

II-70

直接ろ過池の濁質除去に及ぼす凝集剤の種類とろ層厚さの影響

北見工業大学 正 員 海老江 邦 雄
 同 学生員 渋谷 真 祐
 同 同 安出 卓 司
 同 同 李 富 生

1. ま え が き

ろ過池における懸濁粒子の除去は、輸送段階と付着段階との因子によって説明される。輸送段階ではさえぎりが、また付着段階ではろ層内を流れているブロックと既抑留表面の界面化学的相互作用が卓越すると指摘されている。また、凝集性粒子を対象にしたろ過阻止率の解析¹⁾においては、従来の数式モデルの結果とは異なり、表層ほど阻止率は高く、下層に進入するほど低くなった。それは、従来、ろ層の深さ方向のブロック特性の変化が考慮されていなかったためと考えられる。さらに、濁度に対する凝集剤注入率の比(Al/T)は、凝集を支配する重要な因子である。既に報告²⁾した通り、ポリ塩化アルミニウムを用いた実験と硫酸アルミニウムを用いた実験における損失水頭とろ過水濁度には明確な差が確認された。これらは、いずれも、ろ層における濁質除去現象を評価する上で、ブロックの物理的、化学的特性の把握が重要であることを示している。

本論では、凝集剤(ポリ塩化アルミニウム、硫酸アルミニウム)とカオリンによる Al/T を等しく設定して直接ろ過実験を行い、ろ層厚の増加に伴うブロック性状の変化について検討した。すなわち、原水と厚さの異なるろ層からの流出水の濁度、ブロック径、ブロックのゼータ電位およびろ層の損失水頭を測定し、これらについて考察を行っている。

2. 実 験

実験では図1に示す直接ろ過装置を用いた。ろ層厚としては、20, 40, 60 cm の3段階を使用した。20, 40 cm ろ層については、ろ過筒に 60 cm 厚で充填したろ過砂(有効径 0.71 mm, 比重 2.65)を逆洗によって成層化させた後、空隙率 44.3% の固定層とし、表層から 20, 40 cm 厚で抜き取ったものを使用した。また、60 cm 厚のろ層については上掲のろ過砂をそのまま成層化して用いた。ろ過原水は、本学水道水に人工濁質としてカオリン 20 mg/l、凝集剤としての PAC または硫酸アルミニウムをアルミニウム濃度として 0.55 mg/l 注入 ($Al/T=0.0275$) 後、急速混和したものである。ろ過速度は 120 m/d、ろ過時間は 6 時間とした。ろ過実験では、原水および厚さの異なるろ層からの流出水の濁度(積分球式濁度計)、ブロック径(光学顕微鏡法)、ゼータ電位(ブリッグスセルを用いたマイクロ電気泳動装置)およびろ層の損失水頭を測定した。

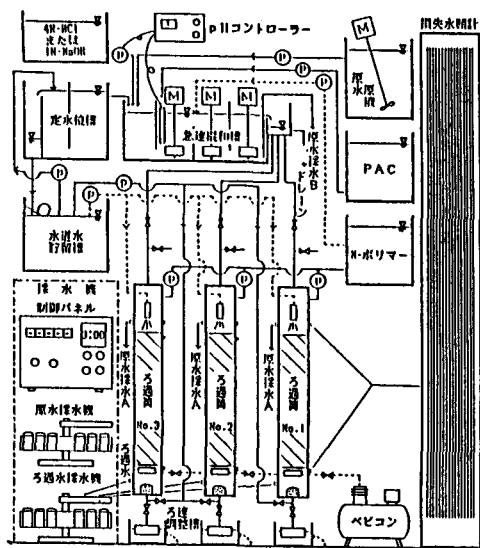


図1 実験装置の概要

Influence of coagulant species and filter depth on the removal of suspended particles in direct sand filtration by Kunio EBIE, Shinsuke SHIBUYA, Takuji YASUDE and Fu-sheng Li

3. 結果と考察

(1) 図2は、ろ過実験に先立ってジャーテストを行い、形成されたカオリンフロックのゼータ電位と水の pH との測定結果を示している。この際、凝集剤としては、ポリ塩化アルミニウムと硫酸アルミニウムを今回の実験と同一のAl/Tとなるように注入している。この図は、Al/Tを等しく設定した場合には、凝集剤が異なっても、フロックのゼータ電位は近似することを示している。したがって、フロックのゼータ電位が等電点となる pH 値についても、ポリ塩化アルミニウム使用時には pH 4.2 と 6.2、硫酸アルミニウム使用時には pH 4.6 と 6.4 と近似した値が得られた。これらの結果は、pH によるポリ塩化アルミニウムフロックと硫酸アルミニウムフロックのゼータ電位の動きが異なることを示した角田、青柳の報告⁴⁾とは一致していない。今回のろ過実験では原水 pH を 6.6 付近に設定したため、いずれの凝集剤を用いた場合にもフロックのゼータ電位は -10 mV 程度であったと考えられる。

(2) 図3は厚さの異なるろ層からの流出水の濁度と損失水頭の経時変化を示している。この図においては、いずれの凝集剤を用いた場合にも、ろ層の厚さが増すとともに流出水濁度は低くなっている。しかしながら、除去率に関しては、ポリ塩化アルミニウムフロックが硫酸アルミニウムフロックよりも高く、両凝集剤の物理的、化学的特性に差があることを示唆している。硫酸アルミニウムフロックの除去率が低いことは、凝集剤として硫酸アルミニウムを用いると、ポリ塩化アルミニウムを用いた場合よりもろ層を深く設定することが必要となる。

また、損失水頭に関してみると、全体的にポリ塩化アルミニウムを使用した方が 4.6 倍程度大きくなっている。これは、表1の濁度除去率の動きが示すように、硫酸アルミニウムフロックに対してポリ塩化アルミニウムフロックの方が上層において多量に抑留されたことも一因と考えられるが、それ以上に、抑留物質質量当りの損失水頭の差が大きいことなど、両フロックのろ過性状が著しく異なっていたことが原因と推測される。

(3) 表2は厚さの異なるろ層からの流出水に含まれるフロック平均径とその標準偏差の経時変化を示している。まず、フロックの平均径をろ層深さ方向でみると、いずれの凝集剤を用いた場合にも、ろ層上部ほど大きな値をとり、下層に行くに従って徐々に小さくなっている。さらに標準偏差の動きを見ると、ろ層上部ほど原水に近い

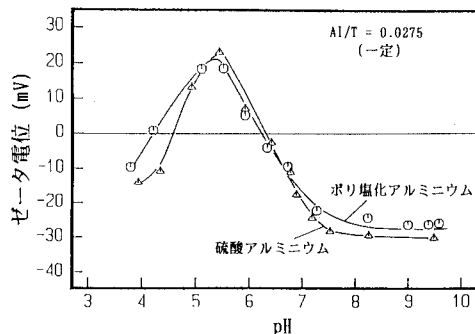


図2 pHとカオリンフロックのゼータ電位

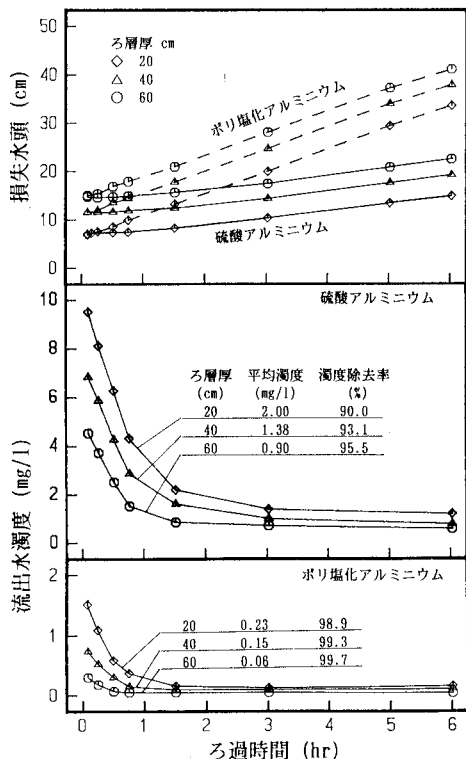


図3 流出水濁度と損失水頭の経時変化

表1 ろ層位置と濁度除去率など

注入率 (mgAl/l)	ろ層位置 (cm)	濁度除去率 (%)	H/σ (*10 ⁻³ cm/mg)
Alum 0.55	0~20	90.0	2.11
	20~40	31.0	1.06
	40~60	34.8	1.35
PAC 0.55	0~20	98.9	9.03
	20~40	34.9	4.52
	40~60	60.0	---

※ H: 損失水頭(6hr.), σ: 抑留物質質量(6hr.)

大きな値をとるが、下部に流れて行くに従って小さな値となっている。このことは、ろ過原水中のフロックは、ろ層を流下するにつれて大きな粒径から選択的に抑留されていくことを示している。一方、ろ層内のフロック径と標準偏差の経時変化を見ると、図3の流出水

表2 流出水中のフロック平均径と標準偏差

注入率 (mgAl/l)	砂層厚 (cm)	原水	フロック平均径 (標準偏差) (μm)			
			30 min	90 min	180 min	360 min
Alum 0.55	20	3.03(2.21)	2.12(1.52)	1.97(1.30)	1.92(1.11)	1.83(1.09)
	40	〃	2.06(1.15)	1.96(1.07)	1.91(0.92)	1.82(0.90)
	60	〃	1.98(1.13)	1.94(0.93)	1.89(0.91)	1.73(0.88)
PAC 0.55	20	4.01(2.98)	2.68(1.66)	2.13(1.45)	2.08(1.21)	2.05(1.04)
	40	〃	2.13(1.24)	2.06(1.18)	2.05(1.05)	1.99(1.02)
	60	〃	2.03(1.18)	1.94(1.11)	1.88(1.03)	1.84(0.97)

濁度と同様に、いずれもろ過初期に大きく減少し、その後は次第に減少幅が小さくなっている。これは、ろ過が進行するとともにろ層が成熟し、粒子捕捉能が高まったためと考えられる。

また、凝集剤の違いによるフロック平均径と標準偏差の動きは次のようである。原水中のフロックについては、いずれもポリ塩化アルミニウムフロックの方がそれぞれ約 1 μm (32.2 %), 0.77 μm (34.8 %) 大きく、損失水頭発生量が大きかったことを裏付けている。また、各層から流出するフロック径について見ると、ポリ塩化アルミニウムフロックは硫酸アルミニウムフロックより表層抑留の傾向が強いにも関わらず、ろ層を流下するフロックの平均径は硫酸アルミニウムフロックより大きな値をとっている。フロック径のみから判断すれば、ポリ塩化アルミニウムフロックは、もっと多量にろ層で除去されるべきと考えられる。

(4) 図4はそれぞれの厚さのろ層から流出するフロックのゼータ電位の経時変化を示している。従来、乱流場における凝集の至適ゼータ電位は等電点を挟む±10 mV の領域にあると言われている。今回の実験で採用した原水中のフロックのゼータ電位は、従来の至適領域の下限に相当しているにも関わらず、図3で示したように濁質の除去は十分に進行した。また図4を見ると、ろ層下部に行くに従って、フロック群のゼータ電位は徐々に低下しており、ろ過が可能なフロックのゼータ電位は必ずしも従来提唱されている至適凝集領域の値とは一致しないようである。しかしながら、ろ層上部では従来の至適領域に比較的近い値のフロックから除去され、ろ層下部に行くに従ってカオリン粒子のゼータ電位に近い、すなわち抑留されずらいフロックが残留する傾向が認められた。このように、フロックのゼータ電位についても、フロック径の場合と同様に、ろ層内を流下するにつれて変化することが明らかになった。つぎに、ゼータ電位の経時変化について見ると、ろ過初期には高い値を示し、ろ過 1 時間半以降は非常に安定している。これは、流出水濁度の動きと深く関わっており、ろ過初期のゼータ電位が高いのは、この時期における流出水濁度が高かったためであり、その後、ゼータ電位が低い値で安定しているのは、流出水濁度が低い値で安定していたためと考えられる。つぎに、硫酸アルミニウムフロックとポリ塩化アルミニウムフロックのゼータ電位を比較すると、原水中のゼータ電位については前者では-10.85 mV、後者では -10.50mV とほぼ同じ値をとっている。それに対し、厚さの異なるろ層から流出するフロックのゼ

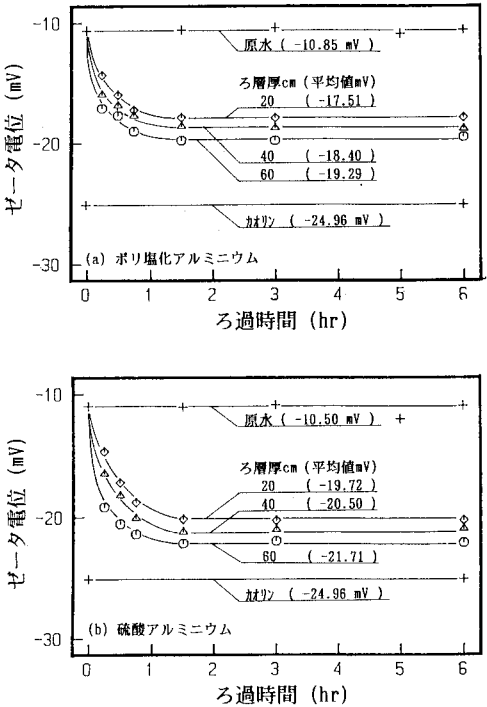


図4 流出水中のフロックのゼータ電位

ータ電位については、全体的にポリ塩化アルミニウム使用時の方が高くなっている。したがって、硫酸アルミニウムフロックであれば、当然除去される筈のゼータ電位でありながら、ポリ塩化アルミニウムフロックの場合には、除去されないものが出るという結果が観測された。

4. ま と め

今回の実験により得られた知見は、以下の通りである。

- (1) 水の pH 変動下におけるポリ塩化アルミニウムで形成されたカオリンフロックと硫酸アルミニウムで形成されたカオリンフロックとのゼータ電位の挙動は、Al/Tが等しい場合には、ほぼ類似の傾向を示した。今回のろ過実験では原水の pH を 6.6付近に設定したため、いずれの凝集剤を用いた場合においても、ほぼ等しい値(約-10 mV)を示した。また、原水中のフロック径については、ポリ塩化アルミニウムで形成されたフロックの方が 32.3 % 大きい値を示した。
- (2) いずれの凝集剤を用いた場合にも、流出水濁度はろ層厚が増すにつれて低下した。ポリ塩化アルミニウムを使用した場合には、濁度除去率は高く、抑留物質質量当りの損失水頭の値も大きくなるなど、硫酸アルミニウムを使用した場合と異なる諸挙動を示した。
- (3) ろ層内を流れるフロックの粒径とその標準偏差およびゼータ電位は、いずれの凝集剤を使用した場合にも、上層では原水中のフロックに近い値、下層に行くに従ってカオリンに近い値をとり、これらと流出水濁度の経時の動きには、強い関連性が認められた。
- (4) 全体的に見ると、ポリ塩化アルミニウムを使用した場合には、硫酸アルミニウムを使用した場合に比べて、ろ層内を流れるフロックの粒径とその標準偏差の値は大きく、ゼータ電位についても高い値を示した。そのため、ポリ塩化アルミニウムで形成されたフロックの方が、抑留されやすい性状を持っているものと推測される。

5. あ と が き

最後に、本研究の実験に協力いただいた北見工業大学土木工学科上下水道工学研究室の輪島 秀則技官および伊藤 忍、大谷 茂央の両君に対し心から感謝したい。

【 文 献 】

- 1) 海老江 邦雄 渋谷真祐 他 : 直接ろ過における阻止率の解析, 土木学会北海道支部論文報告集, pp.605-608, '92.2.
- 2) 海老江 邦雄 渋谷真祐 他 : 直接ろ過池の濁質除去におよぼす凝集剤(PAC, バンド)の影響, 土木学会, 第47回年次学術講演会概要集第2部, pp.862-863, '92.9.
- 3) 海老江 邦雄 : 急速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回年次学術講演会概要集第2部, pp.327-328, '79.10
- 4) 角田省吾 青柳由重 : 直接凝集ろ過法に関する実験的研究, 水道協会雑誌, 第486号, pp.2-10, '75.3
- 5) 尾崎博明 他 : ろ材の界面動電位の測定とろ過におよぼす影響, 第14回衛生工学討論会講演論文集, pp.52-58, '78.1
- 6) 海老江 邦雄 : 急速ろ過ろ層における抑留物質の挙動(I), 水道協会雑誌, 第493号, pp.25-46, '75.10
- 7) 丹保憲仁 小笠原紘一 : 浄水の技術, 技報堂出版
- 8) R.M.Jorden : Electrophoretic Studies of Filtration, Jour.AWWA, Vol.55, No.6, pp.771-781, Jun. '63.