子のゼータ電位(mV) A	+15	+24	+24	-21	-20	-16	-27	-27	-25
ろ過水中の粒子のゼータ電位(mV) B	-11	+2	+12	-20	-20	-15	-25	-23	-25
差(A - B) (mV)	-26	-22	-12	+1	0	+1	+2	+4	0

表一

などの電気的な効果より勝っていたためと考えられる。さらに、原水のpHが9付近では、非凝集性領域であり、そのため損失水頭発生量が少なく、濁度除去率も低かった。供給した懸濁粒子はろ材と同様に負の電位が高く、相互に反発して、その殆んどが直接流出してきたものと考えられる。懸濁粒子の除去は、ストレーニングまたはろ材頂部における機械的支持によっていると推測される。

4. あとがき

原水のpH変動が急速砂ろ過の諸現象にいかなる影響を及ぼすかも検討した。その結果、所期の目的は大体達せられたものとする。しかしながら、急速砂ろ過のメカニズムは極めて複雑であるため、現段階では明確に説明することができない。今後は、より詳細に、懸濁粒子のゼータ電位などの測定を総合的に積み重ねて、メカニズムの完全な解明ならびに急速ろ過池の合理的な設計の確立を目指したい。

(文献)

- 1). 佐藤 「急速ろ過におけるろ過機構に関する研究(I),(II)」 水道協会雑誌, 1970, 7
- 2). 篠原 「急速ろ過のろ過機構と複層ろ過に関する基礎的研究」 九州大学工学博士論文, 1974, 8
- 3). 海老江 「急速ろ過ろ層における抑留物質の挙動(I)~(V)」 水道協会雑誌, 1975, 10, '76.3, '76.12, '77.1, '77.11
- 4). Camp, T.R. 「Theory of Water Filtration」 Jour. of the Sa. En. Di., Proc of the ASCE, 1964, 8
- 5). Ives, K.J. 「Theory of Filtration」 International Wa. Su. Co. & Exhibition Sp. Su. No.7, 1969
- 6). 角田・青柳 「直接凝集ろ過法に関する実験的研究」 水道協会雑誌 1975, 10
- 7). 尾崎 「ろ材の界面動電位に及ぼす電解質と濁質の影響」 第14回衛生工学研究討論会講演論文集, 1978, 1
- 8). O'Melia, C.R. and Crapps, D.K. 「Some Chemical Aspects of Rapid Sand Filtration」 Jour. AWWA, 1964, 10
- 9). Stanley, D.R. 「Sand Filtration Studied with Radiotracers」 Proc. of the Am. Soc. of Ci. En., 1955
- 10). 海老江 「急速ろ過池の高負荷適応化に関する基礎的検討」 土木学会第33回年次学術講演会講演論文集, 1978, 9