

Ⅶ-12

活性化スラッジ循環法と凝集沈殿処理水質の改善

北見工業大学工学部 フェロー 海老江 邦 雄  
 " 学生員 内 田 淳  
 " 学生員 東 義 洋  
 " 学生員 李 宰 昊

1. ま え が き

近年、河川上流部でのダム建設や富栄養化に伴う藻類の繁殖などの影響により、河川水は低濁化や高pH化し、難凝集性の傾向を示している。こうした原水を処理している多くの浄水場では、高濁時と同様に凝集剤の注入率を上げて対応している。凝集剤が高注入になると比重が小さく沈降性の悪いフロックが形成されるので、処理水の濁度やAl濃度の上昇および汚泥量の増加などの問題を引き起こしている。一方、汚泥中には未だ凝集力があるAlが残存しているため、これを凝集系へ循環させることにより凝集剤の節減や汚泥量の減少などが期待できる。

本論では、循環スラッジの基礎特性の把握を目的に繰返しジャーテストに伴うフロックの凝集力の確認、および種々の条件で形成したスラッジの循環による新規凝集剤注入量の削減効果、また、処理水質の改善効果についてモデルプラントを用いた実験を行った。ここでは、それらの結果について報告したい。

2. 活性化スラッジ循環法の原理

浄水処理工程で発生するスラッジは、主に原水中の濁度成分と凝集剤として加えられたAlとの混合物である。特に、凝集剤の高注入時に発生するスラッジ中のAlは凝集力を一部残しているものと考えられる。このスラッジを直接あるいは酸処理して循環させることにより、凝集剤注入量の削減および処理水質の改善に役立て得る。このような基本的原理を応用した浄水処理法が活性化スラッジ循環法である。

この活性化スラッジ循環法の主な特長として、(1)スラッジ中のAlの循環よって新規のPAC注入量を削減できる、(2)スラッジの循環によりAl・T比が調整され、処理水の濁度やAl濃度を低下させることができる、および、(3)Al・T比の改善による大幅なスラッジ発生量の削減と脱水性の向上など、が挙げられる。

3. 繰返しジャーテストによるフロックの凝集力の確認

スラッジの凝集力を把握するためにカオリン・PACフロックを用いてジャーテストを繰返した。1回のジャーテストの基本操作として急速攪拌120rpmを5分、緩速攪拌40rpmを10分と設定した。この際、カオリン濃度50mg/l、PAC注入率22.5mg/l、全量500mlに試料を調整してジャーテストを行った。その後、以下の方法による繰返し10回までのジャーテストを行い、いずれの場合にも静置30分後の上澄水の濁度およびAl濃度を測定した。

1) 試料を最適凝集pH(pH6.6~6.8)に維持したまま、フロックの形成と攪拌による粉砕を繰返し行った。その結果を示す表1においては、ジャーテストの繰返し回数の増加に伴って上澄水の濁度およびAl濃度は減少している。最初のジャーテストにおける上澄水濁度は0.67mg/l(除去率98.7%)であったが、繰返し1回後には0.4度(除去率99.2%)、繰返し10回後には0.02度(除去率99.9%)と、処理水質が改善されている。また、上澄水のAl濃度についても、最初のジャーテストにおいては0.16mg/lであったが、繰返し10回後には0.06mg/l(62.5%減少)となっている。これらのことから、ジャーテストの繰返し回数の増加とともに、当初、水中に残存していたカオリンやAlが既存のフロックによって徐々に取り込まれ、僅かであるがフロックのAl・T比が高まっている。また、全攪拌時間が長くなったため、

表1 最適凝集pHにおける繰返しジャーテストの結果

繰返し数(回)	濁度(mg/l)	Al濃度(mg/l)
0	0.67	0.16
1	0.40	0.11
3	0.14	0.08
5	0.03	0.07
10	0.02	0.06

\* 原水の濁度50mg/l、Al濃度1.125mg/l

The application of activated sludge circulation process to improving the treatability of turbid waters by Kunio EBIE, Jun UCHIDA, Yoshihiro AZUMA and Jae-Ho Lee

フロックが次第に稠密になったものと推測される。このように、最適凝集 pH においては繰り返し粉碎してもフロックは劣化せず、むしろ、水処理の観点から見れば望ましいフロック形成が進行することが分かった。

2) 最初のジャーテスト後、塩酸溶液(0.2N-HCl)または硫酸溶液(0.2N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)を加えて試料の pH を 4 および 5 まで下げ、フロックを化学的に処理する。その後、水酸化ナトリウム溶液(0.2N-NaOH)を用いて最適凝集 pH に戻し、フロック形成を行う。この手順を繰り返し行った際の上澄水の濁度および Al 濃度の動きを図 1 と 2 に掲げる。フロックを pH 4 および 5 に塩酸処理した場合は図 1 で見ると、上澄水濁度は 0.4~0.55mg/l(除去率 98.9~99.2%)となった。同様に、pH 5 に硫酸処理した場合は見ると、0.2~0.35mg/l(除去率 99.3~99.6%)となっている。これらの pH 条件では、繰り返し回数の増加に伴う濁度上昇は見られなかった。しかしながら、pH 4 に硫酸処理した場合、上澄水濁度は繰り返し 1 回後の 0.5mg/l(除去率 99.0%)から繰り返し 10 回後の 1.2mg/l(除去率 97.6%)へと、僅かながら上昇した。図 2 の上澄水 Al 濃度の動きを見ると、pH 5 では 0.09~0.14mg/l(除去率 87.6~92.0%)となり、塩酸、硫酸のいずれを用いた場合にも殆ど上昇はしていない。しかしながら、pH 4 における傾向を見ると、硫酸処理した場合の Al 濃度は、繰り返し 1 回後の 0.34mg/l(除去率 70.0%)から繰り返し 10 回後の 0.7mg/l(除去率 37.8%)へと 0.36mg/l 上昇している。このように Al 濃度の除去率が 70.0%から 37.8%に低下しているにも関わらず、濁度除去率は 97.6~99.0%と高い除去率を維持している。このことから、凝集剤が過剰であったと推測され、余剰および劣化した Al が上澄水中に溶出したものと考えられる。したがって、フロックを凝集系へ循環再利用する場合には、pH 4 以上で処理することが大切と考えられる。

#### 4. 活性化スラッジ循環法の基礎実験

活性化スラッジ循環法の効果を図 3 に掲げる連続流のモデルプラントを用いて検討した。基準の処理水量を 3 l/min と設定した場合、急速攪拌槽、2 段のフロック形成槽および傾斜板を組み込んだ上向流式沈殿池の滞留時間はそれぞれ 5.9、37.7 および 53.3 分となる。実験に供した循環用の模擬スラッジは、20 l の貯留槽で本学水道水に所定量のカオリンと PAC とを注入して調整した。

1) スラッジを循環させた場合と比較することを目的に、スラッジ循環のない条件下で新規の PAC 注入率の変動に伴う濁質除去の動きを調べた。すなわち、本学水道水にカオリンを 20mg/l、PAC を 7.5、15.0 および 22.5mg/l 注入した 3 条件で実験を行った。原水と処理水の濁度および Al 濃度の測定結果を図 4、5 に掲げる。図 4 から、処理水濁度は実験開始から 45 分ないし 1.5 時間まで上昇し、それ以降はほぼ安定した状態になっている。この場合、Al 濃度についても同様の動きを示したと推測される。2 時間以降の平均処理水濁度は PAC 注入率の上昇に伴いそれぞれ 3.8、2.4 および 1.7mg/l(除去率はそれぞれ 81.0、88.0 および 91.5%)であった。また、図 5 の Al 濃度についても、平均値はそれぞれ 0.14、0.18 および 0.19mg/l(除去率はそれぞれ 57.6、73.1 および 80.4%)であった。

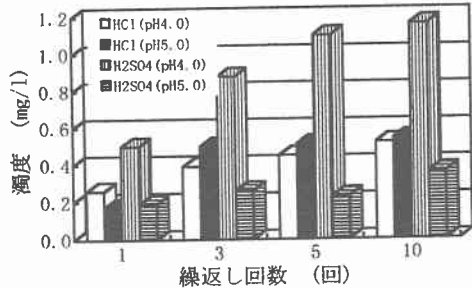


図 1 酸処理繰り返しジャーテストにおける上澄水濁度の動き

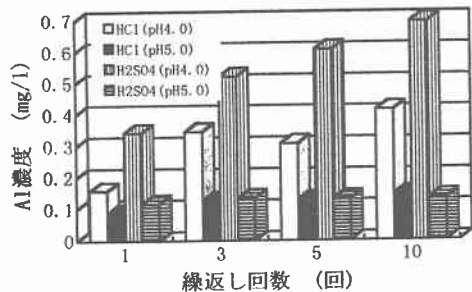


図 2 酸処理繰り返しジャーテストにおける上澄水 Al 濃度の動き

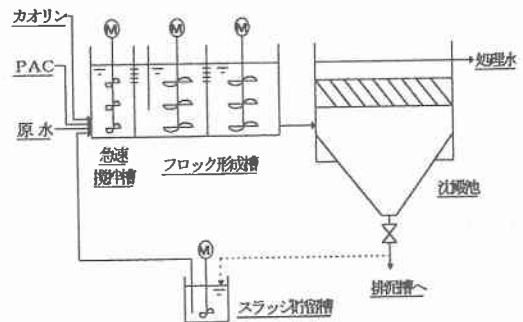


図 3 モデルプラントのフローシート

このように、濁度およびA1の除去率はPAC注入率の上昇とともに高まること、濁度除去率はA1の除去率より10~20%程度高くなることが分かった。

2) つぎに、スラッジの循環実験について述べる。原水は、カオリン20mg/l、新規PAC7.5mg/lの条件で調整を行い、これに塩酸を用いてpH5に処理したスラッジを注入した。このスラッジの注入によるPAC注入率の上昇分を15.0mg/l、濁度上昇分を0、5、10および20mg/l(したがって、全PAC注入率22.5mg/l、原水濁度20~40mg/l)とした。これらの実験における原水と処理水の濁度とA1濃度の動きを図6と表2に示す。2時間以降の平均処理水濁度は、スラッジによる濁度上昇がない場合には3.1mg/l(除去率84.5%)、濁度上昇が20mg/lの場合には2.7mg/l(除去率93.2%)となった。また、A1濃度においても平均値でそれぞれ0.16および0.1mg/l(除去率は84.2および89.2%)となり、高濁なスラッジを循環させるほど処理水の濁度およびA1濃度が低下している。すなわち、スラッジの循環による効果が発揮された。

3) 先のジャーテストから、循環スラッジのpHが異なれば、プラント運転における処理水質に差が出るのが推測される。そこで、塩酸を用いてpH3、4、5および6に処理したスラッジの循環実験における濁度とA1濃度の動きを図7および表3に示す。この場合、原水をカオリン20mg/l、新規PAC7.5mg/lに調整し、循環スラッジによるPACと濁度の上昇分を15.0mg/lと20mg/lとした。図7において、2時間以降の平均処理水濁度は、pH3の4.23mg/l(除去率89.4%)からpH5の2.69mg/l(除去率93.2%)へと、pHの上昇に伴って低下している。しかしながら、pH6においては5.59度(除去率85.8%)となり、pH3の場合よりも悪くなった。また、表3において2時間以降の平均処理水A1濃度を見ると、pH3の0.24mg/l(除去率76.0%)からpH5の0.1mg/l(除去率90.2%)へと、pHの上昇に伴って改善されている。しかしながら、処理水濁度の場合と同様に、pH6におけるA1濃度は0.19mg/l(除去率81.0%)と悪化している。これは、実験時のスラッジの調整不備に起因するものと考えている。以上の結果から、酸処理したスラッジを循環させた方が処理水の濁度およびA1の除去率を上昇させ得ることが分かった。また、最適凝集領域より少し下がったpH5程度で処理したスラッジが最も高い凝集力を発揮する結果となった。

4) つぎに、循環スラッジの酸処理回数の違いが濁質除去に及ぼす影響に関する比較実験を行った。ここでは、スラッジのpH調整(最適凝集pHとpH3、4、5およ

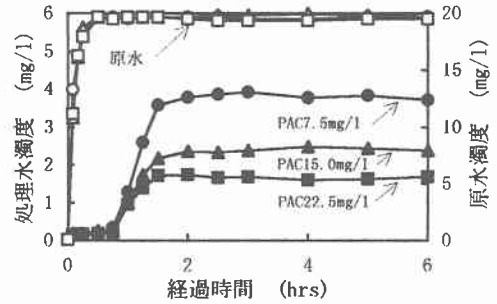


図4 原水および処理水濁度の経時変化

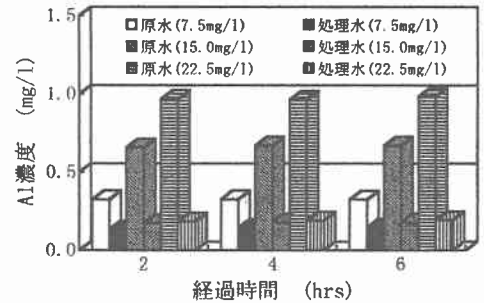


図5 原水および処理水A1濃度の動き

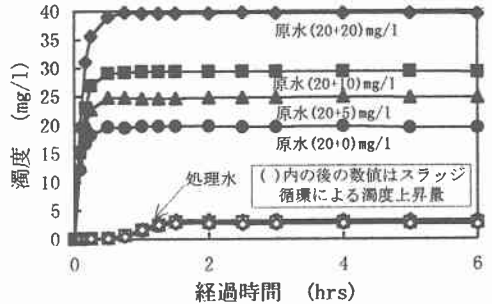


図6 原水および処理水濁度の経時変化

表2 処理水A1(mg/l)の動き(原水A1=1.02mg/l)

時間 (hrs)	スラッジ循環による濁度上昇量 (mg/l)	0	5	10	20
2		0.16	0.16	0.12	0.10
4		0.16	0.16	0.13	0.11
6		0.16	0.16	0.13	0.10

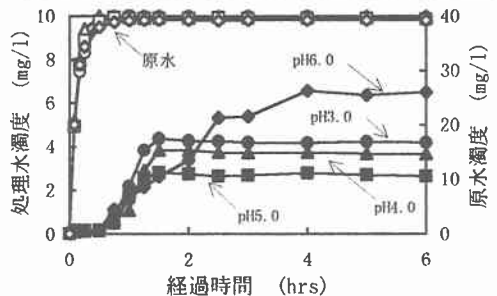


図7 原水および処理水濁度の経時変化

び6との間を上下させる)を3回繰返した模擬スラッジを用いた。これらの実験における濁度および処理水 Al 濃度の動きを図8および表4に示す。図8の処理水濁度は、pH 3の 5.14mg/l(除去率 86.7%)から pH 5の 4.67mg/l(除去率 88.0%)へと、pHの上昇に伴って良くなっている。しかしながら、3)の同pHにおける結果と比較すると、約0.9~2.0mg/l上昇している。また、pH 6においては 3.1mg/l(除去率 92.0%)となり、処理水濁度は約 1.5mg/l改善された。表4における2時間以降の処理水 Al 濃度は、pH 3の 0.26mg/l(除去率 72.9%)から pH 5の 0.23mg/l(除去率 76.5%)へと、pHの上昇に伴って改善されている。しかしながら、前出の3)の同pH条件における結果と比較すると、約0.02~0.13mg/l低下している。同様に、pH6.0においても 0.21mg/l(除去率 79.0%)となり、除去量は僅かに 0.02mg/l低下している。このように、スラッジ循環実験においては、先のジャーテスト結果と同様の傾向を示している。すなわち、pH 3、4および5でスラッジのpH調整を3回繰返すと、スラッジ中のPACが僅かながら劣化して凝集処理効果が低下するが、pH 6でpH調整を繰返した場合には、Alの凝集力が向上し処理水濁度が改善されるものと考えられる。今後は、原水やスラッジの条件を種々変動させた実験を行い、活性化スラッジ循環法濁質除去効果をより詳細に検証していきたいと考えている。

### 5.まとめ

今回行ったジャーテストおよびモデルプラント実験によって得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 最適凝集pHにおいて繰返しジャーテストを行うと、回数増加に伴って残存しているカオリンや Al が既存のフロックに取り込まれ、フロックの Al・T 比が高くなる。また、攪拌時間が長くなるため、次第に稠密なフロックに変化し、上澄水の水質は向上した。
- 2) 酸処理したジャーテストの繰返しにおいては、pH 4で Al の除去率は低下したが、いずれの条件でも濁度除去率は97%以上であったことから、スラッジを再利用しても十分な濁質除去が達成される。
- 3) pH 5で1回酸処理した循環スラッジの濁度を上昇させると、フロックの Al・T 比などが適正な方向に調整され、濁度除去率が向上した。
- 4) 1回酸処理したスラッジの循環によって、処理水の濁度および Al の除去率を低下させることができた。また、pH 5で処理することにより、スラッジの凝集力を最も高めることができた。
- 5) pH 3~5の領域で酸処理回数を増加させると、処理水濁度は僅かながら上昇したが、pH 6においては、良好な処理水が得られた。このことから、酸処理3回までのスラッジの循環であれば、処理水質の改善に有効である。

### 【参考文献】

- 1) 丹保憲仁：水処理における凝集機構の基礎的研究(Ⅰ)、水道協会雑誌、第361号、pp.2~12(1964.10)
- 2) 丹保憲仁：水処理における凝集機構の基礎的研究(Ⅲ)、水道協会雑誌、第365号、pp.25~37(1965.4)
- 3) 岐津英明ら：汚泥の返送を利用した浄水処理水効果、第45回全国水道研究発表会講演集、pp.148-149(1994.5)
- 4) 関谷透ら：浄水汚泥の改質と減容化技術、工業用水第451号、pp.2~11(1996.4)
- 5) 関谷透ら：汚泥の返送を利用した浄水処理水効果、第47回全国水道研究発表会講演集、pp.72-73(1996.5)

表3 処理水 Al(mg/l)の動き (原水 Al=1.02mg/l)

時間 (hrs)	スラッジの pH			
	3.0	4.0	5.0	6.0
2	0.24	0.20	0.10	0.14
4	0.25	0.22	0.11	0.20
6	0.24	0.21	0.10	0.24

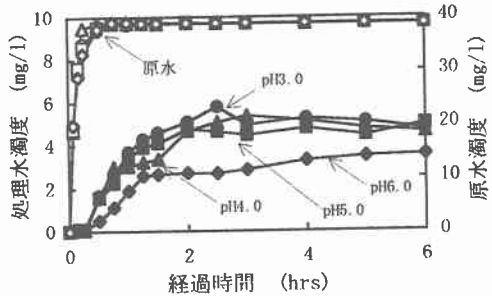


図8 原水および処理水濁度の経時変化

表4 処理水 Al(mg/l)の動き (原水 Al=0.99mg/l)

時間 (hrs)	スラッジの pH			
	3.0	4.0	5.0	6.0
2	0.25	0.23	0.21	0.19
4	0.26	0.25	0.24	0.20
6	0.27	0.24	0.24	0.25