

B-30 微細珪砂を用いた凝集+砂ろ過法における PACとAlumの比較検討

○南 修司^{1*}・笠原 伸介²・石川 宗孝²

¹大阪工業大学大学院工学研究科環境工学専攻 (〒535-8585 大阪府大阪市旭区大宮5丁目16-1)

²大阪工業大学工学部環境工学科 (〒535-8585 大阪府 大阪市旭区大宮5丁目16-1)

* E-mail:m1m13f06 @st.oit.ac.jp

1. はじめに

現在、清澄な水源（地下水、伏流水など）や高度浄水処理の後段では、沈殿池を持たない直接ろ過法がしばしば採用されている。このようなところでクリプトスポリジウム対策や微小生物あるいは微粉炭の漏洩対策を行うには、ろ過機能を強化することが必須となる。このような背景の下、著者ら^{1,2)}は設計指針の規定を下回る珪砂（以下、微細珪砂）を採用するとともに凝集操作条件を最適化することで、高い分離性能と損失水頭の緩和を両立する効率的な凝集+砂ろ過法の検討を行っている。これまでに有効径 0.2 mmの微細珪砂を用いた場合、急速攪拌条件（ $G_R \cdot T_R$ 値）を最適化してもなお標準的な操作条件に対して約10倍高い損失水頭が発生することを確認した²⁾。

本研究では、PACに比べて集塊力は弱い、損失水頭の発生量は少ないと報告されている硫酸アルミニウム（Alum）³⁾に注目し、その効果について検討した。まず、PACおよびAlumを用いた凝集処理水のSTRおよび粒径分布を測定し、両凝集剤の最適 $G_R \cdot T_R$ 値および集塊化特性を比較検討した。その後、ベンチスケールろ過実験を行い、損失水頭、ろ過水濁度、粒径別の粒子除去率および残留AIをそれぞれ比較検討した。

2. 実験方法

図1に実験装置の概要を示す。実験装置は回転数可変モーターを装着した急速攪拌槽（有効容積 6 L）と断面積 49 cm²の矩形断面を有するアクリル製カラムから構成される。実験原水は本学水道水にカオリン 1 mg/L および凝集剤として PAC 3 mg/L または Alum 5.4 mg/L（AI濃度はいずれも 0.48 mg-AI/L）を注入したものを用いた。

実験中の pH は 7 付近（7.0~7.3）とした。

STR の検討では、実験原水を所定の G_R 値および T_R 値に調整した急速攪拌槽に供給し、急速攪拌槽からの流出水 500 mL を孔径 0.45 μ m のメンブレンフィルター（材質：セルロース混合エステル、ADVANTEC 製）で吸引ろ過（吸引圧力：30 kPa）するのに要した時間およびろ紙からの透過水に含まれる AI 濃度（オキシシ法）をそれぞれ測定した。

ろ過特性の検討では、実験原水を一般に採用される $G_R \cdot T_R$ 値（ G_R 値 150 s⁻¹, T_R 値 1 min, $G_R \cdot T_R$ 値 9,000）および STR の検討より求めた最適 $G_R \cdot T_R$ 値（ G_R 値 1,050 s⁻¹, T_R 値 7 min, $G_R \cdot T_R$ 値 441,000）で凝集処理し、有効径 0.20 mm, 均等係数 1.7, 空隙率 44.3 % の微細珪砂充填層にろ過速度 120 m/d で通水した。ろ層の損失水頭を測定するとともに流入および流出水のろ過水濁度と微粒子数（ハイブリッド微粒子計：ZVM, 富士電機システムズ製）および AI 濃度（オキシシ法）をそれぞれ測定した。

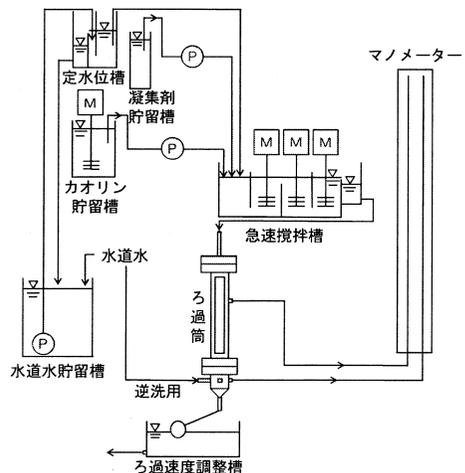


図1 実験装置の概要

3. 実験結果および考察

(1) PACとAlumの凝集特性

a) $G_R \cdot T_R$ 値とSTRおよび透過AIの関係

図2に各種 $G_R \cdot T_R$ 値におけるSTRおよび透過AIの測定結果を示す。 $G_R \cdot T_R$ 値が同じであれば、透過AIについてはPACとAlumに大きな違いは見られなかったが、STRについてはPACに比べてAlumの方が約30%低かった。これ

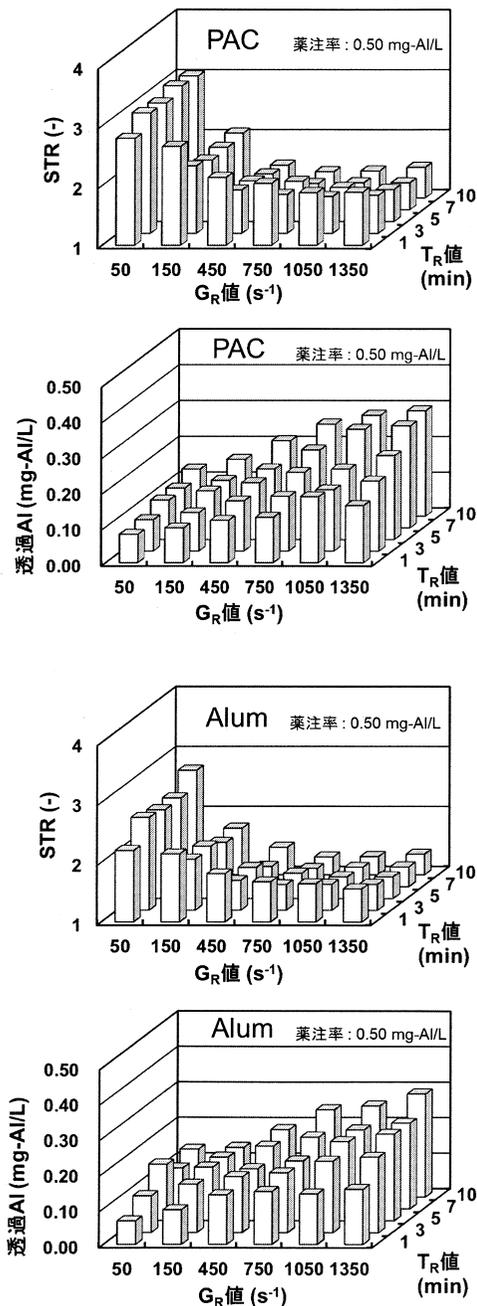


図2 各種 $G_R \cdot T_R$ 値におけるSTRおよび透過AI

は、PACがポリマーを呈する凝集剤であるため、Alumよりも膨潤で低密度なフロックが形成されたためと考えられる。また、PACおよびAlumとも透過AIについてはSTRに関係なく $G_R \cdot T_R$ 値が上昇するにつれて増加したが、STRについては G_R 値 1,050 s^{-1} 、 T_R 値 7 min ($G_R \cdot T_R$ 値 441,000)で最低値を示した。このことから、過剰な攪拌によるフロック表面の劣化に起因すると考えられるろ過抵抗の上昇²⁾は、PACのみならずAlumを用いても同様に起きる現象であることが示唆された。

b) 凝集フロックの粒径分布

図3に急速混和後における各凝集フロックの粒径分布を示す。 $G_R \cdot T_R$ 値が同じ場合、PACとAlumで急速攪拌後に得られる凝集フロックの粒径分布に大きな違いは見られず、実験を行ったすべての条件において径が小さい粒子ほど存在割合が高くなる傾向が見られた。先に述べたように、 $G_R \cdot T_R$ 値が同じでも、AlumはPACに比べて低いSTRを示したことから、Alumを用いるとPACに比べて同じ粒径でも相互付着性の低い表面性状を有するフロックが形成されたと考えられる。また、両凝集剤とも $G_R \cdot T_R$ 値を9,000から441,000に変更することでフロックの集塊化が進み、径の大きな粒子の存在割合が高くなる傾向も同時に確認された。

(2) ろ過特性

a) 損失水頭の動き

図4(A)に損失水頭の経時変化を示す。 $G_R \cdot T_R$ 値の最適化に伴う損失水頭の抑制効果はSTRと同様、PACおよびAlumともに確認され、その上昇速度はいずれも1/3程度に抑制された。また、 $G_R \cdot T_R$ 値が同じであれば、PACとAlumで発生する損失水頭の上昇速度に大きな違いは見られなかったが、STRについては前述したように全ての $G_R \cdot T_R$ 値においてAlumの方がPACより約30%低かった。このことから、ろ過時間をさらに延長した場合には両者の差は明確に現れるものと考えられる。

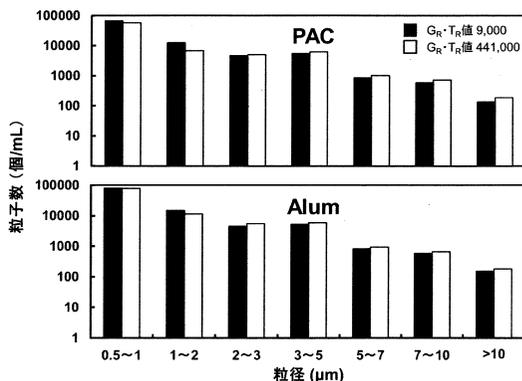


図3 急速混和後における凝集フロックの粒径分布

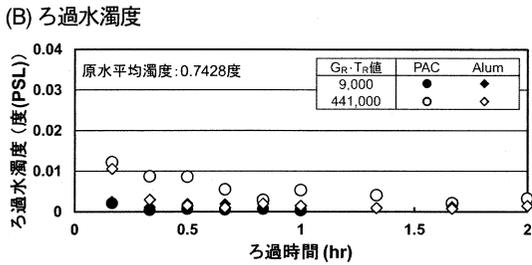
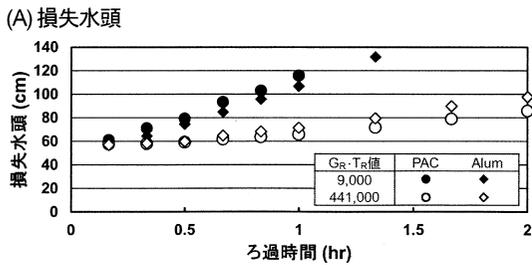


図4 損失水頭およびろ過水濁度の経時変化

b) 粒子の除去特性と残留Al

図4(B)にろ過水濁度の経時変化を示す。ろ過水濁度については、いずれの凝集剤においても $G_R \cdot T_R$ 値の最適化に伴って上昇し、ろ過開始1時間の平均ろ過水濁度を比較すると、PACでは0.006度、Alumでは0.002度と前者が後者より3倍高かった。また、 $G_R \cdot T_R$ 値 441,000の場合、Alumではろ過開始20分後には初期漏出が収束したのに対し、PACでは2時間を経過しても濁度漏出が収まらず、水質保持に対するAlumの優位性が明らかとなった。

図5にろ過開始30~60 minにおける粒径別の平均log除去率を示す。Alumの場合、いずれの粒径においても $G_R \cdot T_R$ 値の最適化に伴う除去率低下は見られなかったが、PACの場合、1 μm 以下の粒子で0.7 log、1 μm 以上の粒子で1.3 logの除去率低下が見られた。このことから、急速攪拌強化に伴う付着性の低下は、特に集塊化し易い粒子において顕著に現れると考えられる。

図6に残留Alの経時変化を示す。前述の通り、PACを用いると $G_R \cdot T_R$ 値の最適化に伴う粒子除去率の低下が顕著に見られたが、ろ過水中の残留Alについては、全ての条件において良好に抑制されていた。これは、Al含有量が高い粒子ほどろ層内で捕捉され易いためと考えられ、特に比表面積の大きな微細珪砂充填層によって優れたAl抑制効果が発揮されたと考えられる。

4. まとめ

- (1) PACおよびAlumとも同じ急速攪拌条件（いずれも G_R 値 1,050 s^{-1} , T_R 値 7 min, $G_R \cdot T_R$ 値 441,000）で最も低いSTRが得られた。

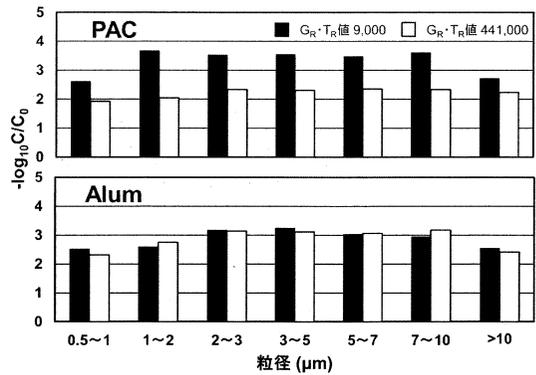


図5 粒径別の平均log除去率 (30~60 min)

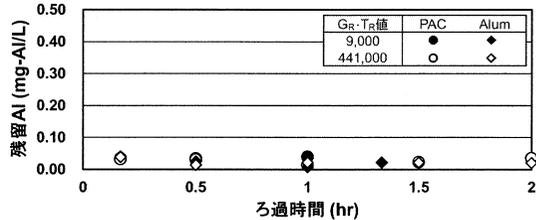


図6 残留Alの経時変化

- (2) Alumによる凝集フロックはPACによる凝集フロックとほぼ同じ粒径分布でありながら、約30%低いSTRを示した。
- (3) $G_R \cdot T_R$ 値の最適化に伴う損失水頭の抑制効果（ろ過2時間）はPACとAlumでほぼ同じ（いずれも約1/3）であった。
- (4) $G_R \cdot T_R$ 値の最適化に伴うろ過水濁度（ろ過1時間）の上昇はAlumに比べてPACの方が3倍高く、特にPACで凝集された1 μm 以上の粒子除去率の低下が顕著であった。
- (5) PACおよびAlumとも微細珪砂を用いれば、高い残留Al抑制効果が得られた。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力頂いた本学4年生の木梨友樹君および真館宗伸君に感謝の意を表します。

参考文献

1) 井上 淳・笠原 伸介・石川 宗孝：微細珪砂を用いた凝集+砂ろ過法のろ過特性に関する検討，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集VII, pp.163-164, 20129

2) 南 修司・笠原 伸介・石川 宗孝：微細珪砂を用いた凝集+砂ろ過法における操作諸元とろ過特性の検討，土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集VII, pp.97-98, 20139

3) 海老江 邦雄・渋谷 真祐・安出 卓司・李 富生：直接ろ過池の濁質除去におよぼす凝集剤の種類とろ層厚さの影響，土木学会北海道支部論文報告集，第49号，pp.671-674, 1993